

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

---

Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
Отделение электроэнергетики и электротехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Регулируемый асинхронный электропривод ленточного конвейера обогащительной фабрики</b>

УДК 62-83-523:621.867.2:622.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Лисовский Е.М.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев М.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2019 г.

## Запланированный результат обучения

Код результат	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научнопроизводственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научноисследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социальноэкономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные

	работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

Уровень образования Магистратура

Отделение школы (НОЦ) 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

## КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН

### Выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Названия раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.10.2018 г.	Аналитический обзор	5
03.13.2018 г.	Описание технологического процесса	4
14.02.2019 г.	Описание ленточного конвейера	6
21.03.2019 г.	Расчет конвейера и выбор электрооборудования	3
25.04.2019 г.	Моделирование асинхронного электропривода	2
18.05.2019 г.	Социальная ответственность	5
22.05.2019 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
30.05.2019 г.	Оформление диссертации	10
	Итого	40

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСНО:**

**Руководителем ООП**

Должность	ФИО	Ученная степень, звание	Подпись	Дата
	Гарганеев А.Г.	д.т.н		

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

---

Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
Отделение электроэнергетики и электротехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Регулируемый асинхронный электропривод ленточного конвейера обогащительной фабрики</b>

УДК 62-83-523:621.867.2:622.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Лисовский Е.М.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев М.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2019 г.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ72	Лисовскому Евгению Михайловичу

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление</b>	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Характеристика объекта исследования.	Объектом исследования является регулируемый асинхронный электропривод ленточного конвейера обогатительной фабрики.
---	--

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

1. <b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. <b>Производственная безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой</li> <li>– Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов</li> <li>– Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП);</li> <li>– Неудовлетворительный микроклимат</li> <li>– Электробезопасность</li> <li>– Повышенный уровень напряженности электростатического поля</li> </ul>
3. <b>Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств);</li> <li>– Решение по обеспечению экологической безопасности.</li> </ul>
4. <b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– Выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> <li>– Пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные</li> </ul>

	средства пожаротушения)
--	-------------------------

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Лисовский Евгений Михайлович		

**ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Лисовскому Евгению Михайловичу

Институт	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 31000 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент 30%; Доплаты и надбавки 30%; Дополнительной заработной платы 15%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 28 %

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-Анализ конкурентных технических решений;
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- материальные затраты;</li> <li>- заработная плата (основная и дополнительная);</li> <li>- накладные расходы;</li> <li>- амортизационные отчисления.</li> </ul>
--	---

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта конкурентных технических решений*
2. *Календарный план проведения НИИ*
3. *Бюджет затрат НИИ*

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Лисовский Евгений Михайлович		



<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	
<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И.В.
Социальная ответственность	Гуляев М.В.
Приложение на англ. языке	Токмашев Д.М.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>3 РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Лисовский Е.М.		

## Приложение А

### Раздел 3

### РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Лисовский Е.М.		

Консультант кафедры ОЭЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ОИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Токмашев Д.М.	к.ф.н.		

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 129 страниц текста, 42 рисунка, 19 таблиц, 21 использованных источников.

**ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «ACS-880», 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 расчёт сметы затрат на приобретение основного электрооборудования, освещены вопросы стоимости и планирования пусконаладочных работ.

Шестая глава содержит безопасности и экологичность проекта, где освещены вопросы: производственная санитария, техника безопасности, пожарная безопасность, охрана окружающей среды и произведён расчёт искусственного освещения.

Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, в работе использованы программы MATLAB, MathCAD, Microsoft Paint, Microsoft Power Point, Microsoft Visio.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Грохочение.....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.1 Предварительная классификация.....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.2 Подготовительная классификация угля .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3 Дешламация угля на дуговых ситах и грохотах.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 Гидравлическая классификация .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.1Классификация шлама в гидроциклонах-классификаторах.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3 Обогащение в тяжёлых средах .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1 Обогащение угля в тяжелосредных сепараторах .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.2 Обогащение угля в тяжелосредных гидроциклонах.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4 Обогащение угля в спиральных сепараторах .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 Обезвоживание в центрифугах.....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.1 Обезвоживание концентрата в вибрационных фильтрующих центрифугах .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.2.Обезвоживание концентрата спиральных сепараторов в осадительно-фильтрующих центрифугах.....</b>	<b>26</b>
<b>1.6 Обезвоживание фильтрованием .....</b>	<b>27</b>
<b>1.7 Флокуляция.....</b>	<b>28</b>
<b>1.8 Складирование и погрузка.....</b>	<b>30</b>
<b>1.9 Ленточный конвейер в технологической цепи обогащения угля.....</b>	<b>30</b>
<b>2 ОПИСАНИЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА 120100Ф-180.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Устройство и принцип действия конвейера.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Система управления конвейерной линией .....</b>	<b>33</b>

<b>3 РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода</b>	<b>40</b>
<b>3.2 Преимущества и недостатки использования асинхронных электроприводов .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Особенности выбора частотно-регулируемого привода .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4 Расчет ленточного конвейера .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.1 Данные для расчёта ленточного конвейера .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.2 Предварительный расчет конвейера .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.3 Тяговый расчет.....</b>	<b>45</b>
<b>3.5 Выбор аппаратов контроля, защиты и сигнализации .....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.1 Контроль скорости движения ленточного полотна конвейеров .....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.2 Контроль схода и обрыва ленты.....</b>	<b>51</b>
<b>3.5.3 Контроль экстренного останова.....</b>	<b>52</b>
<b>3.5.4 Датчик контроля Turck BC20.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5.5 Сигнализатор звуковой СЗВ.....</b>	<b>54</b>
<b>3.5.6 Выбор преобразователя частоты .....</b>	<b>54</b>
<b>3.6 Расчет и построение по каталожным данным электродвигателя электромеханических и механических характеристик.....</b>	<b>59</b>
<b>3.6.1 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя .....</b>	<b>59</b>
<b>3.6.2 Расчет и построение электромеханических характеристик.....</b>	<b>64</b>
<b>3.6.3 Расчет и построение механической характеристики.....</b>	<b>65</b>
<b>3.6.4 Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик.....</b>	<b>67</b>

<b>4</b>	<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ .....</b>	<b>76</b>
<b>4.1</b>	<b>Математическая модель асинхронного двигателя .....</b>	<b>76</b>
<b>4.2</b>	<b>Структурная схема модели короткозамкнутого асинхронного двигателя .....</b>	<b>80</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Динамические характеристики асинхронного электродвигателя</b>	<b>84</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Исследование САУ ЭП с датчиком интенсивности без компенсации момента .....</b>	<b>89</b>
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>91</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>92</b>

## **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 участках, 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 или разгрузки. Перемещаемый насыпной груз располагается сплошным слоем на несущем элементе машины – ленте или отдельными порциями. Штучные грузы также перемещаются непрерывным потоком в заданной последовательности один за другим. 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.

Обогащительная фабрика должна быть построена в соответствии с высокими инженерными стандартами и оснащена высококачественным технологическим оборудованием для обогащения углей шахты. Обогащительная фабрика должна использовать прогрессивную обогащительную технологию с замкнутой водно-шламовой схемой.

Обогащительная фабрика в теории 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 рассмотрена методика расчета и исследования ленточного конвейера 120100ф-180.

## **1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Для приёма и складирования рядового угля марки «ГЖ», выдаваемого шахтой, на обогатительной фабрике имеется открытый склад напольного типа ёмкостью 40 000 тонн (~ на 2 суток). Интенсивность выдачи угля из шахты – до 4000 тонн/час. На складе предусматривается также приём рядовых углей, доставляемых автотранспортом [3].

Со склада рядовой уголь через разгрузочные проемы качающими питателями ПК-1,2-10МК подаётся на ленточные конвейера 120100 Ф-180, на которых имеются конвейерные весы, электромагнитные железоотделители ЭЖС-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 150 x 150 мм предусмотрено для отделения из рядового угля кусков крупнее 150 мм. 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 150 мм. Из надрешётного продукта класса крупнее 150 мм, 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 четырём машинным классам:

- класс +13мм – в тяжёлоосредних сепараторах в одну стадию с выделением концентрата и породы;
- класс 1,3 – 13мм – в тяжёлоосредних 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 ведётся 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 13 мм проводится на грохотах ГИСТ-72АК.

Подрешётный продукт предварительного грохочения (класс –13 мм) поступает на дешламационное дуговое сито SSB и грохот дешламационный горизонтальный однодечный с линейной вибрацией X16SD.

Надрешётный продукт класс +13 мм поступает на обогащение в тяжёлоосредний 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 применяется 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 – 0,15 мм) 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+13 мм) поступает на конвейер и далее на обогащение в тяжёлосредний сепаратор СКВП-32. При плотности суспензии (смесь железорудного концентрата – магнетита и воды)  $1,7-1,8$  г/см<sup>3</sup> происходит разделение на 2 продукта: концентрат и порода. 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 160100 Ф-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 36 X72. 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 тяжелосредних гидроциклонах

Надрешётный продукт дешламационных грохотов( класс+1,3 – 13мм) направляется в зумпф питания тяжёлосредних гидроциклонов, откуда вместе с суспензией центробежными насосами 10/8F-P подаётся в тяжёлосредние 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 6 X16SD 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 6 X16SD посредством конвейера 10063 Ф-80 и конвейеров 12080Ф-120 и 120125Ф-200 поступает в бункера породы.

Регенерация некондиционной суспензии производится путём её подачи из зумпфа некондиционной суспензии центробежными насосами 6/4Е-Р на двухбарабанный сепаратор на постоянных магнитах 36X120. Магнетитовый концентрат поступает в зумпф питания тяжёлосредних гидроциклонов.

Процесс обогащения ведётся 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 Декантер44 x132 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 ( $D=26\text{м}$ ).

В радиальный сгуститель с центральным приводом первой стадии ( $D=26\text{м}$ ) совместно со сливом гидроциклонов-классификаторов подаётся фугат фильтрующей секции осадительно-фильтрующих центрифуг Декантер и шламовые воды из бака шламовых вод ёмкостью  $1117\text{м}^3$  центробежными шламowymi насосами ШН-250-34, а также фильтраты концентратных фильтр-прессов. В сгустителе происходит осаждение шламов обработанных

флокулянтом 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 ( $D=26\text{м}$ ), кроме слива первой стадии сгущения, подаются центробежным одноступенчатым насосом 4/3D –Р фильтрат породного ленточного фильтр-пресса WXG-3.0 и подрешетный продукт грохота отходов спиральных сепараторов. Слив поступает в бак осветлённой воды ёмкостью  $500\text{м}^3$ , а далее центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами подачи осветлённой воды 10/8 F-Р поступает в оборот, а центробежными многоступенчатыми насосами общего назначения 202 FP 3L - на промывку фильтрующих лент фильтр-прессов, сальниковые уплотнения. Сгущённый продукт центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами 4/3 D – Р 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 160100 Ф-180 из главного корпуса по галерее поступает на склад готовой продукции, а далее посредством шибера направляется либо на конвейер 160100 Ф-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 160125 Ф-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 ёмкостью 40000 тыс. тонн рядовой уголь через разгрузочные проемы качающими питателями подаётся на ленточные конвейера 120100Ф-180 позиции 141-144. Затем уголь поступает на обогащение в главный корпус обогатительной фабрики. [3]

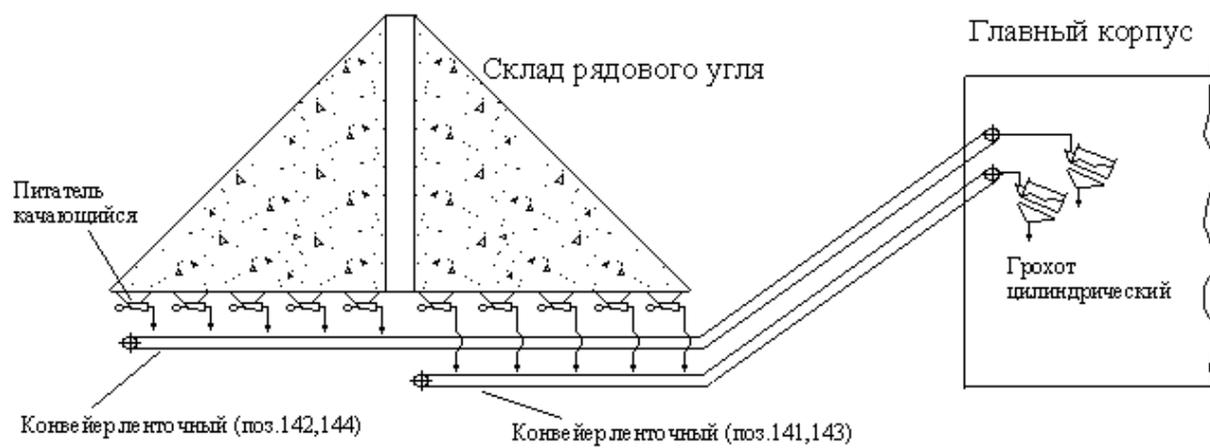


Рисунок – 1 Ленточный конвейер в технологической цепи обогащения угля

## **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), расположенными 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]

