

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод ленточного конвейера Распадской обогатительной фабрики</b>

УДК62-83-523:621.867.2

Студентка:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Зеленина Ксения Константиновна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики  
 Отделение Электроэнергетики и электротехники  
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)  
 Профиль Электропривод и автоматика

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студентке:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Зелениной Ксении Константиновне

Тема работы:

<b>Электропривод ленточного конвейера Распадской обогатительной фабрики</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Функциональная схема и имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г..
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5ГЗА1	Зеленина Ксения Константиновна		05.04.2018г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 135 страницу текста, 32 рисунков, 29 таблицы, 26 использованных источника.

ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «ACS-800», ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС.

Цель работы – разработка и исследование регулируемого электропривода ленточного конвейера.

В первой главе описан технологический процесс обогащения угля и место ленточного конвейера в технологической цепи.

Во второй главе описан принцип действия и система управления конвейером.

В третьей главе произведен расчет конвейера и выбор основного электрооборудования, построены электромеханические и механические характеристики асинхронного электродвигателя.

Четвертая глава посвящена моделированию асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат.

В пятой главе представлен экономический расчет сметы затрат на приобретение основного электрооборудования, освещены вопросы стоимости ремонтно-эксплуатационного обслуживания электропривода.

Шестая глава содержит безопасность и экологичность проекта, где освещены вопросы: производственная санитария, техника безопасности,

пожарная безопасность, охрана окружающей среды и произведен расчет искусственного освещения.

Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2007, в работе использованы программы MATLAB, MathCAD, MicrosoftPaint, MicrosoftPowerPoint, MicrosoftVisio.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	11
1.1 ГРОХОЧЕНИЕ	12
1.1.1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ	12
1.1.2 ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЯ	12
1.1.3 ДЕШЛАМАЦИЯ УГЛЯ НА ДУГОВЫХ СИТАХ И ГРОХОТАХ	13
1.2 ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ	14
1.2.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ШЛАМА В ГИДРОЦИКЛОНАХ КЛАССИФИКАТОРАХ	14
1.3 ОБОГАЩЕНИЕ В ТЯЖЁЛЫХ СРЕДАХ	15
1.3.1 ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ СЕПАРАТОРАХ	15
1.3.2 ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ ГИДРОЦИКЛОНАХ	16
1.4 ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В СПИРАЛЬНЫХ СЕПАРАТОРАХ	17
1.5 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ В ЦЕНТРИФУГАХ	18
1.5.1 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ КОНЦЕНТРАТА В ВИБРАЦИОННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЦЕНТРИФУГАХ	19
1.5.2 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ КОНЦЕНТРАТА СПИРАЛЬНЫХ СЕПАРАТОРОВ В ОСАДИТЕЛЬНО-ФИЛЬТРУЮЩИХ ЦЕНТРИФУГАХ	19
1.6 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ФИЛЬТРОВАНИЕМ	20
1.7 ФЛОКУЛЯЦИЯ	21
1.8 СКЛАДИРОВАНИЕ И ПОГРУЗКА	23
1.9 ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ	23
2 ОПИСАНИЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА 120100Ф-180	25
2.1 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КОНВЕЙЕРА	25
2.2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИЕЙ	26
3 РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	34
3.1 ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	34
3.2 ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	34
3.3 ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА	36
3.4 РАСЧЕТ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА	38
3.4.1 ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА	38
3.4.2 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА	38

3.4.3 ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ	39
3.5 ВЫБОР АППАРАТОВ КОНТРОЛЯ, ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ	43
3.5.1 КОНТРОЛЬ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ПОЛОТНА КОНВЕЙЕРОВ	43
3.5.2 КОНТРОЛЬ СХОДА И ОБРЫВА ЛЕНТЫ	45
3.5.3 КОНТРОЛЬ ЭКСТРЕННОГО ОСТАНОВА	46
3.5.4 КОНТРОЛЬ ЗАШТЫБОВКИ	47
3.5.5 СИГНАЛИЗАТОР ЗВУКОВОЙ СЗВ	47
3.5.6 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	47
3.6 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	52
3.6.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	52
3.6.2 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	57
3.6.3 РАСЧЕТ ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	58
3.6.4 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	60
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ	68
4.1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	68
4.2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ	73
4.3 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	74
4.3.1 ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	77
4.3.2 ИССЛЕДОВАНИЕ САУ ЭП С ЗАДАТЧИКОМ ИНТЕНСИВНОСТИ БЕЗКОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА	81
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	83
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	85
5.1 ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ НТИ И ЕГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	86
5.1.2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	86

5.1.3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИНЯТОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТАМИ.	87
5.1.4. АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	88
5.1.5. ОЦЕНКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НТИ	90
5.2. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ	92
5.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ РАБОТ	92
5.3. СМЕТА ЗАТРАТ НА РАЗРАБОТКУ НТИ	99
5.3.1. РАСЧЕТ АМОРТИЗАЦИОННЫХ ОТЧИСЛЕНИЙ	100
5.3.2. РАСЧЁТ ОПЛАТЫ ТРУДА УЧАСТНИКОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	100
5.3.3. РАСЧЁТ ОБЩЕГО БЮДЖЕТА ИССЛЕДОВАНИЯ	102
5.4. ИЗДЕРЖКИ НА РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	103
5.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА	105
5.5.1. РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНОГО ФИНАНСОВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ	106
5.5.2. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ	106
5.5.3. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ИСПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА	107
ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ	109
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	113
ВВЕДЕНИЕ.	113
6.1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	114
6.1.1. АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ	114
6.1.2. АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ	117
6.2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	118
6.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	119
6.4. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	123
CONCLUSION	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А	127



## **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из наиболее прогрессивных видов транспорта, обеспечивающих высокую производительность при больших грузопотоках, является конвейерный транспорт. В современном производстве конвейеры являются неотъемлемой частью технологического процесса, они регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность, способствуют повышению производительности труда, позволяют решать вопросы комплексной механизации транспортно-технологических процессов. Непосредственная связь конвейерных машин с общим технологическим процессом производства предъявляет к ним особые требования в отношении прочности и способности работать в автоматических режимах. Вновь проектируемые конвейеры должны быть достаточно прочными, надежными, долговечными и экономичными в эксплуатации, а изготовление их следует осуществлять с наименьшими затратами труда и материалов.

Конвейерный транспорт имеет значительные преимущества перед традиционным автомобильным и железнодорожным: работник не участвует в собственно транспортном процессе, а занят только обслуживанием механизмов, что обеспечивает более высокую производительность труда и его безопасность; требуется использование только электрической энергии, тогда как колесный транспорт потребляет в основном более дорогое натуральное органическое топливо.

Уголь – основной продукт, технологическое сырье для производства и использования в металлургическом производстве, химической промышленности и энергетике России. В сегодняшних экономических условиях большое значение имеет себестоимость добычи угля, что реально при снижении затрат на вспомогательные работы.

Рост добычи угля обусловил мировое применение конвейерного транспорта, обладающего рядом преимуществ: высокая производительность, работа с автоматизированным управлением, низкая

трудоемкость обслуживания, возможность бесступенчатой транспортировки горных масс.

Ленточные конвейеры широко используются в металлургической, горнодобывающей и других видах промышленности. Их используют для транспортировки насыпных и штучных грузов как на небольшие расстояния, так и на большие расстояния. Простота и надежность их конструкции обеспечивает их работу в течение длительного времени. Ленточные конвейеры можно использовать как в закрытых, так и на открытых участках, что объясняет их широкое использование в промышленности. Конвейеры относятся к машинам непрерывного типа действия и характеризуются непрерывным перемещением грузов по заданной трассе без остановок для загрузки и разгрузки. Перемещаемый насыпной груз располагается сплошным слоем на несущем элементе машины – ленте или отдельными порциями. Благодаря непрерывности перемещения груза, отсутствию остановок для загрузки и разгрузки и совмещению рабочего и обратного движений грузонесущего элемента машины непрерывного действия имеют высокую производительность, что очень важно для современных предприятий с большими грузопотоками.

Обогатительная фабрика «Распадская» построена в соответствии с высокими инженерными стандартами и оснащена высококачественным технологическим оборудованием для обогащения углей шахты «Распадская». Она использует прогрессивную обогатительную технологию с замкнутой водно-шламовой схемой.

Обогатительная фабрика «Распадская» использует современное западное и отечественное технологическое оборудование высокого качества, которое обеспечивает надежную и эффективную работу. Технологическая схема и планировка фабрики обеспечивают значительную производственную гибкость. В выпускной квалификационной работе рассмотрен вопрос расчета и исследования ленточного конвейера 120100ф-180.

## 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для приема и складирования рядового угля марки «ГЖ», выдаваемого шахтой ЗАО «Распадской», на ЗАО «ОФ «Распадская»» имеется склад напольного типа емкостью 40 000 тонн (~на 2 суток). Интенсивность выдачи угля из шахты – до 4000 тонн/час. На складе предусматривается также прием рядовых углей, доставляемых автотранспортом. [3]

Со склада рядовой уголь через разгрузочные проемы качающими питателями ПК-1,2-10МК подается на ленточные конвейера 120100Ф-180, на которых имеются конвейерные весы, электромагнитные железоотделители ЭЖЗ-120С, маятниковые пробоотборники с проборазделачными машинами МПЛ. Затем уголь поступает на обогащение в главный корпус обогатительной фабрики

Углеподготовка располагается в главном корпусе обогатительной фабрики. Подготовительное грохочение проводится в цилиндрическом грохоте ГЦ-3. Сито грохота с размером ячеек 150x150мм предусмотрено для отделения из рядового угля кусков крупнее 150мм. Для условий шахты «Распадская» указанный класс крупности представлен в основном породой. Верхний предел крупности угля, поступающего на обогащение, обусловлен требованиями потребительского ГОСТа для коксующихся углей – не более 150мм. Из надрешетного продукта класса крупнее 150мм, поступающего на конвейер, предусмотрена ручная выборка для удаления единичных кусков угля и посторонних предметов.

Учитывая высокие требования, предъявляемые к качеству концентрата, обогащение на ЗАО «ОФ «Распадская»» проводится с выделением двух продуктов (концентрата и породы) с разделением процесса обогащения по четырем машинным классам:

класс +13мм - в тяжёлосредних сепараторах в одну стадию с выделением концентрата и породы;

класс 1,3 - 13мм - в тяжёлосредних гидроциклонах в одну стадию с выделением концентрата и породы;

класс 0,15 - 1,3мм - в спиральных сепараторах в одну стадию с выделением концентрата и породы;

класс -0,15мм — флокуляция, сгущение в радиальных сгустителях и обезвоживание на ленточных фильтр-прессах.

## **1.1 Грохочение**

### **1.1.1 Предварительная классификация**

Предварительная классификация предназначена для удаления из рядового угля крупного класса, максимальный размер которого превышает требуемую крупность для обогатительного оборудования.

Предварительная классификация ведется на цилиндрическом грохоте ГЦ-3 по зерну 150 мм. Эффективность грохочения составляет 85-90 %.

К операции предварительной классификации предъявляются следующие требования:

обеспечение необходимой производительности по переработке рядового угля;  
обеспечение требуемой эффективности грохочения.

### **1.1.2 Подготовительная классификация угля**

Мокрая классификация по классу 13мм проводится на грохотах ГИСТ-72АК. Подрешётный продукт предварительного грохочения (класс -13мм) поступает на дешламационное дуговое сито SSB и грохот дешламационный горизонтальный однодечный с линейной вибрацией 6X16SD. Надрешетный продукт класс +13 мм поступает на обогащение в тяжёлосредний сепаратор.

При мокрой подготовительной классификации необходимо выдерживать следующие требования:

- расход воды при мокрой классификации угля при размере отверстий 13 мм должен быть не менее 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/т;
- содержание класса 0-1 мм в машинном классе +13 мм не должно превышать 2.0%;
- производительность и эффективность классификации должны соответствовать проектным данным и режимной карте подготовительной классификации.

### **1.1.3 Дешламация угля на дуговых ситах и грохотах**

Дешламация предназначена для отделения шлама перед обогащением класса 1,3-13 мм в тяжелосредних гидроциклонах.

Дешламация осуществляется на дуговых ситах и дешламационных грохотах. При дешламации необходимо выдерживать следующие требования:

- расход воды при дешламации угля при размере отверстий 1,3 мм должен быть 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/т;
- содержание класса 0-1,3 мм в машинном классе 1,3-13 мм не должно превышать 2,0%;
- производительность и эффективность дешламации должны соответствовать проектным данным и режимной карте.

## **1.2 Гидравлическая классификация**

Подрешётный продукт дешламации (класс - 1,3 мм) и фугаты центрифуг HSG-1100 по обезвоживанию концентрата тяжелосредних гидроциклонов направляются в зумпф питания гидроциклонов классификаторов, откуда центробежными насосами подаётся в блок гидроциклонов классификаторов (D=360,9шт.), где происходит гидроклассификация шламов по зерну 0,15мм. Слив гидроциклонов-классификаторов (класс - 0,15мм) поступает в радиальный сгуститель 1 стадии, а песковый продукт (класс + 0,15мм) - на обогащение в спиральные сепараторы.

### **1.2.1 Классификация шлама в гидроциклонах-классификаторах**

Для классификации крупных шламов перед обогащением в спиральных сепараторах на фабрике используют гидроциклоны D=360 мм с граничным зерном разделения 0,15 мм. При работе гидроциклонов особое внимание следует обращать на:

- давление перед гидроциклоном (контролировать величину напора пульпы по показаниям манометра) и вытеканием сгущенного продукта из песковой насадки . При чрезмерном повышении концентрации твердого в сгущенном продукте или появлении в нем большого числа крупных зерен возможна забивка выпускного отверстия. В этом случае все крупные зерна направляются в слив, что нарушит работу водно-шламовой схемы и технологических процессов, поэтому не допускается забивка песковых насадок;
- обеспечение предельно допустимой нагрузки. Превышение нагрузки влечет за собой увеличение граничного зерна классификации.

## **1.3 Обогащение в тяжёлых средах**

### **1.3.1 Обогащение угля в тяжелосредних сепараторах**

Надрешётный продукт мокрой классификации (класс +13мм) поступает на конвейер и далее на обогащение в тяжёлосредный сепаратор СКВП-32. При плотности суспензии (смесь железорудного концентрата - магнетита и воды) 1.7-1,8г/см<sup>3</sup> происходит разделение на 2 продукта: концентрат и породу. Всплывший продукт - концентрат после отделения кондиционной и некондиционной суспензии, после обезвоживания на грохоте ГИСТ-72АК и дополнительного обезвоживания класса - 40мм на вибрационной центрифуге HSG-1100 конвейерами 10063Ф-80 и конвейерами 160100Ф-180 направляется на склад готовой продукции; потонувший - порода, разгружается элеваторным колесом и поступает на обезвоживание и отмывку суспензии на грохот ГИСТ-62УК, а затем конвейерами - в породный бункер.

Регенерация некондиционной суспензии происходит путём её подачи из зумпфа некондиционной суспензии центробежными насосами 6/4Е-Р на обогащение на однобарабанный сепаратор на постоянных магнитах 36Х72. Магнетитовый концентрат поступает в зумпф кондиционной суспензии, откуда суспензия центробежными насосами 8/6F-Р в сепаратор СКВП-32. При подаче суспензии в сепаратор формируется два потока: вертикальный - для поддержания равномерной плотности суспензии по глубине ванны сепаратора (для уменьшения степени расслоения суспензии) и горизонтальный, основная функция которого - транспортная.

При работе необходимо соблюдать следующие требования:

- в питании сепаратора содержание класса 0-1,3 мм не должно превышать 2.0%;
- плотность магнетитовой суспензии должна регулироваться системой автоматического регулирования;
- нагрузка на сепаратор не должна превышать установленную режимной картой.

В технологическом процессе обогащения угля в тяжелой среде (магнетитовой суспензии) основное значение имеет регенерация суспензии. Регенерация суспензии тяжелосредных сепараторов осуществляется на однобарабанных сепараторах с постоянными магнитами.

Основные требования, предъявляемые к процессу регенерации:

- подача на сепараторы суспензии должна быть постоянной;
- объем перелива должен составлять 70-80 % от общего потока;
- не допускать поступления крупных частиц (размером более 5 мм).

Контроль результатов работы сепаратора осуществляется по экспресс-анализам засорения продуктов посторонними фракциями, не допуская превышения установленных норм засорения.

### **1.3.2 Обогащение угля в тяжелосредных гидроциклонах**

Надрешётный продукт дешламационных грохотов (класс+1,3 - 13мм) направляется в зумпф питания тяжелосредных гидроциклонов, откуда вместе с суспензией центробежными насосами 10/8F-P подаётся в тяжёлосредные гидроциклоны 24В (D=610мм, 4шт.). Обогащение происходит в одну стадию с выделением 2-х продуктов: со сливом выделяется концентрат, который после отделения кондиционной, некондиционной суспензии и обезвоживания на дуговом сите SSB и грохоте 6X16SD и дополнительного обезвоживания на вибрационной центрифуге HSG-1100 конвейерами направляется на склад готовой продукции; с песками выделяется 2-й продукт - отходы и после отделения кондиционной и некондиционной суспензии и обезвоживания на дуговом сите SSB и грохоте 6X16SD посредством конвейера 10063Ф-80 и конвейеров 12080Ф-120 и 120125Ф-200 поступает в бункера породы. Регенерация некондиционной суспензии производится путём её подачи из гумпфа некондиционной суспензии центробежными насосами 6/4К-Р на двухбарабанный сепаратор на постоянных



магнитах 36X120. Магнетитовый концентрат поступает в зумпф питания тяжелосредних гидроциклонов.

Процесс обогащения ведется по плотности разделения 1700-1820 кг/м<sup>3</sup>.

При обогащении угля в тяжелосредних гидроциклонах необходимо выдерживать следующие требования:

- в питании гидроциклонов содержание класса 0-1,3 мм не должно превышать 2 %;
- содержание угля в пульпе, поступающей в гидроциклон, не должно превышать проектную величину, а также установленную режимной картой;
- поддержание плотности магнетитовой суспензии должно осуществляться автоматической системой;
- исключить попадание в питание гидроциклонов кусков размером более 13 мм;
- поддерживать постоянное давление на входе в гидроциклон;
- не реже одного раза в месяц проверять износ песковой насадки и производить осмотр внутренней футеровки гидроциклона;
- контролировать по экспресс-анализам засорения продуктов тяжелосреднего гидроциклона посторонними фракциями, не допуская превышения установленных норм засорения.

#### **1.4 Обогащение угля в спиральных сепараторах**

Обогащение в спиральных сепараторах происходит в одну стадию с выделением концентрата и породы. Концентрат после дешламации на дуговом сите SSB и обезвоживании в осадительно-фильтрующей центрифуге Декантер 44x132 конвейерами направляется на склад готовой продукции. Порода после дешламации на дуговом сите SSB и обезвоживания на горизонтальном высокочастотном грохоте IDS 30R48 LD конвейерами транспортируется в бункера породы.

Для оптимальной работы сепаратора требуется равномерное распределение исходного питания между всеми спиральными заходами, что обеспечивает распределитель питания со статическим напором. Управление спиральным сепаратором заключается в том, чтобы поддерживать постоянными плотность питания (нормальной плотностью для работы сепараторов является 1120 г/л), объем прохождения и скорость потока суспензии. Таким образом, в распределителе питания должен быть установлен постоянный гидростатический уровень. Регулирование этих параметров производится изменением объема оборотной воды, подаваемой в сборный желоб сгущенного продукта гидроциклонов и изменением числа работающих гидроциклонов.

Скорость подачи питания должна быть равномерной (обычно нагрузка по питанию сепаратора от 2,0 до 3,5 т/ч на каждый заход). Очень важно обеспечить постоянную скорость подачи питания, так как колебания скорости могут ухудшить качественные показатели работы сепаратора. Спирали должны регулярно промываться чистой водой, а отложения, образующиеся на поверхности желоба, следует удалять.

### **1.5 Обезвоживание в центрифугах**

В водно-шламовой схеме фабрики эксплуатируется следующее основное оборудование для обезвоживания:

- центрифуги, фильтрующие вибрационные HSG-1100 для обезвоживания концентрата после обогащения в тяжелосредних гидроциклонах класса менее 13 мм;
- центрифуги осадительно-фильтрующие, для обезвоживания концентрата спиральных сепараторов;
- центрифуги, фильтрующие вибрационные HSG-1100 для обезвоживания концентрата после обогащения в тяжелосредних сепараторах класса менее 18 мм.

### **1.5.1 Обезвоживание концентрата в вибрационных фильтрующих центрифугах**

Основные требования при эксплуатации:

- фактор разделения, от которого зависит эффективность работы центрифуги и унос твердого с фугатом (с увеличением фактора разделения эффективность работы центрифуги повышается);
- обеспечение требуемой влажности обезвоженного продукта;
- обеспечение равномерной подачи питания и разгрузки конечных продуктов;
- обеспечение содержания в фугате минимального количества твердого и крупных зерен;
- обеспечение целостности сита ротора и установленного размера щели сита.

### **1.5.2 Обезвоживание концентрата спиральных сепараторов в осадительно-фильтрующих центрифугах**

Для обезвоживания концентрата спиральных сепараторов, на фабрике применяются осадительно-фильтрующие центрифуги.

Основные требования при эксплуатации:

- фактор разделения, от которого зависит эффективность работы центрифуги и унос твердого с фугатом (с увеличением фактора разделения эффективность работы центрифуги повышается);
- обеспечение требуемой влажности обезвоженного концентрата;
- обеспечение равномерной подачи питания и разгрузки конечных продуктов;
- обеспечение содержания в фугате минимального количества твердого и крупных зерен;
- обеспечение целостности сита ротора и установленного размера щели сита.

## 1.6 Обезвоживание фильтрованием

Для обезвоживания сгущенных шламов на фабрике применяется шесть ленточных фильтр-прессов (на каждую секцию 3). На одном фильтр-прессе осуществляется обезвоживание сгущенного продукта первой стадии сгущения и направление его в концентрат. На втором фильтр-прессе осуществляется обезвоживание сгущенного продукта второй стадии сгущения и направление его в отходы. А третий фильтр-пресс реверсивный. Данный процесс ведется с использованием полимерных флокулянтов анионного и катионного типов. Расход флокулянтов, точки подачи, концентрация раствора устанавливается опытным путем.

Применение ленточного фильтр-пресса непрерывного действия позволяет обеспечить полное замыкание водно-шламовой схемы внутри фабрики. С целью обеспечения максимальной производительности фильтр-пресса на него необходимо подавать предварительно сгущенный до 300 - 450 кг/м<sup>3</sup> продукт.

Процесс обезвоживания протекает более эффективно, когда в зоне максимального сжатия лент фильтр-пресса не происходит «выдавливание» сгущенного осадка по краям ленточного фильтр-полотна, которое должно легко промываться и пропускать через себя фильтрат с минимальным содержанием взвешенных частиц.

Для обеспечения нормального функционирования фильтр-пресса и протекания процесса обезвоживания исходная пульпа должна, равномерно распределяться по всей ширине фильтрующей поверхности. Недопустимо наличие на ленте свободных участков, не занятых пульпой. При наличии неравномерности распределения питания следует отрегулировать работу насоса подающего питание на фильтр-пресс.

При эксплуатации фильтр-пресса необходимо выдерживать следующие параметры:

- объем подаваемой пульпы;

- обработку пульпы флокулянтами (дозировка и соотношение);
- оптимальную скорость движения лент фильтр-пресса;
- равномерное распределение пульпы по всей ширине фильтрующей поверхности;
- своевременную и полную (без черных полос) промывку фильтрующих лент;
- полное удаление обезвоженного осадка с фильтрующих лент;
- поддержание натяжения верхней и нижней фильтрующих лент;
- соблюдение технологии приготовления флокулянтов.

### **1.7 Флокуляция**

Сгущение шламов и осветление оборотной воды происходит в 2 стадии в радиальных сгустителях с центральным приводом (D=26м).

В радиальный сгуститель с центральным приводом первой стадии (D=26м) совместно со сливом гидроциклонов-классификаторов подаётся фугат фильтрующей секции осадительно-фильтрующих центрифуг Декантер ишламовые воды из бака шламовых вод ёмкостью 1117м<sup>3</sup> центробежнымишламовыми насосами ШН-250-34,а также фильтраты концентратных фильтр-прессов. В сгустителе происходит осаждение шламов обработанных флокулянтom анионного типа, перемещение их по конусному дну к центру гребковой фермой, откуда центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами подаётся на обезвоживание на ленточный фильтр-пресс WXG-3.0. Обезвоженный продукт направляется в присадку к концентрату. В сливной желоб сгустителя подаётся флокулянт катионного типа, затем анионного, а также фугат осадительной секции осадительно-фильтрующих центрифуг, подрешётный продукт грохота отходов спиральных сепараторов. После чего обработанный флокулянтами слив первой стадии направляется в сгуститель второй стадии.

В радиальный сгуститель с центральным приводом второй стадии ( $D=26m$ ), кроме слива первой стадии сгущения, подаются центробежным одноступенчатым насосом 4/3D -P фильтрат породного ленточного фильтр-пресса WXG-3.0 и подрешётный продукт грохота отходов спиральных сепараторов. Слив поступает в бак осветлённой воды ёмкостью  $500m^3$ , а далее центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами подачи осветлённой воды 10/8 F-P поступает в оборот, а центробежными многоступенчатыми насосами общего назначения 202 FP 3L - на промывку фильтрующих лент фильтр-прессов. Сгущённый продукт центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами 4/3 D - P подаётся на обезвоживание на ленточный фильтр-пресс WXG-3.0, а далее в присадку к отходам производства.

Процесс сгущения второй стадии ведётся с использованием полимерных флокулянтов анионного и катионного типа.

Дозировка флокулянтов определяется опытным путем.

Основными параметрами, характеризующими работу сгустителя, являются:

- нагрузка по твердому и по объёму суспензии;
- глубина зоны сгущения и скорость осаждения;
- концентрация твердого в сгущенном продукте и сливе.

При постоянном содержании твердого в питании сгустителя и своевременном удалении сгущенного продукта обеспечивается стабильная нагрузка на привод сгустителя и оптимизация работы флокулянтов. Для нормальной работы сгустителя с учётом минимально возможных колебаний производительности высота осветленного слоя должна быть в пределах 2,8 м, а содержание твердого в сливе до 2 г/л.

## **1.8 Складирование и погрузка**

Концентрат конвейером 160100Ф-180 из главного корпуса по галерее поступает на склад готовой продукции, а далее посредством шибера направляется либо на конвейер 160100Ф-180 с разгрузочной тележкой, либо на конвейер 160100Ф-180 с разгрузочной тележкой, посредством которых проводится заполнение укрытого склада готовой продукции концентратом суммарной ёмкостью 31 000 тонн.

