

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электрооборудование и электропривод механизма подъема бурового станка</b>

УДК 621.31:622.242.5-83

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Маматов Жамшид Пардабой угли		

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Е.С.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

## Планируемые результаты обучения по ООП

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

**Инженерная школа энергетики**

Отделение **Электроэнергетики и электротехники**

Направление подготовки **13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)**

Профиль **Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений**

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя  
ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко  
(Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Маматову Жамшиду Пардабой угли

Тема работы:

<b>Электрооборудование и электропривод механизма подъема бурового станка</b>
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 148-82/с от 27.05.2020г
---	---------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Материалы преддипломной практики, техническое описание буровой установки БУ-2900/200 и техническая документация</p>
---	--

<p><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></p>	<p>Введение, выбор и расчет параметров элементов силового канала электропривода ротора, оптимизация линейризованной САУ электропривода ротора, исследование нелинейной САУ электропривода ротора, технико-экономическое обоснование проекта, безопасность и экологичность проекта, заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.03.2020г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		20.03.2020г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Маматов Жамшид Пардабой угли		20.03.2020г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

**Бакалаврская работа**

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ**

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

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод механизма подъемной лебедки, удовлетворяющий следующим техническим характеристикам.

1. Электропривод нереверсивный с двухзонным регулированием скорости.

2. Электропривод работает только на подъем.

3. Максимальная скорость подъема лебедки  $v_{\text{лмакс}} = 1,1 \text{ м} \cdot \text{с}$

4. Передаточное отношение механизма лебедки

- на первой передаче  $i_{\text{л1}} = 4,952$

- на второй передаче  $i_{\text{л2}} = 2,586$ .

5. Электропривод должен обеспечивать ограничение максимального момента усилия лебедки в соответствии с заданной зависимостью  $F_{\text{кр}}(V_{\text{к}})$  рисунок 4.

6. Диапазон регулирования скорости не менее 10.

7. Регулирование скорости безступенчатое.

8. Погрешность поддержания скорости привода при изменении нагрузки не более 10% на номинальной скорости привода.

9. Время пуска привода до максимальной скорости должно быть регулируемое и составлять не менее 4 с.

10. Режим работы привода длительный, нагрузка переменная, характер нагрузки активный.

11. Электропривод должен быть обеспечен соответствующими защитами и блокировками.

12. Сеть трёхфазная,  $380 \pm 10\% \text{ В}$ , 50Гц.

## РЕФЕРАТ

Объектом исследования является электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ, предназначенный для подъема обсадных труб и колон.

Цель работы - разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) подъемной лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В работе выбраны элементы силовой цепи, определены оптимальные параметры настройки регуляторов системы, рассчитаны статические и динамические характеристики, определены качественные показатели.

В результате исследования установлено, что разработанная система соответствует технологическим и техническим требованиям.

В экономической части выпускной квалификационной работы выполнено технико-экономическое обоснование выбора системы, приведен расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода подъемной лебедки буровой установки, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	10
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ .....	12
1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ .....	12
1.2 Описание технологического процесса .....	14
2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ .....	16
2.1 Электропривод подъемной лебедки как объект управления .....	16
2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя .....	20
Номинальная угловая скорость.....	22
2.3 Механическая система привода подъемной лебедки .....	24
2.5 Расчет параметров якорной цепи привода .....	34
2.6 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя .....	36
2.7 Определение области допустимой работы электропривода подъемной лебедки .....	40
2.8 Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки .....	43
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ.....	45
3.1 Функциональная схема электропривода подъемной лебедки .....	45
3.2 Структурная схема САР скорости электропривода подъемной лебедки ..	52
3.3 Оптимизация контура тока якоря .....	53
3.4 Оптимизация контура скорости.....	55
3.5 Структурная схема САР ЭДС двигателя .....	59
3.6 Оптимизация контура ЭДС .....	61
4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ.....	63
4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП подъемной лебедки .....	63
4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели .....	67
4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели .....	67
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	70
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	71
5.1 SWOT-анализ электропривода переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ. ....	71
5.2 Организация работ технического проекта.....	74
5.3 Структура работ в рамках технического проектирования.....	74
5.4 Определение трудоемкости выполнения ТП .....	76
5.5 Разработка графика проведения технического проекта.....	77
5.6 Составление сметы затрат на разработку ТП.....	80
5.7 Расчет материальных затрат .....	80
5.8 Полной заработной платы исполнителей темы .....	81



5.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	83
5.11 Формирование сметы затрат технического проекта .....	83
5.12 Определение ресурсоэффективности проекта .....	84
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	87
СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	89
Введение .....	89
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ....	89
6.2 Производственная безопасность .....	90
6.3 Анализ опасных и вредных факторов .....	91
6.4 Экологическая безопасность .....	100
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	107
THE CONCLUSION .....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	109

## **ВВЕДЕНИЕ**

Бурение - это основа развития нефтяной промышленности, представляет собой строительное производство, в котором находят отражение общие вопросы направления технического прогресса: замена ручного труда машинным; специализация средств производства, т.е. повышение технологических параметров — скорости, мощности, грузоподъемности и т.д.; внедрение систем и средств автоматизации и др.

Создание новых буровых машин - сложная задача прежде всего вследствие специфических условий работы этих машин, к которым относят: способы бурения (вращательный, ударный, комбинированный и др.), необходимость разрушения горных пород крайне разнообразных по своим физико-механическим свойствам; высокую абразивность отдельных разрушаемых пород; необходимость бурения не только вертикальных, но и горизонтальных и наклонных скважин; работу в запыленной, влажной и загазованной среде.

Поэтому процесс проектирования современных буровых машин и оборудования - комплексная задача, при решении которой необходимо учитывать экономические, социальные, технические, эксплуатационные, технологические и специальные требования, предъявляемые к создаваемой технике.

Непременным условием выполнения экономических требований является обеспечение минимальных расходов, связанных с процессом создания новой буровой техники и изготовлением ее в заводских условиях.

Следовательно, производительность машины, обеспечиваемая ею производительность труда обслуживающего персонала и себестоимость получаемой продукции являются важнейшими экономическими показателями.

Основными видами привода буровых установок до недавнего времени считались: электрический (машины переменного тока), дизель-электрический и дизельный. На смену им создаются электропривода на постоянном токе с использованием тиристорных преобразователей, что позволяет унифицировать все основные узлы бурового оборудования, независимо от автономности привода.

Но несмотря на значительные достижения в области создания высокоэффективного оборудования, в настоящее время существуют значительные недостатки, ухудшающие технико-экономические показатели бурения и особенно глубокого:

- парк буровых установок укомплектован более чем наполовину морально устаревшими конструкциями;
- имеет место значительное утяжеление и удорожание бурового оборудования;
- не выпускаются серийно необходимые буровикам установки, что приводит к нецелесообразному использованию установок других классов (более тяжелых) и повышает стоимость бурения;
- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектности (без вышек, оснований и других комплектующих устройств), что в значительной мере снижает эффективность использования оборудования;
- монтажеспособность и транспортабельность установок остается на невысоком уровне, отсутствуют эффективные средства для транспортировки оборудования.

Задачей данной работы является разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) подъемной лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ЭВМ с последующим анализом полученных результатов.

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

## 1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ

Процесс бурения состоит из последовательности следующих основных операций:

- спуска долота в скважину;
- разрушение породы на забое;
- очистка забоя от выбуренной породы и выноса ее по стволу скважины на поверхность;
- подъема долота после его отработки;
- спуска обсадных труб и ряда других работ.

Буровая установка – это комплекс буровых машин, механизмов и оборудования, смонтированный на точке бурения и обеспечивающий с помощью бурового инструмента самостоятельное выполнение технологических операций по строительству скважин (см. рисунок 1).

Современные буровые установки включают следующие составные части:

- буровое оборудование (талевый механизм, насосы, буровая лебедка, вертлюг, ротор, силовой привод и т.д.);
- буровые сооружения (вышка, основания, сборно-расборные каркасно-панельные укрытия, приемные мостки и стеллажи);
- оборудование для механизации трудоемких работ (регулятор подачи долота, механизмы для автоматизации спускоподъемных операций, пневматический клиновой захват для труб, автоматический буровой ключ, вспомогательная лебедка, пневмораскрепитель, краны для ремонтных работ, пульт контроля процессов бурения, посты управления);



Рисунок 1.- Буровая установка

оборудование для приготовления, очистки и регенерации бурового раствора (блок приготовления, вибросита, песко- и илоотделители, подпорные насосы, емкости для химических реагентов, воды и бурового раствора);

- манифольд (нагнетательная линия в блочном исполнении, дроссельно-запорные устройства, буровой рукав);
- устройства для обогрева блоков буровой установки (тепло - генераторы, отопительные радиаторы и коммуникации для развода теплоносителя).

Исходя из условий технологии бурения скважин, установки подразделяются на классы. За основу классификации принята грузоподъемность на крюке, которая служит критерием использованием той или другой буровой установки для бурения конкретных скважин в зависимости от их глубины и конструкции.

Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 2900 метров с грузоподъемностью на крюке до 200 тонн.

## **1.2 Описание технологического процесса**

Бурение скважины является сложным производственным процессом, состоящим из отдельных операций, основными из которых являются спуско-подъемные и углубление скважины.

Спускоподъемные операции включают спуск бурильных труб с породоразрушающим инструментом (бурильной колонной) до забоя скважины и их подъем с отработанным породоразрушающим инструментом на поверхность.

Для производства спускоподъемных операций буровая вышка имеет талевую оснастку, состоящую из кронблока и талевого блока, на которые намотан талевый канат. К талевому блоку крепится крюк, к которому могут быть прикреплены инструменты для спуска и подъема. Один конец талевого каната крепится к якорю, другой к лебедке.

Спуск бурильной колонны производится в следующем порядке. Собирают компоновку низа колонны (КНБК), состоящую из долота, калибровочных расширителей, центраторов и утяжеленных бурильных труб, соединенных между собой с помощью переводников. Производят спуск КНБК в скважину. Верхнюю часть закрепляют в роторе клиньями. Отцепляют элеватор и поднимают его до уровня верхней части свечи (несколько бурильных труб, число которых зависит от высоты буровой вышки, соединены муфтами в свечи). Свечи соединяют между собой замками. В элеватор заводят верхний конец свечи, элеватор закрывают и приподнимают всю свечу, чтобы установить ее в верхнюю часть опущенной в скважину бурильной колонны. Производят навинчивание свечи, после чего ее приподнимают, освобождая от клиньев, и производят спуск. Затем в бурильную колонну включают еще одну бурильную трубу, производят спуск колонны с таким расчетом, чтобы долото на 1,5-2 м не дошло до забоя и подсоединяют ведущую бурильную трубу, име-

ющую четырехгранную, шестигранную или фигурную форму для крепления ее в роторе.

На этом операции по спуску заканчиваются и приступают к углублению скважины.

Непосредственно углубление скважины связано с разрушением породы на забое и транспортировкой разрушенной породы (шлама) от забоя на поверхность.

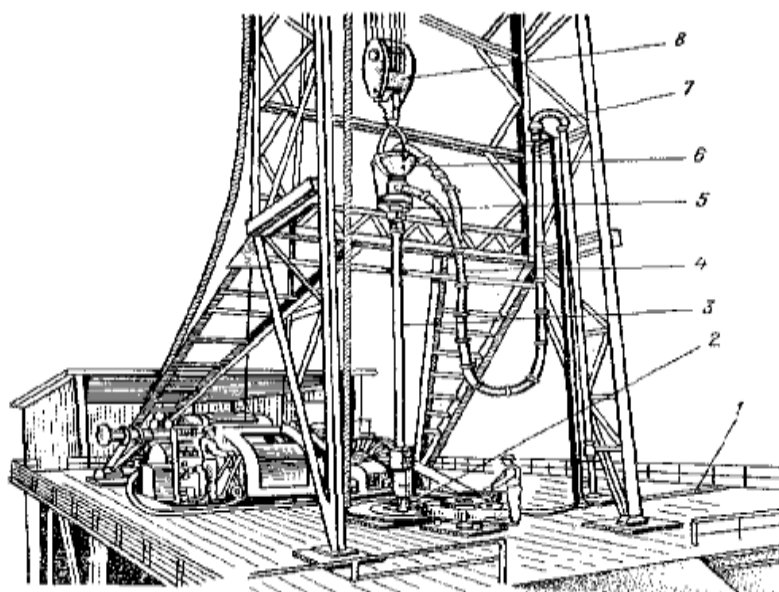


Рисунок 2 – Комплекс буровой установки

Транспортировка разрушенной породы на поверхность осуществляется с помощью бурового раствора подаваемого от насосов через их обвязку, гибкий буровой шлаг и вертлюг, ведущую трубу, бурильные трубы к долоту. Из долота через отверстия для промывки буровой раствор поступает к забою и вместе с буровым шламом поднимается на поверхность по кольцевому зазору между стенками скважины и бурильными трубами. На поверхности буровой раствор подвергается очистке от частиц выбуренной породы и по системе желобов направляется в приемную емкость буровых насосов. После этого цикл его движения продолжается.

## 2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ

### 2.1 Электропривод подъемной лебедки как объект управления

Кинематическая схема привода лебедки представляет собой (см. рисунок 3) достаточно сложную механическую систему, состоящую из зубчатой коробки передач, внешних цепных и зубчатых передач.