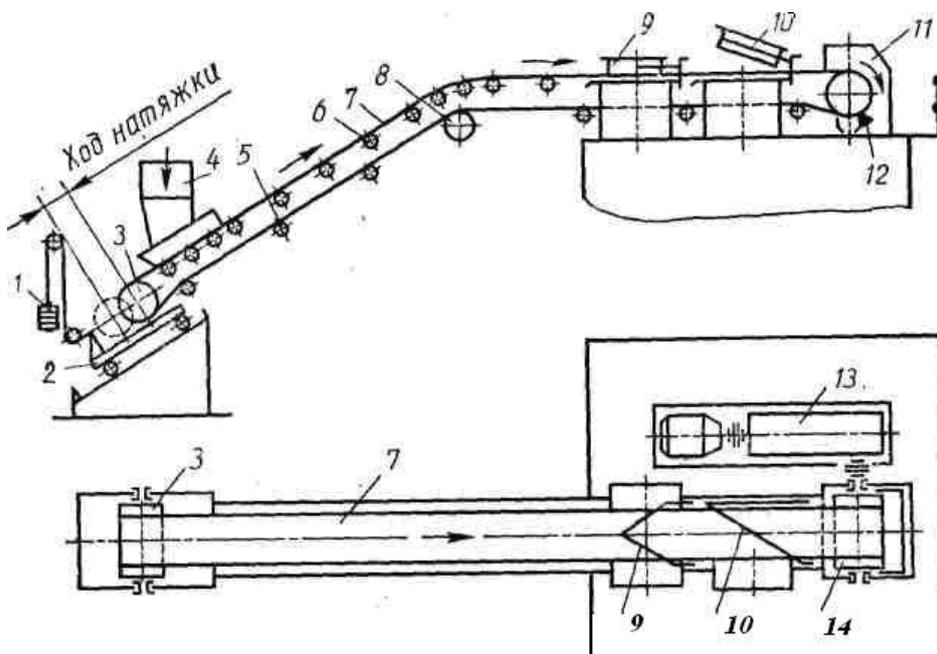


Рисунок 2 Функциональная схема конвейера

## 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.

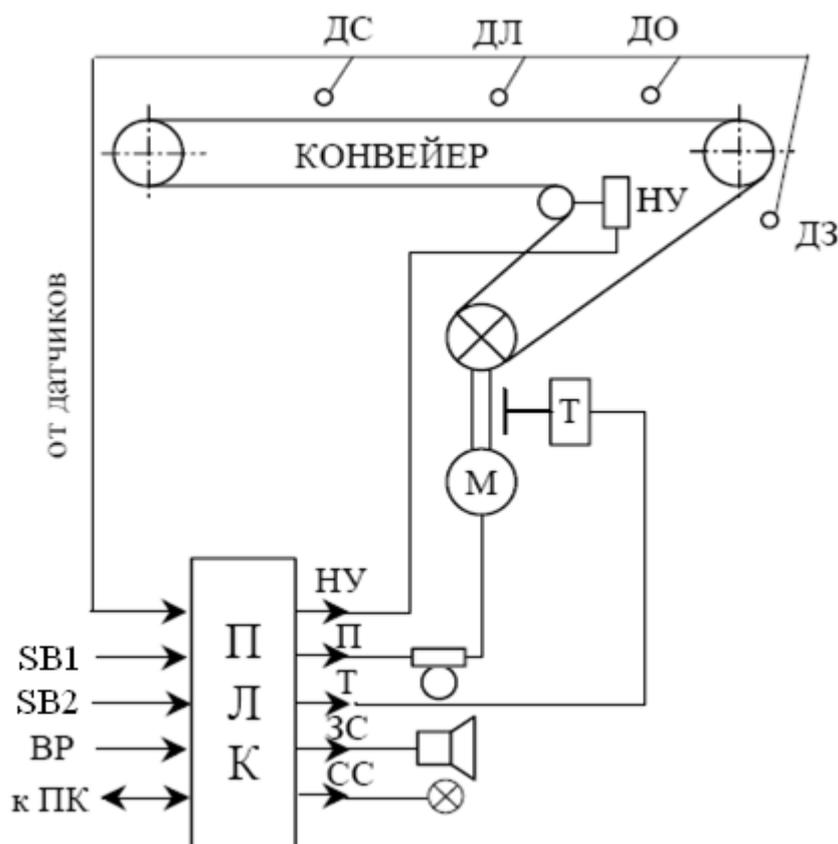


Рисунок 3 Система управления конвейерной линии

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 %.

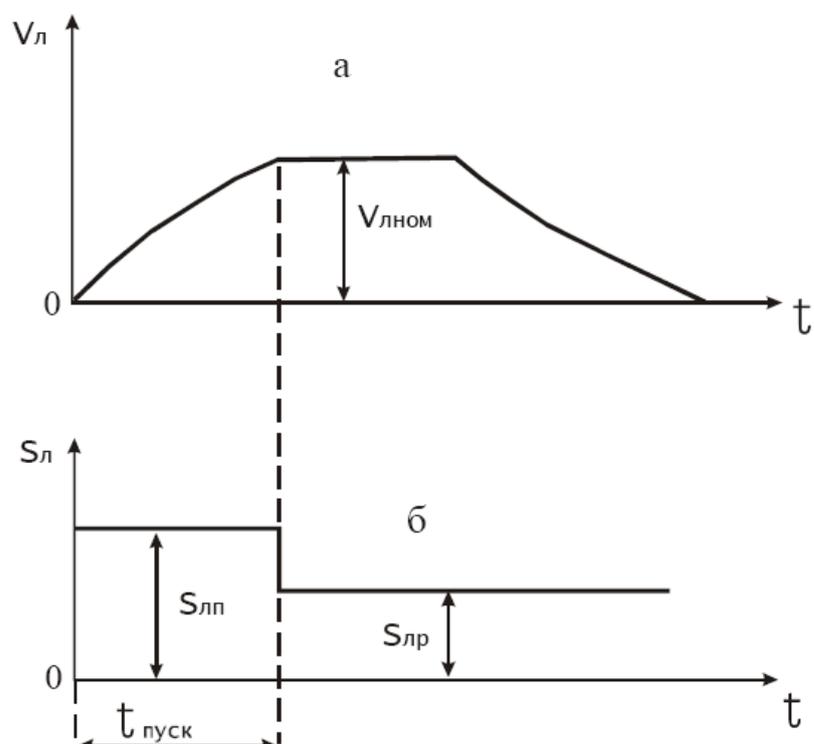


Рисунок – 4 Диаграммы изменения скорости (а) натяжения (б) ленты:  
 $V_{л ном}$  – номинальная скорость движения ленты;  $S_{лп}$ ,  $S_{лр}$  – натяжение ленты при пуске и работе;  $t_{пуск}$  – время разгона конвейера до номинальной скорости

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).

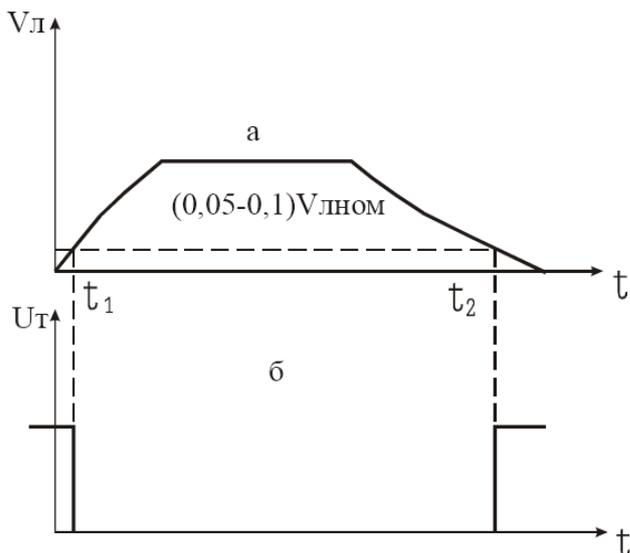


Рисунок – 5 Диаграммы изменения скорости ленты (а); управления тормозом (б)

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 конвейера.

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

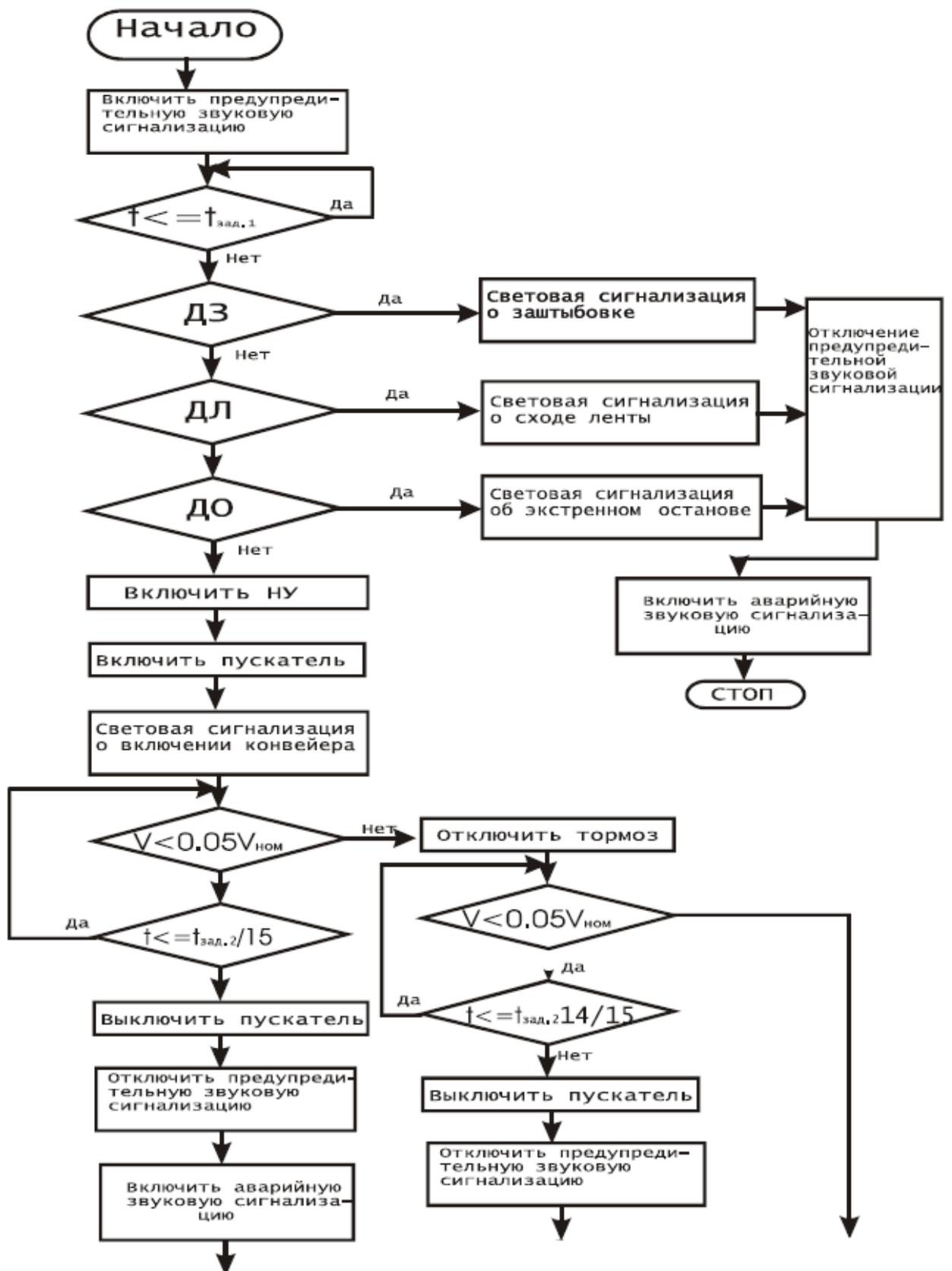


Рисунок – 6 Алгоритм локального управления пуском конвейера



Рисунок – 6( Продолжение)

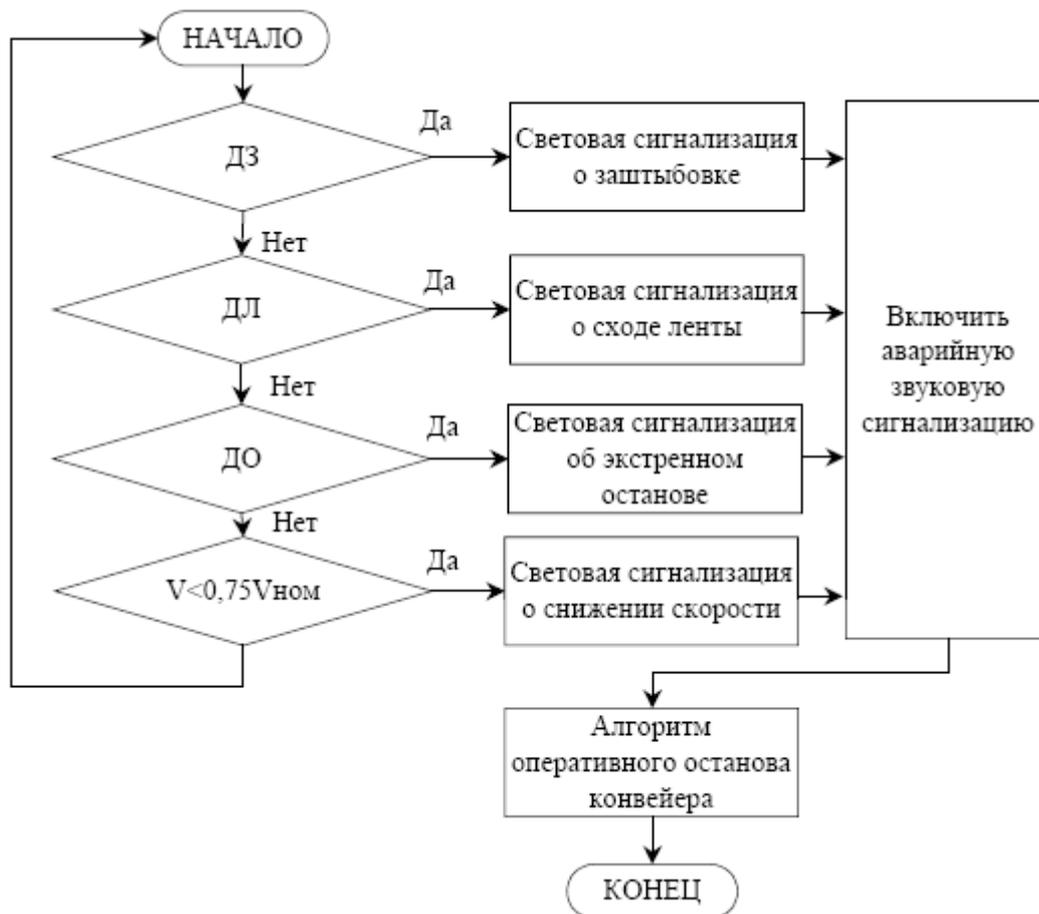


Рисунок – 7 Алгоритм автоматического контроля и защиты



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 регулируемыми 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 уровня.