Со склада готовой продукции через разгрузочные проёмы: концентрат качающимися питателями ПК-1,2-10 МК, поступает на конвейер 160125Ф-200 и далее на конвейера погрузочно-складского комплекса ОАО «Распадская». Отгрузка со склада концентрата ведётся согласно утверждённому графику.

## **1.9 Ленточный конвейер в технологической цепи обогащения угля**

В современном производстве конвейеры являются неотъемлемой частью технологического процесса, они регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность, способствуют повышению производительности труда, позволяют решать вопросы комплексной механизации транспортно-технологических процессов.

На рисунке 1 показано расположение ленточного конвейера в технологической цепочке обогащения угля. Со склада рядового угля емкостью 40000 тыс. тонн рядовой уголь через разгрузочные проемы качающимися питателями подаётся на ленточные конвейера 120100Ф-180 позиции 141-144. Затем уголь поступает на обогащение в главный корпус обогатительной фабрики. [3]

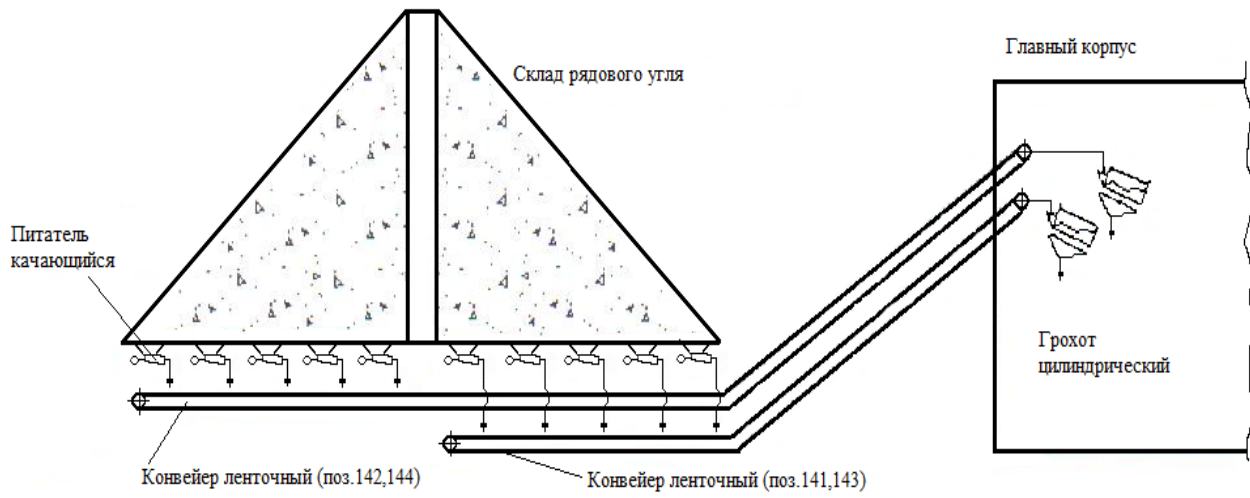


Рисунок 1 - Ленточный конвейер в технологической цепи обогащения угля



## **2 ОПИСАНИЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА 120100Ф-180**

### **2.1 Устройство и принцип действия конвейера**

Ленточный конвейер условно можно разбить на три основные части: головную, среднюю и хвостовую. В качестве несущего (транспортирующего) и тягового органа применяются резинотканевые ленты с гладкой поверхностью. Верхняя ветвь ленты конвейера, в большинстве случаев, имеет желобчатость за счёт применения желобчатых роlikоопор. Загрузка верхней ветви ленты производится загрузочными устройствами (качающимися питателями), расположенным в хвостовой части конвейера. Разгрузка конвейера производится через приводной (головной) барабан.

В движение конвейерная лента приводится фрикционным приводом. Привод конвейера состоит из приводного барабана и приводного механизма, соединённых между собой тихоходной муфтой. Приводной механизм состоит из двигателя, редуктора и соединяющей их муфты, которые устанавливаются на своей раме. [2]

Конвейерная лента располагается на роlikоопорах: верхняя ветвь ленты на верхних желобчатых, нижняя ветвь на нижних прямых. Обеспечение фрикционной связи приводного барабана с лентой осуществляется путём натяжения ленты конвейерной натяжным устройством.

Приводной барабан и натяжное устройство устанавливаются на свои опоры, а роlikоопоры - на секции, которые сами устанавливаются на стойки средней части конвейера. Нижняя ветвь ленты поддерживается прямыми верхними роlikоопорами, которые устанавливаются на стойках с кронштейном.

Ленточный конвейер имеет тяговый элемент 7 (рисунок 2) в виде бесконечной ленты, являющейся и несущим элементом конвейера, привод 13, приводящий в движение барабан 14, натяжное устройство 2 с барабаном 3, груз, роlikовые опоры 6 на рабочей ветви ленты и 5 на холостой ветви ленты, отклоняющий барабан 8, загрузочное устройство 4 и разгрузочные устройства 9

и 10, разгрузочный желоб 11 и устройство 12 для очистки ленты. Все элементы смонтированы на раме конвейера. [7]

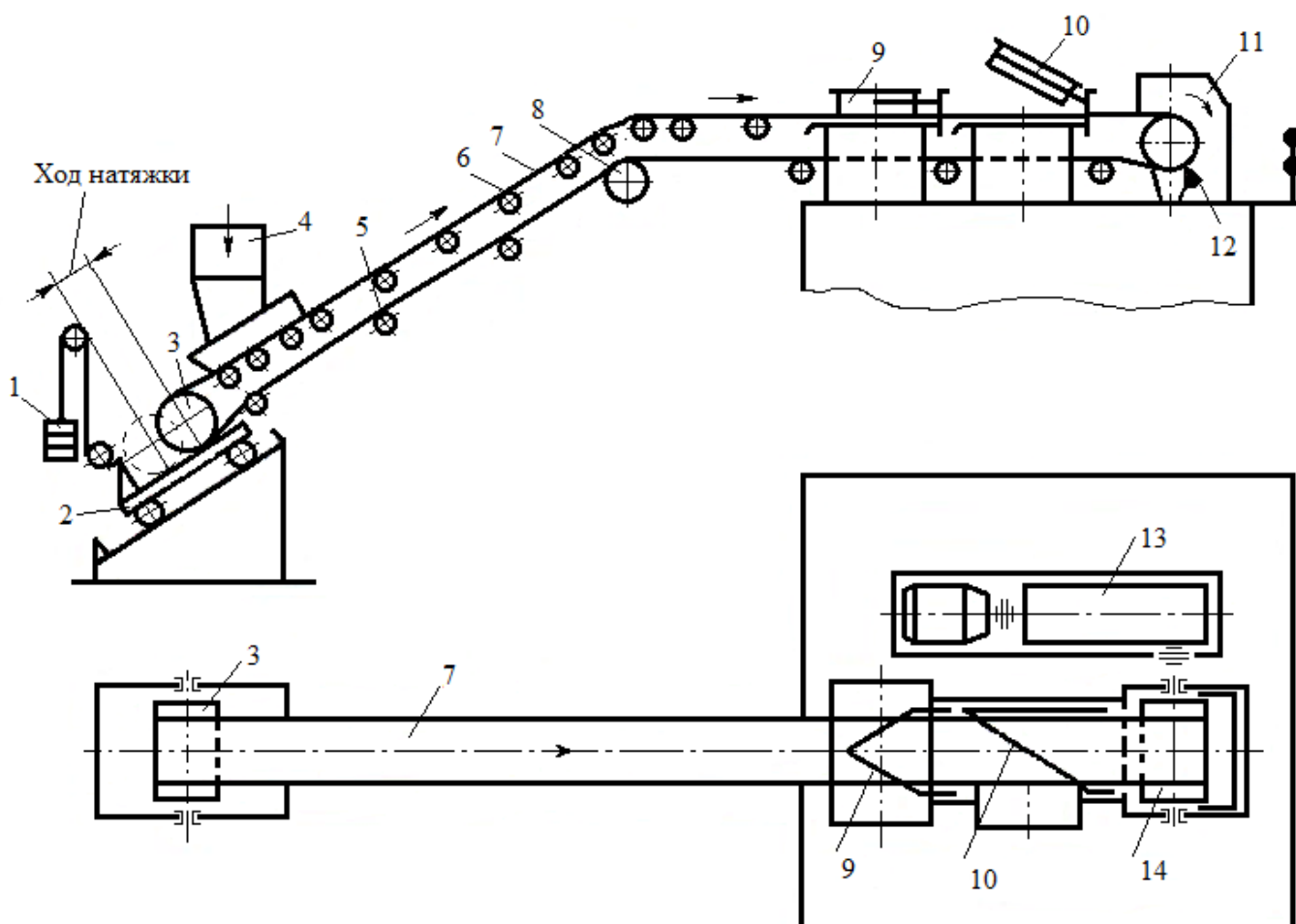


Рисунок 2- Функциональная схема конвейера

## 2.2 Система управления конвейерной линией

Система управления конвейерной линией является распределенной, трехуровневой. Верхний уровень управления представлен персональным компьютером, средний уровень управления реализуется программируемым логическим контроллером ПЛК фирмы «Kontron», нижний датчики контроля и защиты. [3]

ПЛК получает сигналы от датчика скорости ДС, схода ленты ДЛ, завала места перегрузки ДЗ, экстренного останова ДО, кнопок местного управления SB1 (пуск), SB2 (стоп), переключателя ВР выбора режима управления (ручной или автоматический) и персонального компьютера ПК.

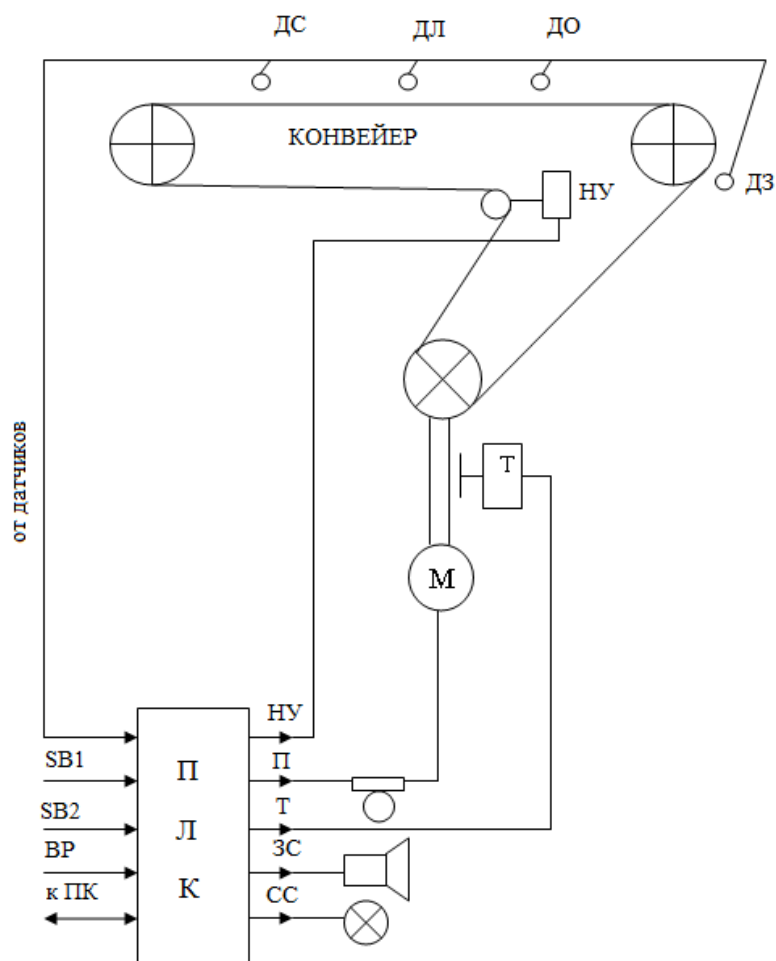


Рисунок 3- Система управления конвейерной линии

На выходе ПЛК формируются сигналы управления пускателем П, тормозом Т, натяжным устройством НУ, звуковой ЗС и световой СС сигнализацией. На верхнем уровне управления (ЭВМ) решаются задачи комплексного контроля и координации транспортного процесса, оперативного управления работой конвейерной линии.

АСУ КЛ обеспечивает выполнение следующих требований:

## 1. Управление

1.1. Автоматическое управление пуском/остановом конвейера в функции скорости с корректировкой по времени.

1.2. Выбор режима управления («Авт», «Руч»);

1.3. Экстренный останов конвейерной линии с любой точки трассы по команде эксплуатационного персонала;

1.4. Автоматическое управление натяжным устройством конвейера при пуске по закону, показанному на рисунке 4. Натяжение ленты на время пуска увеличивается на 30-50 %.

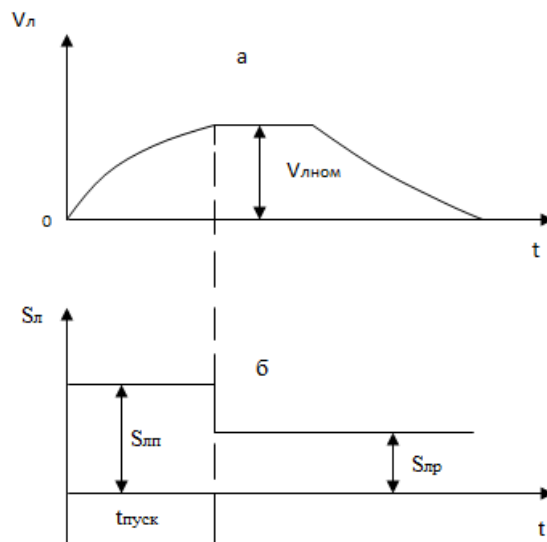


Рисунок 4- Диаграммы изменения скорости (а) и натяжения (б) ленты:

$V_{л ном}$ - номинальная скорость движения ленты;  $S_{лп}$ ,  $S_{лр}$  - натяжение ленты при пуске и работе;  $t_{пуск}$  - время разгона конвейера до номинальной скорости

1.5. Автоматическое управление тормозом конвейера при пуске и останове по закону, изображенному на рисунке 5. Состояние тормоза изменяется при достижении лентой скорости 5-10 % от номинальной (при скорости ниже указанной тормоз включается).

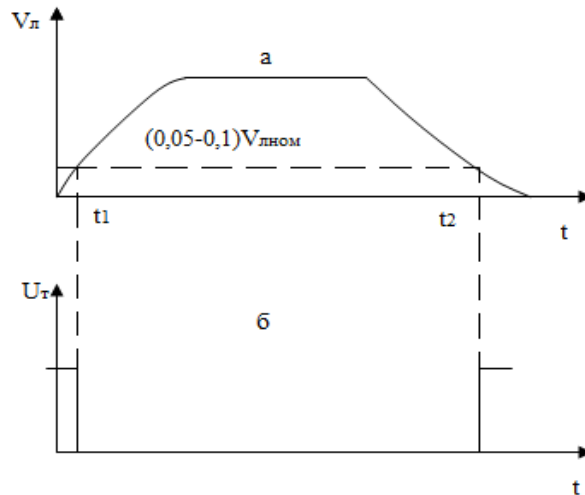


Рисунок 5 - Диаграммы изменения скорости ленты (а) и управления тормозом (б)

2. Автоматическая защита путем отключения аварийного конвейера и всех последующих за ним (в направлении против грузопотока) при завале места перегрузки, сходе ленты, снижении скорости ленты на 25 % от номинального значения, обрыве ленты, затянувшемся пуске.

3. Контроль, сигнализация, индикация:

3.1. Непрерывное измерение скорости ленты конвейера.

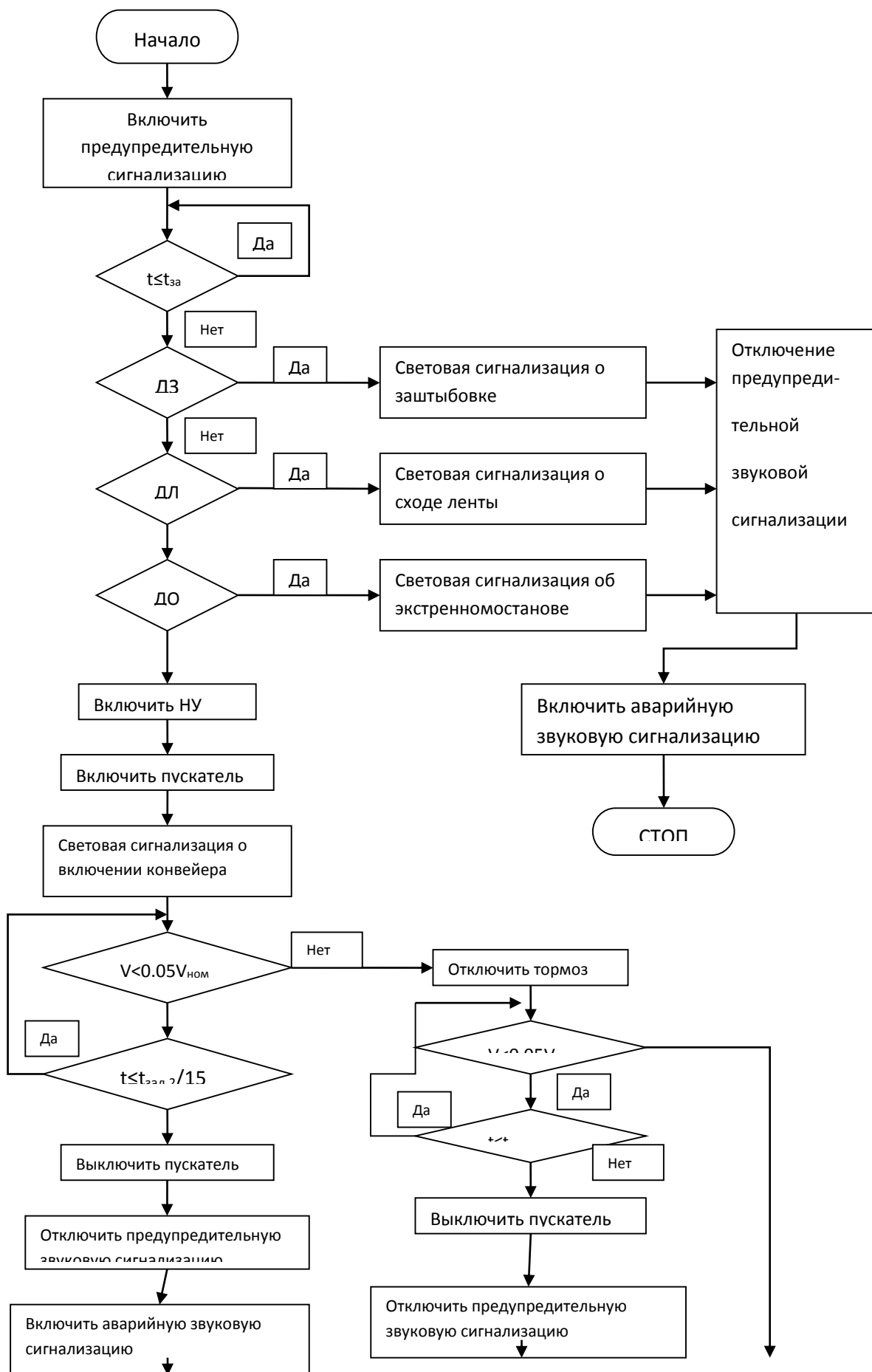
3.2. Индикация на экране монитора величины скорости, режима управления, состояния конвейера, причин и мест срабатывания защит.

3.3. Контроль выдержки времени звучания предупредительной и аварийной сигнализаций, времени пуска конвейера.

3.4. Предупредительная звуковая сигнализация по линии перед ее включением либо пуском любого из конвейеров.

3.5. Световая и звуковая сигнализация о срабатывании защиты конвейере.

Алгоритмы управления, контроля и защиты отвечающие вышеизложенным требованиям, представлены на рисунках 6, 7, 8. [3]



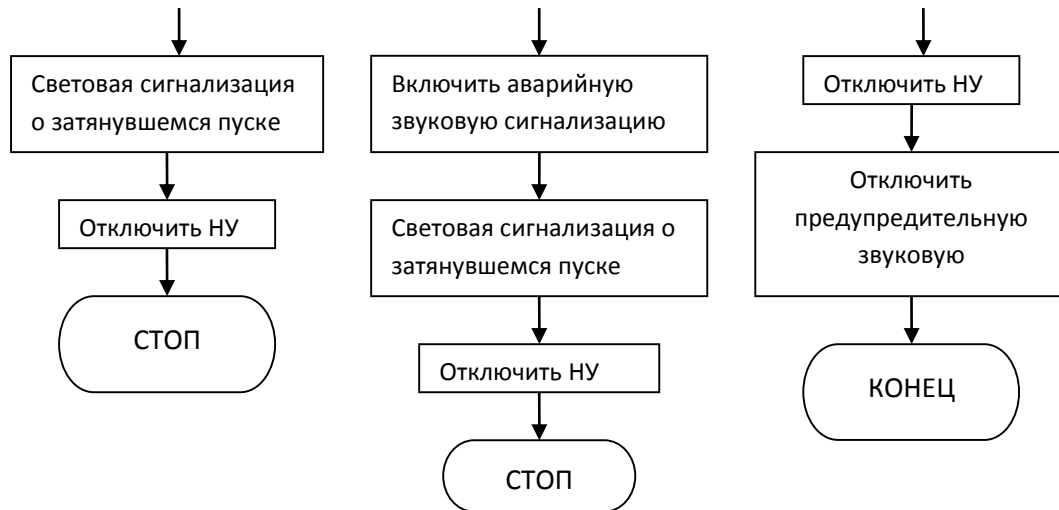


Рисунок 6- Алгоритм локального управления пуском конвейера

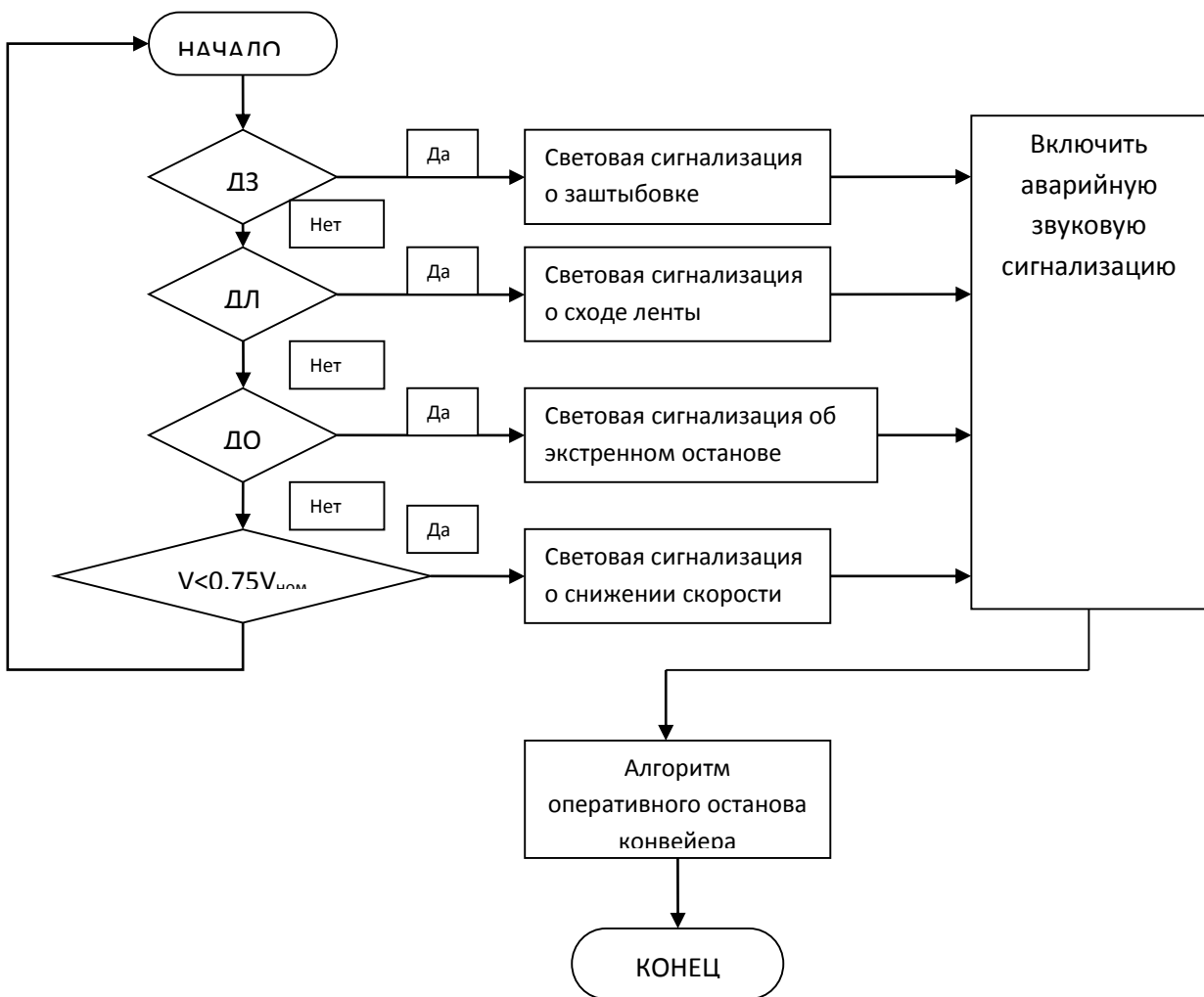


Рисунок 7 - Алгоритм автоматического контроля и защиты

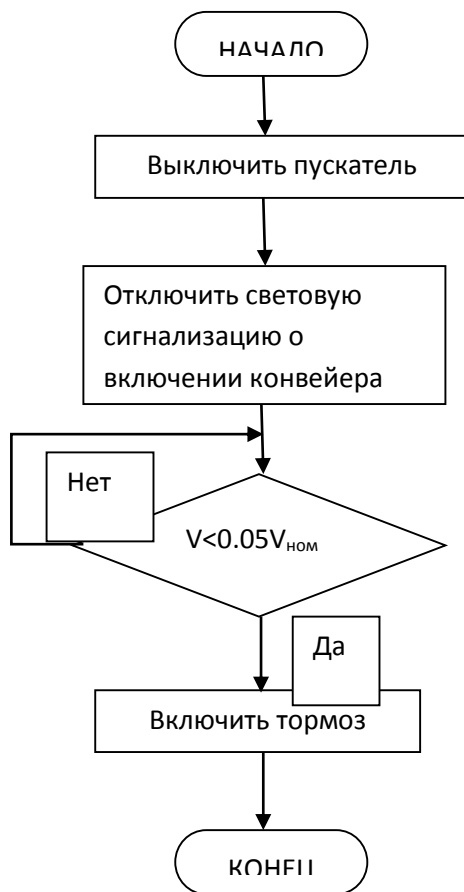


Рисунок – 8 Алгоритм останова конвейера



## 3 РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### 3.1 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

Исполнительные механизмы ленточного конвейера для большинства существующих конвейеров приводятся в движение регулируемые электроприводами постоянного тока. Использование таких приводов являлось типовым для ранее разработанных систем.