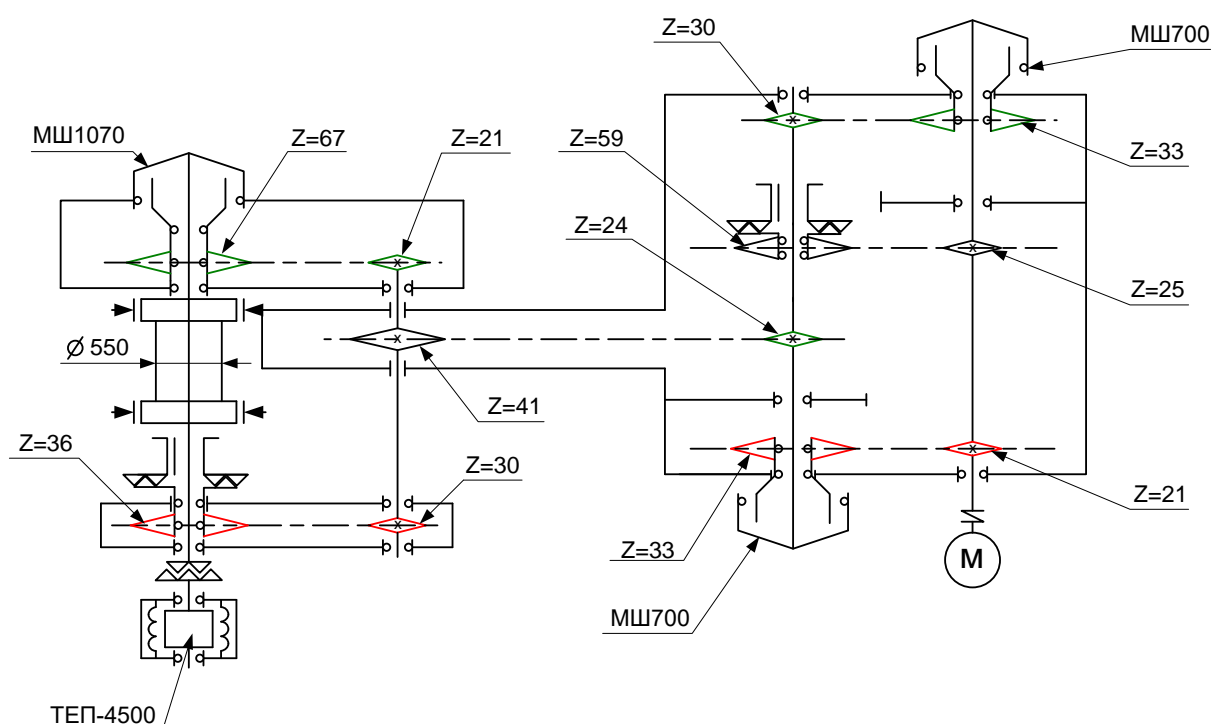


Рисунок 3 - Кинематическая схема лебедки

МШ1070 и МШ700 – муфта шиннопневматическая; ТЭП-4500 – тормоз электромагнитный порошокый; М- электродвигатель МПЭ-500-500УХЛЗ-М

Используется две скорости коробки передач: первая (низшая), при которой передаточное отношение механизма  $i_{л1} = 4,952$ , и вторая (высшая), при которой передаточное отношение  $i_{л2} = 2,586$ . Коэффициент полезного действия механизма лебедки  $\eta_{\dot{g}} = 0,8$



Основным параметром механизма лебедки является вес (сила тяжести)

$$F_{\hat{e}} = m_{\hat{e}} \cdot g, \text{ Н.}$$

Максимальная критическая масса колонны = 200т.

При подъеме колонны ее вес уменьшается. В процессе подъема должна поддерживаться постоянная мощности подъемной лебедки, следовательно и мощность на валу приводного двигателя. Это достигается выполнением условия:

$$F_K \cdot V_K = const$$

Соответствующая зависимость  $F_K (V_K)$  приведена на рисунке 4.

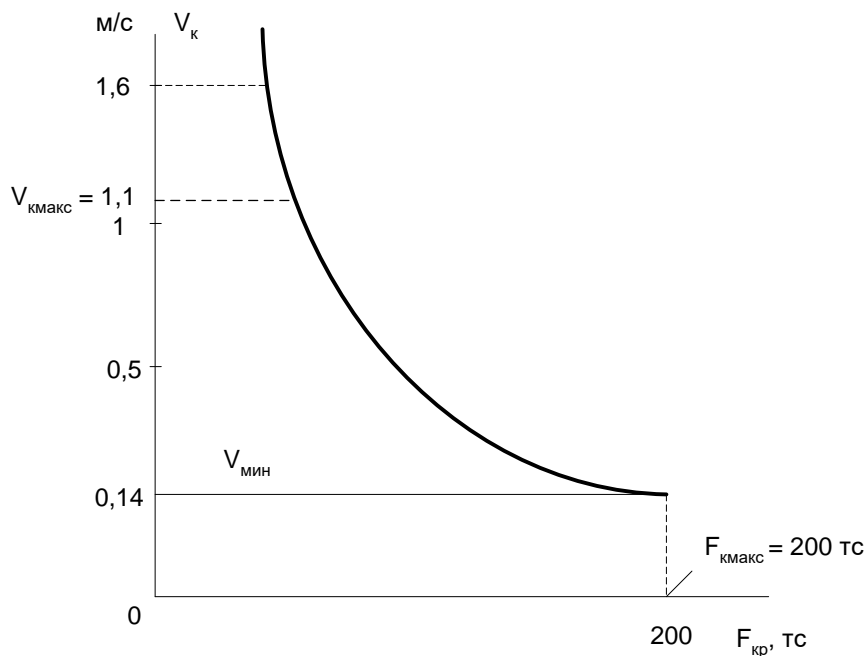


Рисунок 4 - Силовая характеристика подъемной лебедки

Мощность подъема может быть определена при  $V_{мин} = 0,14$  м/с

$$P_{под} = F_{кр\_макс} \cdot 9,81 \cdot V_{мин} = 200 \cdot 9,81 \cdot 0,14 = 274,68 \text{ кВт.}$$

При дальнейшем увеличении скорости подъема мощность должна поддерживаться постоянной. В электроприводе регулирование скорости при постоянной мощности достигается ослаблением потока возбуждения двигателя. Однако обеспечить диапазон регулирования

$$\frac{V_{\text{кмакс}}}{V_{\text{мин}}} = \frac{1,1}{0,14} = 7,86$$

ослаблением потока практически невозможно. Поэтому принято двухзонное регулирование скорости электропривода с использованием двухскоростной коробки передач. Максимальная скорость электродвигателя при ослабленном поле

$$n_{\text{двмакс}} \geq \frac{60 \cdot V_{\text{к}} \cdot i_{\text{л2}} \cdot i_{\text{пол}}}{\pi \cdot D_{\text{б}}} = \frac{60 \cdot 1,1 \cdot 2,586 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,55} = 988,3 \text{ об/мин.}$$

Номинальная скорость электродвигателя

$$n_{\text{двн}} \approx n_{\text{двмакс}} \cdot \frac{i_{\text{л2}}}{i_{\text{л1}}} = 988,3 \cdot \frac{2,586}{4,952} = 516,1 \text{ об/мин.}$$

Для построения предельных механических характеристик электропривода необходимо привести к валу двигателя подъемные усилия и скорость подъема

$$M_{\text{дв}} = \frac{m_{\text{к}} \cdot g \cdot D_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{л}} \cdot i_{\text{пол}} \cdot \eta_{\text{л}}},$$

$$n_{\text{дв}} = \frac{60 \cdot V \cdot i_{\text{л}} \cdot i_{\text{пол}}}{\pi \cdot D_{\text{б}}}.$$

Предельные механические характеристики привода приведены на рисунке 5.

Режим работы электропривода подъемной лебедки длительный с переменной нагрузкой. Максимальная длительная нагрузка, которую он должен преодолевать при токе не большем номинального соответствует мощности на валу двигателя

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{под}}}{\eta_{\text{л}}} = \frac{274,68}{0,8} = 343,35 \text{ кВт.}$$

Для электродвигателя типа МПЭ-500-500. Предельные механическая и электромеханическая характеристики электропривода подъемной лебедки при, двухзонном регулировании приведены на рисунке 5.

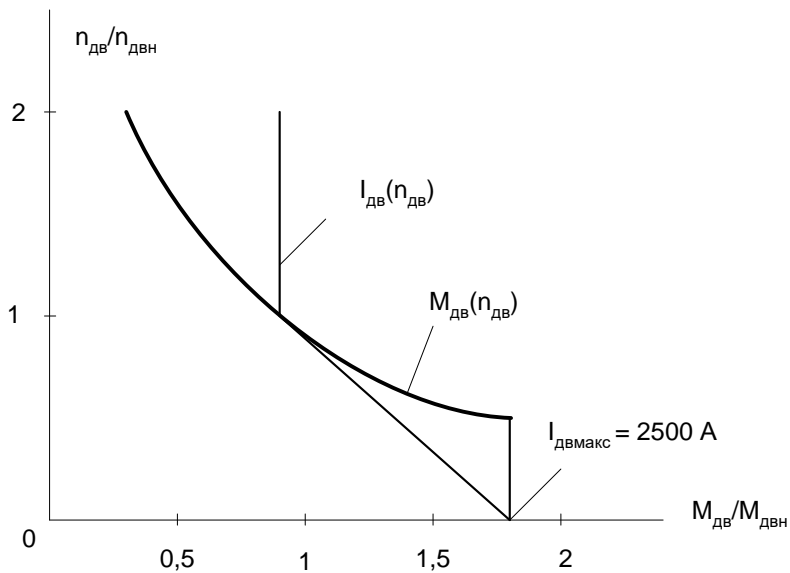


Рисунок 5 - Предельная механическая характеристика электропривода подъемной лебедки

Поддержание постоянства мощности подъемной лебедки в автоматическом режиме осуществляется регулятором мощности РМЛ и нелинейным устройством УН, управляемым от датчика (см. рисунок 19 функциональная схема)

В ручном режиме скорость лебедки задается оператором в зависимости от веса колонны. Соответствующие зависимости приведены на рисунках 6 и 7.

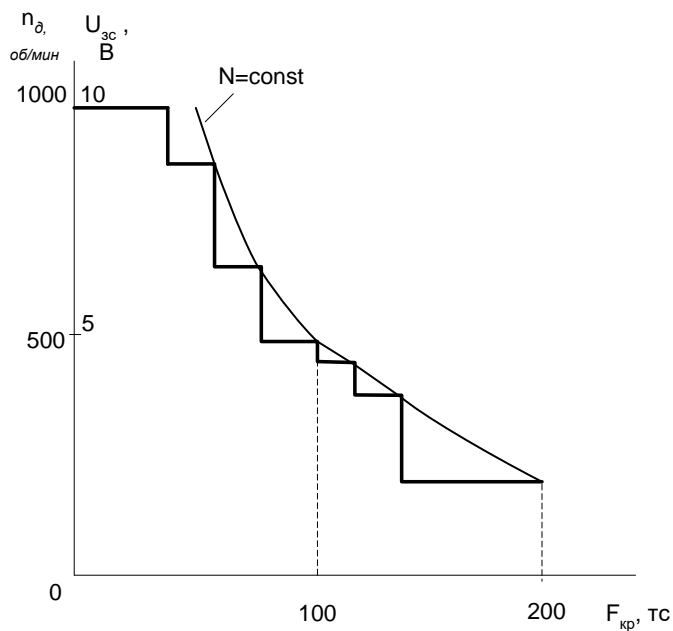


Рисунок 6 - График регулирования скорости при ручном задании веса на первой передаче

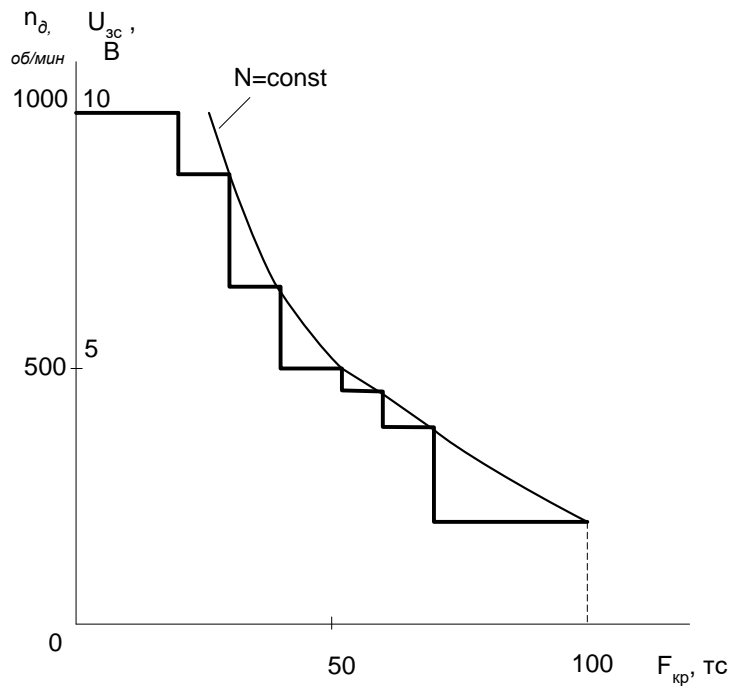


Рисунок 7 - График регулирования скорости при ручном задании веса на второй передаче

## 2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя

Режим работы механизма подъемной лебедки длительный, поэтому мощность двигателя выбирается по максимальной нагрузке

$$P_{двн} \geq P_{двмакс} = 560 \text{ кВт.}$$

Скорость двигателя выбирается из условий

$$n_{двн} \geq n_{дв} = 500 \text{ об/мин,}$$

$$n_{двмакс} \geq 1000 \text{ об/мин.}$$

Выбираем электродвигатель типа МПЭ-500-500.

## Паспортные параметры электродвигателя

Паспортные данные двигателя марки МПЭ-500-500 приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Паспортные параметры электродвигателя МПЭ-500-500

Наименование параметра	Обозначение	
Номинальная мощность, кВт	$P_H$	560
Номинальное напряжение, В	$U_H$	440
Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_H$	500
Номинальный ток возбуждения, А	$I_B$	22
Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_B$	220
Максимальная скорость вращения, об/мин	$n_{MAX}$	1000
Момент инерции якоря, кг·м <sup>2</sup>	$J_D$	40
Сопротивление обмотки якоря при 15°С, мОм	$R_{OЯ}$	7,29
Сопротивление дополнительных полюсов при 15°С, мОм	$R_{ДП}$	1,98
Сопротивление компенсационной обмотки при 15°С, Ом·10 <sup>-3</sup>	$R_{КО}$	3,28
Число полюсов	$2p$	4
КПД двигателя, %	$\eta$	92
Число витков обмотки возбуждения на полюс	$W_B$	320
Максимально допустимый ток перегрузки двигателя, А	$I_{МАКС}$	$2,5I_H$
Номинальный поток возбуждения на полюс, Вб	$\Phi_H$	0,0629

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.