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 преобразоват

елем 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%, а  $\cos\varphi$  – 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 завысить 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

$$e = 1,1 \cdot \left( \sqrt{\frac{Q_c}{K_n \cdot c \cdot v_0 \cdot \gamma}} + 0,05 \right),$$

где  $Q_c$  - необходимая часовая производительность конвейера;

$K_n$  - коэффициент производительности  $K_n = 560$  [ 1, 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).

$$e = 1,1 \cdot \left( \sqrt{\frac{600}{560 \cdot 0,85 \cdot 1,6 \cdot 0,85}} + 0,05 \right) = 1,14 \text{ м.}$$

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.

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

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.

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

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 2 Ш-1200-4 ТК

принимается  $m_l = 45 \frac{кг}{м^2}$  согласно [4, табл. 6]).

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

Масса груза на 1 м длины конвейера:

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

$$q_g = \frac{600}{3.6 \cdot 1.6} = 104.2 \frac{кг}{м}$$

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]

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

Масса вращающихся роlikоопор порожней ветви ленты:

$$q_p'' = \frac{G_p''}{l_p''}$$

где  $G_p''$  - массы вращающихся частей роликоопор порожней ветви ленты, принимается  $G_p'' = 21.5 \text{ кг}$ , согласно [1, табл. 7.11];

$l_p''$  - расстояние между роликоопорами нагруженной ветви ленты,

принимается  $l_p'' = 1.2 \text{ м}$ , согласно [1, табл. 7.12]

$$q_p'' = \frac{21,5}{2,4} = 9 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$$

Сопротивление грузовой ветви ленточного конвейера определяется по формуле:

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

где  $\beta$  - угол установки конвейера;

$w'$  - коэффициент сопротивления движению верхней ветви ленты, принимается  $w' = 0,04$ , согласно [4, табл. 4].

$$W_{zp} = 600 \cdot 9,81 \{ [(72,9 + 37) \cos 11^\circ + 20,8] \cdot 0,04 + (72,9 + 37) \sin 11^\circ \} = 153200$$

*H.*

Сопротивление движению порожней ветви определяется по формуле:

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

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

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

Сопротивление движению в месте очистного устройства:

$$W_{оч} = P_{с.о.} \cdot B,$$

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

$$W_{оч} = 500 \cdot 1,2 = 600 \text{ Н.}$$

Соппротивление движению в месте загрузки конвейера:

$$W_{заг} = 0,1 q_z (\mathcal{G}_0^2 - \mathcal{G}_1^2) \cdot g + f \cdot h_6^2 \cdot r \cdot g \cdot \kappa_6 + \kappa_9 \cdot l_6,$$

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

$h_6$  - высота борта, принимается  $h_6 = 1,5$  м согласно [4];

$\kappa_6$  - коэффициент бокового трения, принимается  $\kappa_6 = 0,8$ ;

$\kappa_9$  - удельное сопротивление трению уплотнительных резиновых полос о ленту, принимается  $\kappa_9 = 70$  Н / м;

$\mathcal{G}_0^2 - \mathcal{G}_1^2 = 2,5$  - рекомендуется принимать согласно [4].

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

Принципиальная схема ленточного конвейера приведена на рисунке 9.

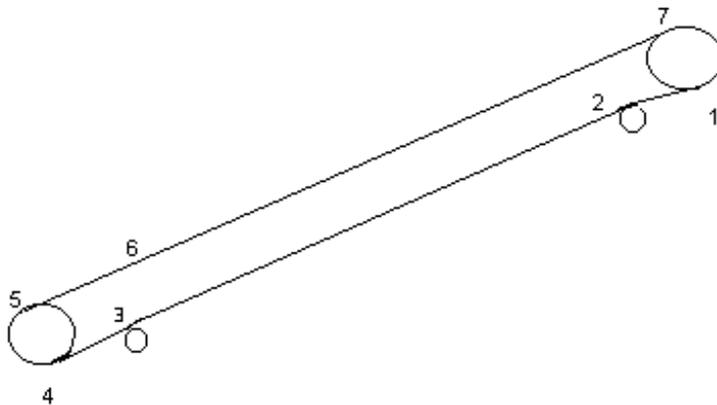


Рисунок 9 – принципиальная схема ленточного конвейера

Определяется натяжение ленты в каждой точке контура по формулам:

Натяжение в точке 2:

$$S_2 = S_1 \cdot W_{нов} = S_1 + S_{наб}(k_n - 1) = S_1 + S_1(1,03 - 1) = 1,03 \cdot S_1$$

Соппротивление на участке 2-3:

$$W_{2-3} = q_k \cdot L_{2-3}(\omega \cdot \text{Cos } 12 - \text{Sin } 12) = 63 \cdot 234(0,04 \cdot \text{Cos } 12 - \text{Sin } 12) = 2223 \text{ Н}$$

Натяжение в т. 3:

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = 1,03 \cdot S_1 + W_{2-3}$$

Натяжение в т. 4:

$$S_4 = S_3 + W_{нов} = 1,03 * S_3$$

Натяжение в т. 5:

$$S_5 = S_4 + W_{нов} = 1,05 * S_4$$

Сопротивление на погрузочном органе:

$$W_{потр} = \frac{Q \cdot V}{3,6} = \frac{600 \cdot 1,6}{3,6} = 266 \text{ Н.}$$

Сопротивление от направляющих бортов загрузочного лотка:

$$W_{л} = 50 * l = 50 * 2 = 100 \text{ Н}$$

Сопротивление на участке 5-6:

$$W_{5-6} = W_{ногр.} + W_{л} = 2666 + 100 = 2766 \text{ Н.}$$

Натяжение в т. 6:

$$S_6 = S_5 + W_{5-6} = 1,113 * S_1 + W_{5-6}$$

Сопротивление на участке 6-7:

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

Натяжение в т. 7:

$$S_7 = S_6 + W_{6-7} = 1,113 * S_1 + W_{5-6}$$

Подставив это соотношение в полученное выше выражение

$$S_1 = 22766,3$$

$$S_2 = 1,03 * 22766,3 = 23450$$

$$S_3 = 23450 + 2223 = 25670$$

$$S_4 = 1,03 * 25670 = 26440$$

$$S_5 = 1,03 * 26440 = 27230$$

$$S_6 = 1,113 * 22766,3 + 2766 = 28100$$

$$S_7 = 28100 + 58233 = 86330$$

$$W_0 = S_7 - S_1 = 63810 \text{ Н.}$$

Мощность на приводном валу конвейера:

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

Мощность двигателя для привода конвейера:

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

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

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

P, кВт	n <sub>0</sub> , об/мин	J, кг·м <sup>2</sup>	Номинальная нагрузка			$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
			S, %	η, %	cosφ				
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 Днепрпетровского 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. Внешний вид аппарата КС представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – внешний вид аппарата КС

Основные технические характеристики аппарата КС приведены в таблице 2 [19].

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение питания, В	220, 380
Потребляемая мощность, ВА, не более	10
Количество контактов выходного реле, шт	2 н.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. Внешний вид датчика БКВ представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 - внешний вид датчика БКВ

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. Внешний вид датчика КСЛ-2 представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 - внешний вид датчика КСЛ-2

### **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 грузолучковых 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. Внешний вид выключателя КТВ-2 представлен на рисунке 13. [21]

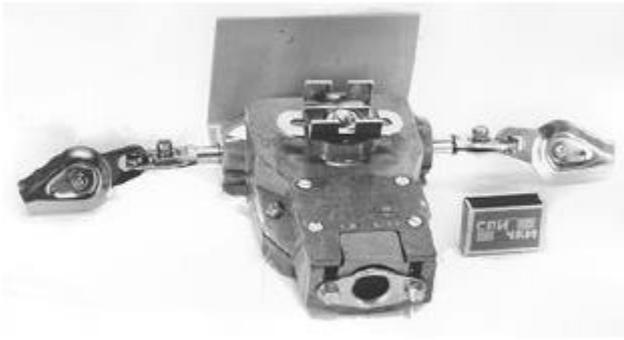


Рисунок 13 – выключатель КТВ-2М

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, ВА	6
Ход штока выключателя, мм	15

### 3.5.4 Датчик контроля Turck BC20

Для контроля места перегрузки угля от его завала применяется датчик Turck BC20, установленный в разгрузочный желоб места перегрузки. Внешний вид датчика представлен на рисунке 14.

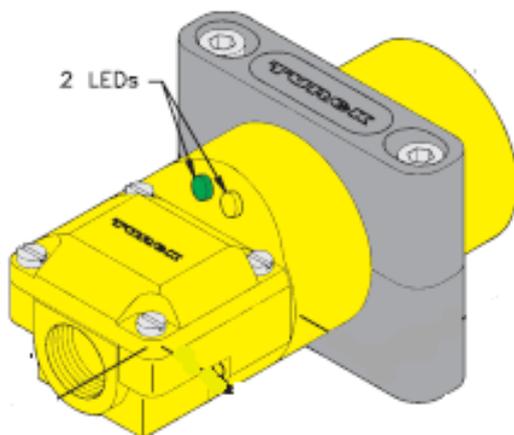


Рисунок - 14 Внешний вид датчика Turck BC20

### 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. Внешний вид сигнализатора СЗВ показан на рисунке 15.



Рисунок 15 - Внешний вид сигнализатора СЗВ

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, ВА, 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 16 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.

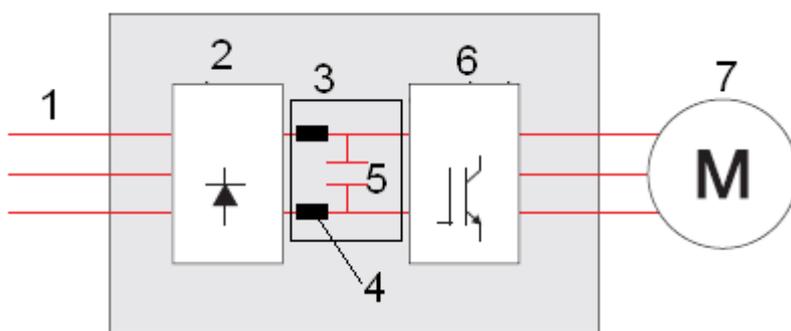


Рисунок 16 – Функциональная схема электропривода по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель [11]

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 8xС196МН. Функциональная схема микропроцессорной системы управления показана на рисунке 17.

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,  $\pm 10$  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.