При модернизации таких электроприводов стремятся не только уйти от морально устаревшего и физически изношенного оборудования, но и решить ряд задач технико-экономического характера, а именно: снижение эксплуатационных расходов по обслуживанию системы; повышение технологической гибкости через совершенствование управления; обеспечение возможности интеграции в систему управления более высокого ур

конфиг

В таких случаях предлагается перейти к использованию асинхронных электроприводов с частотным регулированием, которые по функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам отвечают техническим требованиям и условиям поставленной задачи.

### **3.2 Преимущества и недостатки использования асинхронных электроприводов**

При принятии решения о переходе к асинхронному электроприводу необходимо правильно оценить затраты и, что более важно, соизмерить их с достигаемым при этом эффектом. Перечислим экономические предпосылки перехода к асинхронному электроприводу, наиболее значимые для рассматриваемого объекта автоматизации.

*Стоимость.* Асинхронная короткозамкнутая машина имеет более низкую стоимость по сравнению с машиной постоянного тока.

*Затраты на обслуживание.* Асинхронная короткозамкнутая машина практически не требует обслуживания в течение всего времени эксплуатации, в то время как машина постоянного тока нуждается в регулярном обслуживании коллекторного узла.

*Затраты на ремонт электрической машины.* Общий объем затрат на организацию и проведение ремонта двигателей постоянного тока зачастую оказывается соизмеримым (а для данного объекта автоматизации - даже большим) по сравнению со стоимостью новой асинхронной короткозамкнутой машины.

*Затраты на обеспечение требуемой степени защиты.* Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54. Ввиду наличия коллекторного узла изготовление машины постоянного тока, имеющей высокую степень защиты, вызывает ее существенное удорожание и осложняет обслуживание. Иногда прибегают к созданию локальных условий с целью установки машины в более благоприятной окружающей среде, но это требует еще больших затрат.

Перечисленные предпосылки относятся только к электрическим машинам без учета преобразователей, с которыми они используются в электроприводе. Тиристорные преобразователи приводов постоянного тока на ныне действующих системах часто являются морально устаревшими и давно отработавшими свой ресурс. Это приводит не только к дополнительным затратам на поддержание их работоспособности и снижению надежности технологического процесса в целом, но также к невозможности включения этих устройств в состав современных систем управления без значительной доработки.

Соответственно, приведенные преимущества асинхронной машины не учитывают тот факт, что машина будет работать совместно с преобразователем частоты. Между тем, незнание ряда особенностей такой работы (по существу - недостатков) может привести в лучшем случае к нерациональному использованию привода, а в худшем - к неправильному его выбору. Отметим те особенности, которые связаны с энергетическими показателями и которые надо учитывать для правильного выбора привода по мощности.

При работе асинхронных двигателей совместно с преобразователями частоты их КПД снижается в среднем на 2.. 3 %,  $\cos\varphi$  - на величину до 5%. Добавочные высокочастотные потери, вызванные несинусоидальностью напряжения, проявляются в дополнительном нагреве двигателя и снижении полезной мощности на его валу на величину до 25%.

Наличие добавочных потерь в обмотках и стали магнитопровода обусловлено высшими гармониками тока и магнитного потока. Поэтому при использовании асинхронных приводов с частотным регулированием принимают меры по улучшению гармонического состава тока (устанавливают дополнительные устройства, корректируют параметры настройки преобразователя и т.п.).

### 3.3 Особенности выбора частотно-регулируемого привода

Выбор частотно-регулируемого привода имеет ряд особенностей. Укажем те из них, которые наиболее характерны для рассматриваемого типа объектов автоматизации.

Поскольку диапазон изменения скорости приводов невелик, то он может обеспечиваться достаточно простым и широко распространенным методом управления - вольт-частотным. Диапазон регулирования современных асинхронных электроприводов при вольт-частотном методе управления, как правило, составляет 1:40, что является вполне достаточным. Помимо того, вольт-частотное управление при соблюдении закона  $U/f = \text{const}$  обеспечивает постоянство критического момента, необходимое для заданного типа нагрузки. Необходимо иметь в виду, что эффективность охлаждения асинхронного двигателя общего назначения с самовентиляцией (вентилятором, установленным на валу двигателя) зависит от скорости вращения вала: чем ниже скорость вращения, тем ниже эффективность охлаждения. Следовательно, продолжительная работа в нижней части диапазона скоростей с требуемым моментом может привести к недопустимому перегреву двигателя. Можно исключить такую ситуацию и обеспечить нормальную работу привода, если при выборе его мощности (как мощности двигателя, так и преобразователя) предусмотреть необходимый запас по моменту, то есть завязать расчетную мощность. Примечательно, что асинхронные двигатели допускают работу на частотах выше номинальной, при этом такие важные характеристики, как КПД и  $\cos\phi$ , претерпевают лишь незначительные изменения.

При выборе преобразователей частоты для электропривода ленточного конвейера следует обращать внимание на следующие, наиболее критичные для данного применения характеристики:

- высокая перегрузочная способность;
- хорошо организованная система защит и предупреждений;

- возможность настройки вольт-частотной характеристики.

Другие характеристики менее критичны, но полагается, что они должны соответствовать уровню современных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов.

### **3.4 Расчет ленточного конвейера**

#### **3.4.1 Данные для расчёта ленточного конвейера**

- часовая производительность,  $Q_{\text{ч}} = 600 \text{ т / ч}$
- насыпная плотность груза,  $\gamma = 0,85 \text{ т / м}^3$
- наибольший размер характерных кусков,  $a = 300 \text{ мм}$
- максимальная длина транспортирования,  $l = 234 \text{ м}$
- естественный угол откоса груза,  $\rho = 35 \text{ град}$
- угол наклона конвейера,  $\beta = 11 \text{ град}$
- скорость движения ленты,  $v_0 = 1,6 \text{ м / с}$ .

#### **3.4.2 Предварительный расчет конвейера**

Согласно [ 4 ], необходимая ширина ленты

$$e = 1.1 \cdot \left( \sqrt{\frac{Q_{\text{ч}}}{K_n \cdot c \cdot v_0 \cdot \gamma}} + 0.05 \right)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  - необходимая часовая производительность конвейера;

$K_n$  - коэффициент производительности  $K_n = 560 [ 1 , \text{табл. 14.20}]$ ;

$c$  - коэффициент снижения площади поперечного сечения насыпного груза на ленте  $c = 0,85$  [1, табл. 14.19];

$v_0$  - скорость движения ленты для предварительных расчетов;

$\gamma$  - насыпная плотность груза (принимается по данным для расчёта).

Полученная по приёмной способности ширина ленты должна быть проверена по кусковатости.

Необходимая по кусковатости ширина ленты для рядового материала:

$$B_k \geq 2a + 200,$$

где  $a$  - наибольший размер характерных кусков.

$$B_k > 2 \cdot 300 + 200 = 800 \text{ мм.}$$

Принимается стандартная ширина ленты  $B = 1200$  мм, согласно ГОСТ 22 644-77.

Уточняется скорость транспортирования:

$$V = \frac{Q}{K_n \cdot (0.9 \cdot B_k - 0.05)^2 \cdot \gamma \cdot c}$$

где  $B$  - принятая ширина ленты, м.

$$V = \frac{600}{560 \cdot (0.9 \cdot 1.2 - 0.05)^2 \cdot 0.85 \cdot 0.85} = 1.398 \text{ м/с}$$

Согласно ГОСТ 22 644-77 принимается стандартная скорость транспортирования полезного ископаемого  $V = 1,6$  м / с.

### 3.4.3 Тяговый расчет

Масса ленты на 1 м длины конвейера:

$$q_l = B \cdot m_l$$

где  $m_l$  - масса 1 м<sup>2</sup> ленты, кг (для ленты типа 2Ш-1200-4 ТК принимается  $m_l=45$  кг/м<sup>2</sup> согласно [4, табл.6]).

$$q_l = 1.2 \cdot 45 = 54 \text{ кг/м}$$

Масса груза на 1м длины конвейера:

$$q_z = \frac{Q}{3.6 \cdot V}$$

$$q_z = \frac{600}{3.6 \cdot 1.6} = 104.2 \text{ кг/м}$$

Масса вращающихся частей роlikоопор нагруженной ветви:

$$q'_p = \frac{G'_p}{l'_p}$$

где  $G'_p$  - массы вращающихся частей роlikоопор нагруженной ветви ленты, принимается  $G'_p = 25$  кг, согласно [1, табл. 7.11];

$l'_p$  - расстояние между роlikоопорами нагруженной ветви ленты, принимается  $l'_p = 1.2$  м, согласно [1, табл. 7.12]

$$q'_p = \frac{25}{1.2} = 20.8 \text{ кг/м}$$

Масса вращающихся роlikоопор порожней ветви ленты:

$$q''_p = \frac{G''_p}{l''_p}$$

где  $G''_p$  - массы вращающихся частей роlikоопор порожней ветви ленты, принимается  $G''_p = 21.5$  кг, согласно [1, табл. 7.11];

$l''_p$  - расстояние между роlikоопорами порожней ветви ленты, принимается  $l''_p = 1.2$  м, согласно [1, табл. 7.12]

$$q''_p = \frac{21.5}{2.4} = 9 \text{ кг/м}$$

Сопротивление грузовой ветви ленточного конвейера определяется по формуле:

$$W_{zp} = l \cdot g \cdot \{[(q_z + q_n) \cos \beta + q'_p] \cdot w' + (q_z + q_n) \sin \beta\}$$

где  $\beta$  - угол установки конвейера;

$w'$  - коэффициент сопротивления движению верхней ветви ленты, принимается  $w' = 0.04$ , согласно [4, табл.4].

$$W_{zp} = 600 \cdot 9.81 \cdot \{(72.9 + 37) \cos 11^\circ + 20.8\} \cdot 0.04 + (72.9 + 37) \sin 11^\circ = 153200 \text{ Н}.$$

Соппротивление движению порожней ветви определяется по формуле:

$$W_n = l \cdot g \cdot [(q_l \cdot \cos \beta + q_p) \cdot w'' - q_l \cdot \sin \beta],$$

где  $w''$  - коэффициент сопротивления движению нижней ветви ленты, принимается  $w'' = 0,035$ , согласно [4, табл.6].

$$W_n = 600 \cdot 9,81 \cdot [(37 \cdot \cos 11^\circ + 9) \cdot 0,035 - 37 \cdot \sin 11^\circ] = -32050H$$

Соппротивление движению в месте очистного устройства:

$$W_{oc} = P_{c.o.} \cdot B,$$

где  $P_{c.o.}$  - удельное сопротивление очистки, принимается  $P_{c.o.} = 500$  Н / м, согласно [4].

$$W_{oc} = 500 \cdot 1,2 = 600H.$$

Соппротивление движению в месте загрузки конвейера:

$$W_{заг} = 0,1 \cdot q_z \cdot (g_0^2 - g_1^2) \cdot g + f \cdot h \cdot r \cdot g \cdot k_\delta + k_9 \cdot l_\delta,$$

где  $f$  - коэффициент трения груза о стенки металлических бортов, принимается  $f = 0,35$ ;

$h_\delta$  - высота борта, принимается  $h_\delta = 1,5$  м согласно [4];

$k_\delta$  - коэффициент бокового трения, принимается  $k_\delta = 0,8$ ;

$k_9$  - удельное сопротивление трению уплотнительных резиновых полос о ленту, принимается  $k_9 = 70$  Н / м;

$(g_0^2 - g_1^2) = 2,5$  - рекомендуется принимать согласно [4].

$$W_{заг} = 0,1 \cdot 104,2 \cdot 2,5 \cdot 9,81 + 0,35 \cdot 1,5^2 \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 0,8 + 70 \cdot 5 = 390H.$$

Принципиальная схема ленточного конвейера приведена на рисунке 9.



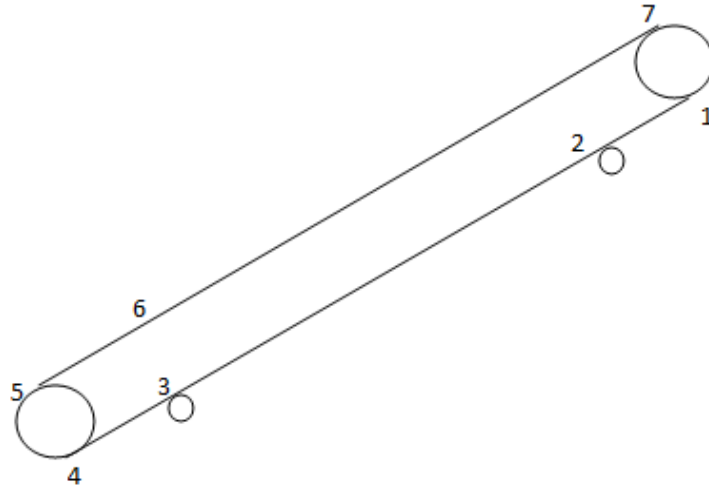


Рисунок 9 - Принципиальная схема ленточного конвейера

Определяется натяжение ленты в каждой точке контура по формулам:

Натяжение в точке 2:

$$S_2 = S_1 \cdot W_{нов} = S_1 + S_{наб} (k_n - 1) = S_1 + S_1 (1.03 - 1) = 1.03 \cdot S_1$$

Сопротивление на участке 2-3:

$$W_{2-3} = q_k \cdot L_{2-3} (w \cdot \cos 12^\circ - \sin 12^\circ) = 63 \cdot 234 (0.04 \cdot \cos 12^\circ - \sin 12^\circ) = 2223H$$

Натяжение в т. 3:

$$S_3 = S_2 \cdot W_{2-3} = 1.03 \cdot S_1 \cdot W_{2-3}$$

Натяжение в т. 4:

$$S_4 = S_3 \cdot W_{нов} = 1.03 \cdot S_3$$

Натяжение в т. 5:

$$S_5 = S_4 \cdot W_{нов} = 1.03 \cdot S_4$$

Сопротивление на погрузочном органе:

$$W_{номп} = \frac{Q \cdot V}{3.6} = \frac{600 \cdot 1.6}{3.6} = 266H.$$

Сопротивление от направляющих бортов загрузочного лотка:

$$W_n = 50 \cdot l = 50 \cdot 2 = 100H.$$

Сопротивление на участке 5-6:

$$W_{5-6} = W_{нозр} + W_{л} = 2666 + 100 = 2766H.$$

Натяжение в т. 6:

$$S_6 = S_5 \cdot W_{5-6} = 1.113 \cdot S_1 \cdot W_{5-6}$$

Сопротивление на участке 6-7:

$$W_{6-7} = (q + q_k) \cdot (L_z \cdot \omega + H) = (104,16 + 63) \cdot (0,04 \cdot 231,4 + 48,7) = 58233H.$$

Натяжение в т. 7:

$$S_7 = S_6 \cdot W_{6-7} = 1.113 \cdot S_1 \cdot W_{5-6}$$

Подставив это соотношение в полученное выше выражение

$$S_1 = 22766,3$$

$$S_2 = 1,03 \cdot 22766,3 = 23450$$

$$S_3 = 23450 + 2223 = 25670$$

$$S_4 = 1,03 \cdot 25670 = 26440$$

$$S_5 = 1,03 \cdot 26440 = 27230$$

$$S_6 = 1,113 \cdot 22766,3 + 2766 = 28100$$

$$S_7 = 28100 + 58233 = 86330$$

$$W_0 = S_7 - S_1 = 63810 H.$$

Мощность на приводном валу конвейера:

$$P_0 = \frac{W_0 \cdot g}{1020 \cdot \eta_{бар}} = \frac{63810 \cdot 1,6}{1020 \cdot 0,91} = 110кВт$$

Мощность двигателя для привода конвейера:

$$P = \frac{k \cdot N_0}{\eta} = \frac{1,1 \cdot 110}{0,96} = 126кВт$$

Выбираю двигатель ВАО2-280S4, паспортные данные которого сведены в таблице 1

Таблица 1 - Паспортные данные электродвигателя ВАО2-280S4 [10]

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{II}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{max}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{min}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{II}}{I_{НОМ}}$
			S,%	$\eta$ ,%	cos $\phi$				
132	1500	3.1	2	93.9	0.88	2	2.6	1	6.5

### **3.5 Выбор аппаратов контроля, защиты и сигнализации**

#### **3.5.1 Контроль скорости движения ленточного полотна конвейеров**

Для контроля скорости движения ленточного полотна конвейера используется устройство контроля скорости «УКС» производства Днепропетровского завода шахтной автоматики. Устройство контроля скорости предназначено для контроля скорости ленты ленточного конвейера либо для контроля движения цепи одноцепного скребкового конвейера. [19]

Устройство выпускается в двух модификациях:

- УКС-1 - для контроля скорости ленты ленточного конвейера в пределах номинальных скоростей от 0,6 до 5,0 м/с, состоит из аппарата контроля скорости КС и датчика бесконтактного контроля вращения БКВ;
- УКС-2 - для контроля скорости движения цепи одноцепного скребкового конвейера в пределах номинальных скоростей от 0,4 до 1,6 м/с, состоит из аппарата КС и магнитоиндукционного датчика ДМ-3.

Устройство УКС-2 может быть применено для контроля работы механизмов, имеющих движущиеся металлические узлы с воздушными зазорами, например: грохотов, качающихся питателей и т. д. Выбор вида исполнения устройства контроля скорости (УКС-1 или УКС-2) зависит от типа конвейера (скребковый или ленточный) и от скорости движения ленточного полотна. Конвейер, контроль скорости которого необходимо осуществлять является ленточным конвейером. Скорость движения ленточного полотна составляет 1,6 м/с. Выбираем модификацию УКС-1.

Аппарат КС устанавливается вне взрывобезопасного помещения и предназначен для работы в условиях умеренного и холодного климата.

Основные технические характеристики аппарата КС приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные технические характеристики аппарата КС[19]

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение питания, В	220, 380
Потребляемая мощность, В·А, не более	10
Количество контактов выходного реле, шт	2н.з. + 1н.о.
Количество контактов реле аварийного отключения,шт	1 н.з.
Чувствительность, В, не менее	2
Контролируемая величина снижения скорости ленты, %	25
Степень защиты	IP30
Уровень взрывозащиты цепи подсоединения датчика	Иа

Датчик бесконтактного контроля вращения БКВ предназначен для выработки сигнала, используемого для контроля скорости ленты ленточного конвейера в устройствах УКПС и УКС. Датчик предназначен для работы на поверхности и в шахтах, опасных по газу или пыли, в условиях умеренного и холодного климата.

Основные технические характеристики датчика БКВ приведены в таблице 3.

Таблица 3 Основные технические характеристики датчика БКВ

Наименование параметра	Значение параметра
Амплитуда напряжения, вырабатываемого датчиком при частоте 15 Гц и нагрузке 1 кОм, В, не менее	2
Масса, кг, не более	10

Наработка на отказ, ч, не менее	10000
Срок службы, лет, не менее	5

### **3.5.2 Контроль схода и обрыва ленты**

Для контроля схода ленты в шахтах на территории России обычно используют датчик контроля схода ленты КСЛ-2 Днепропетровского завода шахтной автоматики. Датчик КСЛ-2 предназначен для контроля аварийного схода в сторону конвейерной ленты и выдачи сигнала (путем замыкания или размыкания своего контакта) в систему дистанционного или автоматизированного управления. Датчик может применяться на всех ленточных конвейерах, работающих в шахтах, опасных по газу или пыли, а также на поверхности шахт в закрытых помещениях. [20]

Датчик состоит из корпуса, гибкого привода и исполнительного устройства. Принцип работы датчика основан на преобразовании механического перемещения свободного конца гибкого привода в выходной сигнал с помощью магнитоуправляемого контакта, коммутирующего электрическую цепь внешнего источника. Количество контактов - один, перестраиваемый на замыкание или размыкание.

### **3.5.3 Контроль экстренного останова**

Для контроля экстренного останова конвейера и как следствие, всей технологической цепочки, используется выключатель кабель тросовый КТВ-2М Новомосковского завода шахтной автоматики. За долгие годы эксплуатации выключатель КТВ-2М зарекомендовал себя как надежное устройство, способное длительно выполнять возложенные на него функции. Выключатель кабель -

тросовый КТВ-2М предназначен для экстренного прекращения пуска и экстренной остановки конвейерных приводов грузозахватных и транспортных канатных дорог из любого места технологической линии в шахтах, в том числе опасных по газу и пыли.

Выключатели кабель - тросовые КТВ-2М могут быть включены в схемы аппаратуры автоматического управления конвейерами в соответствии с паспортами этой аппаратуры. Выключатель работает в режиме дистанционного управления без фиксации и с фиксацией отключенного положения, и местного управления с фиксацией отключенного положения. [21]

Основные технические характеристики выключателя КТВ-2М приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Основные технические характеристики выключателя КТВ-2М

Наименование параметра	Значение параметра
Количество разрываемых цепей	1
Коммутируемое напряжение, В	30
Максимальная коммутируемая мощность, В·А	6
Ход штока выключателя, мм	15

#### **3.5.4 Контроль заштыбовки**

Для контроля места перегрузки угля от его завала применяется датчик Turck BC20, установленный в разгрузочный желоб места перегрузки.

#### **3.5.5 Сигнализатор звуковой СЗВ**

Для предупредительной сигнализации запуска ленточного конвейера в работу используется сигнализатор звуковой взрывобезопасный СЗВ. Сигнализатор СЗВ предназначен для подачи звуковых сигналов в устройствах автоматизации

конвейерных линий. Сигнализатор рассчитан для работы в рудниках и шахтах, в том числе опасных по газу или пыли.

Основные технические характеристики сигнализатора СЗВ приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Основные технические характеристики сигнализатора СЗВ

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания, В	36
Потребляемая мощность, В·А, не более	10
Уровень звукового давления, дБ, не менее	96
Режим работы	Повторно - кратковременный

### 3.5.6 Выбор преобразователя частоты

Преобразователи частоты (ПЧ) для электроприводов преобразуют переменное напряжение питающей сети в переменное трехфазное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током. В настоящее время ПЧ в большинстве случаев выполняется на базе полностью управляемых силовых полупроводниковых ключей: силовых транзисторов, запираемых тиристоров, которые можно как открыть, так и закрыть сигналами, подаваемыми на их управляющие входы.

На рисунке 10 представлена функциональная схема электропривода переменного тока с асинхронным двигателем (АД). Напряжение питающей сети поступает на преобразователь частоты (ПЧ), и далее - подаётся на статорные обмотки АД. Микропроцессорная система управления формирует на выходе ПЧ трёхфазное напряжение требуемой частоты и амплитуды, в зависимости от применяемого закона управления АД.

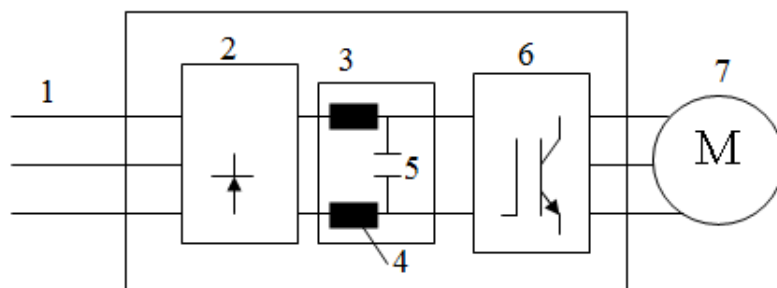


Рисунок 10 - Функциональная схема электропривода по системе преобразователь частоты - асинхронный двигатель [ 1 1 ]

На функциональной схеме приведены следующие обозначения: 1 трехфазное напряжение питания; 2 мостовой выпрямитель; 3 промежуточная цепь; 4 катушка промежуточной цепи (выравнивают напряжение промежуточной цепи и уменьшают обратную связь по синусоидальному току к питанию сети от сети переменного тока); 5 конденсатор промежуточной цепи (выравнивает напряжение промежуточной цепи); 6 инвертор (преобразует постоянный ток в регулируемый переменный ток с переменной частотой); 7 электродвигатель.

Функции управления ПЧ выполняет микроконтроллер, по своим параметрам и архитектуре идентичный с 8xC196МН. Функциональная схема микропроцессорной системы управления показана на рисунке 11.

Система управления преобразователем обеспечивает следующие функции:

- прямое цифровое управление, всеми элементами преобразователя, включая управление силовыми ключами инвертора в режиме ШИМ-модуляции на несущей частоте до 15 кГц;
- сопряжение с внутренними и внешними датчиками аналоговых сигналов в любом удобном для пользователя стандарте (0... 10 В, ± 10 В, 4...20 мА, внешний резистор 2 кОм);
- сопряжение с внешней коммутационной аппаратурой рабочих станций и станций группового управления двигателями, с дискретными датчиками



технологических переменных через порты ввода/вывода дискретных сигналов, в том числе гальванически развязанные;

- оперативное наблюдение за параметрами привода и технологическими переменными с помощью встроенного пульта управления с отображением текстовой информации на дисплее;

- оперативное управление преобразователем со встроенного пульта, от кнопочной станции, от внешнего контроллера через один из портов дискретных входов или по последовательному каналу линии RS-485.