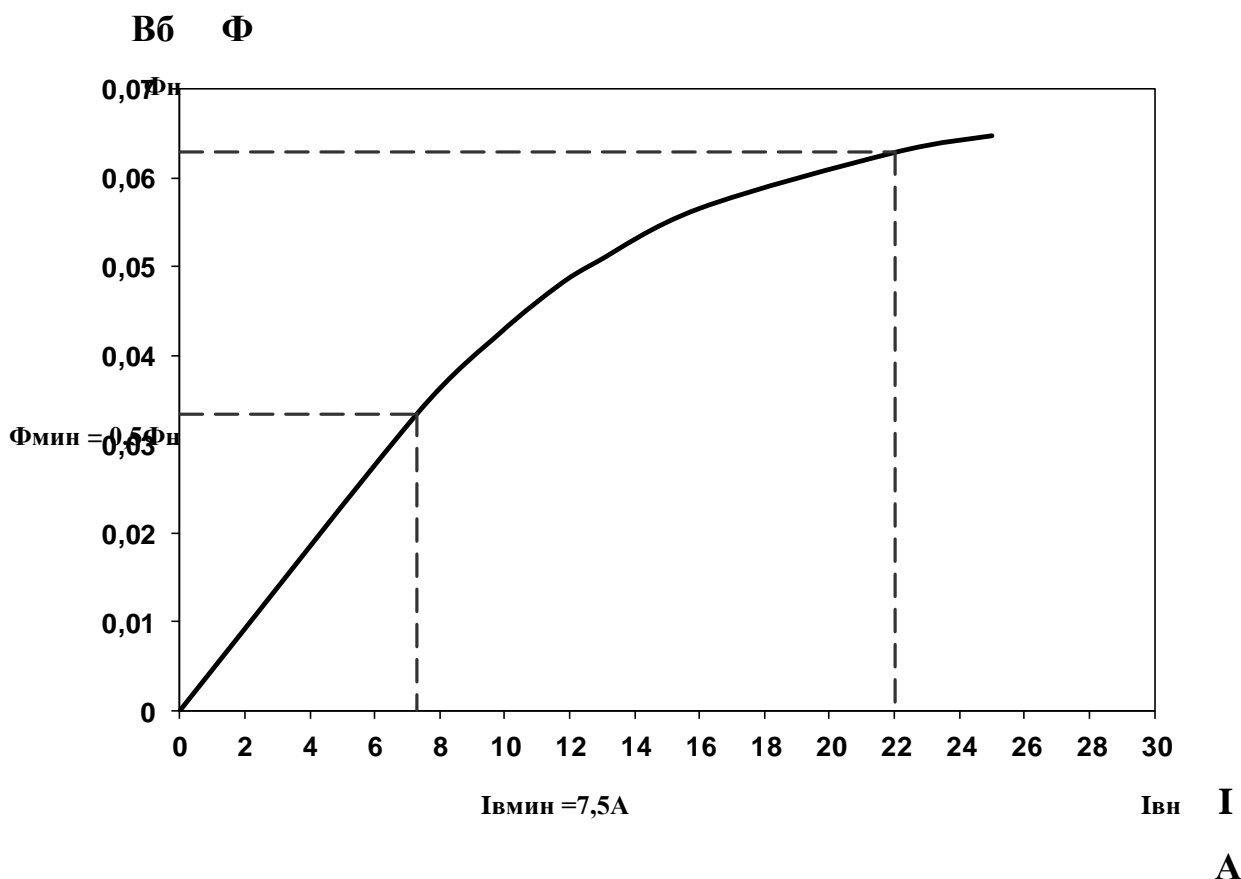


Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МПЭ-500-500

#### Расчетные параметры двигателя

Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{ДВН}} = \frac{P_{\text{ДВН}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{ДВ}} \cdot U_{\text{ДВН}}} = \frac{10^3 \cdot 560 \cdot 100}{92,9 \cdot 440} = 1370 \text{ А.}$$

Номинальная угловая скорость

$$\omega_{\text{Н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ДВН}}}{30} = \frac{3,14159 \cdot 500}{30} = 52,36 \text{ рад/с.}$$

Максимальная угловая скорость двигателя

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ДВмакс}}}{30} = \frac{3,14159 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ДВН}} = \frac{P_{\text{ДВН}}}{\omega_{\text{ДВН}}} = \frac{560 \cdot 10^3}{92,9 \cdot 440} = 10695,2 \text{ Н·м.}$$

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{ДВ}} \cong \gamma \cdot \frac{U_{\text{ДВН}}}{p \cdot \omega_{\text{ДВН}} \cdot I_{\text{ДВН}}} = 0,15 \cdot \frac{440}{2 \cdot 52,3599 \cdot 1370} = 0,00046 \text{ Гн},$$

где  $\gamma = 0,1-0,2$  - для машин с компенсационной обмоткой, принимаем  $\gamma = 0,15$ .

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{\text{ДВ}} = R_{\text{оя}} + R_{\text{ДП}} + R_{\text{ко}} = 0,00729 + 0,00198 + 0,00328 = 0,01255 \text{ Ом}.$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии. Примем температуру перегрева обмоток  $80^\circ \text{C}$

$$R_{\text{ДВгор}} = 1,32 \cdot R_{\text{ДВ}} = 1,32 \cdot 0,01255 = 0,0166 \text{ Ом}.$$

Коэффициент ЭДС  $\left( \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right)$  и электромагнитного момента  $\left( \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \right)$  при номинальном потоке возбуждения

$$C = (K \cdot \Phi_{\text{ДВН}}) = \frac{U_{\text{ДВН}} - I_{\text{ДВН}} \cdot R_{\text{ДВгор}}}{\omega_{\text{ДВН}}} = \frac{440 - 1370 \cdot 0,0166}{52,36} = 7,97$$

Конструктивный коэффициент двигателя

$$K = \frac{(K \cdot \Phi_{\text{ДВН}})}{\Phi_{\text{ДВН}}} = \frac{7,97}{0,0629} = 126,7$$

Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.

Индуктивность обмотки возбуждения основного потока на графике кривой намагничивания от ФДВН до ФДВ МИН

- на начальном участке кривой намагничивания (максимальное значение)

$$L_{\text{овмакс}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\Delta \Phi_0}{\Delta I_{\text{ов}}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,06}{7} = 10,97 \text{ Гн},$$

- в точке номинального режима работы (минимальное значение)

$$L_{\text{овмин}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{вн}}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,012}{11} = 1,4 \text{ Гн},$$

- усредненное значение на рабочем участке  $(\Phi_{\text{мин}} \div \Phi_{\text{н}})$

$$L_{\text{овср}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{с}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{ср}}}{\Delta I_{\text{ср}}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,06}{15} = 5,12 \text{ Гн,}$$

- индуктивность потока рассеяния

$$L_{\text{с}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{с}} \cdot \frac{0,18 \Phi_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{вн}}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,18 \cdot 0,0669}{22} = 0,700625454 \text{ Гн,}$$

где  $\delta = 0,18$  – коэффициент учета рассеяния потока.

- сопротивление обмотки возбуждения горячее

$$R_{\text{овгор}} = 1,3 \cdot R_{\text{с}} = 1,3 \cdot 5,5 = 7,15 \text{ Ом.}$$

### 2.3 Механическая система привода подъемной лебедки

Расчетная схема механической системы электропривода лебедки представляет собой двухмассовую систему, представленную на рисунке 9, где приняты следующие обозначения:

$J_1$  – момент инерции двигателя и механизма;

$J_2$  – момент инерции поднимаемых масс;

$M_{\text{двэм}}$  – электромагнитный момент двигателя;

$M_{\text{с}}$  – момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

$M_{\text{гр}}$  – момент нагрузки, развиваемый грузом, активный по характеру;

$C_{\varphi 12}$  – эквивалентная угловая жесткость;

$b_{\text{в12}}$  – эквивалентный коэффициент внутреннего демпфирования.

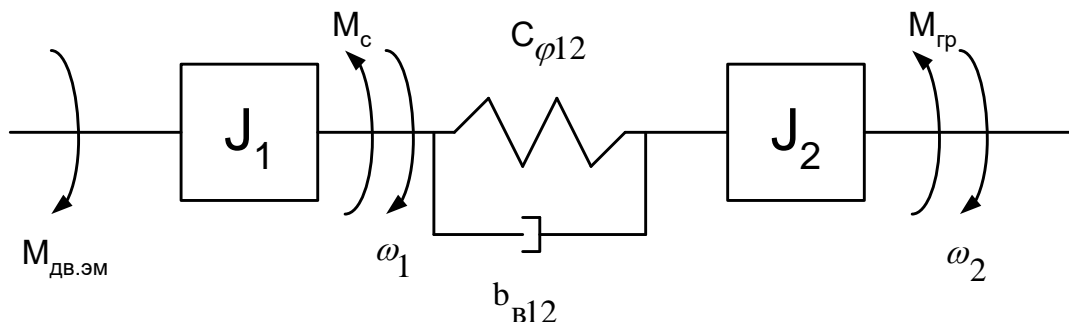


Рисунок 9 – Расчетная схема механической системы электропривода подъемной лебедки



## Параметры элементов механической системы привода

Момент инерции двигателя

$$J_{\text{дв}} = 40 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент инерции механизма

$$J_{\text{мех}} = 0,25 \cdot J_{\text{дв}} = 0,25 \cdot 40 = 10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент инерции поднимаемых масс приведенный к валу двигателя

$$J_m = m \cdot \left( \frac{D_6}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{i_{\text{Л}}^2} \cdot \frac{1}{i_{\text{Пол}}^2}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

где  $m$  – масса поднимаемого груза, кг;

$D_6 = 0,55 \text{ м}$  – диаметр барабана лебедки;

$i_{\text{Л}}$  - результирующее передаточное число механизма лебедки;

$i_{\text{Пол}} = 10$  - кратность полиспаста.

Момент инерции поднимаемых масс на первой передаче  $i_{\text{Л1}} = 4,952$  при поднимаемой массе  $m = (100 \div 200) \cdot 10^3 \text{ кг}$

$$J_m = (100 \div 200) \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,55}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{4,952^2} \cdot \frac{1}{10^2} = (3,084 \div 6,17) \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент инерции поднимаемых масс на второй передаче  $i_{\text{Л2}} = 2,586$

при  $m = (5,23 \div 100) \cdot 10^3 \text{ кг}$ .

$$J_m = (5,23 \div 100) \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,55}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2,586^2} \cdot \frac{1}{10^2} = (0,59 \div 11,31).$$

Собственный момент сопротивления на валу электродвигателя

$$M_{\text{сдв}} = C \cdot I_{\text{двн}} - M_{\text{двн}} = 7,97 \cdot 1370 - 10695,2 = 223,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Постоянные потери в передаточном механизме лебедки

$$M_{\text{пост}} = a \cdot M_{\text{пер}} = 0,125 \cdot 10695,2 = 1336,9 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $\eta_{\text{пер}}$  - КПД передаточного механизма. Для лебедок  $\eta_{\text{пер}}=(0,8 \div 0,85)$ , принимаем,  $\eta_{\text{пер}}=0,8$ ;

$$a = \epsilon = \frac{1 - \eta_{\text{перном}}}{2 \cdot \eta_{\text{перном}}} = \frac{1 - 0,8}{2 \cdot 0,8} = 0,125$$

$a$  – коэффициент постоянных потерь в передаче и коэффициент переменных потерь в передаче  $b$ ;

$$M_{\text{перн}} \cong M_{\text{двн}} = 10695,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

– номинальный передаваемый момент механизма.

Момент, развиваемый грузом на первой передаче  $i_{л1} = 4,952$

$$M_{\text{гр}} = \frac{m \cdot q \cdot D_{\sigma}}{2i_{\text{ред}} \cdot i_{\text{полис}}} =$$

$$= \frac{(100 \div 200) \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 0,55}{2 \cdot 4,952 \cdot 10} = (5447,8 \div 10895,6) \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент развиваемый грузом на второй передаче  $i_{л2} = 2,586$

$$M_{\text{гр}} = \frac{(5,23 \div 100) \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,55}{2 \cdot 2,586 \cdot 10} = (545,6 \div 10432,1) \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Эквивалентная линейная жесткость подъемного каната для компоновочной схемы с  $i_{\text{пол}} = 10$  (см.рисунок 10) определяется выражением

$$C_{l_{\text{э}}} = \frac{C_{l1} \cdot C_{l2}}{C_{l1} + C_{l2}}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где

$$C_{l1} = \frac{C_{\text{к}}}{l_1} = \frac{38.375 \cdot 10^6}{50} = 76.75 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

- линейная жесткость начального участка каната длиной  $l = 50 \text{ м}$ ;

$$C_{l2} = i_{\text{полисп}} \cdot \frac{C_{\text{к}}}{l_2} = 10 \cdot \frac{38.375 \cdot 10^6}{45} = 8,53 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

- линейная жесткость конечного участка длиной  $l = 45$  м

$$C_K = E_K \cdot S_K = 1,25 \cdot 10^{11} \cdot 3,07 \cdot 10^{-4} = 38,375 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

- жесткость одного погонного метра каната;

$$E_K = (1,1 \div 1,4) \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$$

- модуль продольной упругости для стального каната, принимаем

$$E_K = 1,25 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2;$$

$$S_K = 0,5 \frac{\pi \cdot d_K^2}{4} = 0,5 \frac{3,14 \cdot 0,028^2}{4} = 3,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

- площадь сечения проволок.

При изменении высоты подъема эквивалентная жесткость канатов изменяется в малых пределах, так как при этом будет изменяться только длина параллельно включенных канатов в талевой системе. Если учесть, что их жесткость значительно превышает жесткость начального и конечного участков, то жесткостью этой части кинематической цепи можно пренебречь. Тогда эквивалентная жесткость системы канатов

$$C_{l_3} = 7,675 \cdot 10^6 + 8,53 \cdot 10^6 = 16,204 \cdot 10^6 \text{ Н/м.}$$

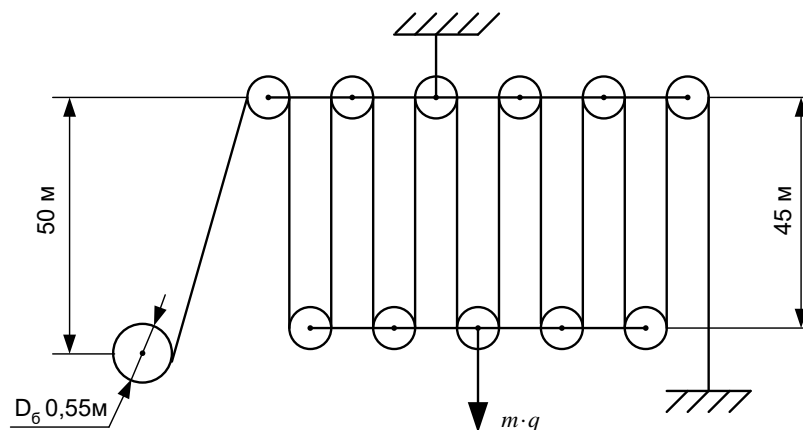


Рисунок 10 - Схема заправки каната подъемной лебедки

## Параметры двухмассовой механической системы

Структурная схема двухмассовой механической системы (ДМС) привода подъема приведена на рисунке 12 (а).

Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{дв} + J_{мех} = 40 + 10 = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления на валу первой массы

$$M_c = M_{сдв} + M_{пос} = 169,5 + 1336,9 = 1506,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции второй массы и соответствующий грузовой момент на ее оси при работе на первой передаче  $i_{л1} = 4,952$

$$J_2 = (3,084 \div 6,17) \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$M_{гр} = (5447,8 \div 10895,6) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции второй массы и соответствующий грузовой момент на ее оси при работе на второй передаче  $i_{л2} = 2,586$

$$J_2 = (0,59 \div 11,31) \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$M_{гр} = (545,6 \div 10432,1) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Значение приведенного углового коэффициента жесткости ДМС изменится в пределах от максимального значения в верхнем положении

$$C_{\varphi 12\text{верх}} = C_{l\text{верх}} \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{л1}^2} = 6,73 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,55^2}{4 \cdot 4,952^2} = 2,1 \cdot 10^4, \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

-при работе на первой передаче

$$C_{\varphi 12\text{верх}} = 6,73 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,55^2}{4 \cdot 2,586^2} = 76,1 \cdot 10^4 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

-при работе на второй передаче

до минимального значения в нижнем положении

$$C_{\varphi 12\text{нижн}} = C_{l\text{внижн}} \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{л1}^2} =$$

$$= 4,04 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,55^2}{4 \cdot 4,952^2} = 12,45 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

-при работе на первой передаче

$$C_{\varphi 12\text{нижн}} = 4,04 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,55^2}{4 \cdot 2,586^2} = 45,68 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

-при работе на второй передаче

Минимальное значение угловой частоты резонансных колебаний ДМС будет иметь место в нижнем положении крюка-блока при работе на второй передаче  $i_{л2} = 2,586$  с максимальной массой груза  $m = 100$  тонн

$$\omega_{12\text{ниж}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\varphi\text{ниж}} \cdot (J_1 + J_{2\text{макс}})}{J_1 \cdot J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{45,68 \cdot 10^3 \cdot (50 + 11,31)}{50 \cdot 11,31}} = 73,85 \text{ рад/с.}$$

Резонансная частота ДМС в нижнем положении крюка-блока , при работе на первой передаче  $i_{\text{е}1} = 4,952$  с максимальной массой груза  $m = 200$  тонн будет значительно больше

$$\omega_{12\text{ниж}}^{(1)} = \sqrt{\frac{C_{\varphi\text{ниж}} \cdot (J_1 + J_{2\text{макс}})}{J_1 \cdot J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{12,45 \cdot 10^3 \cdot (50 + 6,17)}{50 \cdot 6,17}} = 47,61 \text{ рад/с.}$$

На рисунке 11 приведены зависимости  $J_2(m)$ ,  $M_{\text{гр}}(m)$  и  $\omega_{12}(m)$ .

Коэффициент внутреннего демпфирования ДМС в нижнем положении ориентировочно может быть определен по выражению

$$b_{\text{в}12\text{нижн}} = \frac{\lambda_{\text{вт}} \cdot C_{\varphi 12\text{н}2\text{ни}}}{\pi \cdot \omega_{12\text{н}2\text{ни}}}$$

где  $\lambda_{\text{вт}} = 0,1 \div 0,2$  – декремент затухания механических колебаний под действием внутренних сил вязкого трения.

для работы на первой передаче

$$b_{в12нижн} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 12,45 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 47,61} = (8,328 \div 16,656)$$

для работы на второй передаче

$$b_{в12нижн} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 45,68 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 73,187} = (19,187 \div 39,755)$$

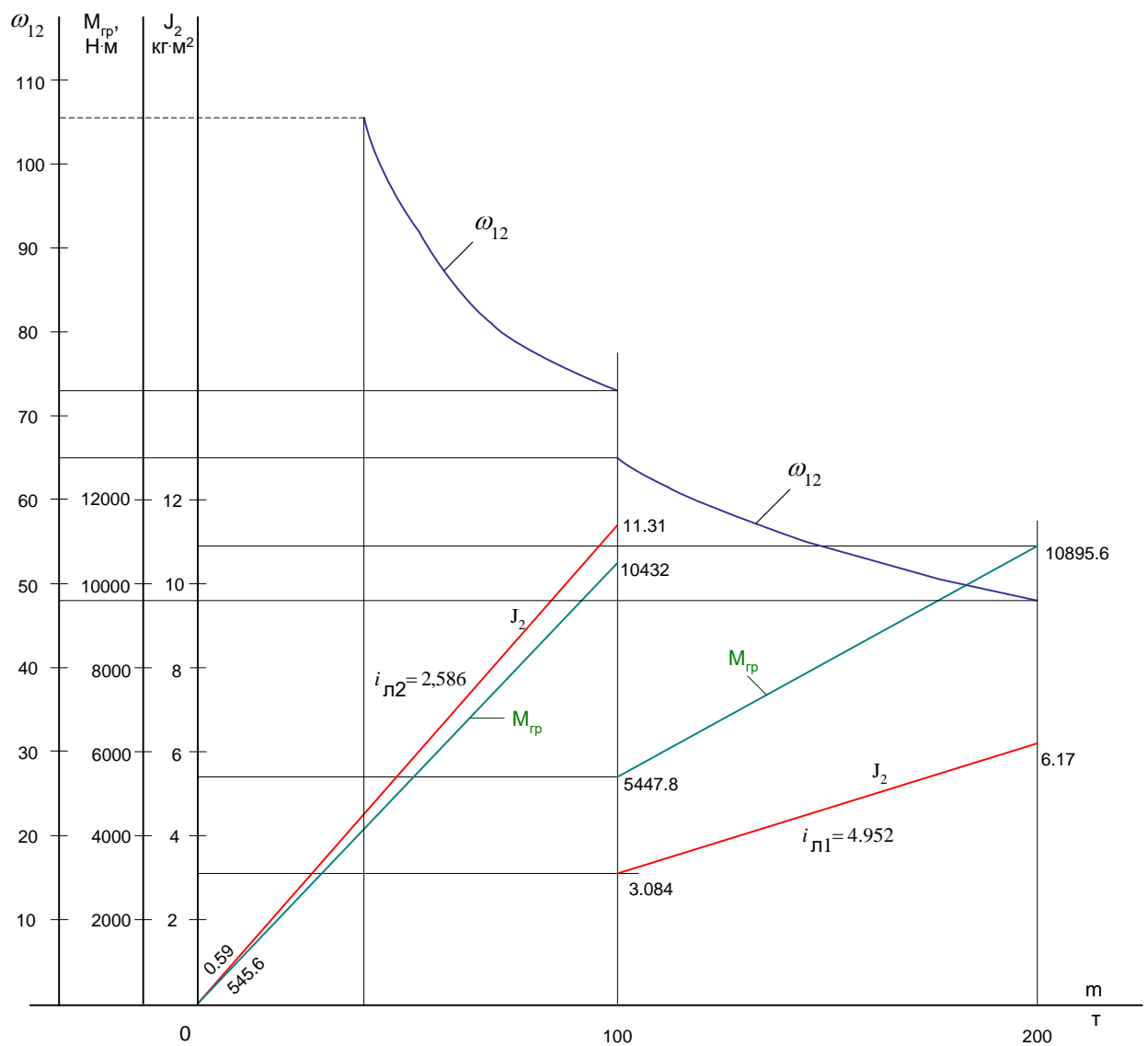


Рисунок 11-Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза

Параметры одномассовой механической системы

Структурная схема одномассовой механической системы (ОМС) приведена на рисунке 12 (б)

Эквивалентный момент инерции на первой передаче ( $i_{л1} = 4.952$ )

$$J_{\text{э}} = J_1 + J_2 = 50 + (3.084 \div 6.17) = (53.084 \div 56.17) \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

и на второй передаче ( $i_{л2} = 2,586$ )

$$J_{\text{э}} = J_1 + J_2 = 50 + (0.59 \div 11.31) = (50.59 \div 61.31) \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент сопротивления реактивного характера на оси эквивалентной массы

$$M_{\text{с}} = M_{\text{сдв}} + M_{\text{пос}} = 169,5 + 1336,9 = 1506,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент развиваемый грузом на первой передаче ( $i_{л1} = 4.952$ )

$$M_{\text{гр}} = (5447,8 \div 10859,6) \text{ Н}\cdot\text{м}$$

и на второй передаче ( $i_{л2} = 2,586$ )

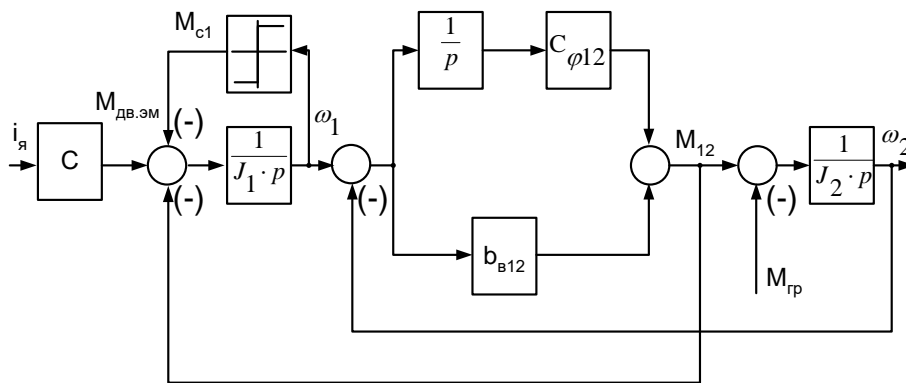
$$M_{\text{гр}} = (545,6 \div 10432,1) \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Электромеханическая постоянная времени привода наиболее существенно изменяется при работе на второй передаче и имеет минимальное значение

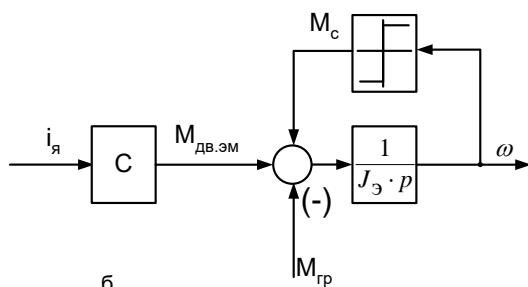
$$T_{\text{ммин}} = \frac{J_{\text{эмин}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{50,59 \cdot 0,03}{7,93^2} = 0,024 \text{ с.}$$

и максимальное значение

$$T_{\text{ммакс}} = \frac{J_{\text{эмакс}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{61,31 \cdot 0,03}{7,93^2} = 0,029 \text{ с.}$$



а



б

Рисунок 12 - Структурная схема механической системы привода лебедки:

а – ДМС; б – ОМС.

## 2.4 Выбор и расчет параметров тиристорного преобразователя двигателя

Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{\text{дн}} \geq U_{\text{двн}}; \quad I_{\text{дн}} \geq I_{\text{двн}}; \quad I_{\text{дммакс}} \geq I_{\text{дмакс}}$$

По параметрам двигателя:

$$U_{\text{двн}} = 440 \text{ В}; \quad I_{\text{двн}} = 1370 \text{ А}; \quad I_{\text{двмакс}} = 2,5 \cdot 1370 = 3425 \text{ А.}$$



выбираем преобразователь специального исполнения с техническими характеристиками:

- преобразователь нереверсивный;

трехфазная мостовая схема выпрямления;

преобразователь состоит из двух управляемых выпрямителей, включенных параллельно (см. рисунок 13):

сглаживающего реактора в цепи двигателя нет;

$$U_{дн} = 460 \text{ В};$$

$$I_{дн} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{дммак} = 2,25 \cdot I_{дн} = 3600 \text{ А} - \text{ в течение } 10 \text{ с.}$$

Выбор трехфазного токоограничивающего реактора

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора.

$$Z_{фрасч} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{сф}}{100 \cdot I_{фрасч}} = \frac{5,5 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 586,18875} = 0,02058 \text{ Ом},$$

где 
$$I_{фрасч} = k_{12ф} \cdot k_i \cdot \frac{I_{двн}}{2} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot \frac{1370}{2} = 586,2 \text{ А.}$$

Предварительно пренебрегаем активным сопротивлением обмоток реактора,

тогда,  $X_{фрасч} = Z_{ф}$  и необходимое значение индуктивности обмотки фазы реактора

$U_{сф}$  - фазное напряжение питающей сети

$U_{кз}$  - напряжение короткого замыкания реактора, принимаем  $U_{кз} = 5,5 \%$

$$L_{фрасч} = \frac{X_{фрасч}}{\omega_c} = \frac{0,02058}{314} = 0,066 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор типа РТСТ-660-0,64у3 с паспортными данными:

$$U_L = 410 \text{ В}; \quad I_{\text{фн}} = 660 \text{ А};$$

$$R_{\text{рф}} = 21 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad L_{\text{р}} = 0,064 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

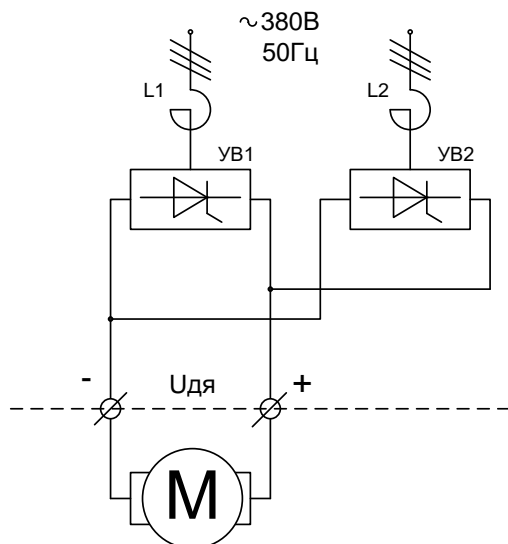


Рисунок 13 – Схема электрическая силовой цепи привода лебедки.

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\text{фрасч}} = \omega_c \cdot L_{\text{р}} = 314 \cdot 0,000064 = 20,096 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление силовой цепи выпрямителя.

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{фрасч}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 20,096 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,0192 \text{ Ом.}$$

Схема выпрямления трехфазная мостовая  $m_{\text{в}}=6$ .

## 2.5 Расчет параметров якорной цепи привода

Сопротивление якорной цепи с учетом параллельного включения двух выпрямительных мостов.

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{тп}} + R_{\text{двгор}} + 0,1 \cdot R_{\text{двгор}} =$$

$$= 11,6 \cdot 10^{-3} + 16,6 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 16,6 \cdot 10^{-3} = 29,86 \cdot 10^{-3} \text{ Ом,}$$

$$\text{где } R_{\text{тп}} = \left( \frac{2 \cdot R_{\text{рф}} + R_{\text{к}}}{2} \right) = \left( \frac{2 \cdot 21 \cdot 10^{-3} + 19 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 11,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

- сопротивление силовой цепи преобразователя.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{тп}} = 0,46 \cdot 10^{-3} + 0,64 \cdot 10^{-4} = 0,524 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

где  $L_{\text{тп}} = \frac{2 \cdot L_{\text{рф}}}{2} = \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,64 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$  – индуктивность силовой цепи преобразователя.