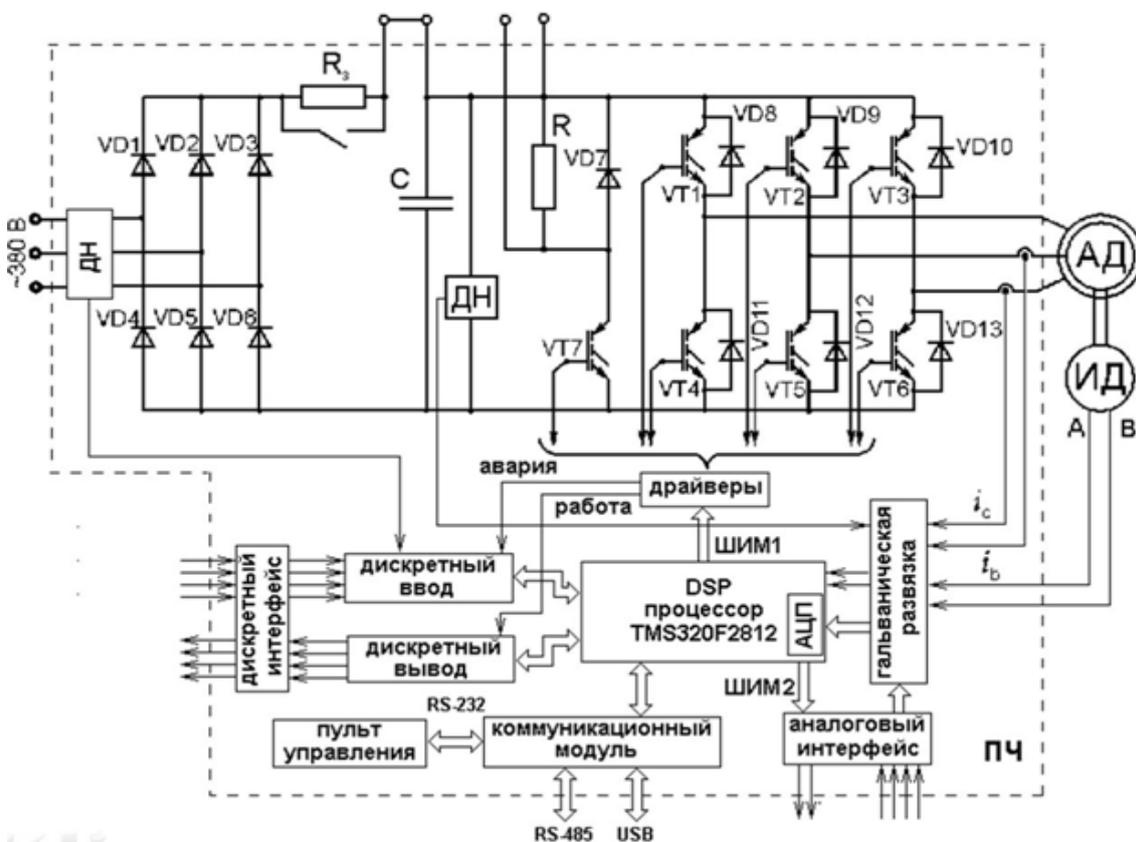


Рисунок 17– Функциональная схема преобразователя частоты

Однако сохранились ПЧ на полууправляемых ключевых элементах, которые открываются по цепи управления, а закрываются либо в моменты окончания протекания в них силового тока, либо путем подачи в силовую цепь вентиля 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 и	Работа с небольшой перегрузкой	Работа в тяжелом режиме	Уровень шума	Рассеиваемая мощность		
$I_{cont.max}$ , А	$I_{max}$ , А	$P_{cont.max}$ , кВт	$I_n$ , А	$P_n$ , кВт	$I_{hd}$ , А	$P_{hd}$ , кВт	дБА	Вт
$U_n = 400 \hat{A}$ (диапазон 380-415 В) Значения номинальной мощности действительны при номинальном напряжении 400 В.								
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 %

Внешний вид преобразователя частоты ACS800 показан на рисунке 18.  
[11]



Рисунок – 18 Преобразователь частоты ACS800 фирмы АВВ

### 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 19. [9]

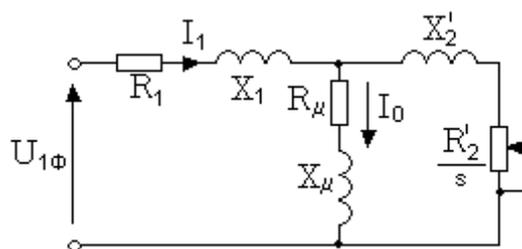


Рисунок 19 – Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned} \overline{U}_{1\phi} - \overline{E}_1 - j \cdot X_1 \cdot \overline{I}_1 &= 0; \\ \overline{E}_1 + j \cdot X_2' \cdot \overline{I}_2 + R_2' \cdot \overline{I}_2 / s &= 0; \\ \overline{I}_1 + \overline{I}_2 - \overline{I}_0 &= 0. \end{aligned}$$

«...Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным:...» [9].

$$P_H = 132 \text{ кВт}, \text{ — номинальная мощность двигателя};$$

$$U_H = 220 \text{ В}, \text{ — номинальное фазное напряжение};$$

$$n_H = 1500 \text{ об/мин}, \text{ — номинальная частота вращения};$$

$$s_H = 0,2\%, \text{ — номинальное скольжение};$$

$\eta_1 = 93,9\%$ , – коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка);

$\cos \phi_1 = 0,88$ , – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$$k_i = \frac{I_{\Pi}}{I_{\text{H}}} = 6,5 \text{ о.е.} \text{ – кратность пускового тока;}$$

$$k_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{M_{\text{H}}} = 2 \text{ о.е.}, \text{ – кратность пускового момента;}$$

$$k_{\text{max}} = \frac{M_{\text{k}}}{M_{\text{H}}} = 2,6 \text{ о.е.}, \text{ – кратность максимального момента;}$$

$$k_{\text{min}} = \frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{H}}} = 1 \text{ о.е.}, \text{ – кратность минимального момента.}$$

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

- магнитные и механические потери в двигателе составляют  $0,02 P_{\text{H}}$ ;
- 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:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1\text{H}} (1 - s_{\text{H}}) / (1 - p_* s_{\text{H}})]^2}{1 - [p_* (1 - s_{\text{H}}) / (1 - p_* s_{\text{H}})]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{183,361^2 - [0,75 \cdot 242,037 \cdot (1 - 0,02) / (1 - 0,75 \cdot 0,02)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,02) / (1 - 0,75 \cdot 0,02)]^2}} = 47,566 \text{ А,}$$

где  $I_{11}$  – номинальный ток статора двигателя;

$$I_{1\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{3 \cdot U_{1\text{H}} \cdot \cos \phi_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}} = \frac{132000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,939} = 242,037 \text{ А;}$$

$I_{11}$  – ток статора двигателя при частичной загрузке;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 132000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,939} = 183,361 \text{ A};$$

$\cos \phi_{p_*}$  – 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 нагрузке на 10–15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому к основным техническим характеристикам аппарата КС приведены в таблице 2 ПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $p_* = 0,75$  равны между собой, т.е.  $\eta_I = \eta_{0,75} = 93,8\%$ ;

– 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 19.

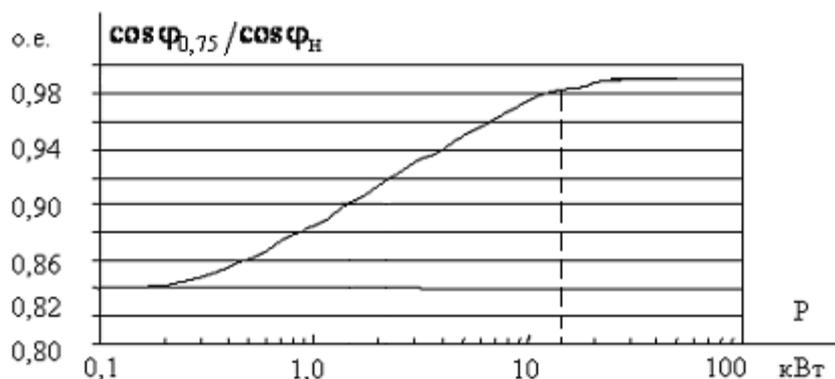


Рисунок 20 – Зависимость  $\cos\phi_{0,75}/\cos\phi_H$  от мощности асинхронного двигателя

Согласно зависимости, приведенной на рисунке 4, для мощности двигателя  $P = 132000$  Вт отношение  $\cos\phi_{0,75}/\cos\phi_H = 0,98$ , следовательно, коэффициент мощности при частичной нагрузке составит  $\cos\phi_{P^*} = 0,98 \cdot \cos\phi_H = 0,861$ .

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения:

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

$$= 0,027 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)} = 0,107$$

Где  $C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1H})) = 1 + (45,764 / (2 \cdot 6 \cdot 242,037)) = 1,015$ .

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

$$A_1 = m U_{1\phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H) =$$

$$= 3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,02) / (2 \cdot 1,015 \cdot 2,6 \cdot 132000) = 0,204.$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1/s_k) C_1 = 0,204 / (1 + 1/0,107) \cdot 1,015 = 0,019 \text{ Ом},$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 R_2' \beta = 1,015 \cdot 0,019 \cdot 1 = 0,02 \text{ Ом}.$$

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

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,107^2) - 1} = 9,281,$$

тогда  $X_{кн} = \gamma C_1 R_2' = 9,281 \cdot 1,015 \cdot 0,02 = 0,183 \text{ Ом}$ .

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления  $X_{кн}$  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

$$X_{2н}' = 0,58 X_{кн} / C_1 = 0,58 \cdot 0,183 / 1,015 = 0,105 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению

$$X_{1н} = 0,42 X_{кн} = 0,42 \cdot 0,183 = 0,077 \text{ Ом}.$$

По найденным значениям  $C_1$ ,  $R_2'$ ,  $R_1$  и  $X_{кн}$  определим критическое скольжение

$$s_{к} = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,015 \cdot 0,019}{\pm \sqrt{0,02^2 + 0,183^2}} = \pm 0,107.$$

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

Согласно векторной диаграмме (рисунок 3) ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$E_1 = \sqrt{(U_{1j} \cos \phi_{1н} - R_1 I_{1н})^2 + (U_{1j} \sin \phi_{1н} + X_1 I_{1н})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 0,02 \cdot 242,037)^2 + (220 \cdot \sin(\arccos(0,88)) + 0,077 \cdot 242,037)^2} = 207,418 \text{ В},$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu н} = E_1 / I_0 = 207,418 / 47,566 = 4,361 \text{ Ом}.$$

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  $s$

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H} f_{1*}}\right)^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{(0,002 + 0,019/s)^2 + 0,183^2 \cdot 1 + \left(\frac{0,02 \cdot 0,019}{s \cdot 4,361 \cdot 1}\right)^2}},$$

где

$U_{1j} = 220\text{В}$  – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1н}} = 1 \text{ – относительное значение частоты питающего напряжения.}$$

ения.

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  $\bar{I}_0$  и вектора тока ротора  $\bar{I}_2'$  (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

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2} = \sqrt{47,566^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 47,566 \cdot I_2' \cdot 0,673},$$

$$\text{где } \sin \phi_2 = \frac{x_{\text{кн}} f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 f_{1*}^2}} = \frac{0,218 \cdot 1}{\sqrt{(0,02 + 0,019/s)^2 + 0,182^2}}$$

Вид электромеханических характеристик представлен на рисунке 20.

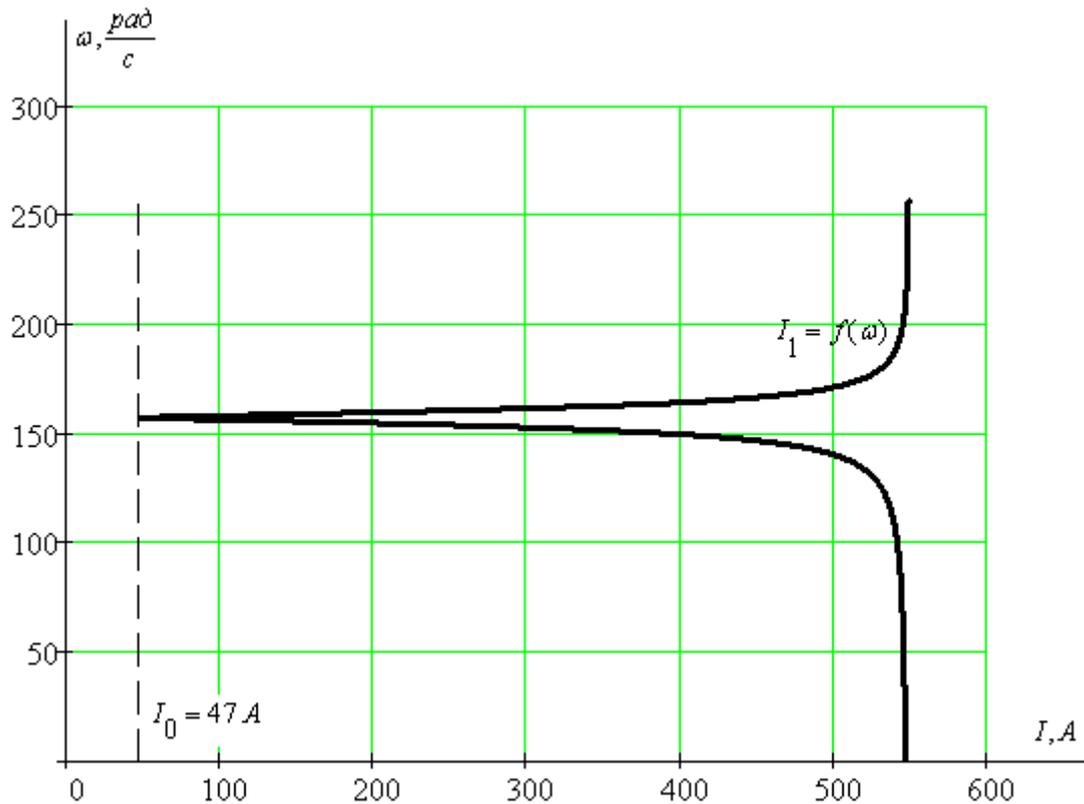


Рисунок 21 – Электромеханическая характеристика  $I_1 = f(\omega)$  асинхронного двигателя

### 3.6.3 Расчет и построение механической характеристики

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

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,014}{104,72 \cdot s_j \cdot \left[ 0,218^2 + \left( 0,014 + \frac{0,014}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{0,014 \cdot 0,014}{s_j \cdot 4,518 \cdot 1} \right)^2 \right]}$$

Вид механической характеристики приведен на рисунке 21.