- просмотр и модификация текущей установленной конфигурации системы управления, а также параметров привода и технологического процесса с пульта управления, с портативного компьютера по интерфейсу RS-232 в реальном времени, с удалённого компьютера или контроллера по интерфейсу RS-485 в реальном времени;

- автоматическое сохранение текущей конфигурации системы управления и заданных параметров в энергонезависимой памяти, возможность быстрого восстановления заводских уставок;

- мониторинг питания, возможность самозапуска привода после восстановления напряжения питания;

- мониторинг всех аварийных ситуаций в приводе с записью кода идентифицированных аварий, а также даты и времени аварии в энергонезависимую память, просмотр листинга аварийных ситуаций с пульта управления или с компьютера по последовательному каналу связи.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функции согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

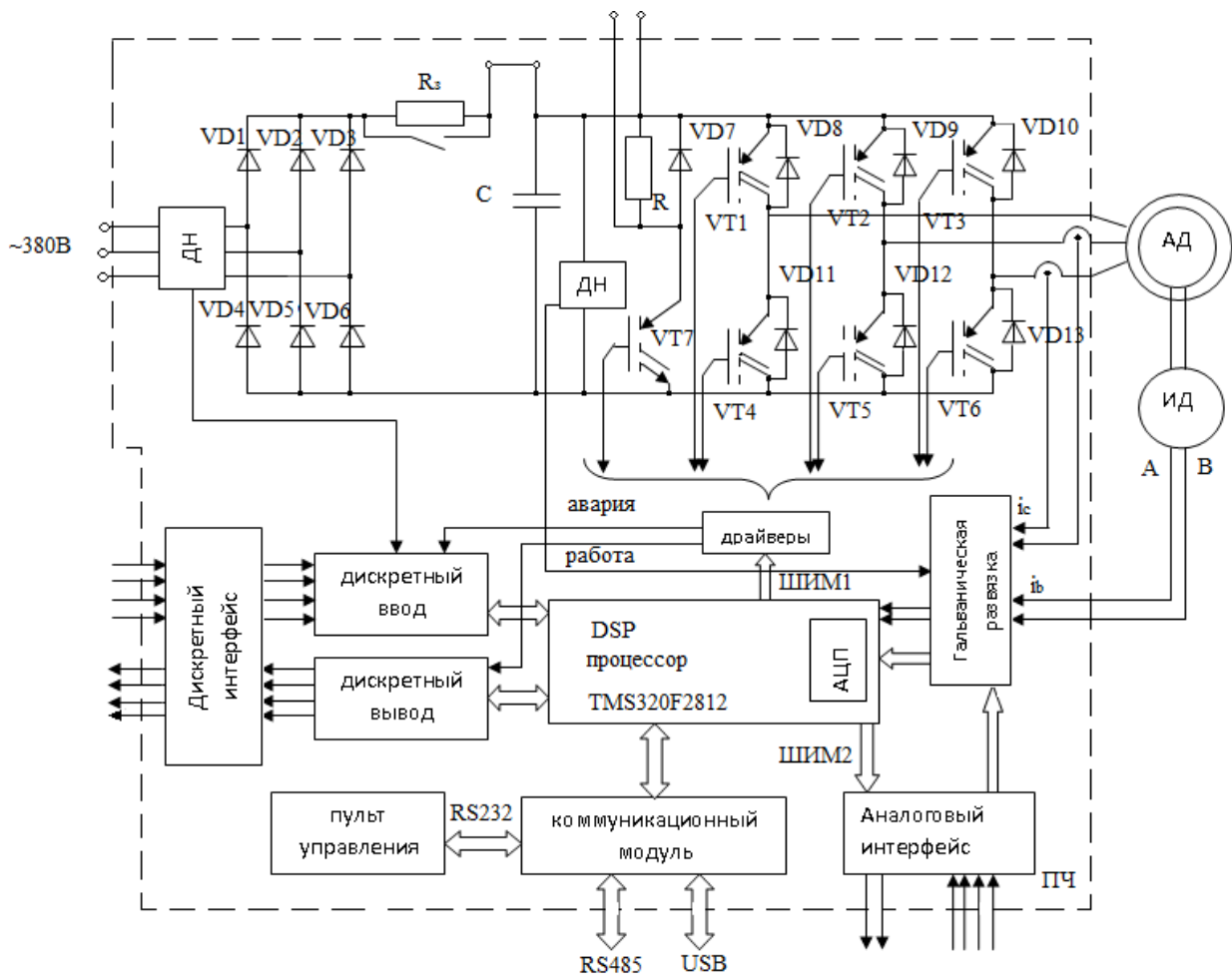


Рисунок 11- Функциональная схема преобразователя частоты

Однако сохранились ПЧ на полупроводниковых ключевых элементах, которые открываются по цепи управления, а закрываются либо в моменты окончания протекания в них силового тока, либо путем подачи в силовую цепь отрицательного импульса тока от узлов коммутации.

Для двигателя ВАО2 - 280S4 выбран преобразователь частоты ACS800-02-0210-3 фирмы «ABB» со следующими паспортными данными приведенными в таблице 6.

Таблица 6 - Паспортные данные преобразователя частоты ACS800-02-0210-3

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Уровень шума	Рассеиваемая мощность
$I_{cont,max}$	$I_{max}$	$P_{cont,max}$	$I_n$	$P_n$	$I_{hd}$	$P_{hd}$	дБА	Вт
А	А	кВт	А	кВт	А	кВт		
$U_n=400В$ (диапазон 380-415В) Значения номинальной мощности действительны при номинальном напряжении 400В.								
289	432	160	284	160	240*	132	71	4300

Примечание: \* - Если  $T_{amb} < 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то допускается перегрузка, равная 50 %. Если  $T_{amb} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то максимально допустимая перегрузка составляет 37 %.

### 3.6 Расчет и построение по каталожным данным электродвигателя

#### электромеханических и механических характеристик

##### 3.6.1 Определение параметров схемы замещения

##### асинхронного двигателя

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 12. [9]

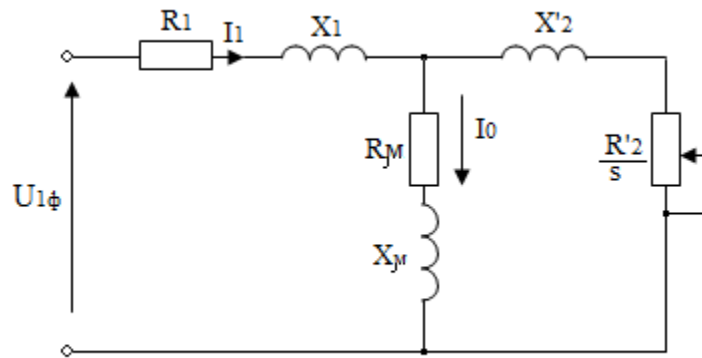


Рисунок 12 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$U_{1\phi} - E_1 - j \cdot X_1 \cdot I_1 = 0;$$

$$E_1 + j \cdot X_2 \cdot I_2 + R_2 \cdot I_2 / s = 0;$$

$$I_1 + I_2 - I_0 = 0.$$

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным:

$P_n = 132$  кВт.-номинальная мощность двигателя;

$U_n = 220$  В, - номинальное фазное напряжение;

$n_n = 1500$  об/мин - номинальная частота вращения; н

$s_n = 0,2\%$  - номинальное скольжение;

$\eta_n = 93,9\%$  - коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка);

$\cos \varphi_n = 0,88$  - коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$k_i = \frac{I_{II}}{I_n} = 6,5 \text{ o.e.}$   
- кратность пускового тока;

$k_{II} = \frac{M_{II}}{M_n} = 2 \text{ o.e.}$   
- кратность пускового момента;

$$k_{\max} = \frac{M_K}{M_H} = 2.60.e. \quad - \text{ кратность максимального момента};$$

$$k_{\min} = \frac{M_{\min}}{M_H} = 1.0.e. \quad - \text{ кратность минимального момента}.$$

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют  $0,02P_H$ ;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения:

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

$$I_0 = \sqrt{\frac{183.361^2 - \left[ \frac{0.75 \cdot 242.037 \cdot (1 - 0.02)}{1 - 0.75 \cdot 0.02} \right]^2}{1 - \left[ \frac{0.75 \cdot (1 - 0.02)}{1 - 0.75 \cdot 0.02} \right]^2}} = 47.566A$$

где  $I_{1H}$  - номинальный ток статора двигателя;

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{132000}{3 \cdot 220 \cdot 0.88 \cdot 0.939} = 242.037A$$

$I_{11}$ - ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0.75 \cdot 132000}{3 \cdot 220 \cdot 0.88 \cdot 0.939} = 183.361A$$

$\cos \varphi_{p^*}$  - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p^*}$  - КПД при частичной нагрузке;

$p^* = P/P_H$  - коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин

такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

- современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10-15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $p^* = 0,75$  равны между собой, т.е.  $\eta_n = \eta_{0,75} = 93,8\%$ ;

- коэффициент мощности при той же нагрузке  $p^* = 0,75$  значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рисунке 13.

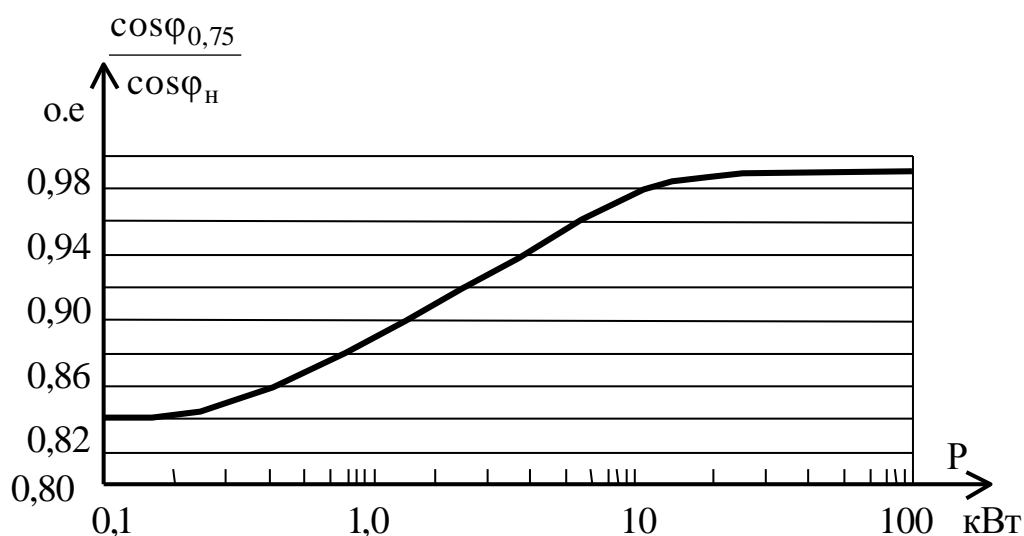


Рисунок 13 - Зависимость  $\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_n$  от мощности асинхронного двигателя

Согласно зависимости, приведенной на рисунке 20, для мощности двигателя  $P = 132000$  Вт отношение  $\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_n = 0,98$ , следовательно, коэффициент мощности при частичной нагрузке составит  $\cos\varphi_{p^*} = 0,98 \cdot \cos\varphi_n = 0,861$ .

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения:

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

$$= 0.027 \cdot \frac{2.6 + \sqrt{2.6^2 - [1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot (2.6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot (2.6 - 1)} = 0.107$$

где  $c_1 = 1 + \left( \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \left( \frac{45.764}{2 \cdot 6 \cdot 242.037} \right) = 1.015.$

Значение коэффициента  $\beta$  находится в диапазоне 0,6 - 2,5, поэтому в первом приближении принимаем  $\beta=1$ . Определим коэффициент  $A_1$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 (1 - s_n)}{(2 \cdot c_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.02)}{(2 \cdot 1.015 \cdot 2.6 \cdot 132000)} = 0.204.$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k)} c_1 = 0.204 / (1 + 1/0.107) \cdot 1.015 = 0.019 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.015 \cdot 0.019 \cdot 1 = 0.02 \text{ Ом}.$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{KH}$ :

$$\gamma = \sqrt{\left( \frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{0.107^2} \right) - 1} = 9.281,$$

тогда  $X_{KH} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 9.281 \cdot 1.015 \cdot 0.02 = 0.183 \text{ Ом}.$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления  $X_{KH}$  сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной, рассчитаем по следующему выражению

$$X_{KH}' = 0.58 \cdot X_{KH} / c_1 = 0.58 \cdot 0.183 / 1.015 = 0.105 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению

$$X_{1H} = 0.42 \cdot X_{KH} = 0.42 \cdot 0.183 = 0.0770 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям  $C_1 R'_2$ ,  $R_1$  и  $X_k$  определим критическое скольжение

$$S_K = \frac{c_1 \cdot R'_2}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1.015 \cdot 0.019}{\pm \sqrt{0.02^2 + 0.183^2}} = \pm 0.107.$$

Данное значение критического скольжения совпадает со значением, посчитанным ранее с абсолютной погрешностью меньше 0,01.

Согласно векторной диаграмме (рисунок 3) э.д.с. ветви намагничивания наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1j} \cdot \sin \varphi_{1H} + X_1 \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.88 - 0.02 \cdot 242.037)^2 + (220 \cdot \sin(a \cos(0,88)) + 0,077 \cdot 242,037)^2} = 207,418 \text{ В,} \end{aligned}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = E_1 / I_0 = 207.418 / 47.566 = 4.361 \text{ Ом.}$$

Используя параметры схемы замещения можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

### 3.6.2 Расчет и построение электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения  $s$



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

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0.002 + \frac{0.019}{s}\right)^2 + 0.183^2 \cdot 1 + \left(\frac{0.02 \cdot 0.019}{s \cdot 4.361 \cdot 1}\right)^2}}$$

где  $U_{1j}=220\text{В}$ - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;  
 $f_{1*}=f_{1j}/f_{1H}=1$  - относительное значение частоты питающего напряжения.

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика  $I_1 = f(\omega)$ , отражающая зависимость тока статора  $I_1$ , от скорости  $\omega$  (скольжения  $s$ ). Ток статора  $I_1$ , определяется путем сложения вектора тока намагничивания  $I_0$  и вектора тока ротора  $I_2$  (рисунок 3). Обычно это производится с помощью круговой диаграммы.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя  $I_0$  реактивным ( $I_{0A}=0$ ), ток статора  $I_1$  через приведенный ток ротора  $I_2'$  можно найти по формуле

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \sqrt{47.566^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 47.566 \cdot I_2' \cdot 0.673},$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_{KH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{0.218 \cdot 1}{\sqrt{\left(0.02 + \frac{0.019}{s}\right)^2 + 0.182^2}}$$

где

Вид электромеханических характеристик представлен на рисунке 14.

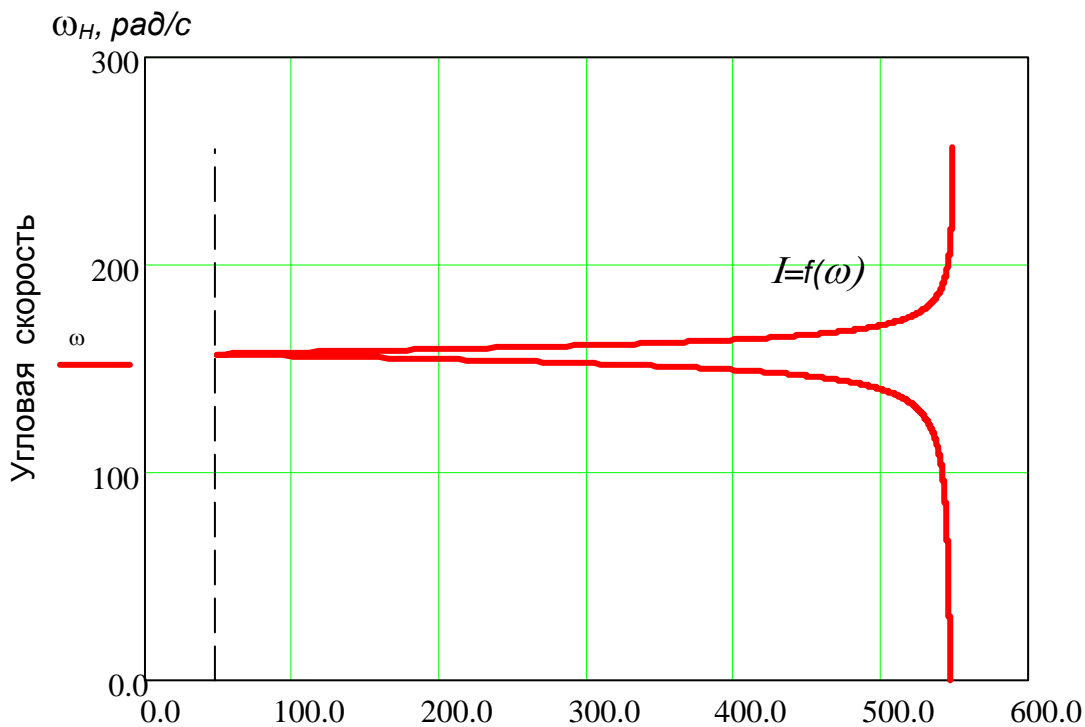


Рисунок 14 – Электромеханическая характеристика  $I_1=f(\omega)$  асинхронного двигателя

### 3.6.3 Расчет построение механической характеристики

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

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.014}{104.72 \cdot s_j \cdot \left[ 0.218^2 + \left( 0.014 + \frac{0.014}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{0.014 \cdot 0.014}{s_j \cdot 4.518 \cdot 1} \right)^2 \right]}$$

Вид механической характеристики приведен на рисунке 15.

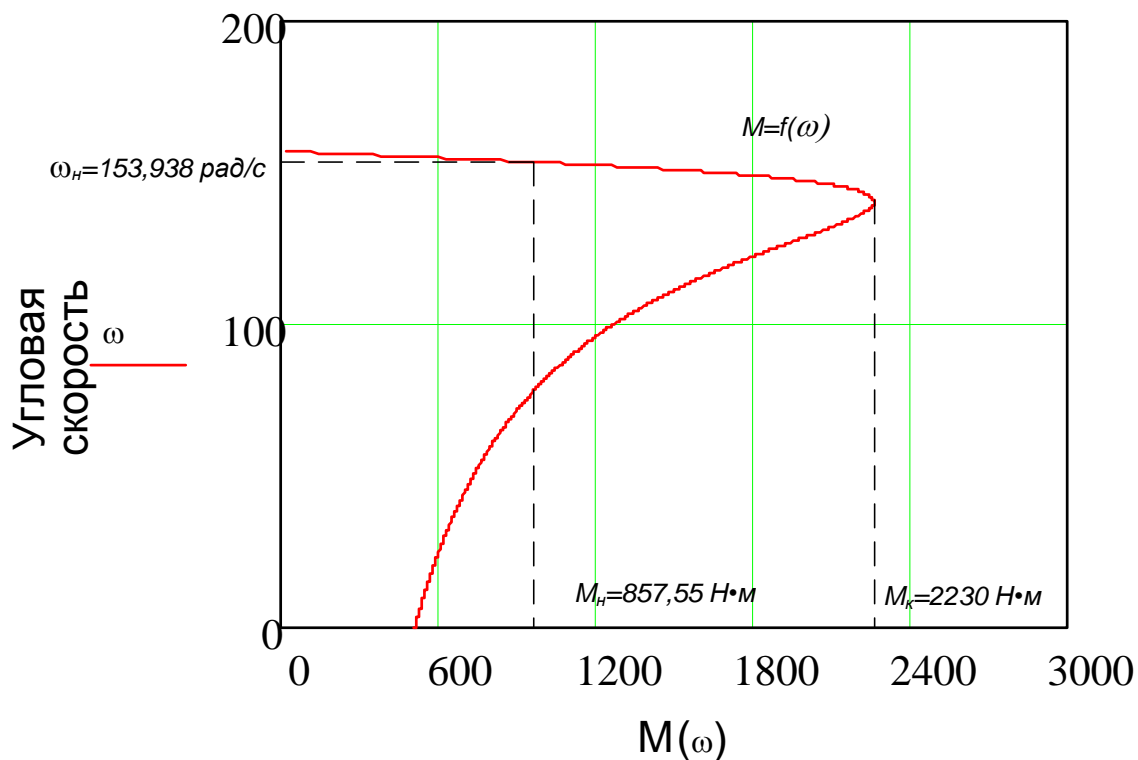


Рисунок 15 – Механическая характеристика  $M=f(\omega)$  асинхронного двигателя

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = 9.55 \cdot \frac{P_H}{n_0(1-s_H)} = 9.55 \cdot \frac{132000}{1500(1-0.02)} = 857.55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка двигателя на нагрев не требуется, так как нагрузка двигателя меньше номинальной и режим работы продолжительный.

### 3.6.4 Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик

Рассчитаем и построим механическую и электромеханическую характеристики при питании двигателя от статического преобразователя частоты

при следующих законах управления  $\frac{U}{f} = const, \frac{E}{f} = const.$

Синхронная частота вращения

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 1500}{30} = 157.075 \text{ рад/с}$$

**Закон управления**  $\frac{U}{f} = const$

При  $f=50$ Гц:

$$f_{1*} = \frac{f}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1 \text{Гц.}$$

Относительная частота

Регулируемая синхронная скорость  $\omega_{0j} = \omega_0 \cdot f_{1*} = 157.075 \cdot 1 = 157.075 \text{ рад/с}$ .

Регулируемое напряжение  $U_{1j} = U_\phi \cdot f_{1*} = 220 \cdot 1 = 220 \text{В.}$

Ток короткого замыкания

$$I'_{2K3} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left[ (R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1015 \text{А.}$$

Для частот  $f=25; 10; 5$  Гц расчеты аналогичны, результаты сведем в таблицу 7.

Таблица 7

	50	25	10	5
$f_{1*}, \text{Гц}$	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}, \text{рад/с}$	157,08	78,54	31,416	15,708
$U_{1j}, \text{В}$	220	110	44	22
$I_{2\text{кз}}, \text{А}$	1182	1111	824,564	510,644

$$s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$$

Относительное скольжение

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j X_\mu \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 16.

Критический момент

$$M_{\text{кр}} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[ R_1 + \sqrt{\left( R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)} \right]} = 3021 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическое скольжение

$$s_{\text{кр}} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left( \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)^2 + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0,104.$$

При  $f=50$  Гц  $M_{\text{кр}}=2276$  Н·м  $s_{\text{кр}}=0,104$

При  $f=25$  Гц  $M_{\text{кр}}=2042$  Н·м  $s_{\text{кр}}=0,204$

При  $f=10$  Гц  $M_{кр}=1502$  Н·м  $S_{кр}=0,457$

При  $f=5$  Гц  $M_{кр}=981,912$  Н·м  $S_{кр}=0,703$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H}} \cdot f_{1*} \right)^2 \right]}$$

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 17.

**Закон управления**  $\frac{E}{f} = const$

Третий класс законов регулирования в ЭП переменного тока получил широкое применение. Однако, при регулировании скорости при помощи данного закона, необходимо повышать фазное напряжение на двигателе на величину, определенную уравнением  $U_{1j}=E_{1j}+I_1 \cdot R_1$ , то есть на величину падения напряжения  $R_1$ .

Данный способ регулирования получил название частотного регулирования скорости с IR-компенсацией. Сравним механические и электромеханические характеристики асинхронного двигателя при законе регулирования скорости  $\frac{U}{f} = const, \frac{E}{f} = const.$  при полной ( $K_M=1$ ) и при частичной ( $K_M=0,5$ ) IR-компенсациях.

При  $f=50$  Гц:

Относительная частота  $f_{1*} = \frac{f}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1 \text{Гц}$

Регулируемая синхронная скорость  $\omega_{0j} = \omega_0 \cdot f_{1*} = 157.08 \cdot 1 = 157.08 \text{ рад/с}$

Регулируемая ЭДС  $E_{1j} = E_1 \cdot f_{1*} = 207.418 \cdot 1 = 207.418 \text{ В}$ .

$R_{1\text{эКВ}} = R_1 \cdot (1 - K_M)$  – эквивалентное сопротивление обмотки статора

$$\underline{1.Км = 0.5}$$

Ток короткого замыкания

$$I'_{2кз} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left[ (R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1018 \text{ А.}$$

Для частот  $f$  — 25, 10, 5 Гц расчеты аналогичны, результаты сведем в таблицу 8.

Таблица 8

	50	25	10	5
$f_{1*}, \text{Гц}$	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}, \text{рад/с}$	157,08	78,54	31,416	15,708
$E_{1j}, \text{В}$	207,418	103,709	41,483	20,74
$I_{2кз}, \text{А}$	1194	1152	945,364	642,392

$$\text{Относительное скольжение } s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}.$$

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left( X_1 + X_2' \right)^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j X_\mu \cdot f_{1*}} \right)^2}}.$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 16.

Критический момент

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[ R_1 + \sqrt{\left( R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)} \right]} = 2404 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Критическое скольжение

$$S_{кр} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_{\mu} \cdot f_{1*}}\right)^2 + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0.104.$$

При  $f=50$  Гц     $M_{кр}=2404$  Н·м     $S_{кр}=0,104$

При  $f=25$  Гц     $M_{кр}=2276$  Н·м     $S_{кр}=0,208$

При  $f=10$  Гц     $M_{кр}=1936$  Н·м     $S_{кр}=0,503$

При  $f=5$  Гц     $M_{кр}=1502$  Н·м     $S_{кр}=0,915$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 17.

### ***I.Км = I***

Ток короткого замыкания

$$I_{2КЗ}' = \frac{E_{1j} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left[ (R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1202 \text{ A.}$$

Для частот  $f$  — 25, 10, 5 Гц расчеты аналогичны, результаты сведем в таблицу 9.



Таблица 9

	50	25	10	5
$f_{1*}, \text{Гц}$	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}, \text{рад/с}$	157,08	78,54	31,416	15,708
$E_{1j}, \text{В}$	207,418	103,709	41,483	20,74
$I_{2кз}, \text{А}$	1202	1183	1072	836,17

$$s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$$

Относительное скольжение

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j(\omega) \cdot X_\mu \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 16.

Критический момент

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2} \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right) \right]} = 2539 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критическое скольжение

$$S_{кр} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_\mu \cdot f_{1*}}\right)^2 + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0,104$$

При  $f=50$  Гц  $M_{кр}=2539$  Н·м  $S_{кр}=0,104$

При  $f=25$  Гц  $M_{кр}=2539$  Н·м  $S_{кр}=0,209$

При  $f=10$  Гц  $M_{кр}=2539$  Н·м  $S_{кр}=0,522$

При  $f=5$  Гц  $M_{кр}=2539$  Н·м  $S_{кр}=1,044$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 17.

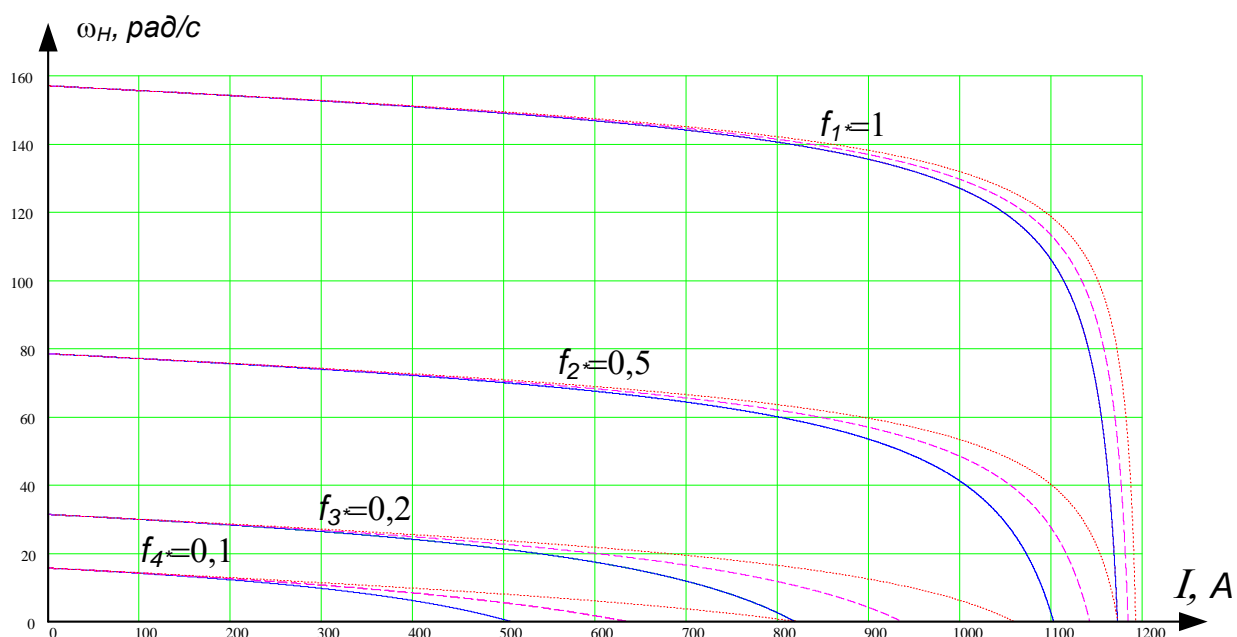


Рисунок 16 - Электромеханические характеристики асинхронного двигателя:

- при законе управления  $\frac{U}{f} = const$
- - - при законе управления  $\frac{E}{f} = const$  и при  $K_M = 0.5$
- при законе управления  $\frac{E}{f} = const$  и при  $K_M = 1$ .