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0,524 \cdot 10^{-3}}{29,86 \cdot 10^{-3}} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{\text{дггрмакс}} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{\text{грмакс}} \cdot \frac{U_{\text{сф}}}{K_{\text{у2}} \cdot L_{\text{яц}}} =$$

$$= \frac{1}{3,14} \cdot 0,093 \cdot \frac{220}{0,428 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 290,5 \text{ А},$$

где  $K_{\text{грмакс}} = 1 - \frac{\pi}{m_g} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m_g} = 1 - \frac{3,14}{6} \cdot \text{ctg} \frac{3,14}{6} = 0,093$ ;

$K_{\text{у2}} = 0,428$  – расчетный коэффициент напряжения для трехфазной мостовой схемы.

Что в относительных единицах составляет

$$\frac{I_{\text{дггрмакс}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{290,5}{1370} = 0,212.$$

Максимальная величина пульсаций тока двигателя при угле управления  $\alpha = 90^\circ$  и номинальном токе нагрузки в %

$$P(1)\% = \frac{E_{\text{д(1)макс}} \cdot 100}{m_g \cdot \omega_c \cdot I_{\text{н}} \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{124,6 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 1370 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 9,21\% ,$$

где  $E_{\text{д(1)макс}} = \frac{U_{\text{сн}} \cdot \sqrt{2} \cdot m_g}{K_{\text{у2}} \cdot (m_g^2 - 1)} = \frac{220 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,48 \cdot (6^2 - 1)} = 124,6 \text{ В}$

- действующее значение первой гармоники выпрямленного напряжения при угле управления  $\alpha = 90^\circ$ .

Полученные результаты можно считать удовлетворительными, поэтому сглаживающий реактор в цепь двигателя не устанавливаем.

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_M = \frac{J \cdot \omega \cdot R_{ЯЦ}}{(K \cdot \Phi_{ДВ})^2}$$

При номинальном потоке возбуждения двигателя

$$T_M = \frac{(53,084 \div 56,17) \cdot 0,02986}{7,97^2} = (0,02495 \div 0,0264) \text{ с,}$$

при минимальном потоке возбуждения двигателя

$$T_M = \frac{(53,084 \div 56,17) \cdot 0,02986}{(126,7 \cdot 0,03145)^2} = (0,0998 \div 0,1056) \text{ с.}$$

## 2.6 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя

Для регулирования скорости выше номинальной скорости двигателя ослаблением поля, предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем.

Принципиальная электрическая схема тиристорного возбудителя двигателя подъемной лебедки приведена на рисунке 14.

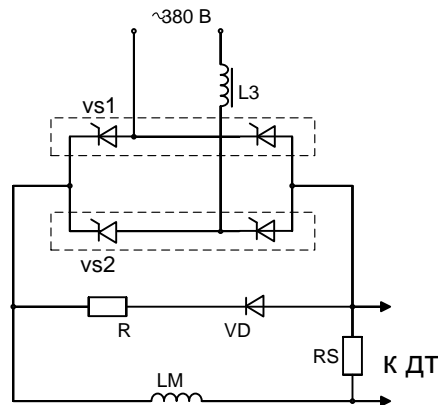


Рисунок 14 - Схема тиристорного возбудителя.

Управляемый выпрямитель возбудителя выполнен по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем. К однофазной сети возбудитель подключается через токоограничивающий реактор L3.

Номинальное напряжение обмотки возбуждения двигателя

$$U_{вн} = I_{вн} \cdot R_{овгор} = 22 \cdot 7,15 = 157,3 \text{ В.}$$

Требуемое напряжение однофазной сети

$$U_c = \frac{K_{u2} \cdot U_{вн}}{\cos \alpha_{мин}} = \frac{1,11 \cdot 157,3}{\cos 30^\circ} = 201,23 \text{ В.}$$

Для обеспечения коэффициента форсировки при восстановлении потока двигателя принимаем номинальное напряжение однофазной сети возбудителя

$$U_{сн} = U_{л} = 380 \text{ В.}$$

Необходимое значение сопротивления токоограничивающего реактора

$$Z_{p3} = \frac{U_{кз} \cdot U_{фн}}{100 \cdot I_{фрасч}} = \frac{5,5 \cdot 380}{100 \cdot 36,63} = 0,57 \text{ Ом,}$$

где  $I_{фрасч} = K_{i\phi} \cdot K_i \cdot I_{дн} = 1,11 \cdot 1,1 \cdot 30 = 36,63 \text{ А}$

- расчетный ток возбудителя, потребляемый из сети;

$I_{дн} = 30 \text{ А}$  - номинальный выпрямленный ток типового возбудителя;

$U_{кз} = 5,5\%$  - напряжение К.З. реактора.

Пренебрегая активным сопротивлением реактора  $R_p \approx 0$  определим индуктивное сопротивление и индуктивность обмотки реактора

$$X_{фрасч} = Z_{фрасч} = 0,02058 \text{ Ом,}$$

$$L_{фрасч} = \frac{X_{фрасч}}{\omega_c} = \frac{0,02058}{314} = 6,55 \cdot 10^{-5} \text{ Гн,}$$

где  $\omega_c = 2\pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14159 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$

Выбираем типовой блок возбудителя двигателя БВД - «04» с параметрами:

$I_{дн} = 30 \text{ А}$  - номинальный ток;

$U_{упв макс} = 10 \text{ В}$  - максимальное напряжение управления на входе возбуждителя;

$\alpha_{мин}=30^\circ$ ,  $\alpha_{нач}=150^\circ$ ,  $\alpha_{макс}=180^\circ$  - углы управления возбуждителем.

Среднее значение ЭДС возбуждителя при угле управления  $\alpha=0^\circ$

$$E_{доо} = \frac{U_c}{K_{u2}} = \frac{380}{1.11} = 342 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного возбуждителя

$$K_{ТПВ макс} = \frac{\pi \cdot E_{доо}}{U_{упв макс}} \cdot \frac{\alpha_{нач} - \alpha_{мин}}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 342}{10} \cdot \frac{150^\circ - 30^\circ}{180^\circ} = 71,5.$$

Регулировочная характеристика возбуждителя имеет вид (см. рисунок 15)

$$E_{ТПВ} = \frac{E_{доо}}{2} \cdot (1 + \cos \alpha).$$

Постоянная времени тиристорного возбуждителя

$$T_{ТПВ} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0,5}{2 \cdot 50} = 0,005 \text{ с.}$$

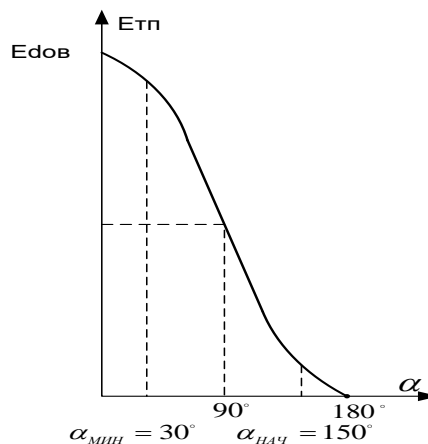


Рисунок 15 - Регулировочная характеристика возбуждителя

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$K_{ДТВ} = \frac{U_{ддтв макс}}{I_{ддв}} = \frac{10}{30} = 0,333 \text{ В/А.}$$

### Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Сопротивление цепи обмотки возбуждения (активным сопротивлением цепи тиристорного возбудителя пренебрегаем).

$$R_{цв} = R_{овгор} + 0,1R_{овгор} = 7,15 + 0,1 \cdot 7,15 = 7,865 \text{ Ом.}$$

Постоянная времени основного потока обмотки возбуждения

$$T_{\theta} = \frac{L_{ов}}{R_{цв}} = \frac{5,12}{7,865} = 0,651 \text{ с,}$$

где  $L_{ов}$  принимаем равной  $L_{овср} = 5,12 \text{ Гн.}$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения

$$T_s = \frac{L_s + L_{прасч}}{R_{цв}} = \frac{0,7 + 0,131 \cdot 10^{-3}}{7,865} = 0,089 \text{ с,}$$

где  $L_{прасч} = 2 \cdot L_{фрасч} = 2 \cdot 0,0655 \cdot 10^{-3} = 0,131 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$  – индуктивность цепи возбудителя.

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_k \cong 0,1 \cdot T_{\theta} = 0,0651 \text{ Гн.}$$

Цепь обмотки возбуждения представим в виде передаточной функции

$$W(p) = \frac{1/R_{цв}}{(T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{1/7,865}{(0,7978p + 1) \cdot (0,00726p + 1)} = \frac{0,127}{0,00579p^2 + 0,80506p + 1},$$

$$\text{где } T_{1,2} = \frac{T_{\theta} + T_s + T_k}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_{\theta} + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_k}$$

$$T_{1,2} = \frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2}\right)^2 - 0,089 \cdot 0,0651} =$$

$$= 0,40255 \pm 0,39529 \text{ с,}$$

тогда  $T_1 = 0,797837 \text{ с,}$

$T_2 = 0,007262 \text{ с.}$

## 2.7 Определение области допустимой работы электропривода подъемной лебедки

Область работы электропривода ограничена с одной стороны допустимым током двигателя и преобразователя:  $I_{ЭП\text{ МАКС}}=2 \cdot I_{ДВН}=2740$  А при  $\Phi_{ДВ}=\Phi_{ДВН}$  и  $I_{ЭП\text{ МАКС}}=1,5 \cdot I_{ДВН}=2055$  А при  $\Phi_{ДВ}<\Phi_{ДВН}$ , а с другой стороны минимальным углом управления преобразователем  $\alpha = \alpha_{\text{и}i}$  .

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos \frac{C \cdot \omega_{\text{ЭПМАКС}} + I_{\text{ДВН}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ис}} \cdot E_{\text{д0}}} = \arccos \frac{7.97 \cdot 52.36 + 1370 \cdot 0.02986}{0.9 \cdot 512.6}$$

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos 0.996279125 = 5.49354^\circ,$$

принимаем  $\alpha_{\text{мин}} = 6^\circ$

Предельная электромеханическая характеристика привода при  $\alpha_{\text{и}i}$  и  $\hat{O} \ddot{a} \hat{a} \hat{m}$  .

$$\omega(I) = \frac{1}{K \cdot \Phi_{\text{двном}}} (K_{\text{ис}} \cdot E_{\text{д0}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - I_{\text{дв}} \cdot R_{\text{яц}})$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица- 2



	$K_{uc}=0.9$			
$\Phi_{дв}=0,11$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 1370	$I_{двмакс}$ 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	57,63	52,48	44,75
	$K_{uc}=1$			
$\Phi_{дв}=0,11$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 1370	$I_{двмакс}$ 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	64,03	58,88	51,15
	$K_{uc}=0.9$			
$\Phi_{дв}=0,055$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 1370	$I_{двмакс}$ 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	115,25	104,95	89,5
	$K_{uc}=1$			
$\Phi_{дв}=0,055$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 1370	$I_{двмакс}$ 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	128,06	117,76	102,3

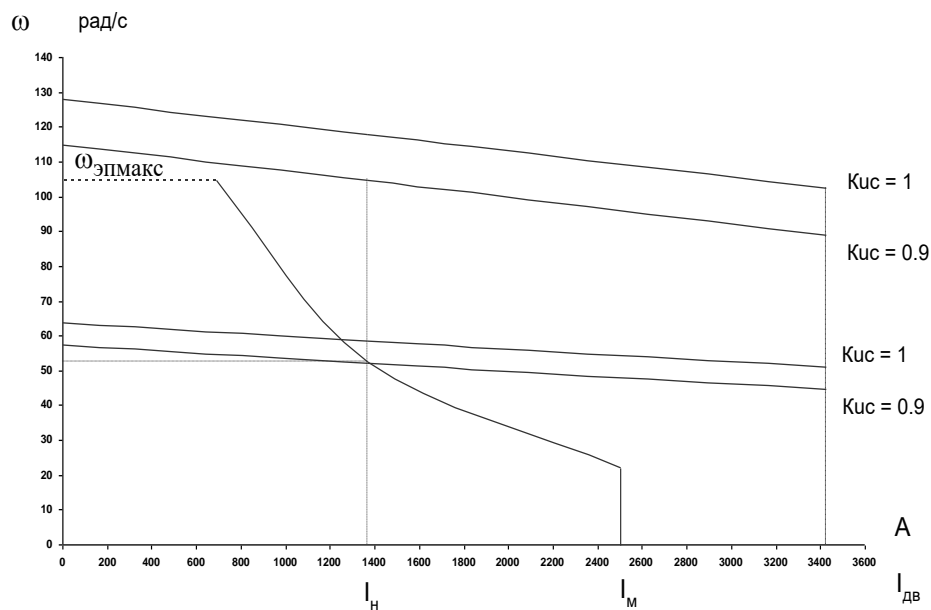


Рисунок 16- Область допустимой работы электропривода подъемной лебедки

По табличным данным на рисунке 16 построены предельные характеристики электропривода подъемной лебедки, ограничивающие его область допустимой работы в 1 квадранте.

Преобразователь электропривода подъемной лебедки неререверсивный, поэтому в инверторном режиме он может обеспечить работу привода в 4 квадранте, при активной нагрузке на валу двигателя. Нагрузка механизма подъемной лебедки реактивная по характеру, поэтому работа привода возможна только в 1 квадранте.

На рисунке 16 в области работы электропривода нанесена предельная характеристика 1-2-3, учитывающая допустимые нагрузки механизма подъемной лебедки. Характеристика 1-2-3 полностью располагается в области допустимой работы электропривода, что гарантирует возможность привода обеспечить требуемые предельные нагрузки механизма подъемной лебедки.

## 2.8 Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки

Структурная схема силового канала электропривода приведена на рисунке 18. Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 3.