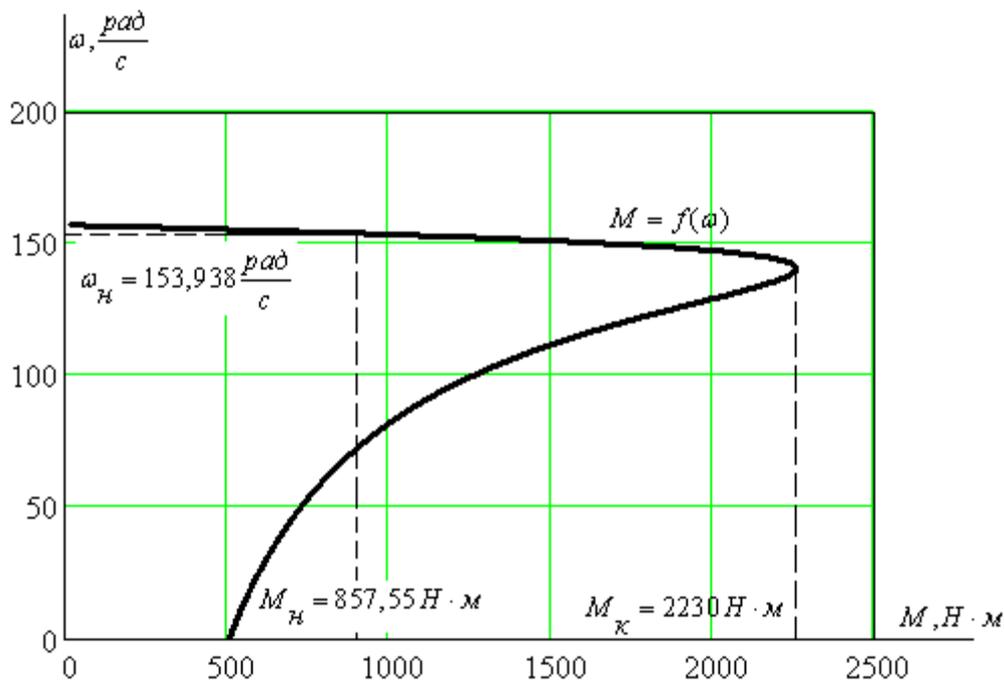


Рисунок 22 – Механическая характеристика  $M = f(\omega)$

асинхронного двигателя

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_H}{n_0(1 - S_H)} = 9,55 \cdot \frac{132000}{1500 \cdot (1 - 0,02)} = 857,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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  $\frac{U}{f} = \text{const}$ ,  $\frac{E}{f} = \text{const}$ .

Синхронная частота вращения

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,1415 \cdot 1500}{30} = 157,075 \text{ рад/с.}$$

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

При  $f=50$  Гц:

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

$$\text{Регулируемая синхронная скорость } \omega_{0j} = \omega_0 \cdot f_{1*} = 157,075 \cdot 1 = 157,075 \text{ рад/с.}$$

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

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
$f_{1*}$ , Гц	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}$ , рад/с	157,08	78,54	31,416	15,708
$U_{1j}$ , В	220	110	44	22
$I_{2K3}$ , А	1182	1111	824,564	510,644

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

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$\Gamma_2(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S_j}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_j \cdot X_{\mu} \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 7.

Критический момент

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

Критическое скольжение

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

При  $f = 50$  Гц      $M_{кр} = 2276$  Нм      $S_{кр} = 0,104$

При  $f = 25$  Гц      $M_{кр} = 2042$  Нм      $S_{кр} = 0,204$

При  $f = 10$  Гц      $M_{кр} = 1502$  Нм      $S_{кр} = 0,457$

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

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

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

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 8.

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

Такой 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, определенное уравнением  $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ , то есть на величину падения напряжения на  $R_1$ .

Данный способ регулирования получил название частотного регулирования скорости с IR-компенсацией. Сравним механические и электромеханические характеристики асинхронного двигателя при законе регулирования

скорости  $\frac{U}{f} = \text{const}$  и  $\frac{E}{f} = \text{const}$  при полной ( $K_M = 1$ ) и при частичной ( $K_M = 0,5$ )

IR-компенсациях.

При  $f=50$  Гц:

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

Регулируемая синхронная скорость  $\omega_{0j} = \omega_0 \cdot f_{1*} = 157,08 \cdot 1 = 157,08$  рад/с.

Регулируемая ЭДС  $E_{1j} = E_1 \cdot f_{1*} = 207,418 \cdot 1 = 207,418$  В.

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

**1.  $K_M = 0.5$**

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

Относительное скольжение  $S_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$\Gamma_2(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(X_1 + X_2)^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{S_j}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{S_j \cdot X_\mu \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 22.

Критический момент

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

Критическое скольжение

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

При  $f = 50 \text{ Гц}$       $M_{кр} = 2404 \text{ Нм}$       $S_{кр} = 0,104$

При  $f = 25 \text{ Гц}$       $M_{кр} = 2276 \text{ Нм}$       $S_{кр} = 0,208$

При  $f = 10 \text{ Гц}$       $M_{кр} = 1936 \text{ Нм}$       $S_{кр} = 0,503$

При  $f = 5 \text{ Гц}$       $M_{кр} = 1502 \text{ Нм}$       $S_{кр} = 0,915$

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 8.

## 2. $K_M = 1$

Ток короткого замыкания

$$I_{2K3} = \frac{E_{1j} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left( (R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1202 \text{ А}$$

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
$I_{2K3}, \text{ А}$	1202	1183	1072	836,17

Относительное скольжение

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

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

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

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 22.

Критический момент

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

Критическое скольжение

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

При  $f = 50$  Гц      $M_{кр} = 2539$  Нм      $S_{кр} = 0,104$

При  $f = 25$  Гц      $M_{кр} = 2539$  Нм      $S_{кр} = 0,209$

При  $f = 10$  Гц      $M_{кр} = 2539$  Нм      $S_{кр} = 0,522$

При  $f = 5$  Гц      $M_{кр} = 2539$  Нм      $S_{кр} = 1,044$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

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

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 23.

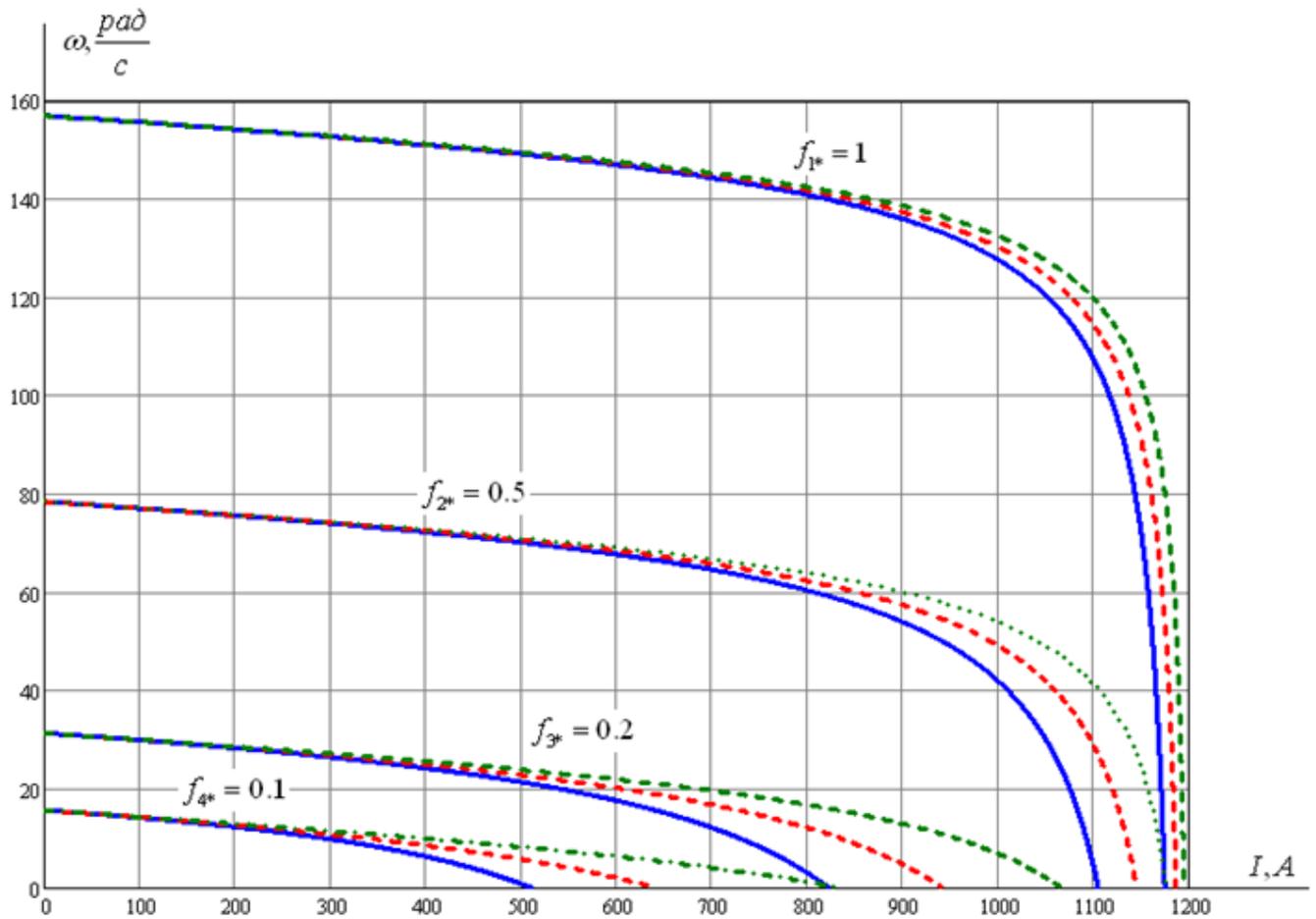


Рисунок 23- Электромеханические характеристики асинхронного двигателя:

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

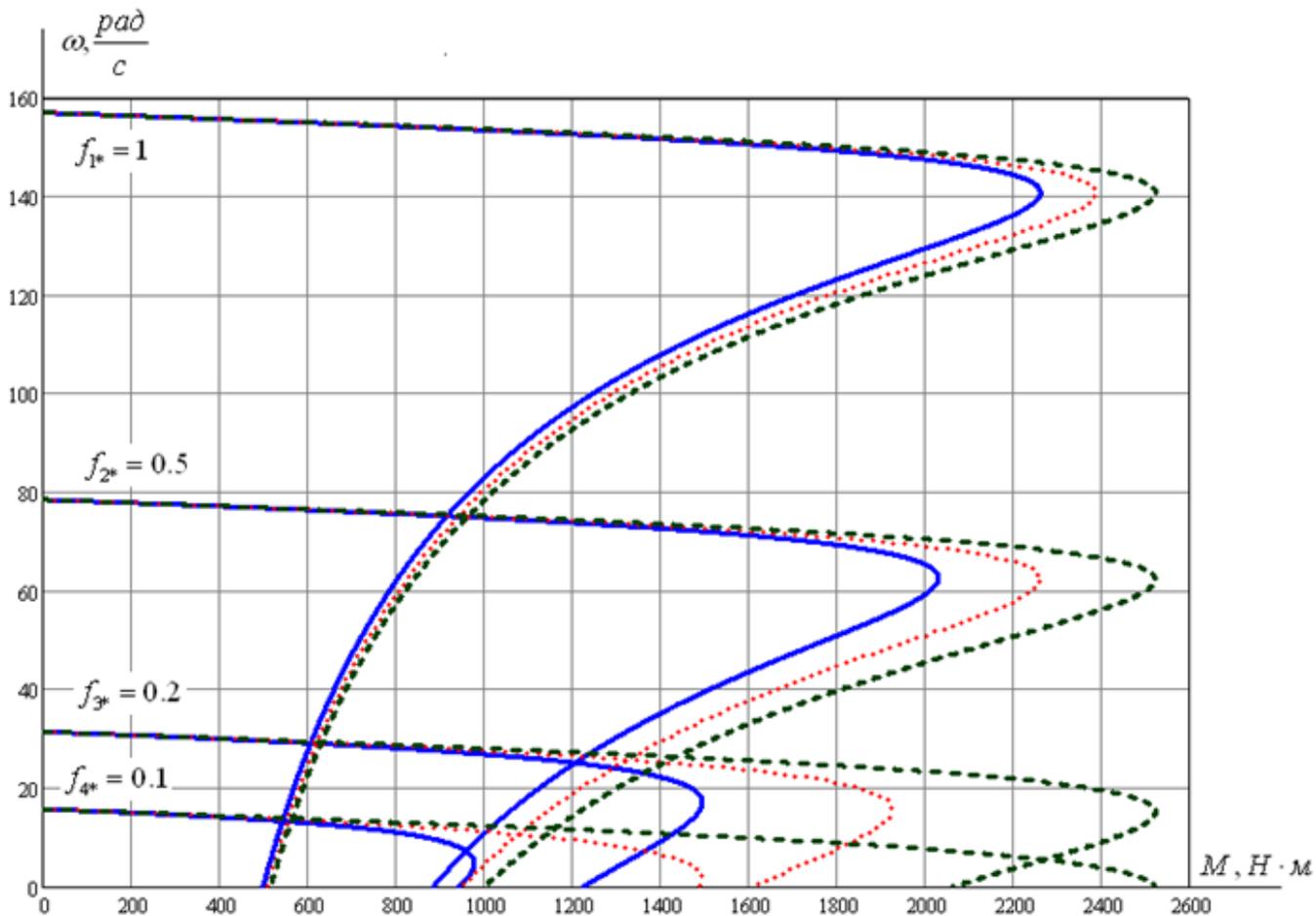


Рисунок 24 - Механические характеристики асинхронного двигателя:

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

При законе регулирования частоты  $\frac{U}{f} = \text{const}$  критический момент уменьшается 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  $\Gamma_2$  уменьшается.