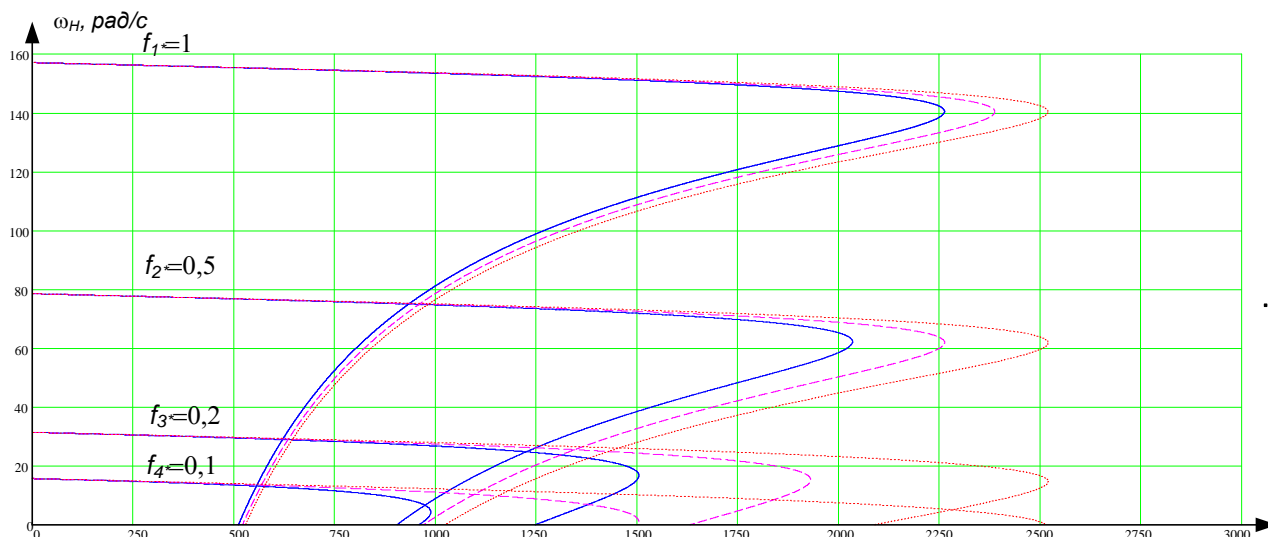


Рисунок 17 -Механические характеристики асинхронного двигателя.

- - при законе управления  $\frac{U}{f} = const$
- - - - при законе управления  $\frac{E}{f} = const$  и при  $K_M = 0.5$
- - при законе управления  $\frac{E}{f} = const$  и при  $K_M = 1$ .

При законе регулирования частоты  $\frac{U}{f} = const$  критический моментуменьшается с уменьшением частоты, так как учитывается влияние активного сопротивления статора  $R_1$ , что приводит к снижению потока  $\Phi_1$ , а соответственно к уменьшению критического момента. При снижении частоты, критическое скольжение увеличивается (критическое скольжение обратно пропорционально частоте питающей сети). В электромеханических характеристиках также влияние сопротивления статора  $R_1$  приводит к тому, что при низких частотах ток короткого замыкания  $I_2'$  уменьшается.

При законе управления  $\frac{E}{f} = const$ , при неполной IR-компенсации, механические и электромеханические характеристики ведут себя

точно также, как и при законе регулирования  $U/f$ , однако из-за меньшего влияния активного сопротивления характеристики более приемлемы для устойчивой работы на заданных скоростях.

Естественно, что наиболее лучшие характеристики можно получить при

законе регулирования  $\frac{E}{f} = const$ , при  $K_M = 1$ .

## **4 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ**

### **4.1 Математическая модель асинхронного двигателя**

Математическая модель асинхронного электродвигателя с одной стороны должна быть простой и иметь как можно меньший порядок, а с другой стороны должна для решения задачи управления описывать процессы в реальном двигателе с достаточной для практики точностью. В силу этих двух взаимно противоречивых требований при построении математической модели АД следует принять ряд допущений, позволяющих получить наименьший порядок модели, но не приводящих при этом к значительной потере точности описания процессов в двигателе. Исходя из данных соображений, при получении модели АД были приняты следующие основные допущения:

1. считается, что машина симметричная с идеальными обмотками, обеспечивающими синусоидальное распределение магнитодвижущей силы и магнитного потока вдоль воздушного зазора, который принимается одинаковым по окружности ротора;

2. не учитывается влияние насыщения магнитной цепи, что позволяет принять значения индуктивностей постоянными;

3. не учитываются потери энергии в стали ротора;

4. предполагается, что отсутствуют напряжения и токи нулевой последовательности, т.е. мгновенные значения напряжений и токов фаз:

$$u_A + u_B + u_C = 0; \quad i_A + i_B + i_C = 0.$$

При этом не накладывается никаких ограничений на их гармонический состав.

5. отсутствует влияние на процессы в двигателе температурных и климатических изменений окружающей среды, а также ряда вредных технологических факторов (эксцентricность статора и ротора, конусность ротора, эллиптичность зазора и пр.).

При моделировании динамических процессов трехфазный асинхронный двигатель чаще всего сводят к двухфазной машине, у которой две обмотки  $a$  и  $b$  сдвинуты в пространстве на 90 градусов и совмещены с координатными осями  $a, jb$  (рисунок 24). Установлено, что при питании обмоток статора двухфазного асинхронного двигателя синусоидальными напряжениями, сдвинутыми на 90 эл. градусов, удастся обеспечить в зазоре электрической машины круговое вращающееся электромагнитное поле.

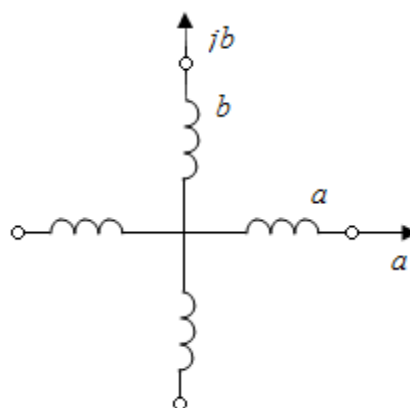


Рисунок 18 – Обмотки двухфазной электрической машины переменного тока

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:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1a}}{dt} &= U_{1a} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2a} \right) \\ \frac{d\psi_{1b}}{dt} &= U_{1b} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1b} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2b} \right) \\ \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2a} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1a} \right) - \omega \cdot \psi_{2b} \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2b} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1b} \right) + \omega \cdot \psi_{2a} \\ M &= \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X_1} (\psi_{1b} \cdot i_{2a} - \psi_{1a} \cdot i_{2b}) \end{aligned} \right\}$$

В 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  $a$  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;

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

$X'_2 = X'_{2\sigma} + X_m$ - эквивалентное индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, равное индуктивному сопротивлению рассеяния обмотки ротора и индуктивному сопротивлению от главного поля;

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

$$y = 1 - \frac{X_m^2}{X_1 \cdot X'_2} \text{ — коэффициент рассеяния;}$$

$\omega$ - скорость вращения ротора.

При исследовании асинхронных электроприводов применяют вращающуюся с относительной скоростью  $\omega_{кс}$  систему координат, с вещественной осью  $x$ , и мнимой осью  $y$ .

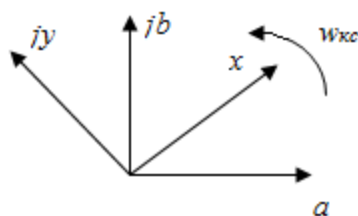


Рисунок 19 - Вращающаяся система координат

Во вращающейся системе координат дифференциальные уравнения, описывающие динамическую модель асинхронного двигателя, имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1a}}{dt} &= U_{1x} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1x} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2x} \right) + \omega_{kc} \cdot \psi_{1y} \\ \frac{d\psi_{1y}}{dt} &= U_{1y} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1y} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2y} \right) + \omega_{kc} \cdot \psi_{1x} \\ \frac{d\psi_{2x}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2x} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1x} \right) + (\omega_{kc} - \omega) \cdot \psi_{2y} \\ \frac{d\psi_{2y}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2y} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1y} \right) - (\omega_{kc} - \omega) \cdot \psi_{2x} \\ M &= \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X_1} (\psi_{1y} \cdot i_{2x} - \psi_{1x} \cdot i_{2y}) + (\omega_{kc} - \omega) \cdot \psi_{2y} \end{aligned} \right\}$$

где  $\omega_{kc}$ -скорость вращения системы координат;

$\psi_{1x}$  — составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси x вращающейся системы координат;

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

$\psi_{2x}$  — составляющая вектора потокосцепления обмотки ротора, ориентированная вдоль оси x вращающейся системы координат;

$\psi_{2y}$ -составляющая вектора потокосцепления обмотки ротора, ориентированная вдоль оси y вращающейся системы координат;

$i_{2x}$  — составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси x вращающейся системы координат;

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

Подаваемые на вход модели напряжения  $U_{1x}$  и  $U_{1y}$  представляются постоянными сигналами.

Электромеханические процессы описываются уравнением движения двигателя:



$$M - M_c = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega_r}{z_p \cdot dt}$$

где  $\frac{\omega_r}{z_p} = \omega_0$  - частота вращения вала двигателя;

$J_{\Sigma}$  - суммарный момент инерции привода;

$M_c$  - момент сопротивления.

## 4.2 Структурная схема двухфазного двигателя

Для решения вопросов проектирования асинхронного электропривода конвейера и последующего его исследования выбрана структурная схема эквивалентного двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат. Структурная схема двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся со скоростью  $\omega_{\text{эл}}$  системе координат  $x, y$  и реактивной нагрузкой приведена на рисунке 20.

Структурная схема двухфазного электродвигателя во вращающейся системе координат имеет три управляющих воздействия:

– два постоянных по форме напряжения  $U_{1x}$  и  $U_{1y}$ , численные значения которых равны значениям фазных напряжений электродвигателя и определяются в соответствии с выбранной зависимостью  $U_1(f_1)$ ;

– значение угловой частоты вращения поля статора  $\omega_{\text{эл}} = 2\pi \cdot f_1$ .

Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора  $L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.077}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.000245 \text{ Гн};$

– ротора  $L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.105}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.000334 \text{ Гн};$

Эквивалентная индуктивность обмоток

- статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,014245, \text{ Гн}$$

- ротора

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0,014334, \text{ Гн}$$

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{4,361}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ Гн} - \text{индуктивность, обусловленная}$$

магнитным потоком в воздушном зазоре.

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,02 + 0,019 \cdot \frac{0,014^2}{0,014334^2} = 0,0381 \text{ Ом.}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,04 \cdot 0,014245}{0,0381} = 0,015 \text{ с;}$$

где  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,014^2}{0,014245 \cdot 0,014334} = 0,04$  – коэффициент рассеяния;

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,0142334}{0,0246} = 0,246 \text{ с.}$$

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и далее в системе регулируемого электропривода конвейера используем метод имитационного моделирования и в качестве средства моделирования электромеханических систем примем программу *MATLABR2007b*.

### 4.3 Имитационная модель асинхронного электродвигателя

Полная схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя (см. рисунок 21), составленная в соответствии со структурной схемой (см. рисунок 20) во вращающейся системе координат с использованием программной среды *MATLAB*.

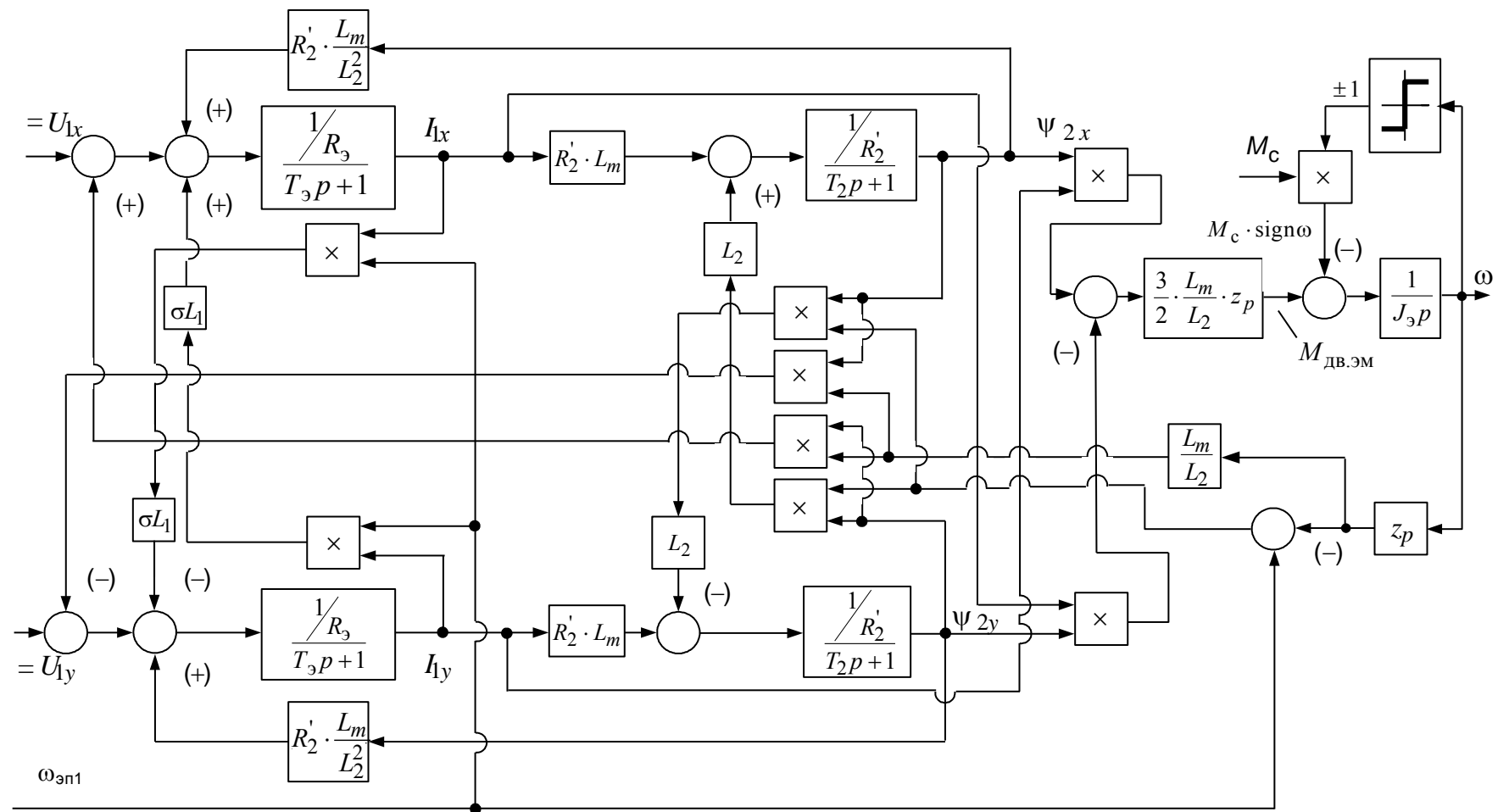


Рисунок 20 – Структурная схема асинхронного двигателя во вращающейся со скоростью  $\omega_{\text{эл}}$  произвольно ориентированной системе координат  $x, y$

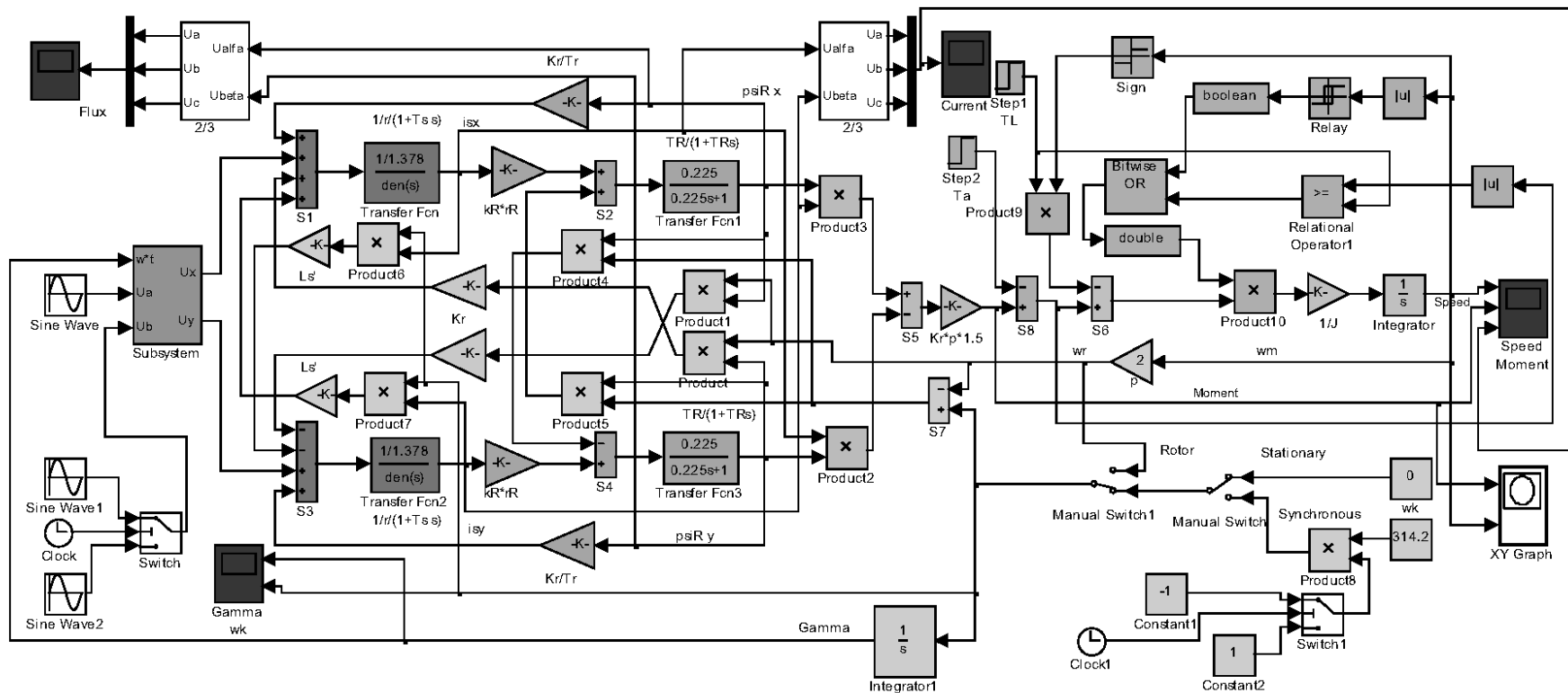


Рисунок 21 – Схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя в абсолютных единицах во вращающейся системе координат

### 4.3.1 Динамические характеристики асинхронного электродвигателя

На рисунках 22 -23 приведены полученные характеристики электродвигателя при прямом подключении к сети с номинальными параметрами  $f_{1н} = 50$  Гц,  $U_{1н} = 220$  В.

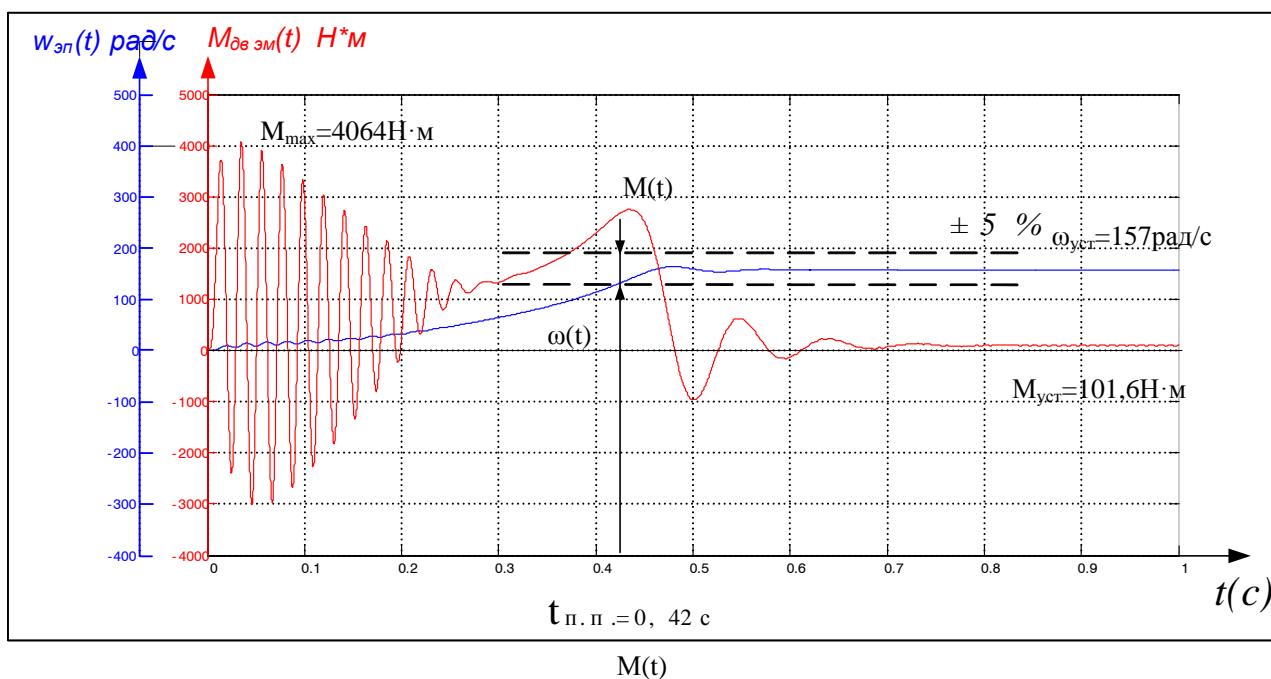


Рисунок 22 - Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть

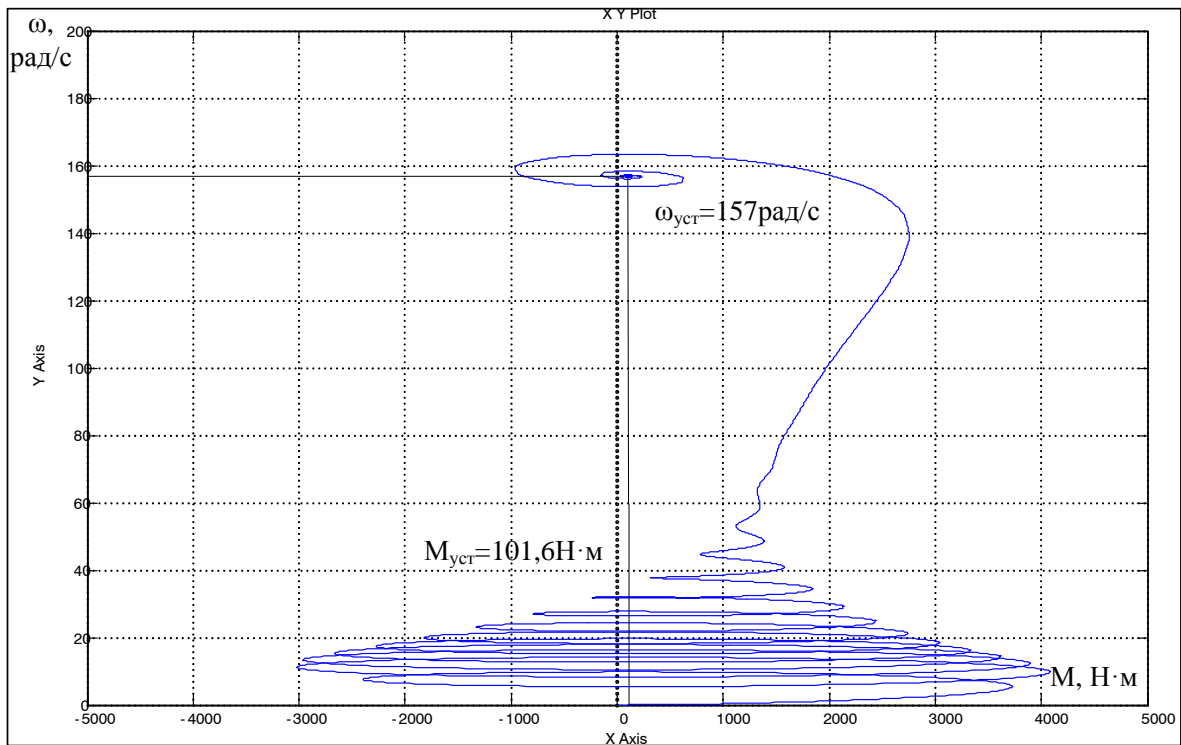


Рисунок 23 - Динамическая механическая характеристика при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть