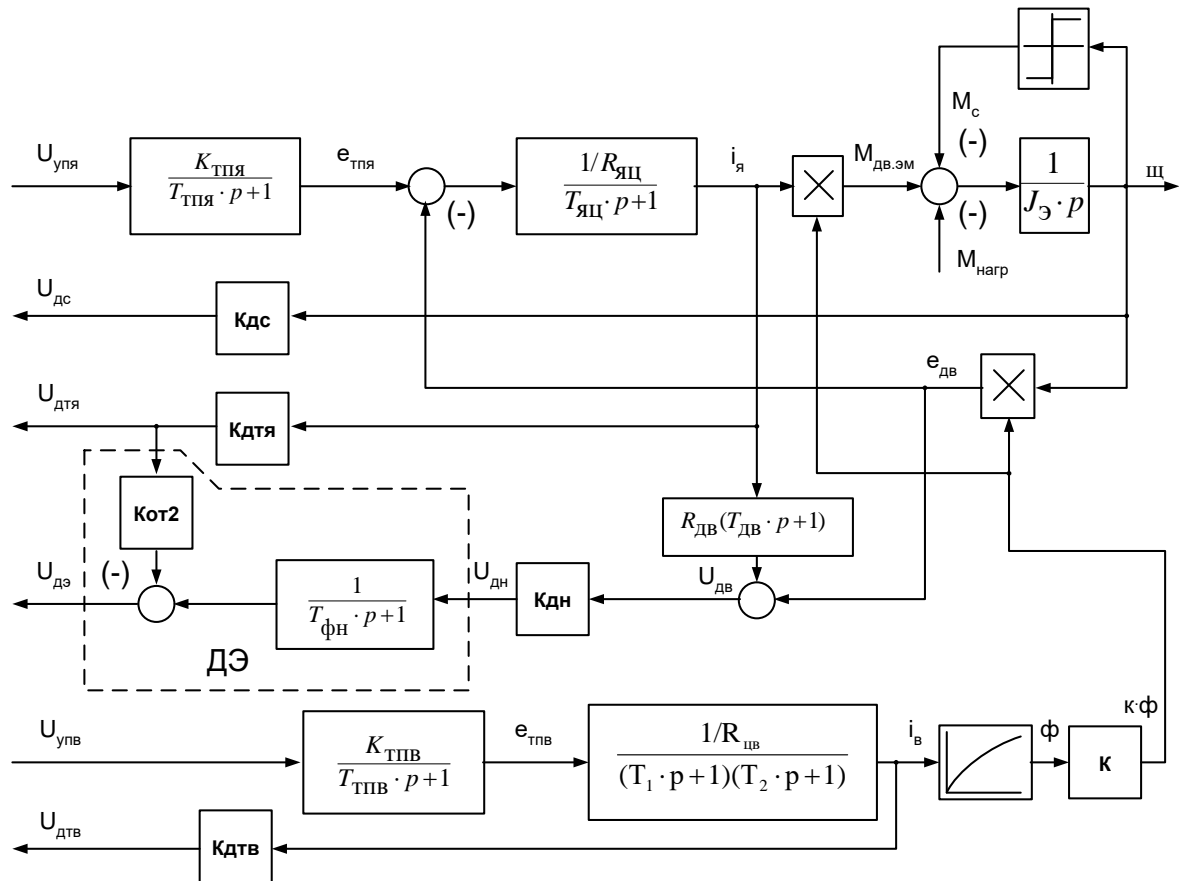


Рисунок 18 - Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки

Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 3.

Коэффициент передачи датчика тока преобразователя якоря

$$K_{дт\dot{я}} = \frac{U_{\dot{я}макс}}{I_{ямакс}} = \frac{10}{3000} = 0,00333 \text{ В/А}$$

Коэффициент передачи датчика скорости ( тахогенератора )

$$K_{дс} = \frac{U_{тг}}{\omega_{тг}} = \frac{33}{104,72} = 0,315 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{\text{дн}} = \frac{U_{\text{дтмакс}}}{U_{\text{макс}}} = \frac{10}{500} = 0,02$$

Коэффициент обратной связи по току датчика ЭДС двигателя ДЭ

$$K_{\text{от2}} = R_{\text{дв}} \cdot \frac{K_{\text{дн}}}{K_{\text{дтj}}} = 0,0166 \cdot \frac{0,02}{0,0033} = 0,1$$

При необходимости в цепи датчика напряжения может быть установлен фильтр с постоянной времени  $T_{\text{фн}} = T_{\text{дв}} = 0,0277$  с

Таблица 3- Параметры элементов силового канала

$K_{\text{тпj}}$	$T_{\text{тпj}}$ , с	$R_{\text{яц}}$ , Ом	$T_{\text{яц}}$ , с	$L_{\text{яц}}$ , Гн	С	$J_{\text{э}}$ кг•м <sup>2</sup>
98,412	0,00167	0,02986	0,0175	0,000524	7,97	53,084 ÷ 56,17
$T_{\text{дв}}$ , с	$L_{\text{дв}}$ , Гн	$K_{\text{дс}}$	$K_{\text{дтj}}$ , В/А	$K_{\text{дн}}$	$K_{\text{от2}}$	$T_{\text{фн}}$ , <sup>*</sup> с
0,0277	0,00046	0,315	0,00333	0,02	0,1	0,0277
$K_{\text{тпв}}$	$T_{\text{тпв}}$ , с	$R_{\text{цв}}$ , Ом	$T_1$ , с	$T_2$ , с	К	$M_{\text{с}}$ , Н•м
71,52	0,005	7,865	0,7978	0,0007262	126,7	1506,4
$M_{\text{нагр}}$ , Н•м	$K_{\text{дтв}}$ , В/А	$R_{\text{дв гор}}$ , Ом				
5447,8 ÷ 10895,6	0,333	0,0166				

## **3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ**

### **3.1 Функциональная схема электропривода подъемной лебедки**

Функциональная схема электропривода подъемной лебедки приведена на рисунке 19. Основные функциональные устройства электропривода лебедки:

МЛ- электродвигатель лебедки;

ТПЯ- тиристорный преобразователь цепи якоря двигателя;

ОВМ- обмотка возбуждения двигателя;

САР « $n_{дв}$ » - система автоматического управления скоростью двигателя;

САР « $E_{дв}$ » - система автоматического регулирования ЭДС двигателя;

ВР – тахогенератор, установленный на валу двигателя лебедки;

СК – сильсинный командоаппарат;

ДВ – датчик веса бурильной колонны.

Устройства САР электропривода лебедки находятся в блоке регуляторов лебедки (БРЛ) и в блоке возбуждения БВД. В блоке регуляторов БРЛ расположены следующие узлы:

ФВУ – фазочувствительное выпрямительное устройство;

ЗИ – задатчик интенсивности;

РМЛ – регулятор мощности подъемной лебедки;

УН – узел нелинейности в канале управления от датчика веса;

РС – пропорциональный регулятор скорости;

РТЯ – пропорционально-интегральный регулятор тока;

УКС – узел контроля скорости;

ДЭ – датчик ЭДС двигателя;

УВМ – устройство выделения модуля;

РЭВ – интегральный регулятор ЭДС двигателя по каналу возбуждения;

ДТЯ – датчик тока якоря двигателя;

ДН – датчик напряжения.

В блоке возбуждения БВД расположены следующие функциональные узлы:

ДТВ - датчик тока возбуждения;

РТВ - пропорционально-интегральный регулятор тока возбуждения;

ТПВ – однофазный тиристорный преобразователь обмотки возбуждения.

Электропривод буровой лебедки выполнен по системе ТП-Д постоянного тока.

САР электропривода выполнена как система двухзонного регулирования скорости и состоит из нереверсивных систем управления напряжением якоря  $U_{дв}$  (САР скорости) и управления током  $I_{в}$  и потоком  $\Phi_{дв}$  возбуждения двигателя (САР ЭДС). Применена схема с зависимым регулированием ЭДС двигателя.

Управление скоростью двигателя в первой зоне при постоянном потоке возбуждения осуществляется двухконтурной системой регулирования с регуляторами скорости РС и тока якоря РТЯ и обратными связями по скорости (от тахогенератора ВР) и току двигателя (от датчика тока ДТЯ). Скорость задается сельсинным командоаппаратом СК.

Входная цепь РС настраивается таким образом, что номинальные значения напряжения двигателя  $U_{двн}$ , ЭДС двигателя  $E_{дв}$  и скорости вращения  $n_{двн}$  достигаются при среднем положении рукоятки СК, когда  $U_{зс} = 0,5 \cdot U_{зсмакс} = 0,5 \cdot 10 = 5В$ .

Дальнейший рост сигнала  $U_{зс}$  приводит к увеличению скорости привода за счет уменьшения тока возбуждения (2-я зона регулирования). Система регулирования (стабилизации) ЭДС двигателя, в состав которой входят регуляторы РЭВ и РТВ, действует следующим образом.

На вход РЭВ подается постоянный сигнал задания  $U_{зз}$ , соответствующий номинальному значению  $E_{двн}$ . На второй вход РЭВ подается сигнал отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя  $U_{дэ}$ . Сигнал  $U_{дэ}$ , пропорцио-

нальный ЭДС двигателя, получается как разность сигналов датчиков напряжения ДН и тока якоря ДТЯ.

В первой зоне сигнал на выходе РЭВ максимальный и равен уставке узла ограничения (регулятор находится в зоне насыщения), в результате чего ток возбуждения остается постоянным и равным номинальному.

При  $U_{зс} = 5В$  скорость двигателя и ЭДС достигают номинальных значений, РЭВ выходит из зоны «насыщения» и уменьшает задание на ток возбуждения  $U_{зтв}$ . Начинается регулирование потока двигателя таким образом, что

$$E_{дв} = K \cdot \Phi_{дв} \cdot \omega_{дв} = E_{двн}$$

Теперь рост скорости вращения двигателя при практически постоянном значении напряжения на двигателе  $U_{дв}$  и ЭДС двигателя  $E_{дв}$  достигается за

счет ослабления поля  $\Phi_{дв} = \Phi_{двн} \cdot \frac{\omega_{двн}}{\omega_{дв}}$ . Отметим, что при работе двига-

теля с номинальным током, это приводит к уменьшению момента двигателя

$$M_{дв} = I_{двн} \cdot \Phi_{дв}$$

Таким образом, управление возбуждением является зависимым от управления каналом регулирования напряжения якоря, причем сигнал обратной связи по ЭДС является связующим сигналом, обеспечивающим согласование действия обоих каналов управления.

Примененная схема регулирования обеспечивает линейную зависимость скорости электропривода от задающего напряжения  $U_{зс}$  (см. рисунок 20)

В структуре лебедки имеется устройство автоматического ограничения максимальной скорости подъема в зависимости от веса на крюке таким образом, чтобы мощность, развиваемая приводом, оставалась постоянной и равной номинальной

$$P_{дв} = M_{дв} \cdot \omega_{дв.макс} = P_{двн}$$

В состав устройства входит:

П-РМЛ – пропорциональный регулятор мощности с коэффициентом передачи  $K_{рмл} = 1$ ;

ДВ – датчик веса и делитель с коэффициентом передачи 1 на второй и 0,5 на первой скорости лебедки;

УН – узел нелинейный, формирующий уровень ограничения выходного напряжения регулятора РМЛ  $U_{рмл} = U_{зс}$ ;

Характеристика УН приведена на рисунке 21.

Настройка контура тока производится таким образом, чтобы максимальный стопорный ток двигателя был равен 2500А, что при работе на первой скорости лебедки обеспечивает максимальное допустимое усилие на крюке 200кН.

Настройка контура скорости проводится таким образом, чтобы при  $U_{зсмакс} = 10В$  электропривод обеспечивал максимальную скорость  $n_{эпмакс} = 1000$  об/мин.