При законе управления  $\frac{E}{f} = \text{const}$ , 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  $\frac{E}{f} = \text{const}$ , 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.

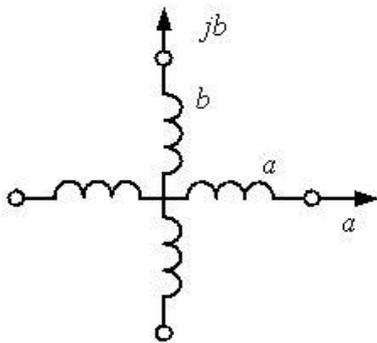


Рисунок - 25 Обмотки двухфазной электрической машины переменного тока

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;

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

$\omega$  – скорость вращения ротора.

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

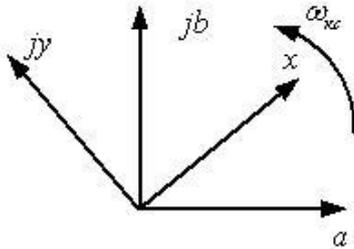


Рисунок - 26 Вращающаяся система координат

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

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

где  $\omega_{\text{кС}}$  - 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  $\frac{\omega_r}{z_p} = \omega_\delta$  – частота вращения вала двигателя;  $J_\Sigma$  – суммарный

момент инерции привода;  $M_c$  – момент сопротивления.

## **4.2 Структурная схема модели короткозамкнутого асинхронного двигателя**

По вышеприведенной системе уравнений построена структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат (рисунок 26).

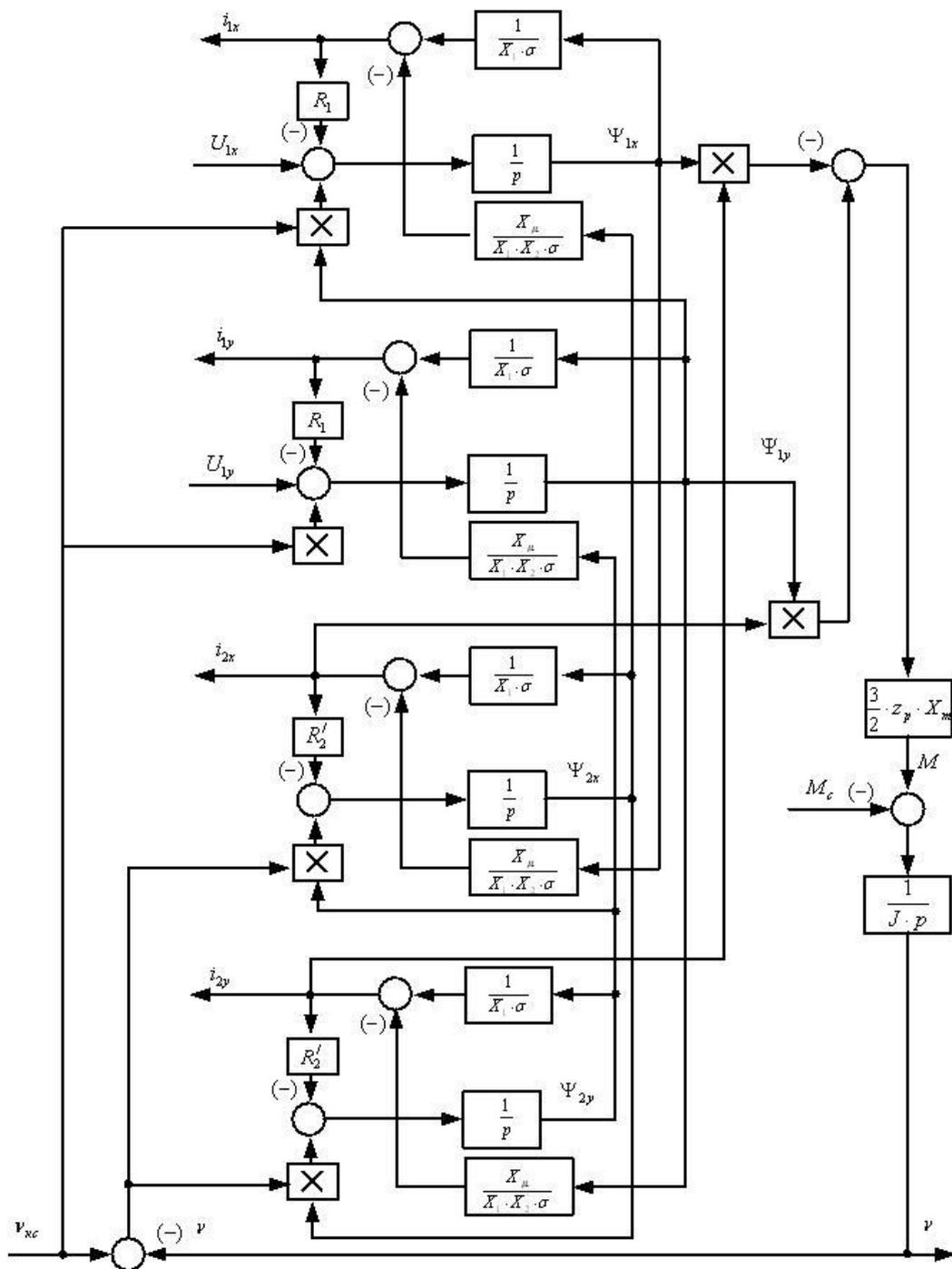


Рисунок 27 - Структурная схема модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат

В системе уравнений значения переменных представлены в абсолютных величинах. Запись же моделей АД в относительных единицах (о.е.) позволяет:

- 1) представить их в более простом виде;
- 2) облегчить контроль правильности расчетов при компьютерном моделировании на ЭВМ или микроконтроллере;
- 3) упростить сравнение поведения асинхронных электродвигателей в

различных режимах работы, сравнение машин различных мощностей и типов ; 4) выражать разные по своей сути физические величины одним и тем же числом, например, зависимости напряжения, потокосцепления, потока, индукции в воздушном зазоре машины от магнитодвижущей силы могут быть выражены одной и той же кривой.

Представление модели АД в о.е. может быть осуществлено в результате выполнения процедуры нормирования модели асинхронного электродвигателя. Сущность процедуры нормирования состоит в выборе трех независимых базовых физических величин (БФВ) через которые могут быть однозначно определены все остальные БФВ, встречающиеся в приводе. При определении БФВ используется теория подобия [8], учитывающая соблюдение подобия процессов, описываемых фундаментальными физическими законами в пространстве реальных и нормированных величин.

Для определения абсолютного (реального) значения некоторой переменной модели объекта, представленной в о. е., достаточно умножить эту переменную на соответствующую ей базовую физическую величину.

За базисные значения принимаются величины соответствующие номинальному режиму работы АД:

Амплитудное значение номинального фазного напряжения обмотки статора:

$$U_B = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,13 \text{ В};$$

Амплитудное значение номинального фазного тока:

$$I_B = \sqrt{2} \cdot I_{1\phi} = \sqrt{2} \cdot 242,037 = 342,292 \text{ А};$$

$$\text{Сопrotивление: } R_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{311,13}{342,292} = 0,909 \text{ Ом}$$

Угловая частота питающего напряжения двигателя в номинальном режиме:

$$\omega_B = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14159 \cdot 50 = 314,16 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

Потокосцепление:

$$\Psi_B = \frac{U_B}{\omega_B} = \frac{311,13}{314,16} = 0,99 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}};$$

$$\text{Время: } t_B = \frac{1}{\omega_B} = \frac{1}{314,16} = 0,0032 \text{ с};$$

Электромагнитный момент:

$$M_B = \frac{3}{2} \cdot z_p \frac{U_B \cdot I_B}{\omega_B} = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{311,127 \cdot 342,292}{314,16} = 1016,96 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}};$$

Уравнение движения двигателя в относительных единицах получим, разделив систему уравнений на  $M_B$ :

$$\mu - \mu_c = H \cdot \frac{d\nu}{d\tau},$$

где  $H = \frac{J_\Sigma \cdot \omega_B^2}{M_B}$  – эквивалентный момент инерции в относительных

единицах.

Основные параметры машины в системе относительных единиц:

Скорость вращения системы координат:

$$\nu_{KC} = \frac{\omega_{KC}}{\omega_B} = 1;$$

где  $\omega_{KC} = \omega_B$  - относительная частота вращения системы координат

Скорость вращения ротора:

$$\nu = \frac{\omega_r \cdot z_p}{\omega_B} = \frac{157,08 \cdot 2}{314,16} = 1;$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$r_1 = \frac{R_1}{R_B} = \frac{0,02}{0,909} = 0,022 \text{ о.е.};$$

Активное сопротивление обмотки ротора:

$$r_2 = \frac{R_2}{R_B} = \frac{0,019}{0,909} = 0,021 \text{ о.е.};$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$x_1 = \frac{X_1 + X_\mu}{R_B} = \frac{0,077 + 4,361}{0,909} = 4,882 \text{ о.е.};$$

Индуктивное сопротивление обмотки ротора:

$$x_2 = \frac{X_2 + X_\mu}{R_B} = \frac{0,105 + 4,361}{0,909} = 4,913 \text{ о.е.};$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания:

$$x_m = \frac{X_\mu}{R_B} = \frac{4,361}{0,909} = 4,797 \text{ о.е.};$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{X_\mu^2}{(X_1 + X_\mu) \cdot (X_2 + X_\mu)} = 1 - \frac{4,361^2}{(0,077 + 4,361) \cdot (0,105 + 4,361)} = 0,04;$$

Вспомогательные коэффициенты:

$$\frac{1}{x_1 \cdot \sigma} = \frac{1}{4,882 \cdot 0,04} = 5,121 \text{ о.е.};$$

$$\frac{1}{x_2 \cdot \sigma} = \frac{1}{4,913 \cdot 0,04} = 5,089 \text{ о.е.}$$

$$\frac{x_m}{x_1 \cdot x_2 \cdot \sigma} = \frac{4,361}{4,882 \cdot 4,913 \cdot 0,04} = 4,5 \text{ о.е.};$$

Момент инерции:

$$H = \frac{J_D \cdot \omega_B^2}{M_B} = \frac{3,31 \cdot 314,16^2}{1016,96} = 321,237 \text{ о.е.}$$

#### 4.2.1 Динамические характеристики асинхронного электродвигателя

На рисунках 31 – 32 приведены полученные характеристики электродвигателя при прямом подключении к сети с номинальными параметрами  $f_{1н} = 50$  Гц,  $U_{1н} = 220$  В.