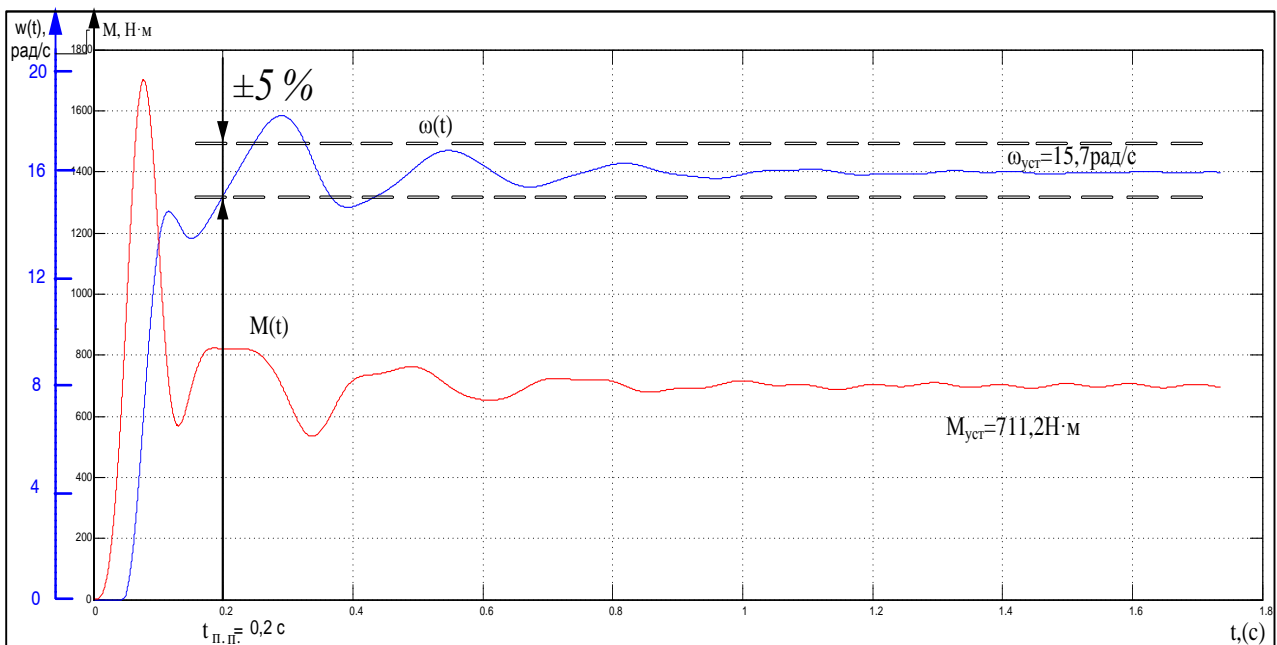


Рисунок 24 - Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при  $U_3=1$  В и  $M_c=0.7$

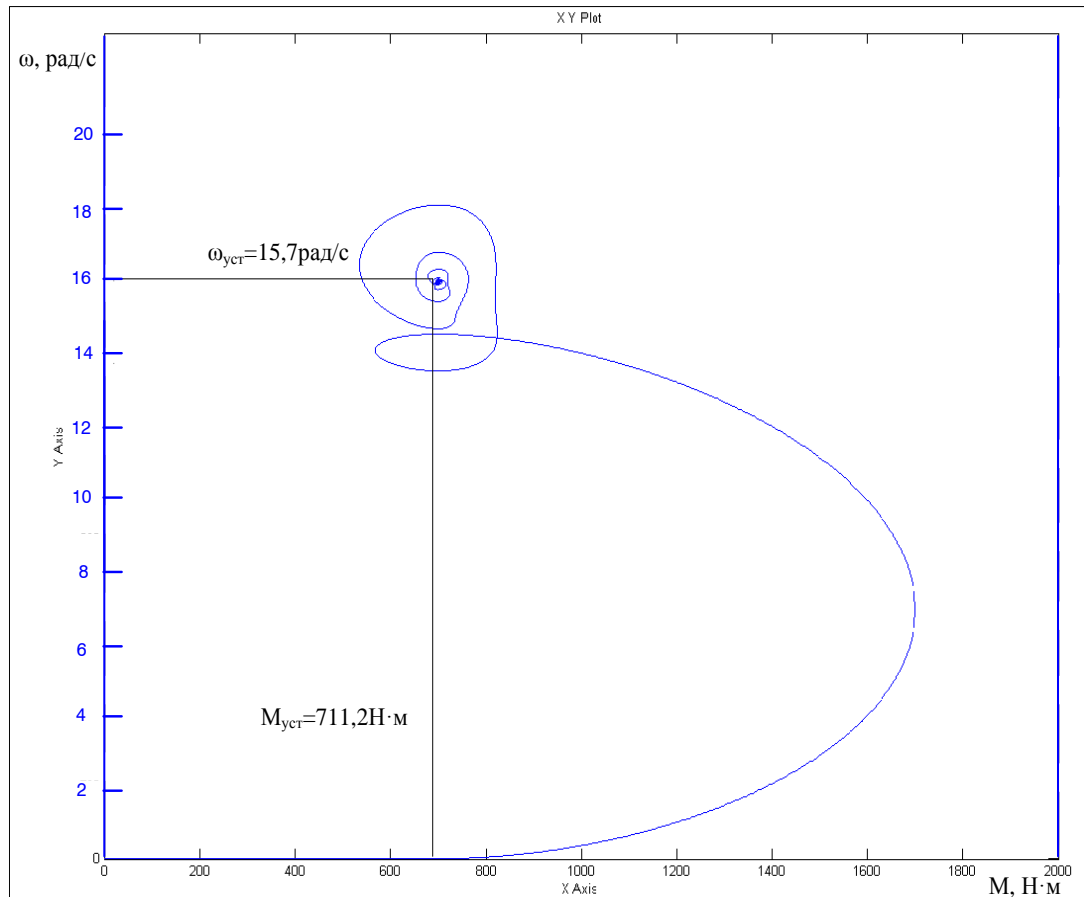


Рисунок 25 - Динамическая механическая характеристика при  $U_3=1 \text{ В}$  и  $M_c=0.7$

Анализ характеристик переходных процессов, изображенных на рисунках на рисунках 24-25 показывает, что данный привод обеспечивает требуемый диапазон регулирования.

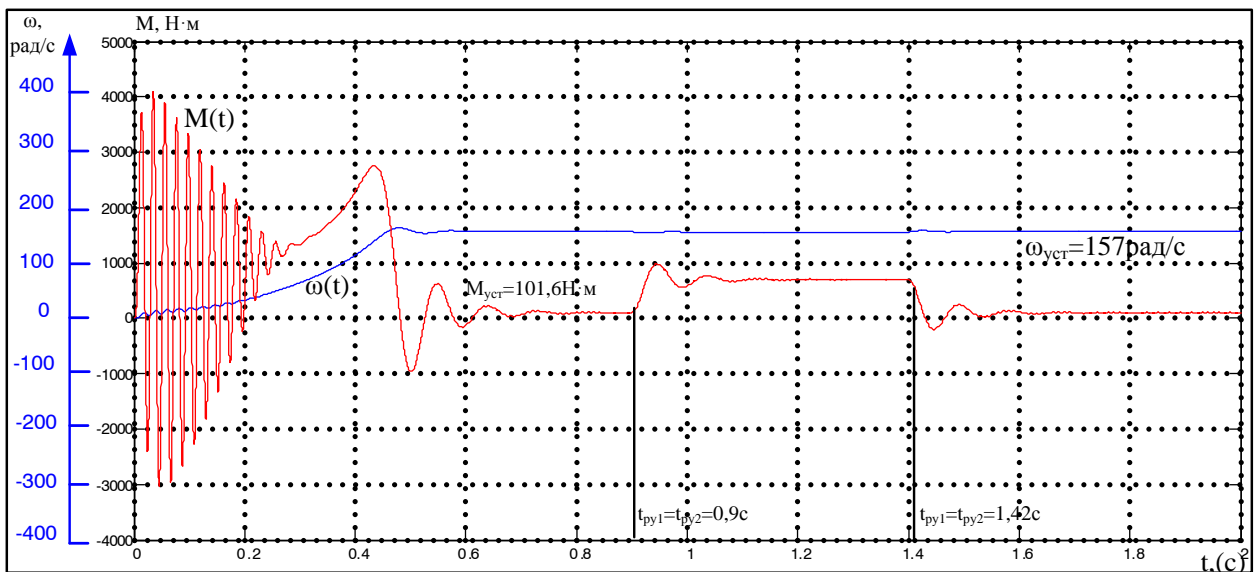


Рисунок 26 - Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки

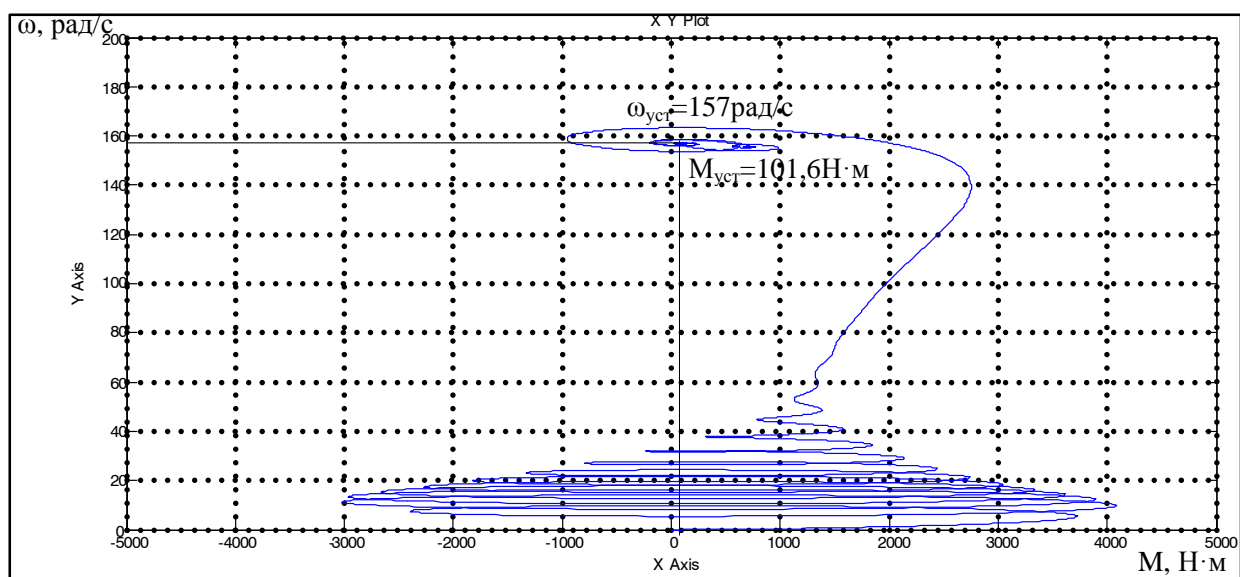


Рисунок 27 - Динамическая механическая характеристика при набросе и сбросе нагрузки

Анализ характеристик переходных процессов скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки, изображенных на рисунках 26 и 27, показывает что система адекватно реагирует на изменение нагрузки. Что очень важно для электропривода конвейера.



### 4.3.2 Исследование САУ ЭП с задатчиком интенсивности безкомпенсации момента

Из предыдущих исследований видно, что система обладает достаточно большой колебательностью. Чтобы это уменьшить был реализован задатчик интенсивности, формирующий S-образную задающую функцию.

Задатчик интенсивности устанавливается на входе САУ скорости и предназначен для формирования сигнала задания на скорость. ЗИ ограничивает темп нарастания снижения задания на скорость и тем самым обеспечивает, чтобы ускорение и динамический момент электропривода не превышали допустимых значений.

Путем имитационных экспериментов установлено оптимальное значение времени сглаживания ( $T_{ve}$ ) и времени разгона ( $T_{he}$ ), обеспечивающие снижение колебаний момента при пуске до минимально возможной величины.

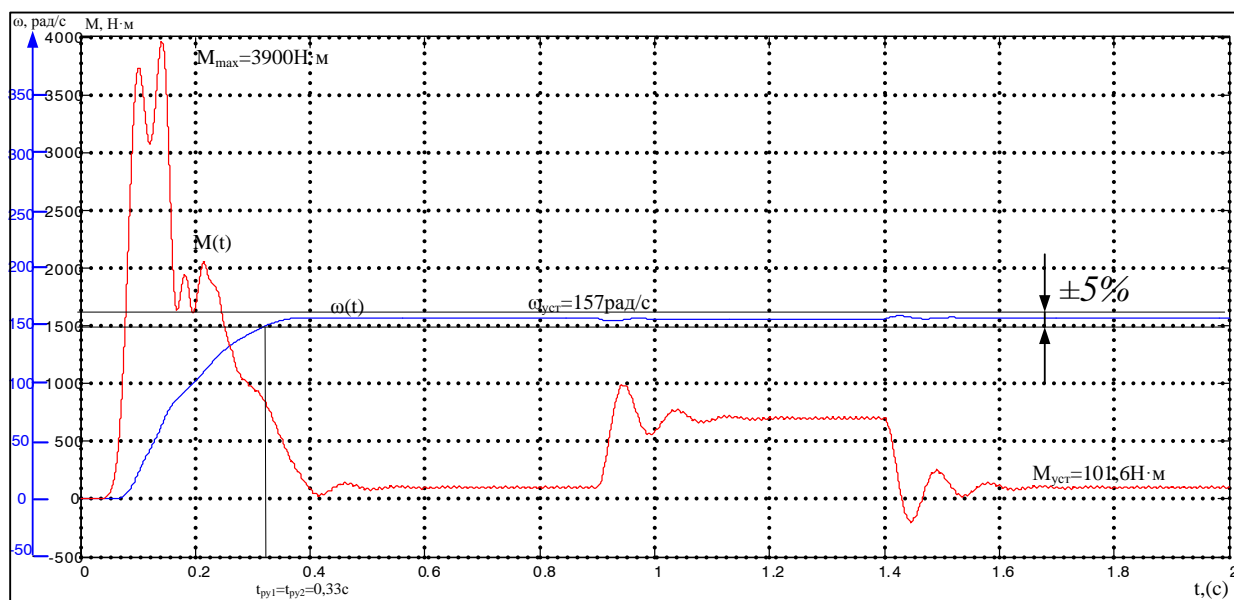


Рисунок 28 - Переходной процесс скорости и момента  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

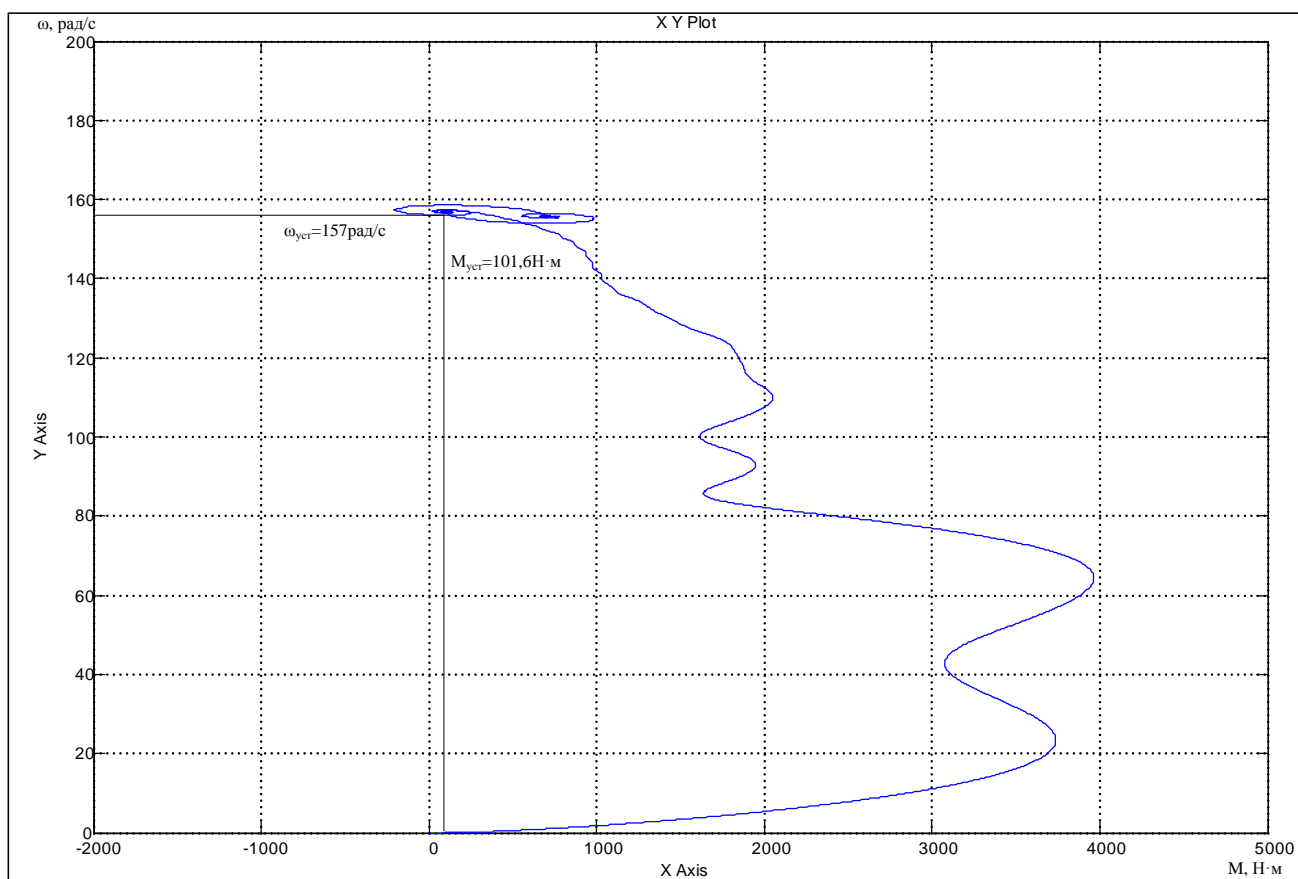


Рисунок 29 - Динамическая механическая характеристика  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

Проанализировав характеристики 28 и 29 можно сделать вывод, что путем установки задатчика интенсивности и оптимальных значений времени сглаживания ( $T_{ve}$ ) и времени разгона ( $T_{he}$ ), можно значительно снизить пульсации момента. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что разработанный частотно-регулируемый электропривод обеспечивает требуемые качественные показатели.

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

Студентке:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Зеленина Ксения Константиновна

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Проект выполняется по заказу ОАО «Распадская», Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 1 миллион рублей, - В реализации проекта задействованы 3 человека: руководитель проекта, инженер – электроник, инженер – программист
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» -Минимальный размер оплаты труда 2018 году составляет 9489 руб.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	- Инициализация НИИ и его технико-экономическое обоснование  - Потенциальные потребители результатов исследования.  - Анализ конкурентных технических решений  - Оценка НИИ проекта
<i>2. Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	-Планирование работ по научному исследованию -Расчет общей сметы затрат на НИИ (бюджета проекта), в том числе материальных затрат (затраты на канцелярию и на литературу); затрат на сборочные единицы электропривода, расчет заработную плату исполнителей проекта; расчет пенсионных и страховых расходов; расчет амортизационных отчислений; расчет заработной платы обслуживающего персонала.

	-Расчет издержек на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электропривода.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	-Определение ресурсной и экономической эффективности исследования - Оценка организационной эффективности
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. График Ганта 2. Бюджет проекта	
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Зеленина Ксения Константиновна		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Темой дипломного проекта является «регулируемы электропривод ленточного конвейера». Данный раздел посвящен наиболее выгодный вариант электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с другими приводами постоянного тока:

- 1) Низкая стоимость
- 2) Минимальные затраты на обслуживания
- 3) Обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку экономической эффективности исследования.

## 5.1 Инициализация НТИ и его технико-экономическое обоснование

Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое технологическое оборудование.

### 5.1.2. Потенциальные потребители результатов исследования

Потребители модернизированного электропривода является угольная дробильно-обогащительная фабрика шахты Распадская.

I. вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

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

Таблица 10. Показатели двигателя постоянного тока и АД с короткозамкнутым ротором.

	Варианты		Примечания: (преимущества недостатки)
	I	II	
1.Общее количество составных частей	4	4	
2.Количество типов элементов	4	4	
3.Количество оригинальных элементов	2	2	
4.Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции

5.Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6.Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=140 кВт	P=132 кВт	
7.Габариты		Меньше в 2 раза	
8.Масса		Легче в 2 раза	

Таблица 11. Использование привода в дробильно-обогажительных фабриках.

Название дробильно-обогажительных фабрик	Использование регулируемого привода асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
Угольная	+
Металлургическая	+
Пр. дробильно-обогажительные фабрики	+

Как видно из приведенной таблицы, использование асинхронного привода в ленточных конвейерах одинаковы, как для угольной фабрики, так и для других дробильно-обогажительных фабрик. Асинхронный электропривод является простым в использовании и имеет более низкую стоимость, чем привод постоянного тока.

### **5.1.3. Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.**

Выбор системы преобразователь частоты (ПЧ) → асинхронный двигатель (АД) основывался на технологических возможностях и соответствующей стоимости установки.

При разработке технологической системы ПЧ→АД выбор делался на возможность работать с заданной технологической нагрузкой без изменения конструкции и механических узлов установки.

Выбор ПЧ проводился из условия соответствия уровня мощности и необходимой величины допустимого тока ПЧ и тока двигателя ВАО2-280S4 при учете выбранного частотного способа регулирования и соответствующей стоимости преобразователя.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл.12). Для этого необходимо проанализировать не менее 3-4 конкурентных товаров.

При выборе ПЧ были рассмотрены варианты таких фирм как АВВ, ATV61, Mitsubishi, ВЕСПЕР, но ПЧ марки АВВ на данный диапазон мощностей и при соответствующих функциональных возможностях оказались ниже по стоимости. Поэтому выбор был остановлен на ПЧ данной марки.

Таблица 12 – Стоимость ПЧ

Производитель ПЧ	Стоимость
АВВ ACS-800-02-0210-3	756113
ATV61HC13N4D	940724
Mitsubishi FR-F740-02600-EC	840000
ВЕСПЕР EI-7011	916160

#### 5.1.4. Анализ конкурентных технических решений

Проведем сравнения существующей системы управления (СУ) привода ленточного конвейера привода постоянного тока с проектируемой системой частотного управления.

Существующая СУ: электропривод с двигателем постоянного тока;

Проектируемая СУ: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

В таблице 13 приведены основные параметры рассматриваемых систем.



Для проведения сравнения выбираем следующие показатели:

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

В таблице 13 приведены коэффициенты весомости критериев сравнения.

Таблица 13 – Коэффициенты весомости критериев сравнения

Преобразователь частоты	№ Критерия сравнения					
	1	2	3	4	5	6
ABB	0,5	0,8	1	0,8	0,7	0,9
ATV61	0,8	0,9	1	0,7	0,8	0,9
FR-F740-02600	0,9	0,9	1	0,7	0,9	0,9
ВЕСПЕР EI-7011	0,9	0,9	1	0,8	0,8	0,9

По каждому критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели указанные в таблице 14.

Таблица 14 – Оценка степени обеспечения цели

Уровень цели	Низкий	Средний	Высокий
Оценка обеспечения цели	0	0,5	1

Сделав анализ, расчета по оценки качества систем электропривода ленточного конвейера, можно судить о необходимости замены старой системы электропривода постоянного тока, на систему частотного управления.

### 5.1.5. Оценка научно-технического уровня НТИ

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

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i, \quad (1)$$

где

$k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;

$\Pi_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 15. – Весовые коэффициенты НТУ

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

Таблица 16. – Шкала оценки новизны

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

Таблица 17. – Значимость теоретических уровней

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

Таблица 18 - Возможность реализации по времени и масштабам

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

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

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

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

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели

новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

## 5.2. Планирование работ

Осуществление проектной работы потребует расчеты следующих пунктов затрат:

- сборочные единицы электропривода
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет пенсионных и страховых расходов;
- расчет амортизационных отчислений;
- расчет заработной платы обслуживающего персонала.

### 5.2.1. Определение трудоемкости работ

Определение ожидаемого значения продолжительности работы  $t_{ож}$

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

где  $t_{min}$  – кратчайшая продолжительность данной работы;

$t_{max}$  – самая длительная продолжительность данной работы.

Для определения трудоемкости выполнения проекта воспользуемся формулой:

$$T = n \cdot t_{ож}$$

где  $T$  – трудоемкость, чел.×дн.;

$n$  – количество исполнителей, человек;

$t_{ож}$  – продолжительность работ, дней.

Результаты сведем в таблицу 19

Таблица 19. – Содержание проектных работ

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Т, чел/дн	Исполнители
	t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>ож</sub>		
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	5	4	4	РП.
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	4	4	РП
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	10	20	14	28	ИП, ИЭ
4. Кинематическая схема механизма	3	8	5	5	ИЭ
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	12	15	13	13	ИЭ
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя и частотного преобразователя	2	5	3	3	ИЭ
7. Выбор способа регулирования скорости двигателя	6	10	8	8	ИЭ
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»	6	10	8	8	ИЭ
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	25	30	27	27	ИП

10. Оптимизация САР электропривода	20	25	22	44	ИП, ИЭ
11. Разработка программы имитационного моделирования	10	15	12	24	ИП, ИЭ
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	4	8	6	6	РП
13. Техничко-экономические расчеты	8	13	10	10	РП
14. Составление пояснительной записки	35	45	39	78	ИП, ИЭ.
15. Разработка графического сопровождения проекта	20	25	22	22	ИП
16. Подключение электродвигателя и частотного преобразователя.	1	2	1	1	ИЭ
17. Настройка частотного преобразователя	1	2	1	1	ИЭ

РП – руководитель проекта;

ИП – инженер – программист;

ИЭ – инженер – электроник

График выполнения работ по дням составлен на год с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 199, которые требуются на выполнение данного проектирования.

По результатам расчетов строим линейная гистограмму:

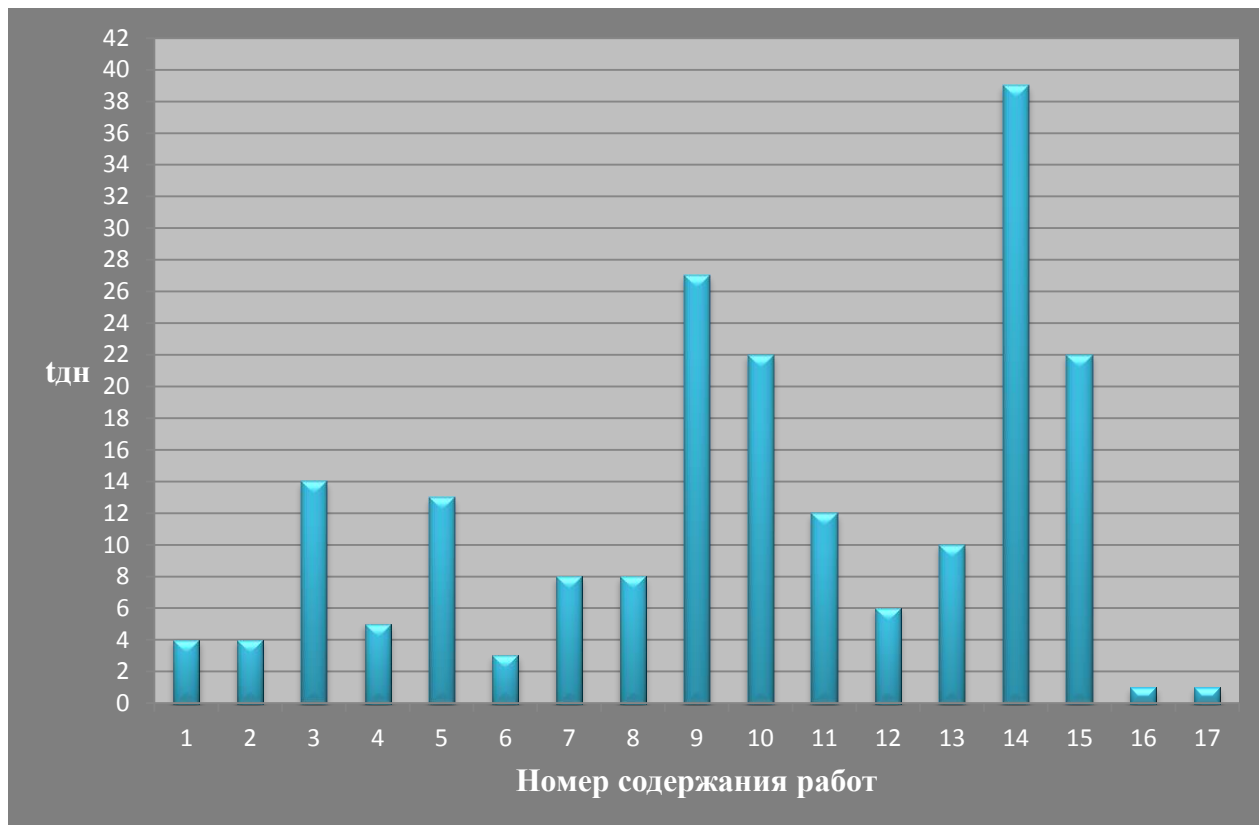









Рисунок 30. Линейная гистограмма проектных работ.