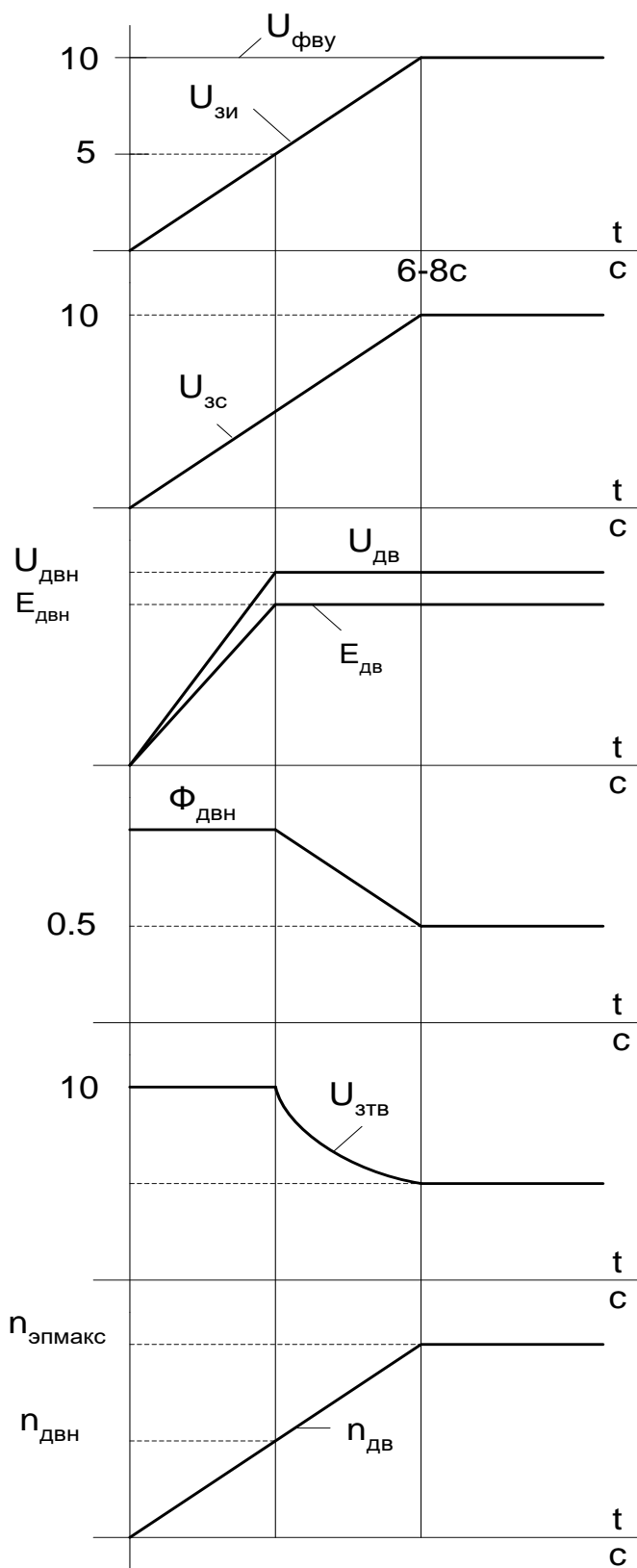


Рисунок 20 Диаграммы, поясняющие принцип работы САР электропривода лебедки

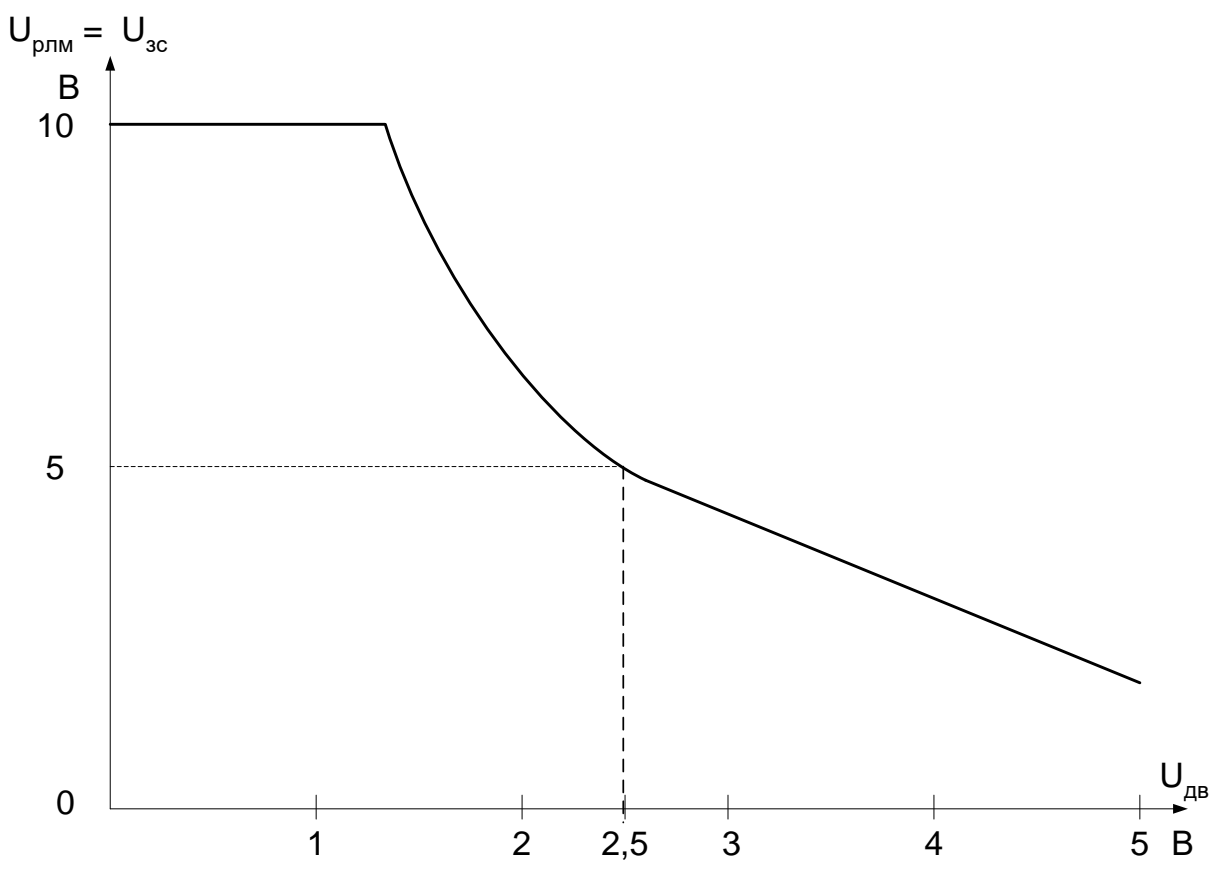
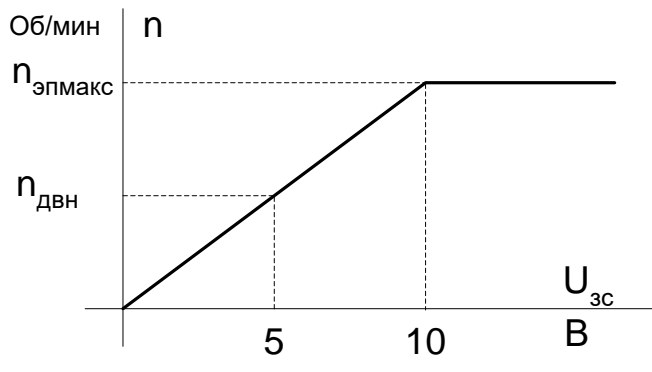


Рисунок 21 Характеристика нелинейного узла



### 3.2 Структурная схема САУ скорости электропривода подъемной лебедки

Структурная схема линейризованной САУ скорости электропривода подъемной лебедки приведена на рисунке 22

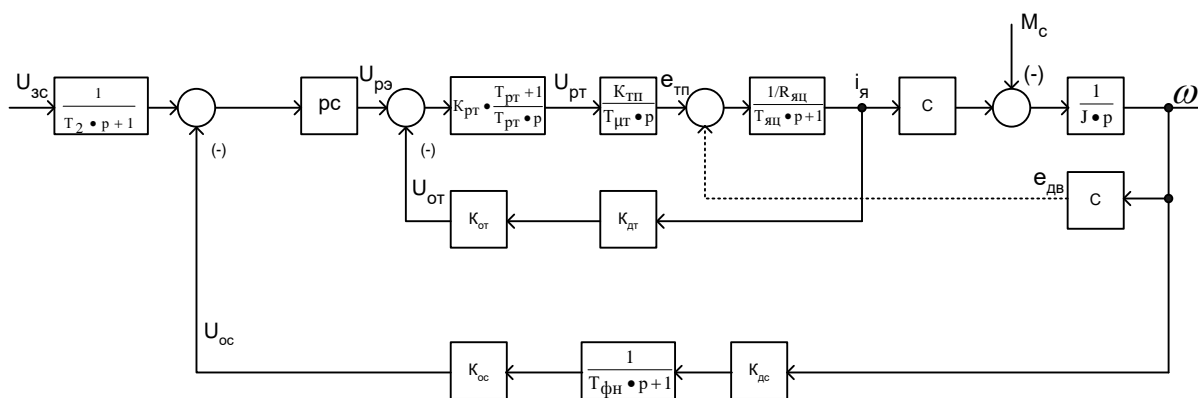


Рисунок 22- Структурная схема САУ скорости электродвигателя привода подъемной лебедки

На схеме приняты следующие обозначения:

Вх.Ф – входной фильтр;

РС – регулятор скорости;

РТЯ – регулятор тока якорной цепи;

Кот, Кос – коэффициенты передачи входных цепей регуляторов.

САУ электропривода подъемной лебедки реализована как двухконтурная с внутренним контуром тока и внешним контуром ЭДС двигателя. Формирование сигнала обратной связи по ЭДС двигателя осуществляется суммированием входных сигналов, пропорциональных напряжению двигателя и падению напряжения в якорной цепи (току якорной цепи). Суммирование сигналов производится непосредственно на входе регулятора ЭДС, на вход которого подаётся две обратных связи: отрицательная обратная связь по напряжению двигателя и положительная обратная связь по току якорной цепи.

Входной фильтр Вх.ф на входе контура ЭДС и фильтр в цепи обратной связи по напряжению могут быть установлены при необходимости.

Оптимизация САР скорости электропривода сводится к определению типа регуляторов, определения параметров регуляторов и цепей обратных связей, обеспечивающих технически оптимальные переходные процессы.

Оптимизация проводится в два этапа:

- первый этап аналитический для линеаризованной системы регулирования;
- второй этап метод имитационного моделирования с учетом влияния ЭДС двигателя основных нелинейностей электропривода.

### 3.3 Оптимизация контура тока якоря

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема приведена на рисунке 23, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя.

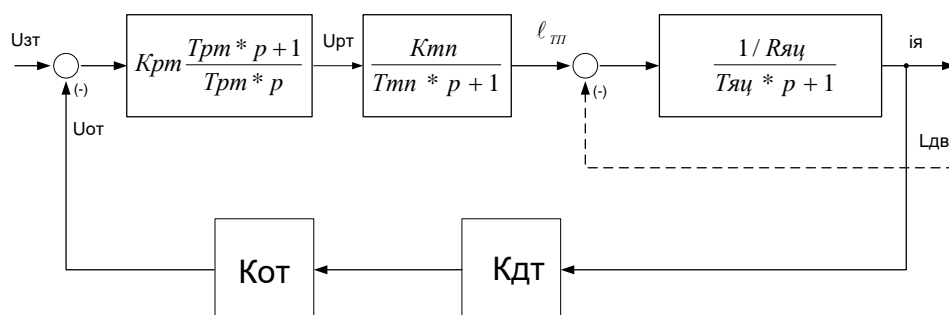


Рисунок 23 - Структурная схема контура тока

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени

$$T_{яц} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ с} \text{ и } T_{тп} = 0,00167 \text{ с. Отношение } T_{яц} / T_{тп} = \frac{17,5 \cdot 10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-3}} = 10,47 \text{ значительнее больше единицы, следовательно принимаем:}$$

- $T_{\mu т} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с}$  – малая постоянная времени контура;

-  $T_{яц} = 0,0175$  с - большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО). С учетом параметров контура выбираем ПИ- регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{рТ} = K_{рТ} \cdot \frac{T_{рТ} \cdot p + 11}{T_{рТ} \cdot p},$$

где  $T_{рТ} = T_{яц} = 0,0175$  с - постоянная времени регулятора;

$$K_{рТ} = \frac{R_{яц} \cdot T_{яц}}{K_{П} \cdot K_{Т} \cdot a_{Т} \cdot T_{\mu т}} = \frac{0,0175 \cdot 0,02986}{98,412 \cdot 2 \cdot 0,004 \cdot 0,00167} = 0,39744$$

- коэффициент усиления регулятора;

$$K_{Т} = \frac{U_{зтмакс}}{I_{\text{Эпмакс}}} = \frac{10}{2500} = 0,004 \text{ В/А}$$

-коэффициент обратной связи по току;

$a_{Т} = 2$  - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{от} = \frac{K_{Т}}{K_{дТ}} = \frac{0,004}{0,00625} = 0,64$$

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени

$$\frac{T_{М}}{T_{яц}} = \frac{23,50 \cdot 10^{-3}}{17,5 \cdot 10^{-3}} = 1,3428$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{граз}} &= \frac{1}{a_{Т} \cdot T_{\mu т} \cdot p(T_{\mu т} \cdot p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00167 \cdot p} = \\ &= \frac{1}{5,57 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p} \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{траз}} = \frac{1/K_T}{a_T \cdot T_{\mu m} \cdot p(T_{\mu m} \cdot p + 1) + 1} = \frac{1/K_T}{a_T \cdot T_{\mu m}^2 \cdot p^2 + aT_{\mu m} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{160}{5,57 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,0034 p + 1}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\delta = 4,3\%$  - перерегулирование,

$t_{\text{ру1}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$  - время первого согласования, с,

$t_{\text{ру2}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$  - время переходного процесса, с,

при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_{\text{п}}^{(\text{мм})} = \omega_{\text{п}}^{\text{ф}} = 0,71/T_{\mu m} = 0,71/0,00167 = 425,15$  рад/с – полоса пропускания по модулю и фазе

или  $f_{\text{п}} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = \frac{425,15}{2 \cdot 3,14} = 67,7$  Гц.

$\Delta I_{\text{уст}} = 0$  - установившаяся ошибка отработки входного воздействия.

### 3.4 Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 24. Контур содержит два инерционных звена : интегрирующее звено, описывающее одномассовую механическую систему, и колебательное звено второго порядка, представляющее собой оптимизированный замкнутый контур тока.

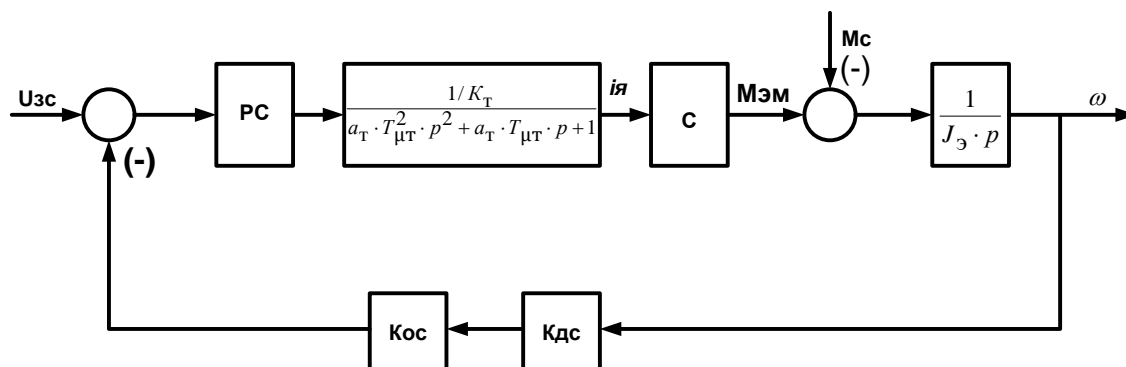


Рисунок 24 - Структурная схема контура скорости

Контур оптимизируется по МО. Малая постоянная времени контура выбирается равной  $T_{\mu c} = a_T \cdot T_{\mu T}$ . Принимаем П- регулятор скорости с коэффициентом усиления

$$K_{pc} = \frac{(J_{\text{ЭМИН}} \div J_{\text{ЭМИН}}) \cdot K_T}{C \cdot K_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} =$$

$$= \frac{(50,59 \div 61,31) \cdot 0,004}{7,93 \cdot 0,095} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = \frac{(0,20236 \div 0,24524)}{0,75335} \cdot 149,7 =$$

$$= (40,21 \div 48,73),$$

где 
$$K_c = \frac{U_{\text{зсмакс}}}{\omega_{\text{ЭПмакс}}} = \frac{10}{104,7} = 0,095 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

- коэффициент обратной связи по скорости;

$U_{\text{зсмакс}} = 10 \text{ В}$  – максимальное значение напряжения задания

$a_c = 2$  – коэффициент оптимизации контура по МО.

Коэффициент входной цепи обратной связи регулятора

$$K_{oc} = \frac{K_c}{K_{дс}} = \frac{0,095}{0,315} = 0,3.$$

где  $K_{дс} = 0,315 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$  - коэффициент датчика скорости (тахогенератора )



Передаточная функция разомкнутого контура скорости

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{сраз}} &= \frac{1}{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p [a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1]} = \\ &= \frac{1}{4 \cdot 0,00167 \cdot p [2 \cdot 0,00167 \cdot p (0,00167 \cdot p + 1) + 1]} = \\ &= \frac{1}{3,7 \cdot 10^{-8} \cdot p^3 + 22,3 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 6,68 \cdot 10^{-3} \cdot p} \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{сзам}} &= \frac{1/K_c}{a_c \cdot a_T^2 \cdot T_{\mu T}^3 \cdot p^3 + a_c \cdot a_T^2 \cdot T_{\mu T}^2 \cdot p^2 + a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1} = \\ &= \frac{1/0,095}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,00167^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{10,526}{3,7 \cdot 10^{-8} \cdot p^3 + 22,3 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 66,8 \cdot 10^{-4} \cdot p + 1} \end{aligned}$$

Показатели качества работы контура скорости по управлению

$\delta = 8,1\%$  - перерегулирование,

$t_{\text{ру1}}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu T} = 0,0117$  с – время первого согласования,

$t_{\text{ру2}}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu T} = 0,02$  с – время переходного процесса,

при отработке ступенчатого входного воздействия;

$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0,5}{T_{\mu T}} = 299,4$  рад/с или  $f_{\Pi}^{(M)} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{299,4}{2 \cdot 3,14} = 47,675$  Гц – полоса про-

пускания контура по модулю;

$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,35}{T_{\mu T}} = 209,58$  рад/с или  $f_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{\omega_{\Pi}^{(\Phi)}}{2\pi} = \frac{209,58}{2 \cdot 3,14} = 33,372$  Гц – полоса

пропуска контура по фазе;

$\Delta\omega_{\text{уст}} = 0$  - установившаяся ошибка при отработке управляющего воздействия.