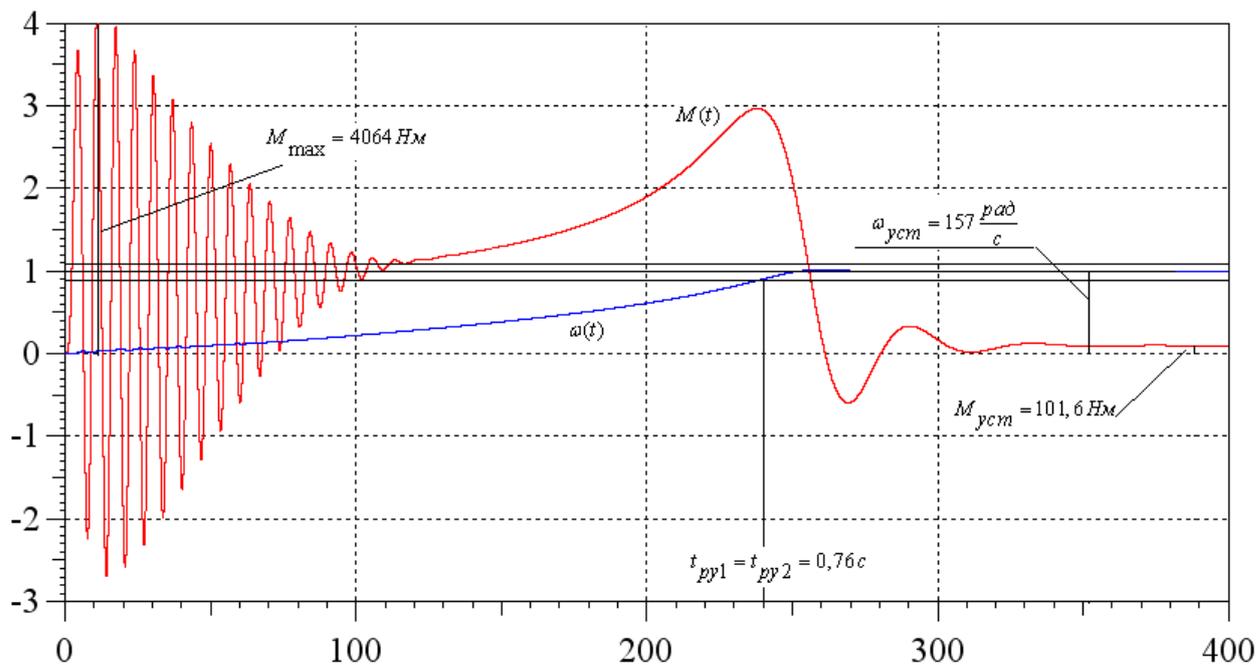


Рисунок 31 – Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть

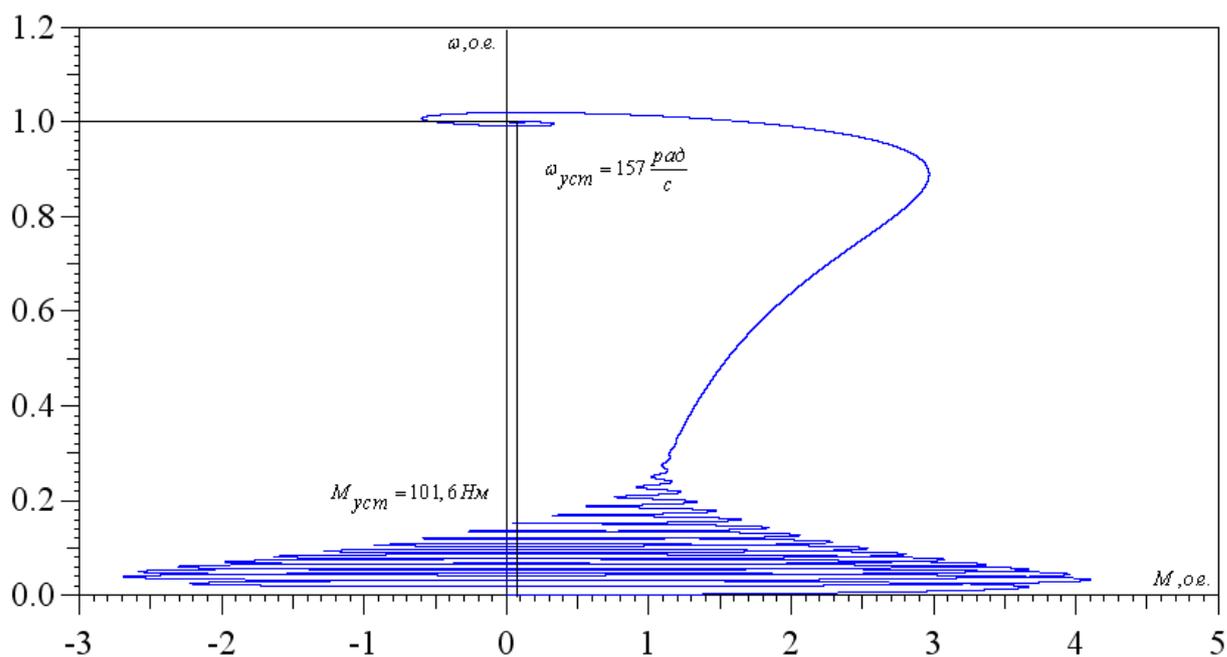


Рисунок 32 – Динамическая механическая характеристика при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть

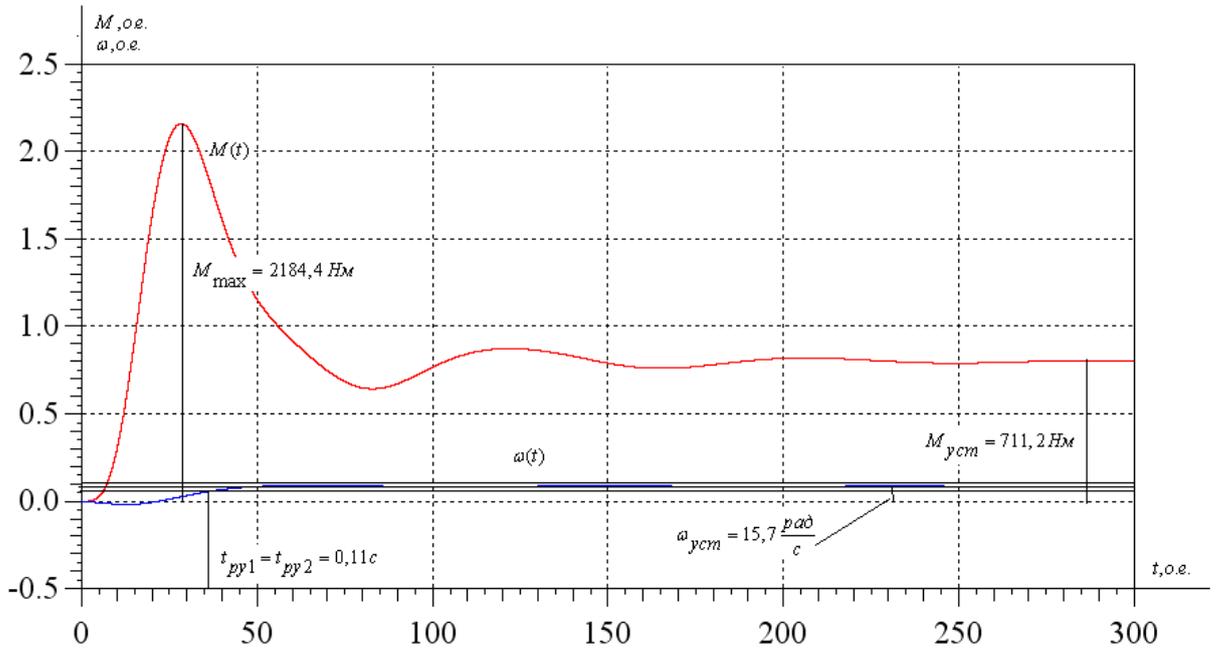


Рисунок 33 – Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при  $U_3=0,1 \text{ В}$  и  $M_c=0.7$

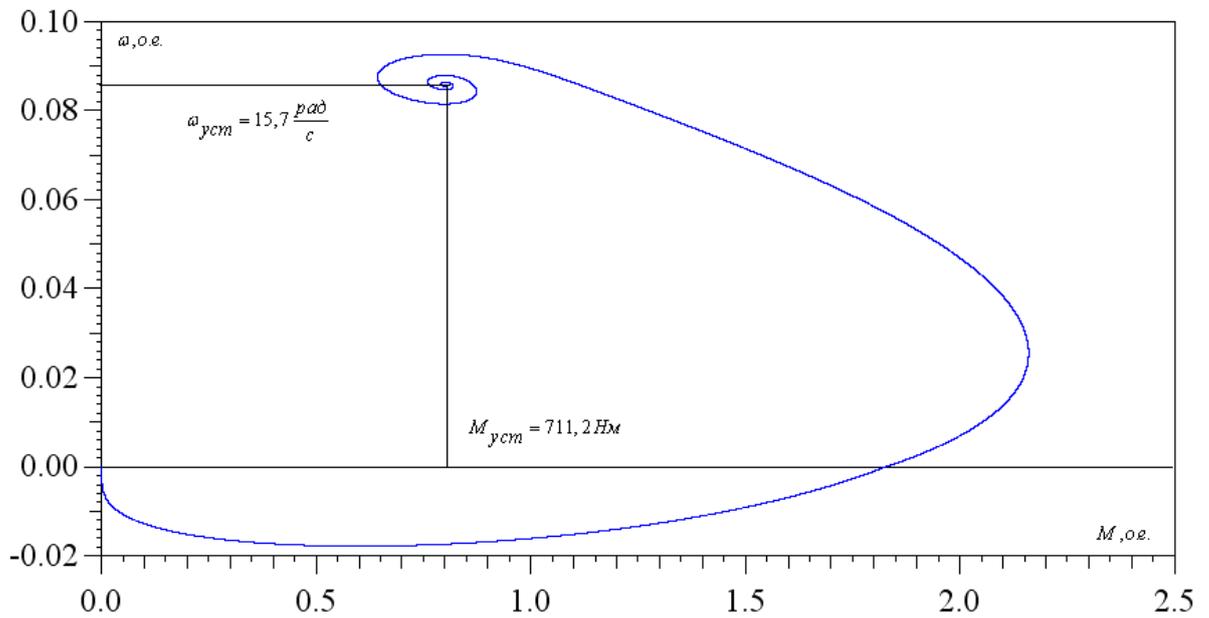


Рисунок 34 – Динамическая механическая характеристика при  $U_3=0,1 \text{ В}$  и  $M_c=0.7$

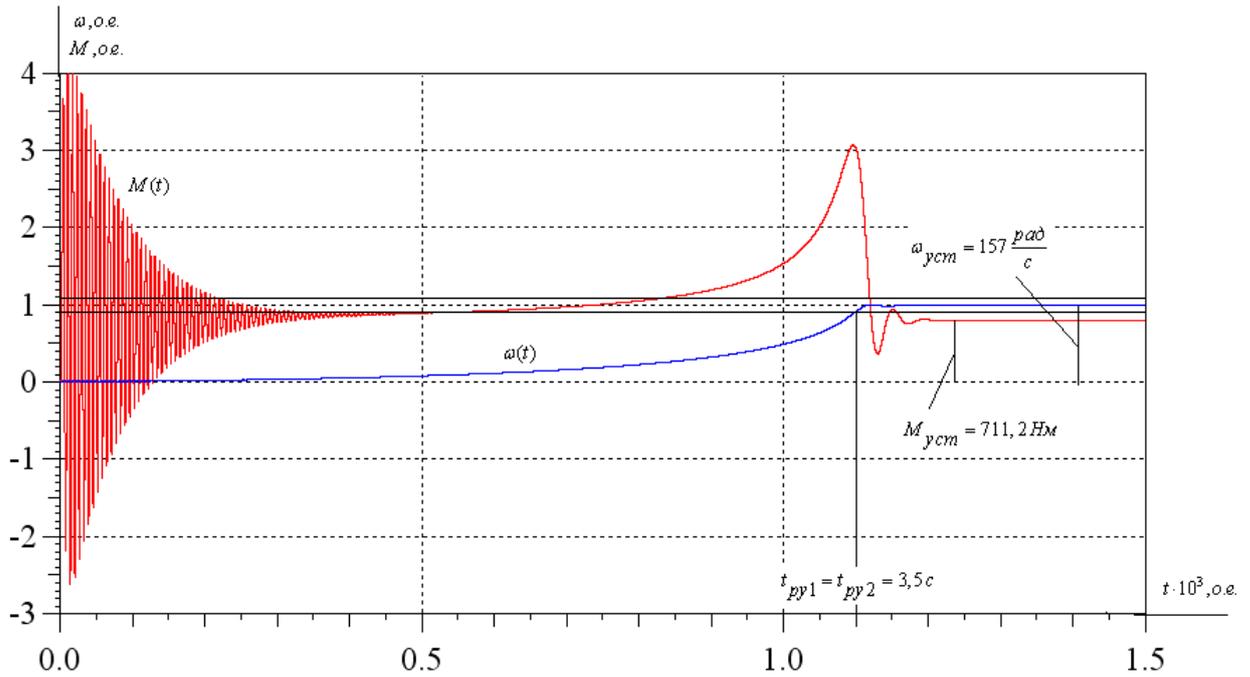


Рисунок 35 – Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при  $U_3=1$  В и  $M_c=0.7$

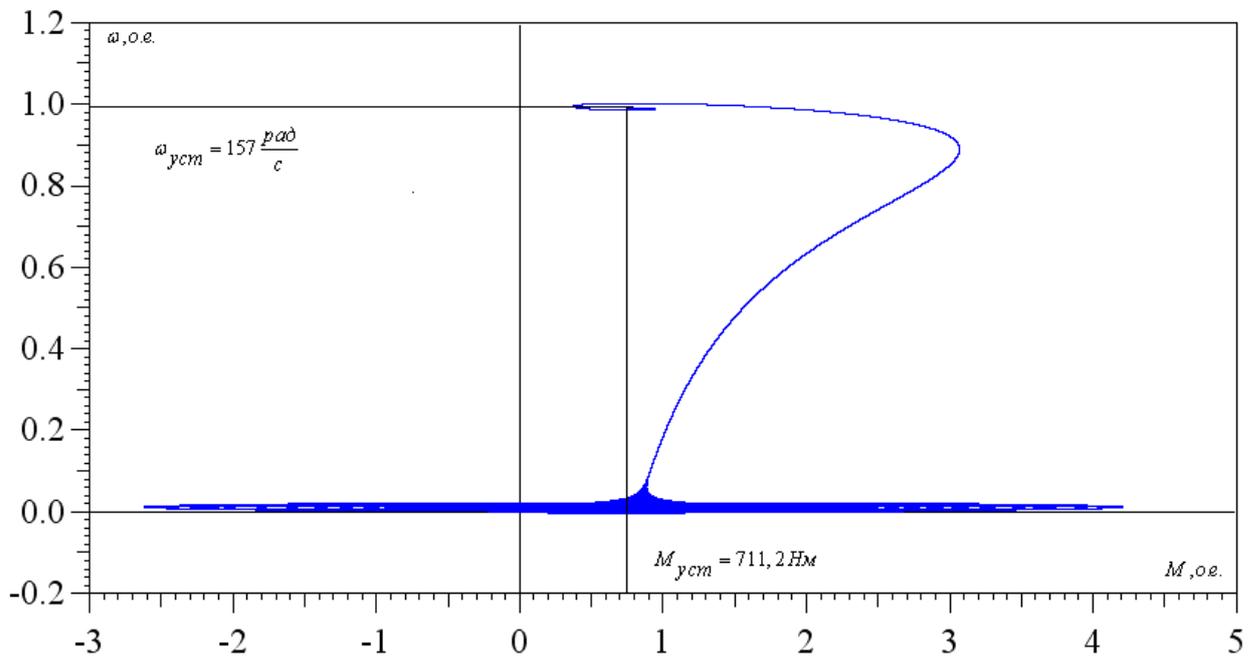


Рисунок 36 – Динамическая механическая характеристика при  $U_3=1$  В и  $M_c=0.7$

Анализ характеристик переходных процессов, изображенных на рисунках на рисунках 33-36 показывает, что данный привод обеспечивает требуемый диапазон регулирования.