Результаты расчетов временных показателей приведены в календарном плане разработки проекта (Таблица №20)









Таблица 20. Календарный план разработки проекта


Содержание работ	фев		март		апр		май		июн		июль		авг		сент		окт	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.Разработка ТЗ на проектирование	■	■																
2.Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	■	■																

	фев	март	апр	май	июн	июль	авг	сент	окт	нояб
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	 									
4. Кинематическая схема механизма										
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП										
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя и частотного преобразователя										
7. Выбор способа регулирования скорости и двигателя										
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»										





Содержание работ	фев	март	апр	май	июн	июль	авг	сент	окт	нояб
10. Оптимизация САР электропривода										
11. Разработка программы имитационного моделирования										
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта										
13. Технико-экономические расчеты										
14. Составление пояснительной записки										
15. Разработка графического сопровождения проекта										
16. Подключение электродвигателя и частотного преобразователя										
17. Настройка частотного преобразователя										

Руководитель проекта 

Инженер – электроник ■

Инженер – программист ■

### 5.3.Смета затрат на разработку НТИ

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта, доставку, установку и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции.

Рассчитываем материальные затраты ( $I_{\text{мат}}$ ). Результаты расчета сведем в таблицу 21.

$$I_{\text{мат}} = K_{\text{Ад}} + K_{\text{ЧП}} + \dots + K_{\text{доставка}} = 184000 + 756113 + 500 + 1000 = 941\ 613 \text{руб.}$$

Таблица 21. – Затраты на сборочные единицы электропривода

Наименование	Кол -во	Цена, Руб	Общая стоимость, руб
<b>Оборудование</b>			
1.Асинхронный электродвигатель ВАО2-280S4 <sup>1</sup>	1	184 000	184 000
2.Частотный преобразователь ACS-800-02-0210-3 <sup>2</sup>	1	756113	756113
3.Автоматический выключатель	1	500	500
4.Доставка		1000	1000
<b>Всего затрат</b>			<b>941 613</b>

<sup>1</sup><http://stankoremzavod.metalloprokat.ru/price/2564221>

<sup>2</sup>[http://elektriki.su/catalog/abb/preobrazovateli\\_chastoty/acs800/80911/](http://elektriki.su/catalog/abb/preobrazovateli_chastoty/acs800/80911/)

Примечание. Стоимость оборудования и материалов определены по среднерыночным ценам г. Томска на 20.04.2018 г.

### **5.3.1. Расчет амортизационных отчислений**

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации, по следующему выражению:

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

где  $K$  – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_A$  – проценты отчислений на амортизацию (для электродвигателей норма амортизации составляет 9,6%)

$$A_{\text{год}} = 184000 \cdot \frac{9,6}{100} = 17664 \text{ руб.}$$

Для преобразователя частоты норма амортизации составляет 3,5 %:

$$A_{\text{год}} = 20135 \cdot \frac{3,5}{100} = 26464 \text{ руб.}$$

Для общей системы электропривода норма амортизации составляет 9,6%:

$$A_{\text{год}} = 941\,613 \cdot \frac{9,6}{100} = 90395 \text{ руб.}$$

### **5.3.2 Расчёт оплаты труда участников исследования**

Было решено установить простую повременную форму оплату труда. (Руководителю проекта устанавливается 4 квалификационная группа, инженеру – электронику и инженеру – программисту присваивается 1 квалификационная категория позволяющая выполнять задания уровня сложности средний и высокий.)

В таблице 22. приведены данные тарифной сетки для работников за единицу времени (час). Основная заработная плата сотрудников рассчитывается по формуле 2.

Таблица 22. – Данные для расчета заработной платы участников проекта

№ п/п	Наименование категории работника	Группа	Количество работников	Форма оплаты труда	Ставка в месяц без РК	Стоимость проработанного часа (руб.)
1.	РП	4	1	повременная	60000	350
2.	Инженер – электроник	1	1		30000	190
3.	Инженер – программист	1	1		30000	190

Время работы каждого участника проекта представлено в таблице 13

Находим районный коэффициент:

$$РК = 350 \cdot 24 \cdot 30\% = 2520 \text{ руб}$$

$$ЗП_{\text{осн}} = 350 \cdot 24 + РК = 350 \cdot 24 + 6840 = 10920 \text{ руб} \quad (2)$$

Проект включает в себя отчисления на страховые выплаты, которые рассчитываются по формуле 3.

$$С_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (350 \cdot 24 + 0) = 2520 \text{ руб} \quad (3)$$

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

$З_{\text{доп}}$  – в нашем случае не предусмотрена, поэтому равняется нулю.

Таблица 23. – Бюджет заработной платы проектировщиков

№ п/п	Работник	Почасовая ставка (руб.)	Количество отработанных часов	Районный коэфф. (руб.)	Отчисления на страховые выплаты	Заработная плата (руб.)
1.	РП	350	24	2520	2520	10920
2.	Инженер – электроник	190	213	12141	12141	52611
3.	Инженер – программист	190	223	12711	12711	55081
4.	<b>Итого</b>				<b>27372</b>	<b>118612</b>

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, частью которого является ВКР, осуществляем методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов

По результатам расчетов строим линейная гистограмму:



Рисунок 31. – Линейная гистограмма бюджета на проектирование, руб.

### 5.3.3.Расчёт общего бюджета исследования

Расчет сметы затрат на выполнение проекта выполняется методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов (таблица 24).

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{амрт}} + I_{\text{прочее}}$$

$$K_{\text{проекта}} = 941\,613 + 118\,612 + 27\,372 + 10\,306 + 19\,816 = 362\,425 \text{ руб}$$

Таблица 24. - Смета затрат на НТИ

Статьи расхода	Сумма		Примечания
	руб	%	
1. Материалы (оборудование) и комплектующие изделия	941 613	81,57	
2. Основная заработная плата научно-производственного персонала	118 612	10,27	Трудоемкость нормо-д
3. ЕСН	27372	2,37	30%
4. Накладные расходы	47105	4,08	5% от ст.1
5. Амортизация	19816	1,72	
<b>6. Годовая сметная стоимость</b>	<b>1154518</b>	<b>100</b>	

По результатам расчетов строим круговую гистограмму:

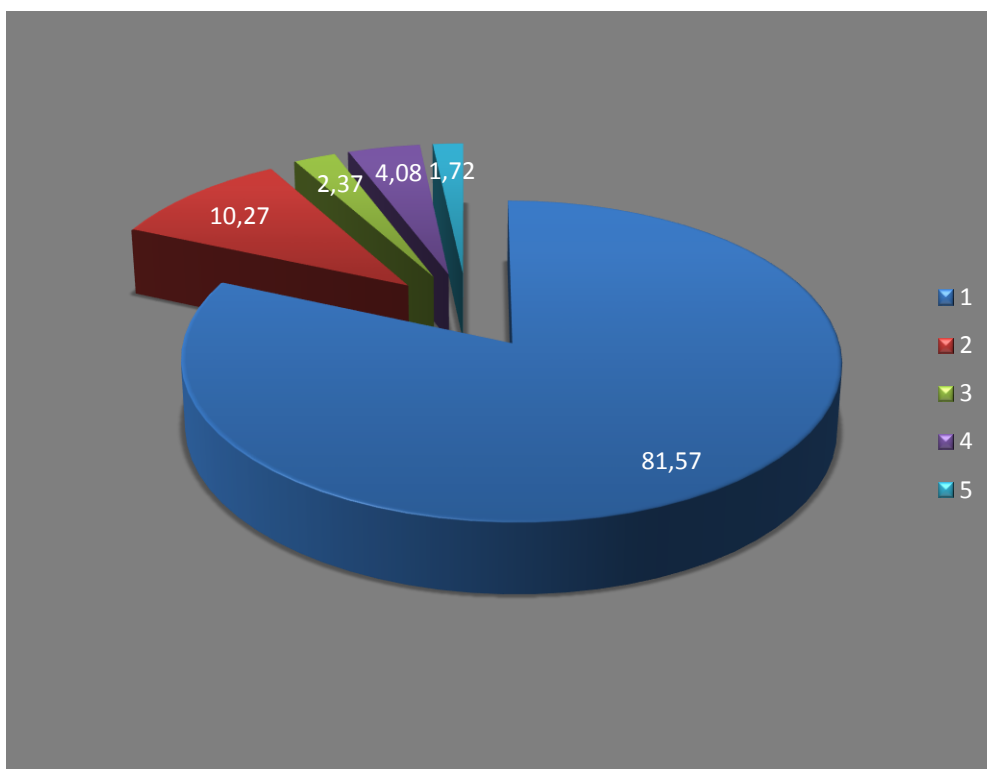


Рисунок 32. – Круговая гистограмма затрат на исследование

#### 5.4. Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электропривода

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики. [22 гл.IV, гл.XI]

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}},$$

где

$C_{\text{зар}}=140$  руб·час – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}}=108$  руб·час – стоимость материалов для ремонта (= основная зарплата без доплат);

$C_{\text{опр}}=216\text{руб}\cdot\text{час}$  – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплаты);

$C_{\text{охр}}=86\text{руб}\cdot\text{час}$  – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 140 + 108 + 216 + 86 = 550\text{руб}\cdot\text{час}$$

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

Таблица 25 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
55-165	42	15	9

Таблица 26 – Затраты на ППР электропривода

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	42	Раз в 2 года	472	19824
Текущего ремонта	15	Раз в 6 месяцев	472	7080
Технического обслуживания	9	Раз в месяц	472	4248

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



Таблица 26 – Затраты на ППР электропривода в год

	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	9912
Текущего ремонта	14160
Технического обслуживания	50976
Итого	75048

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

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

### **5.5. Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности проекта**

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

### 5.5.1. Расчет интегрального финансового показателя

Интегральный финансовый показатель рассчитывается на основании таблицы 26 по формуле:

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

где  $\Phi_{p.i.}$  – стоимость итого варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{756113}{941\ 613} = 0,8$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{940724}{941\ 613} = 0,99$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{840000}{941\ 613} = 0,89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.4}} = \frac{916160}{941\ 613} = 0,97$$

### 5.5.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается по формуле:

$$I_{pi} = \sum a^i * b^i,$$

где  $a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b^i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки (устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания)

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэф.	ABB	ATV61	FR-F740- 02600	ВЕСПЕР EI-7011
Простота и удобство эксплуатации	0,15	10	10	10	10
Помехоустойчивость	0,15	9	8	9	8
Энергосбережение	0,25	10	10	9	9
Надежность	0,2	10	10	10	10
Ремонтопригодность	0,15	10	10	9	9
Материалоемкость	0,1	9	9	9	9
Итого	1	7,75	9,6	9,35	9,2

$$I_{ABB} = 10 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,1 = 7,75;$$

$$I_{ATV61} = 10 \cdot 0,15 + 8 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,1 = 9,6;$$

$$I_{FR-F740-02600} = 10 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,1 = 9,35$$

$$I_{ВЕСПЕР} = 10 \cdot 0,15 + 8 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,1 = 9,2$$

### 5.5.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта ленточного конвейера, определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп.}i}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{финр}}},$$

$$I_{\text{исп1}} = \frac{9,35}{0,8} = 11,68$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{9,6}{0,99} = 9,7$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{7,75}{0,89} = 8,7$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{9,2}{0,97} = 9,48$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта приведена в таблице 28 и рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}i} = \frac{I_{\text{исп.}i}}{I_{\text{исп.}max}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}1} = \frac{11,68}{11,68} = 1$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}2} = \frac{9,7}{11,68} = 0,83$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}3} = \frac{8,7}{11,68} = 0,74$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}4} = \frac{9,48}{11,68} = 0,81$$

Таблица 28 – Сравнительная эффективность проекта

№	Показатель	ABB	ATV61	FR-F740-02600	ВЕСПЕР EI-7011
1	Интегральный финансовый показатель проекта	0,8	0,99	0,89	0,97
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта	7,75	9,6	9,35	9,2
3	Интегральный показатель эффективности проекта	11,68	9,8	8,7	9,48
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,83	0,74	0,81

Сравнение значений с позиции финансовой эффективности и ресурсоэффективности указывает на первый вариант исполнения (с преобразователем частоты фирмы АВВ), как наиболее эффективный, как раз и используемый в проектных решениях обозначенного НТИ.

### Оценка организационной эффективности

Необходимость модернизации проекта электропривода ленточного конвейера связано с минимальными затратами и простотой в обслуживании, а также повышением степени защиты электропривода. Вследствие этого увеличится технологический процесс производства. Названные выше результаты выбраны в качестве критериев оценки организационной эффективности функционирования.

Таблица 29 – Оценка организационной эффективности внедрения результатов разработки

Показатели организационной эффективности	Вес показателя $K_i$	Значение показателя до модернизации, балл $a_i$	Значение показателя до модернизации с учетом веса, $K_i \times a_i$	Значение показателя после модернизации, баллов $b_i$	Значение показателя после модернизации с учетом веса, $K_i \times b_i$
Затраты на обслуживание	0,1	3	0,4	5	0,9
Степени защиты	0,2	3	0,4	5	0,9
Удобство эксплуатации	0,2	2	0,3	4	0,7
Надежность	0,3	4	1,0	4	1,1
Быстродействие	0,2	4	0,7	5	1,1
<b>ИТОГО</b>	<b>1,00</b>		<b>2,8</b>		<b>4,7</b>

Результаты анализа показали, что внедрение и эксплуатация исследуемого электропривода позволит значительно повысить эффективность технологического процесса дробильно-обогащительной фабрики (2,8 балла до внедрения и 4,7 после).

В данном разделе ВКР были выполнены все поставленные задачи:

1. ОАО «Распадская» требует от отечественного производителя коренной реконструкции и ищет новое технологическое оборудование, с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств и безопасность труда.
2. Экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был произведен расчет коэффициента научно-технического уровня – 9,2, указывающий на высокий потенциал данного исследования.
3. Осуществлено планирование и составлены графики исследовательских работ. Всего потребуется 199 рабочих дней на реализацию НТИ;
4. Рассчитаны издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово–предупредительные работы. Проведен расчет на сборочные единицы электропривода и амортизационных вложений, расчет заработной платы исполнителей и обслуживающего персонала. Величина затрат на реализацию НТИ составила 1 154 518 рублей.
5. Оценка организационной эффективности асинхронного электропривода -4,7 является более высокой в сравнении с использованием электроприводом постоянного тока -2,8. В следствии, асинхронный электропривод является наиболее приемлемым для использования на приводе ленточного конвейера дробильно-обогащительной фабрики шахты Распадская.

Таким образом, проект по модернизации регулируемого электропривода ленточного конвейера можно считать **экономически эффективным**, а также с точки зрения снижения энергозатрат и повышения производительности – ресурсоэффективным.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Зеленина Ксения Константиновна

<b>Институт</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является ленточный конвейер обогатительной фабрики.</i> Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для перемещения и транспортировки горной массы
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.</p>	<p><i>Основными вредными факторами являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания, то есть аномальное физическое состоянием воздуха (запыленность, загазованность);</li> <li>- Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация);</li> <li>- Акустические колебаниями в производственной среде(шум);</li> <li>- Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата);</li> <li>- Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны).</li> </ul> <p><i>Опасными факторами агломерационного цеха являются:</i></p> <p>Возможность получения травм в следствии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>а) движения машин и механизмов;</li> <li>б) движение производственного материала;</li> <li>в) наличие высокого напряжения.</li> <li>г) поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>

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

<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;</li> <li>- возгорания изоляции в следствии повышения температуры;</li> <li>- разработка мер по предотвращению перегрузок</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации ленточных конвейеров</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены ленточные конвейеры</li> </ul>

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Зеленина Ксения Константиновна		



## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение.**

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе конвейерной линии обогатительной фабрики, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54.[14].

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

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

## **6.1. Производственная безопасность**

### **6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

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

➤ **Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).**

В процессе дробления угля на дуговых ситах и грохотах в воздушной среде повышается уровень запыленности и загазованности. Неблагоприятное воздействие пыли на организм может быть причиной возникновения различных заболеваний: специфических (пневмокониозы, аллергические болезни) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи) пылевые поражения. Производственные пыли рассматриваемого производства относятся к четвёртому классу опасности (малоопасные). ПДК пыли в воздухе рабочей зоны не должны превышать для угольной и углеродной пыли с содержанием диоксида кремния: 6 мг/куб.м (антрацит) и 10 мг/куб.м (уголь, сланцы) - до 5%; 4 мг/куб.м - 5 - 10%; 2 мг/куб.м - более 10%. [21]. В рассматриваемом производстве борьба с пылью ведётся с помощью промышленного пылесоса, так как технологический процесс требует ликвидации пыли. К индивидуальным средствам защиты относятся противопылевые респираторы, защитные очки, специальная противопылевая одежда. Производственный процесс относится к 1а группе (избытки явного тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ) [15].

➤ **Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).**

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации являются дещламационные и цилиндрические грохоты. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ. Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

➤ **Акустические колебаниями в производственной среде(шум)**

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании линии, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, дробилки, конвейер в рабочем состоянии. В горно-обогатительном производстве шум достигает 75—80 дБ.

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

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума

установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

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

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

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

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

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

Система отопления цеха - водяная, со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами.

➤ **Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)**

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

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

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

### **6.1.2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

#### **Возможность получения травм в следствии:**

#### **1. Движения машин и механизмов**

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации ленточных конвейеров являются: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, приводов, барабанов; расштыбовка барабанов конвейеров при их работе; ремонт и смазка конвейеров во время их работы; включение конвейера без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (переход через конвейер во время его работы, эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм работе на конвейерной линии допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления линией и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

## **2. Движение производственного материала.**

Запуск конвейеров производится в необходимой последовательности автоматически, поочередно, начиная с последнего. При остановке одного конвейера или пробуксовке ленты, заштыбовке, нагреве ленты автоматически выключаются все приводы. Сигнал о пуске конвейерной линии должен подаваться с пульта управления. Вспомогательные работы (очистка, ремонт, смазка, расштыбовка) допускается выполнять только при выключенном конвейере и установке у пункта включения предупреждающей надписи: «Не включать! На конвейере работают люди!»

## **3. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.**

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя. При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При наладке привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой.

### **6.2 Экологическая безопасность**

В процессе эксплуатации обогатительной фабрики образуются отходы производства: отходы углеобогащения, отходы чёрного металла, отработанные ртутные лампы, отработанные промышленные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у ОФ «Распадская» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и

лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия в районе на ОФ «Распадская» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно - защитной зоны предприятия и в посёлке Верхний Ольжерас по договору с ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» г. Междуреченска;

- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на промплощадку и при выходе с промплощадки.

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

### **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к воспламенению изоляционного материала.

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

### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовые отношения на обогатительной фабрике «Распадская» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным

договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

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

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

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

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

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

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

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286



Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

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

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В выпускной квалификационной работе был разработан и исследован асинхронный частотно-регулируемый электропривод ленточного конвейера.

В работе был сделан выбор оборудования. Предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии ВАО2-280S4, преобразователь частоты фирмы АВВ. Требуемый диапазон регулирования является небольшим, однако, поэтому выбран преобразователь позволяющий реализовать скалярное регулирование с обратной связью по скорости.

Разработана структурная схема асинхронного частотно-токового электропривода со скалярным управлением. Проведены имитационные исследования в программной среде MATLAB.

Получены навыки выполнения самых разных работ, как исследовательского, так и инженерного плана, таких как: работа с литературой, в том числе на английском языке, расчет и моделирование на ПК.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пертен Ю.А. Конвейеры. Справочное пособие Л.: Машиностроение, 1984. 367с.
2. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины: учебное пособие М.: Энергоатомиздат, 1983г. 483с.
3. Техническая документация ЗАО ОФ «Распадская».
4. Васильев Н.В. Транспорт на обогатительных фабриках М.: углетехиздат, 1949.- 278с.
5. Галкин В.И. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий : учебное пособие для вузов М.: Московский государственный горный университет, 2005-543 с.
6. Левинсон В.Н. Транспортные устройства непрерывного действия : Машгиз, 1960. - 364 с.
7. Позынич Е.К. Расчет ленточного конвейера: учебное пособие Х.: ДВГУПС, 2006. - 66с
8. Чернышев А.Ю., Ланграф СВ., Чернышев И.А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Учебно-метод. пособие. /Томск. Политехи. Ун-т. - Томск: Изд-во ТПУ, 2004.-29с.
9. Чернышёв А.Ю., Чернышёв И.А.. Расчёт характеристик электропривода переменного тока. Часть 1. - Асинхронный двигатель: Учебное пособие. -Томск: Издательство ТПУ, 2005.
- 10.Копылов И.П. Электрические машины. - М.: Высш. шк., Логос, 2000.
11. Руководство по монтажу и вводу в эксплуатацию ACS800. Корпорация АВВ, 2004.-132с.

12. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Под общей ред. К. М. Великанова. - 4-е издание перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1986. - 256.
13. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьков и др.; Под общ. Ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. И доп. - М.: Высш. шк., 1999. -448с.
14. Расчет искусственного освещения. Методическое пособие. - Томск, ТПУ, 1995.-25с.
15. СанПиН 2.2.4.548-96
16. СанПиН 2.2.272.4.1340-03.
17. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96; ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ.
18. НПБ105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
19. Устройство контроля скорости УКС. Руководство по эксплуатации. - 41с.
20. Датчик контроля схода ленты КСЛ-2. Паспорт. - 14с.
21. Выключатель кабель - тросовый КТВ-2М. Паспорт. - 7с.
22. Н. Н. Синягин. Система ППР оборудования и сетей промышленной энергетики. М.: Энергоатомиздат, 1984г.
23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
24. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.

25. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

26. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

## CONCLUSION

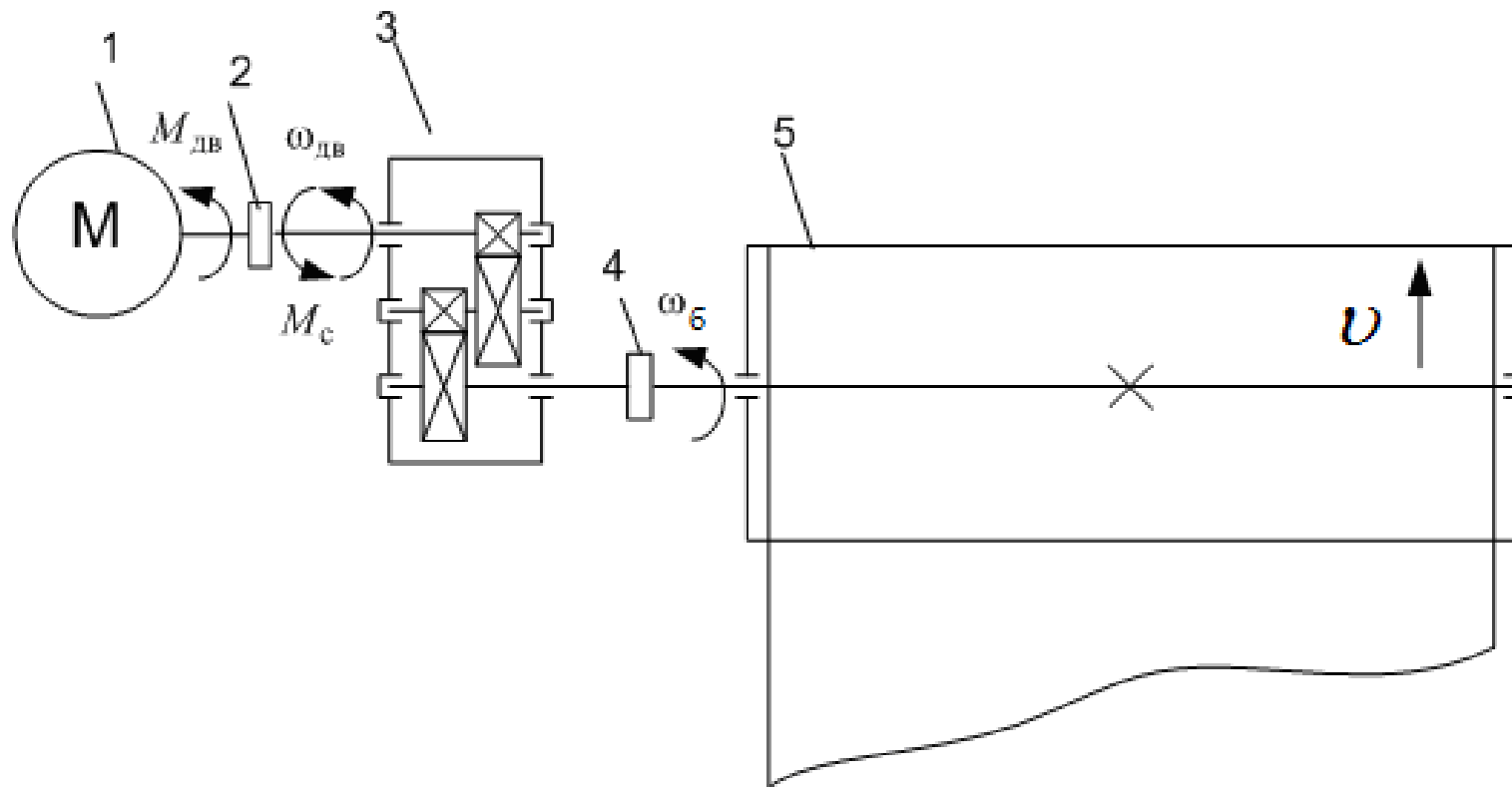
The purpose of final qualifying work was designing and research of the modern adjustable electric drive of the belt conveyor 120100F - 180. From the studied technological process and conveyor calculation, the qualifying requirements to electric drive were set. The electric motor has been chosen, for the given electric motor from catalogue data the parameters of equivalent circuit have been determined and electromechanical and mechanical characteristics were plotted. By mathematical modeling in software environment «MATLAB» characteristics have been received: "Start-up"; «Start-up with loading»; «load dropping»; «load-on», and also "Start-up" at different frequencies.