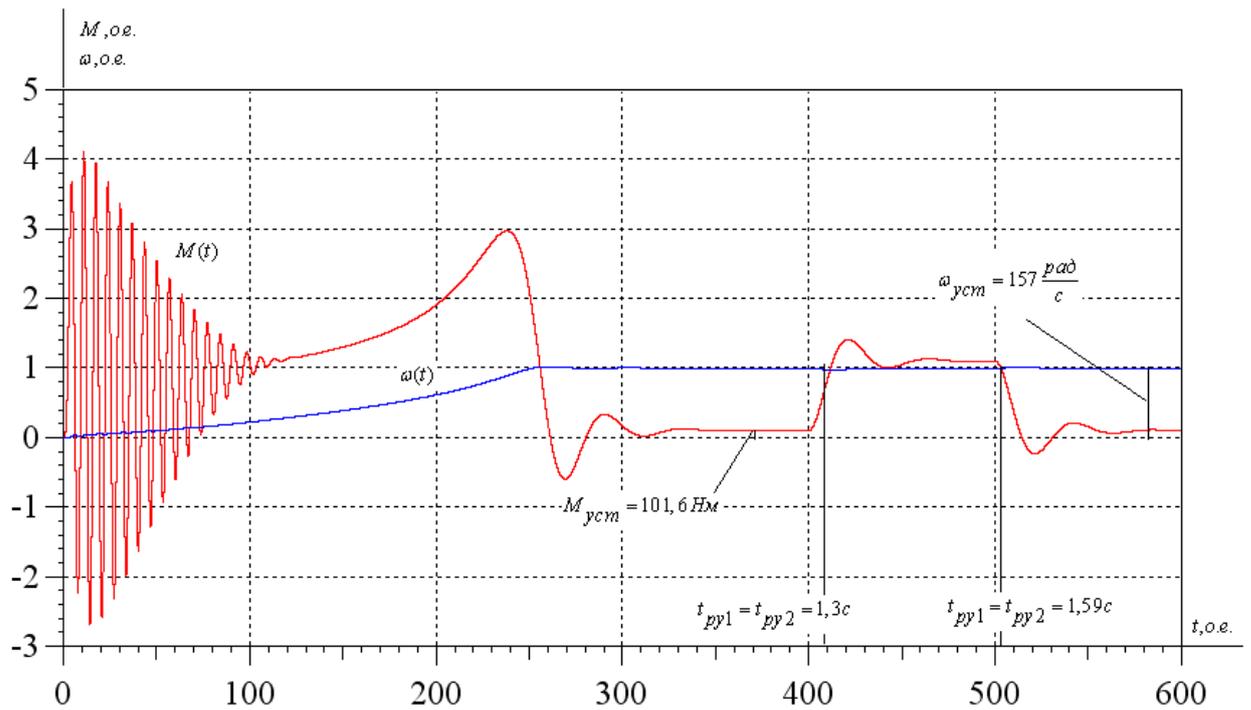


Рисунок 37 – Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки

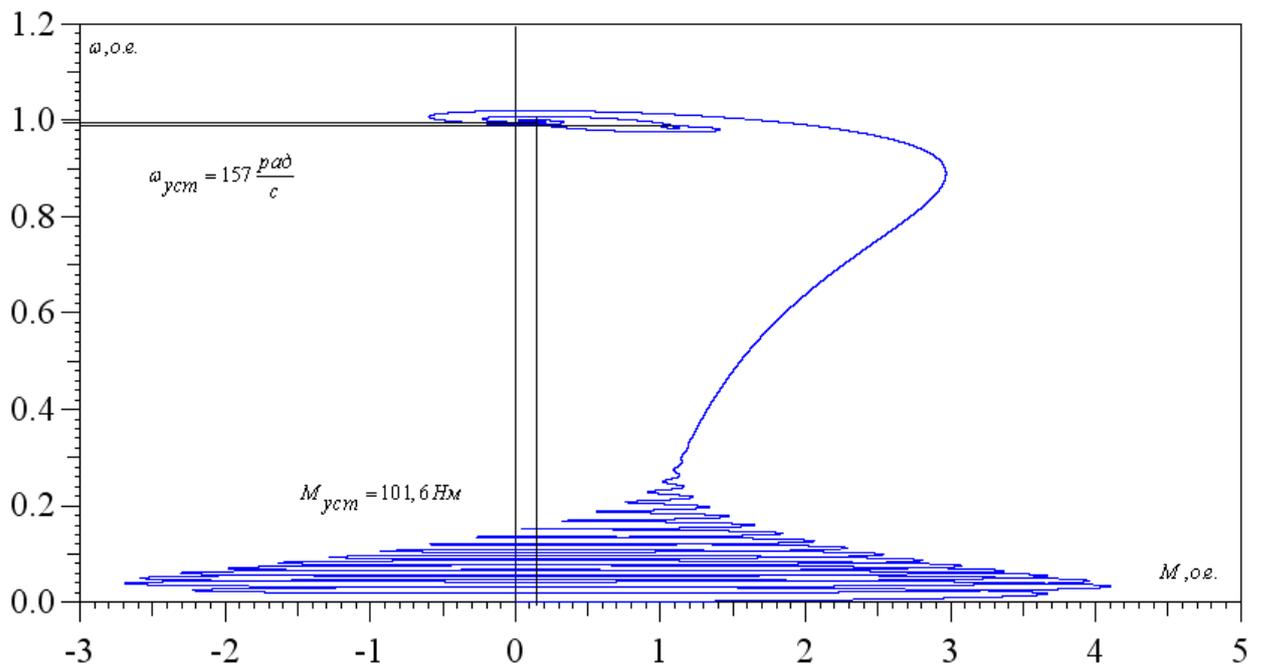


Рисунок 38 – Динамическая механическая характеристика при набросе и сбросе нагрузки

Анализ характеристик переходных процессов скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки, изображенных

на рисунках 36 и 37, показывает, что система адекватно реагирует на изменение нагрузки. Что очень важно для электропривода конвейера.

#### 4.2.2 Исследование САУ ЭП с задатчиком интенсивности без компенсации 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.

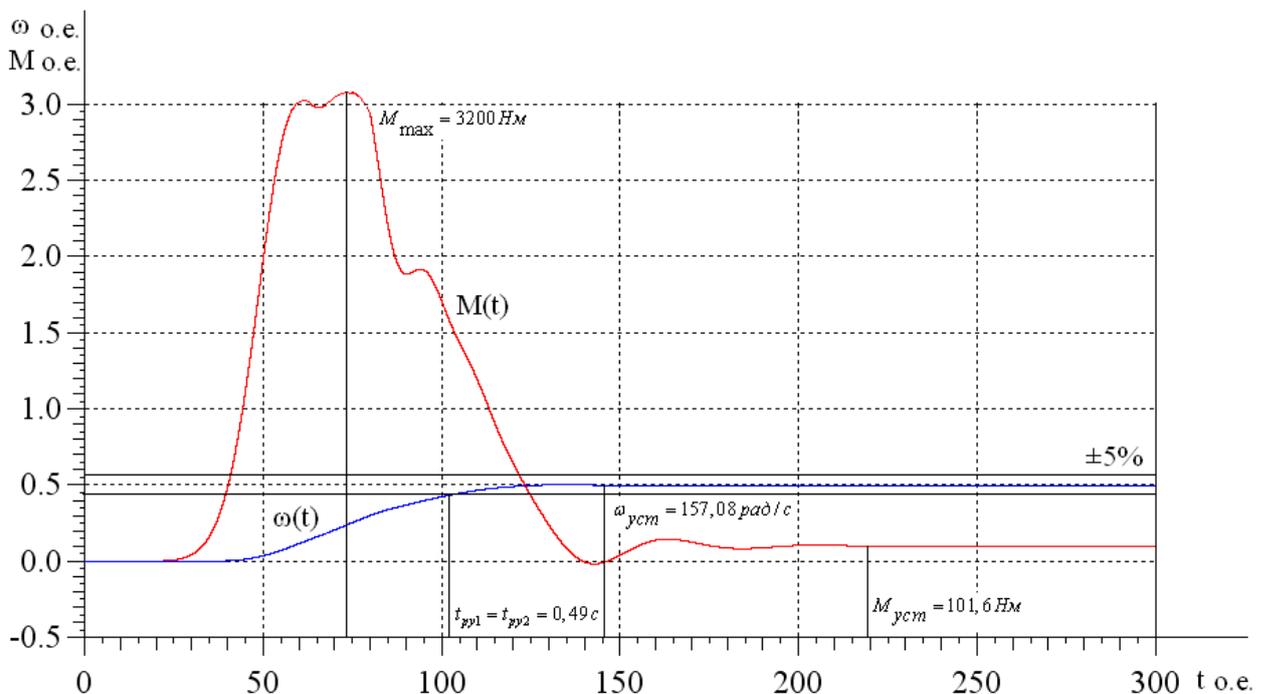


Рисунок 39 – Переходной процесс скорости и момента  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

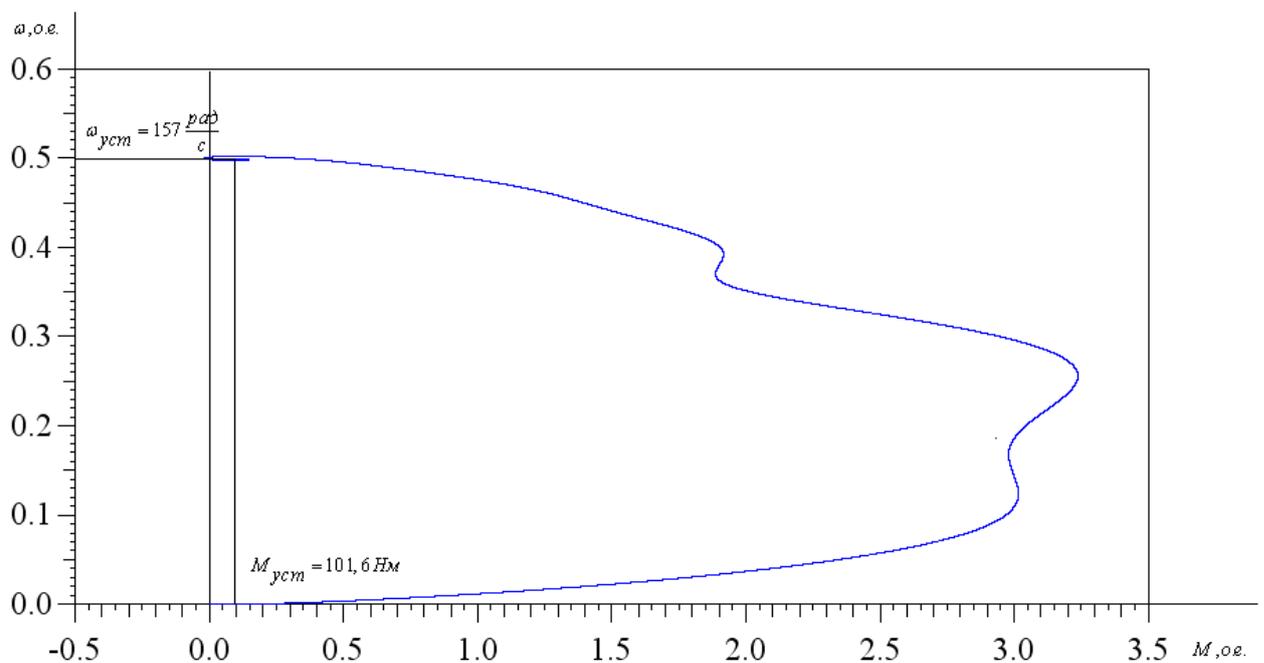


Рисунок 40 – Динамическая механическая характеристика  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

Проанализировав характеристики 38 и 30 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.

## **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. 367 с.
2. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины: учебное пособие М.: Энергоатомиздат, 1983 г. 483 с.
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 С.В., Чернышев И.А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Учебно-метод. пособие./ Томск. Политехн. Ун-т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.-29с.
9. Чернышев А.Ю., Чернышев 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 2.2.2./2.4.1340-03.
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.