Skills in most different works, both research, and the engineering plan, such as: work with the literature, including in English, calculation and modeling on the personal computer are received.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Графический материал

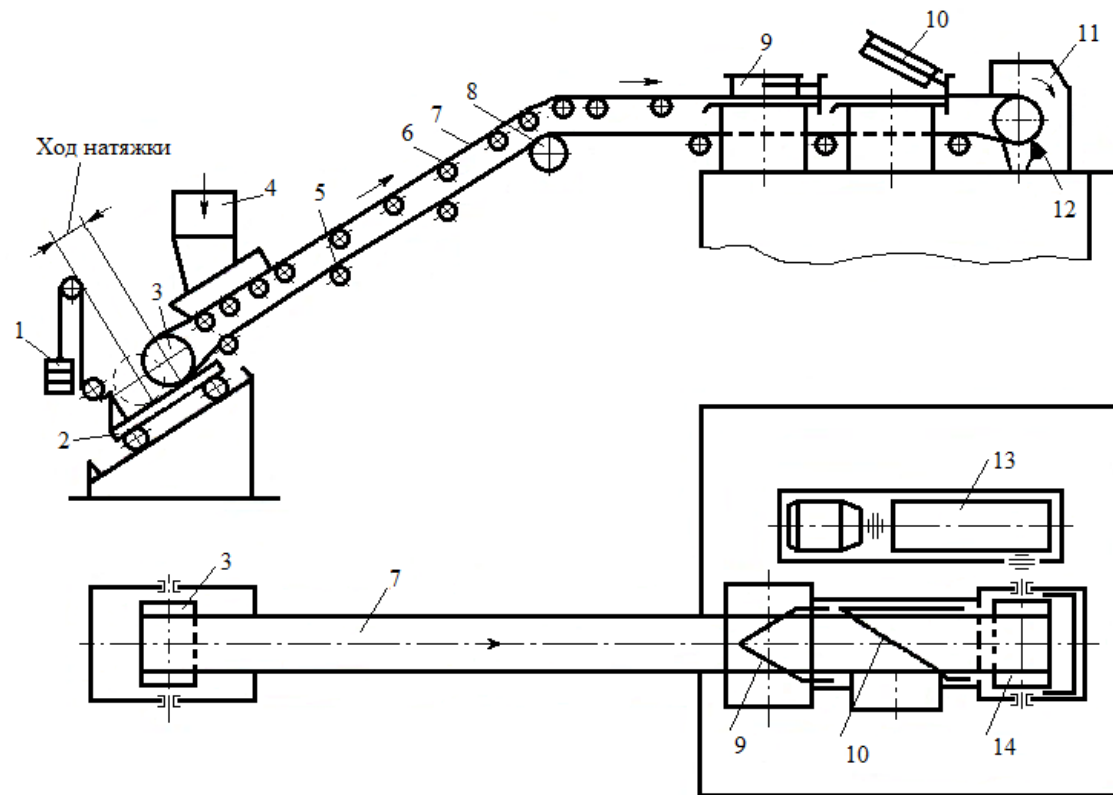
## Кинематическая схема привода конвейера



1 - электродвигатель; 2,4 – муфта; 3 –редуктор; 5 – приводной барабан.

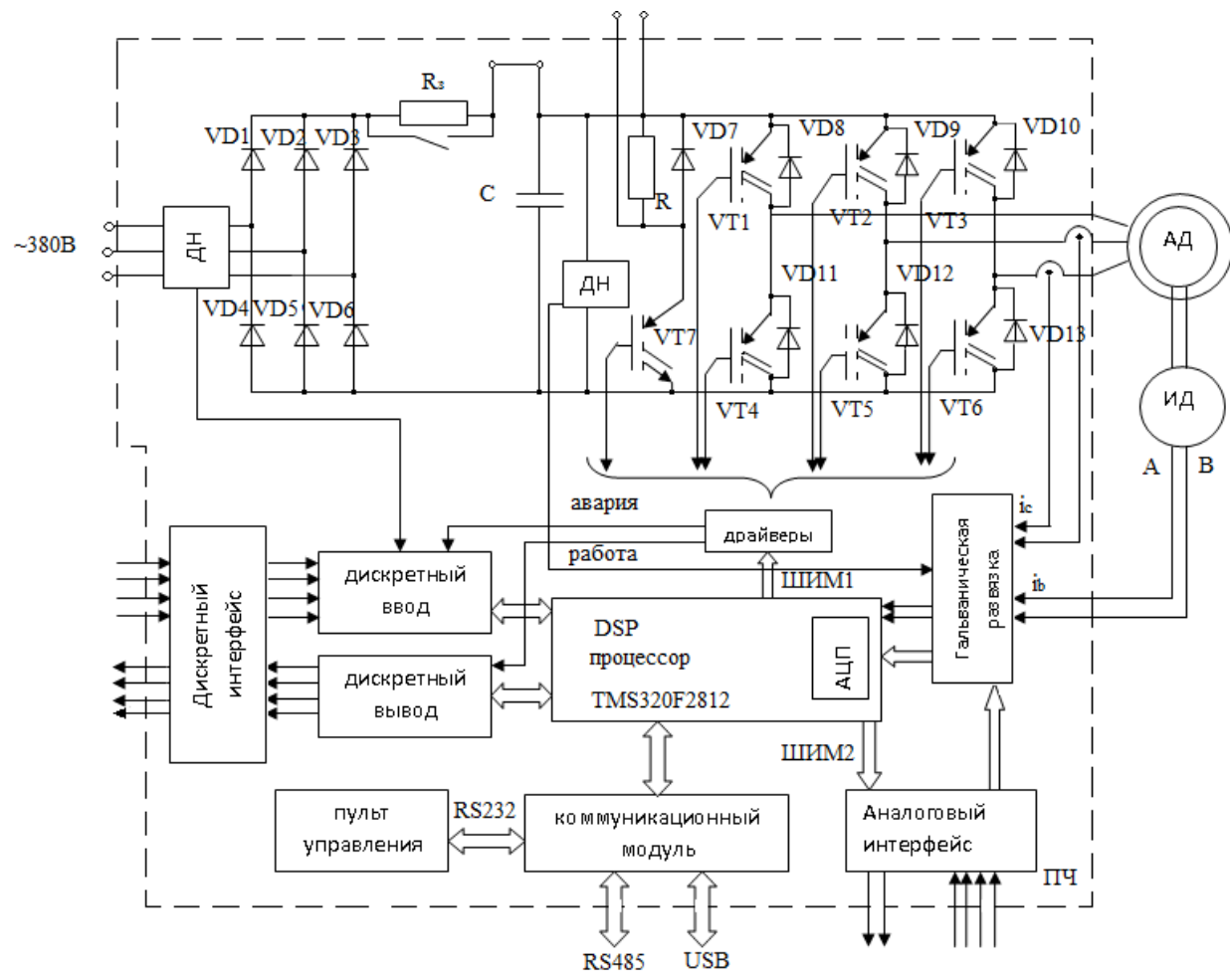


## Функциональная схема конвейера

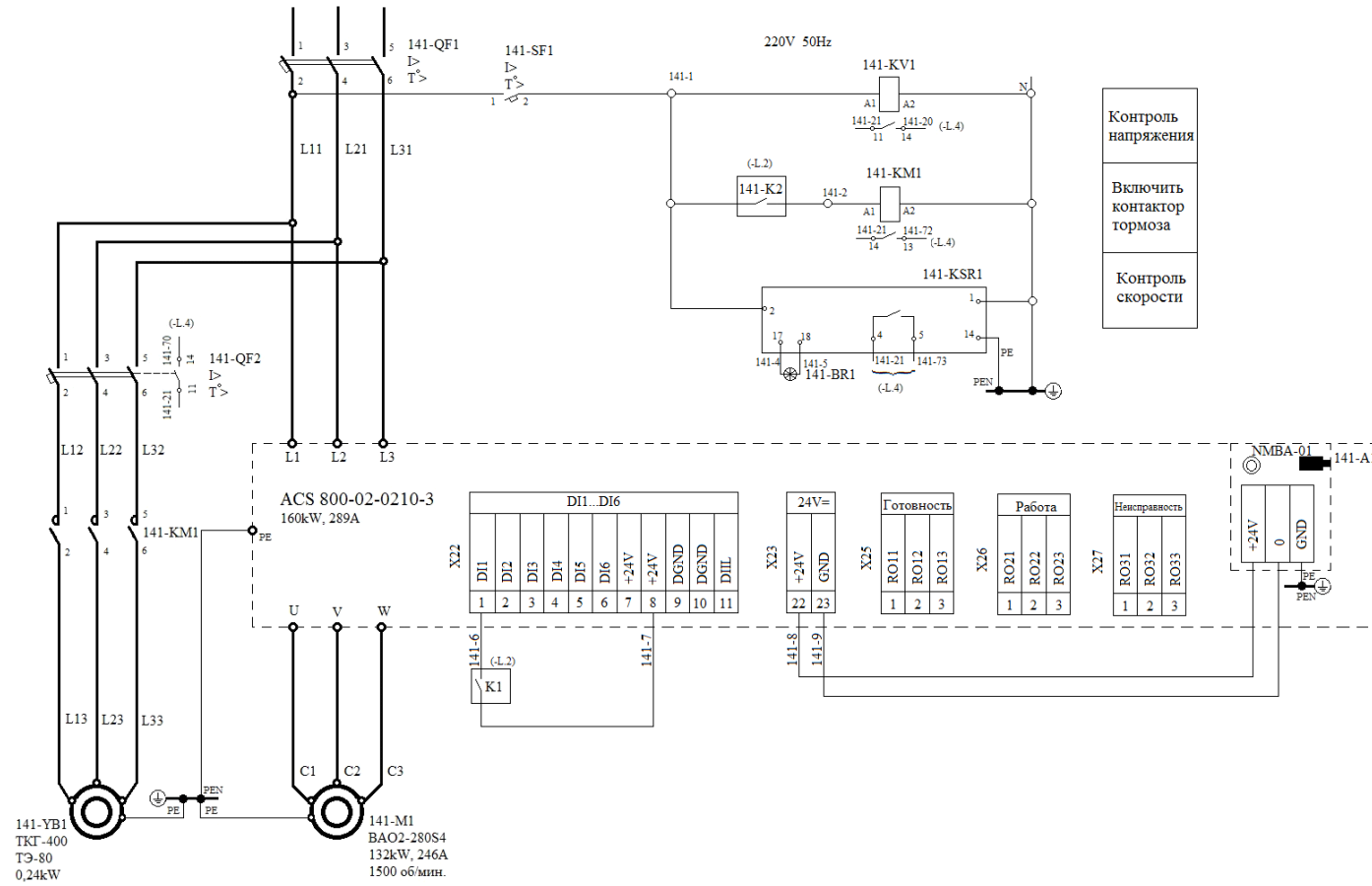


1 – груз; 2 - натяжное устройство; 3- барабан; 4 - загрузочное устройство; 5 - роликовая опора на холостой ветви ленты; 6 -роликовая опора на рабочей ветви ленты; 7 - тяговый элемент (лента); 8 - отклоняющий барабан; 9, 10 - разгрузочные устройства; 11 - разгрузочный желоб; 12 - устройство для очистки ленты.

# Схема электрическая функциональная

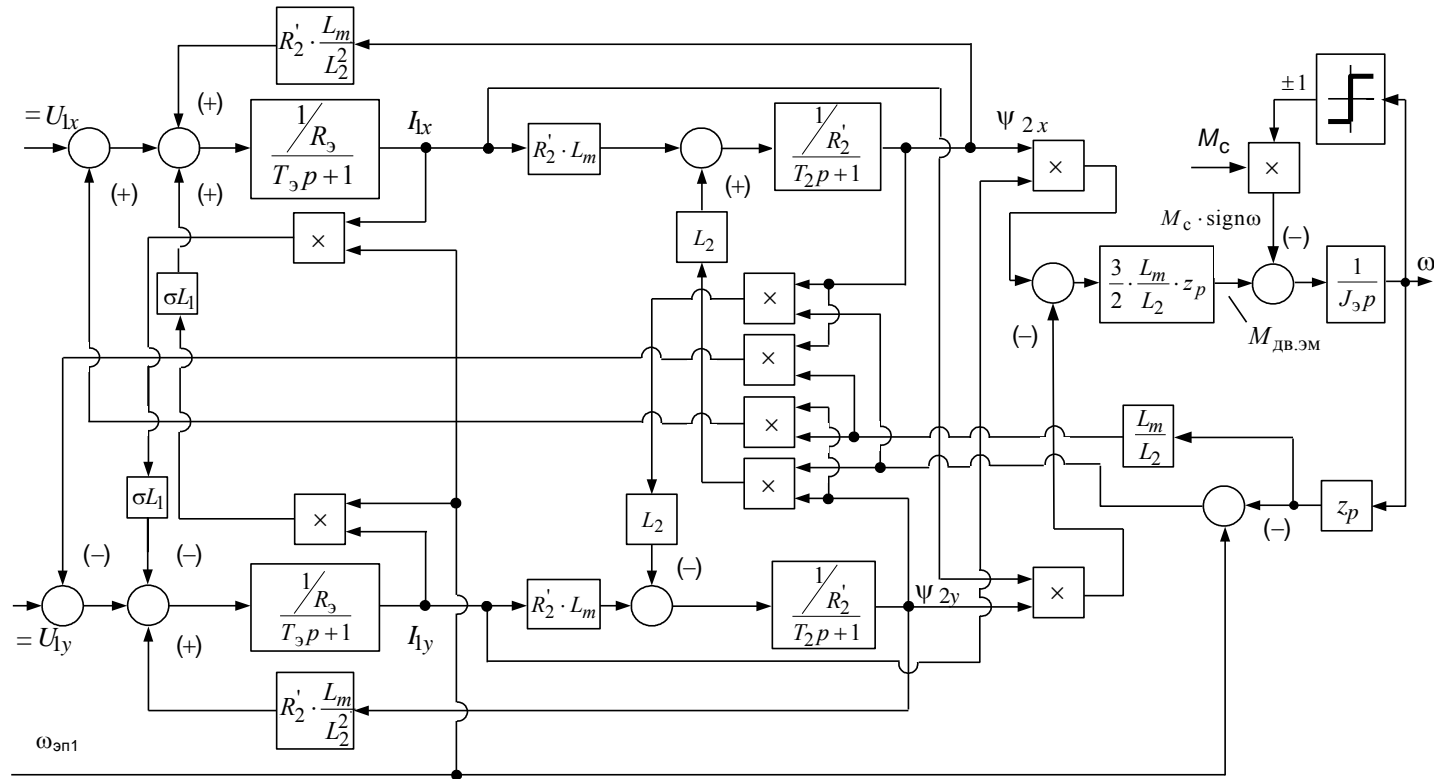


# Схема электрическая принципиальная

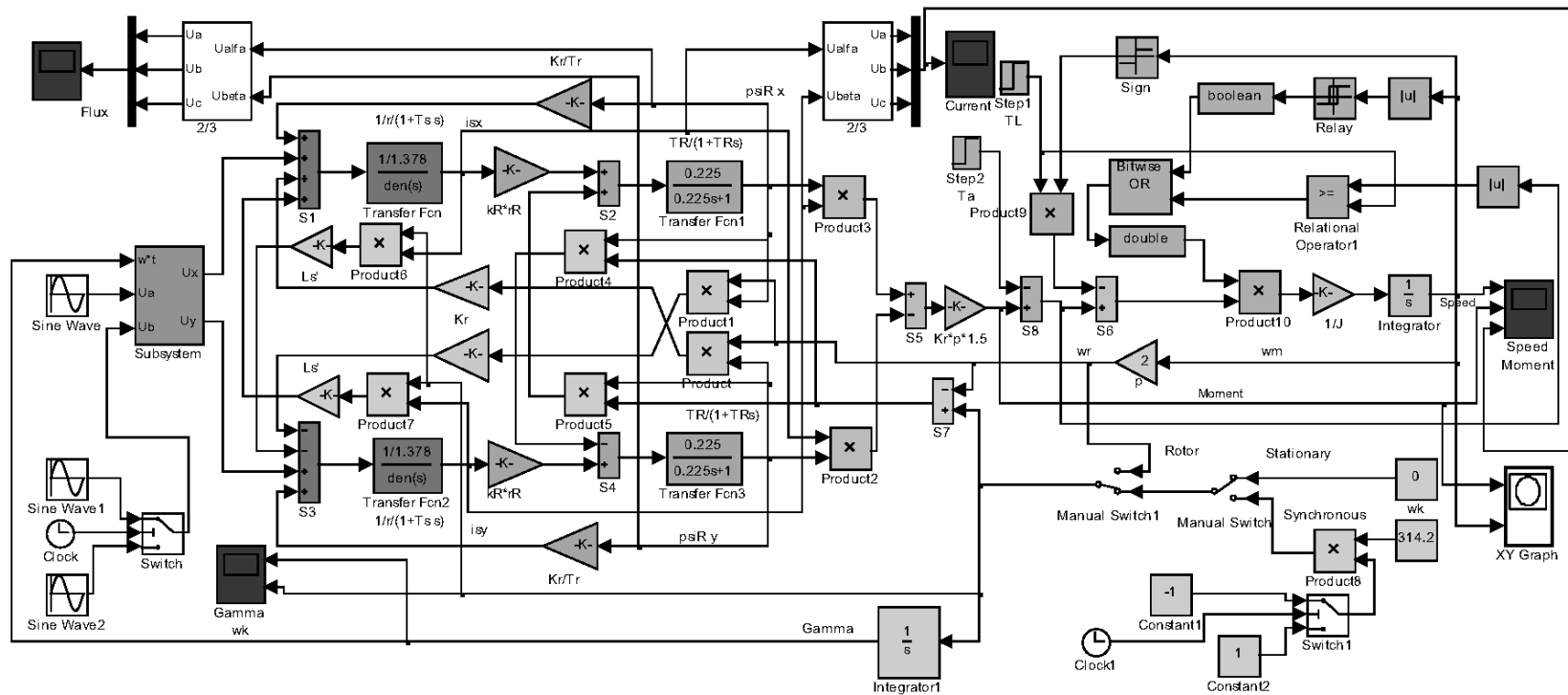


# Структурная схема асинхронного двигателя

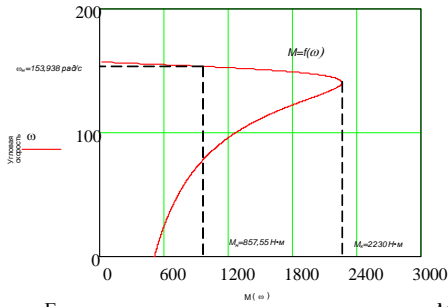
## во вращающейся системе координат



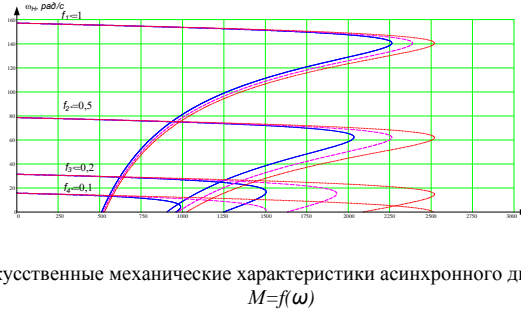
# Схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат



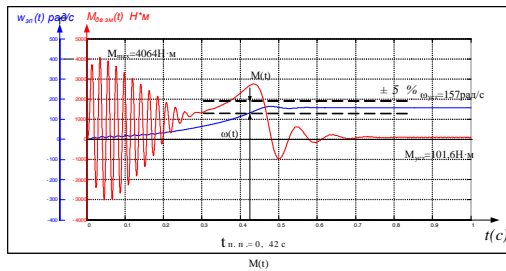
# Демонстрационный лист



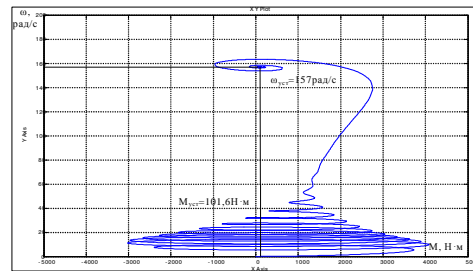
Естественная механическая характеристика  $M=f(\omega)$  асинхронного двигателя



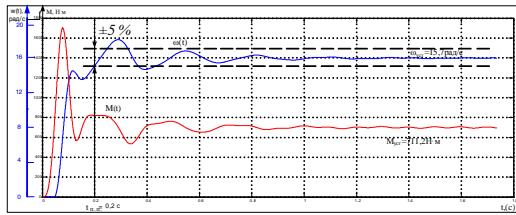
Искусственные механические характеристики асинхронного двигателя  $M=f(\omega)$



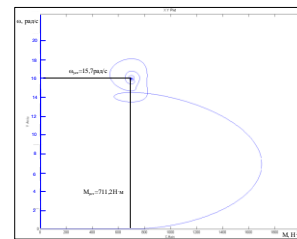
Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть



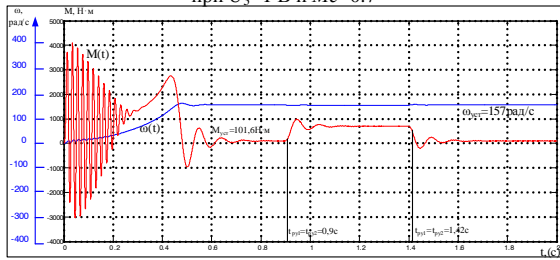
Динамическая механическая характеристика при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть



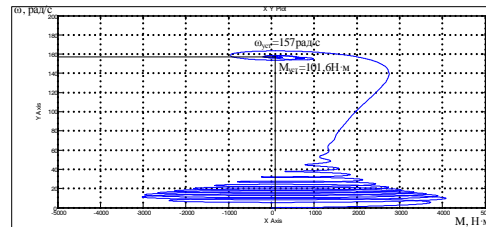
Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при  $U_3=1$  В и  $Mc=0.7$



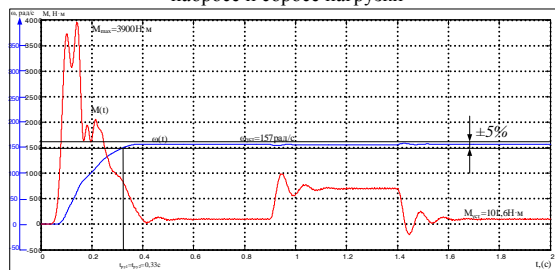
Динамическая механическая характеристика при  $U_3=1$  В и  $Mc=0.7$



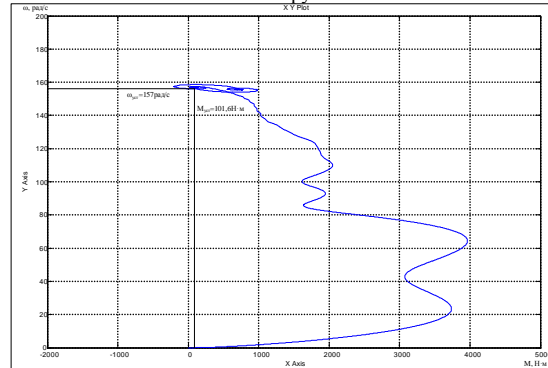
Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки



Динамическая механическая характеристика при набросе и сбросе нагрузки



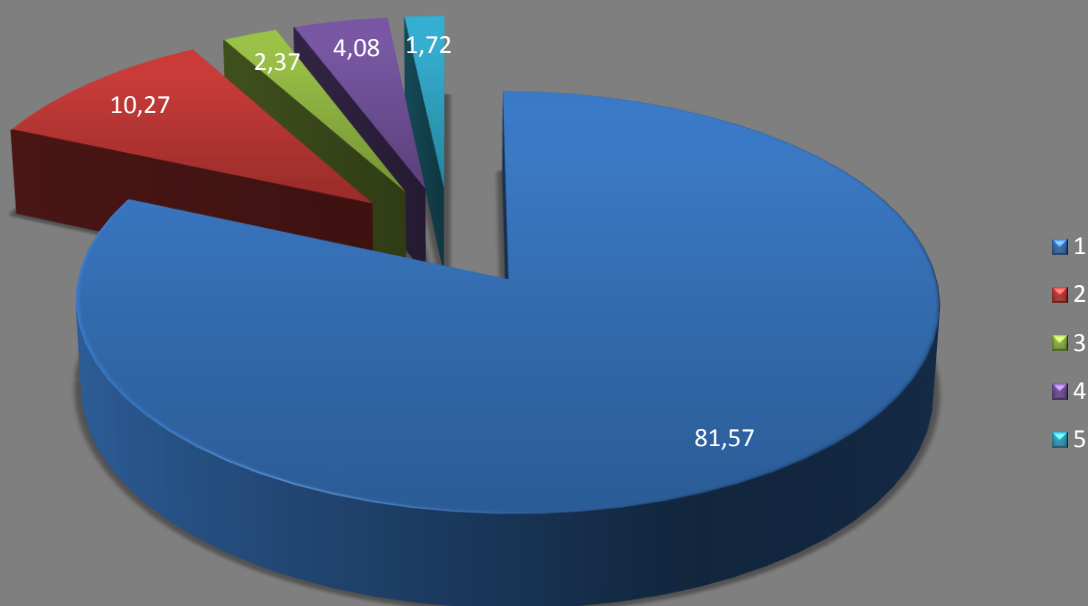
Переходной процесс скорости и момента  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .



Динамическая механическая характеристика  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

### Смета затрат на НИИ

Статьи расхода	Сумма		Примечания
	руб	%	
7. Материалы (оборудование) и комплектующие изделия	942113	81,57	
8. Основная заработная плата научно-производственного персонала	118 612	10,27	Трудоемкость нормо-д
9. ЕСН	27372	2,37	30%
10. Накладные расходы	47105	4,08	5% от ст.1
11. Амортизация	19816	1,72	
<b>12. Годовая сметная стоимость</b>	<b>1155018</b>	<b>100</b>	



Круговая гистограмма затрат на исследование