Показатели качества работы контура скорости по возмущению:

$$\Delta\omega_{\text{вуст}} = \frac{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T}}{J_{\Sigma}} \cdot \Delta M_c = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,00167}{(53,084 \div 56,17)} \cdot 10695,187 = (1,346 \div 1,272) \text{ рад/с}$$

-установившаяся ошибка при отработке возмущающего воздействия;

$$\begin{aligned} \Delta\omega_{\text{вуст}} &= 0,37(1 + 0,95 \cdot a_c) \cdot \frac{2 \cdot a_T \cdot T_{\mu T}}{J_{\Sigma}} \cdot \Delta M_c = \\ &= 0,37 \cdot (1 + 0,95 \cdot 2) \cdot \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,00167}{(53,084 \div 56,17)} \cdot 10695,187 = (1,444 \div 56,17) \text{ рад/с} \end{aligned}$$

- максимальный провал (всплеск) скорости двигателя при набросе (сбросе) нагрузки.

С использованием прикладной программы LACH рассчитаны логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) замкнутого ( рисунок 25) и разомкнутого ( рисунок 26) контура скорости.

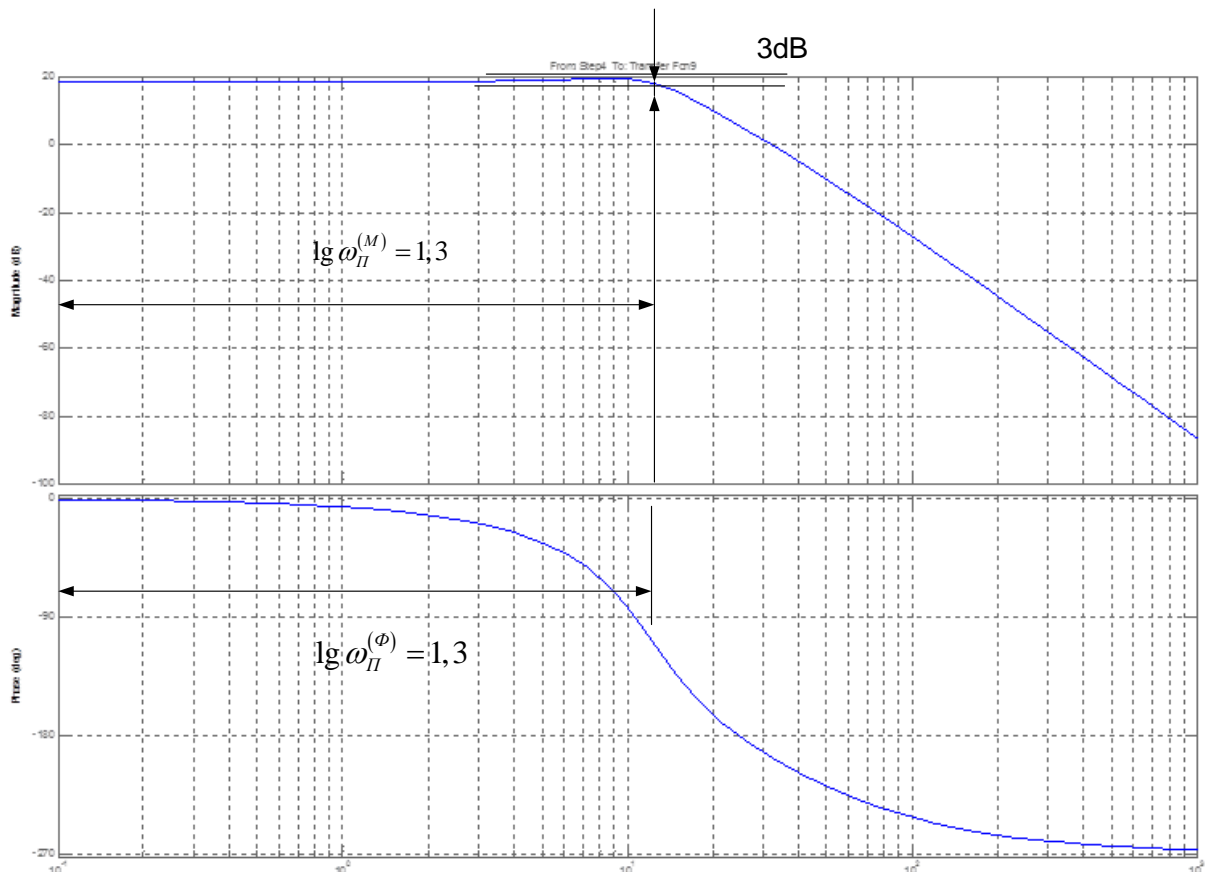


Рисунок 25 - ЛЧХ замкнутого контура скорости

### 3.5 Структурная схема САР ЭДС двигателя

Структурная схема САР ЭДС двигателя приведена на рисунке 27.

На схеме приняты следующие обозначения:

РТВ – регулятор тока возбуждения двигателя;

Котв – коэффициент передачи входной цепи регулятора обратной связи регулятора тока;

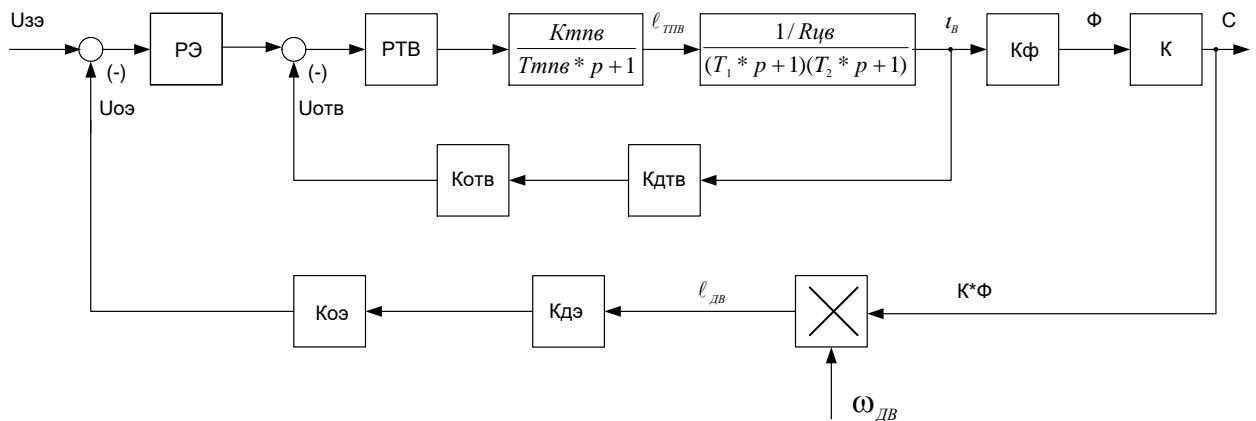


Рисунок 27- Структурная схема САР ЭДС электродвигателя привода подъемной лебедки

САР ЭДС двигателя представляет собой двухконтурную систему регулирования потока возбуждения. Задание на ток возбуждения на входе контура формируется в зависимости от положения сельсинного командоаппарата СК. Контур тока возбуждения стабилизирует ток возбуждения двигателя при колебаниях напряжения сети и ослабляет поток двигателя при  $U_{3И} > 5В$ .

#### Оптимизация контура тока возбуждения двигателя

Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 28.

Контур содержит три инерционных звена первого порядка (апериодических), при этом имеет место следующее соотношение постоянных времени

$$T1 \gg (T_{тпв} + T2).$$

Поэтому за малую постоянную времени контура примем

$$T_{\mu_{тв}} = (T_{тпв} + T2) = 0,005 + 0,007262 = 0,0012262 \text{ с},$$

$T1 = 0,797837 \text{ с}$  будем считать большой постоянной времени контура.

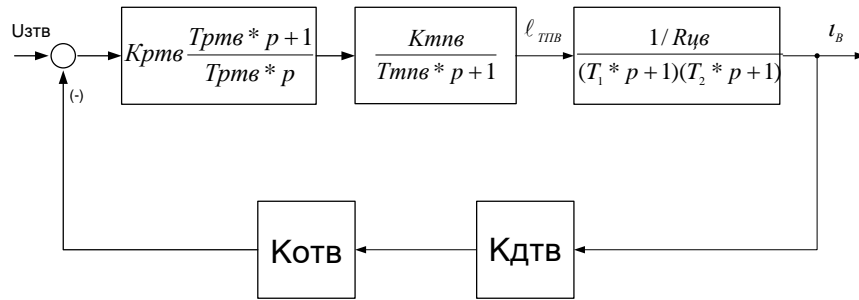


Рисунок 28 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя.

Оптимизация контура по МО достигается при выборе ПИ-РТВ с передаточной функцией

$$W(P)_{pTB} = K_{pTB} \cdot \frac{T_{pTB} p + 1}{T_{pTB} p},$$

где 
$$K_{pTB} = \frac{R_{цв} \cdot T_1}{K_{mTB} \cdot K_{mTB} \cdot \alpha_{TB} \cdot T_{\mu TB}} = \frac{7,865 \cdot 0,79837}{71,52 \cdot 0,45 \cdot 2 \cdot 0,012262} = 7,955$$

- коэффициент усиления регулятора;

$$K_{TB} = \frac{U_{зTBмакс}}{I_{вв}} = \frac{10}{22} = 0,45 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$\alpha_{TB}=2$  – коэффициент оптимизации по МО;

$$T_{pTB} = T_1 = 0,798 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

$$K_{отTB} = \frac{K_{mTB}}{K_{ддTB}} = \frac{0,45}{0,333} = 1,351.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$\begin{aligned} W(P)_{TBЗAM} &= \frac{1}{\frac{K_{mTB}}{\alpha_{TB} \cdot T_{\mu TB}^2 \cdot P^2 + \alpha_{TB} \cdot T_{\mu TB} \cdot P + 1}} = \\ &= \frac{1/0,45}{2 \cdot 0,012262^2 p^2 + 2 \cdot 0,012262 \cdot p + 1} = \frac{2,222}{0,0003 \cdot P^2 + 0,0245 \cdot P + 1} \end{aligned}$$

Показатели качества работы контура:

$\delta = 4,3\%$  - перерегулирование;

$t^{(5)}_{py1} = t^{(5)}_{py2} = 4,1 \cdot T_{\mu_{ТВ}} = 4,1 \cdot 0,012262 = 0,05$  с – время переходного процесса;

$$\omega^{(\phi)}_{\Pi} = \omega^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu} \delta} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,012262} = 57,667 \text{ рад/с}$$

или  $f_{\Pi} = \frac{\omega_i}{2\pi} = \frac{57,667}{2 \cdot 3,14} = 9,18 \text{ Гц}$  – полоса пропускания;

$\Delta I_{\text{осн}} = 0$  - установившаяся ошибка отработки заданного значения тока возбуждения.

### 3.6 Оптимизация контура ЭДС

Структурная схема контура приведена на рисунке 29 где внутренний

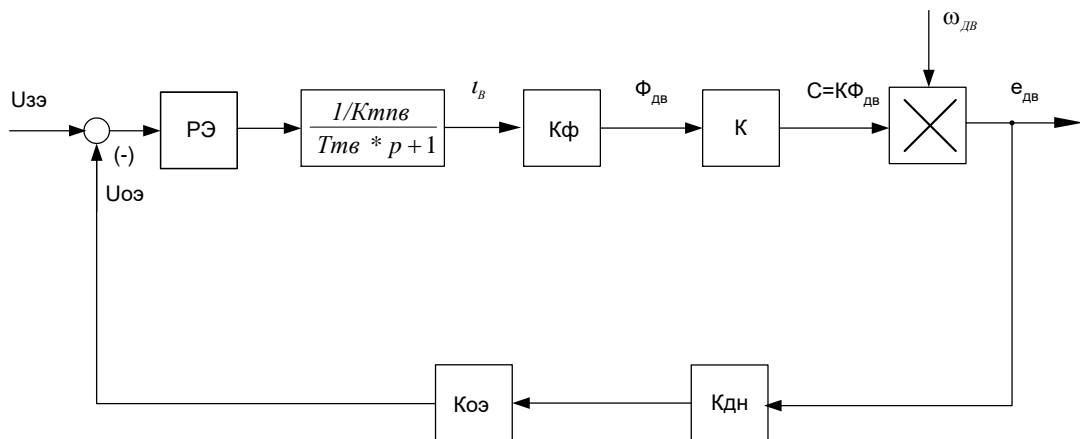


Рисунок 29 - Структурная схема контура ЭДС

оптимизированный контур тока возбуждения представлен усеченной до первого порядка передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ТВ ЗАМ}} = \frac{1/K_{\text{ТВ}}}{T_{\text{ТВ}} \cdot p + 1},$$

где  $T_{\text{ТВ}} = 2T_{\mu_{\text{ТВ}}} = 0,0245$  с.

Оптимизацию контура ЭДС двигателя во второй зоне регулирования осуществим при допущении  $K_{\text{дн}} = K_{\text{дэ}}$ .

Для оптимизации по МО принимаем И – РЭ с передаточной функцией

$$W(p)_{PЭ} = \frac{K_{PЭ}}{T_{PЭ} \cdot p},$$

где

$$K_{PЭ} = \frac{K_{ТВ}}{K_{Э} \cdot K_{Ф} \cdot K \cdot \omega_{МАКС}} = \frac{0.4545}{0.02397 \cdot 0.004193 \cdot 126.7 \cdot 104.7} = 0.341$$

- коэффициент усиления регулятора

$$T_{PЭ} = a_{Э} \cdot T_{ТВ} = 2 \cdot T_{ТВ} = 2 \cdot 0.026 = 0.052 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора;

$$K_{Ф} = \frac{\Phi_{МИН}}{I_{ВМИН}} = \frac{0.03145}{7.5} = 0.004193 \text{ Вб/А}$$

- коэффициент пропорциональности между потоком и током возбуждения на начальном участке кривой намагничивания (при максимальной скорости привода);

$$K_{Э} = \frac{U_{ЭМАКС}}{E_{ДВН}} = \frac{10}{417.23} = 0.02397$$

- коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя;

$$E_{ДВН} = C \cdot \omega_{АА} = 7.97 \cdot 52.35 = 417.23 \text{ В}$$

- ЭДС двигателя при номинальной скорости вращения;

$$\omega_{МАКС} = 104.7 \text{ рад/с}$$

- максимальная скорость двигателя при ослабленном поле;

$a_{Э} = 2$  – коэффициент оптимизации контура по МО.

Передаточная функция замкнутого контура

$$\begin{aligned} W(p)_{ЭЗАМ} &= \frac{1/K_{Э}}{T_{PЭ} \cdot p(T_{ТВ} \cdot p) + 1} = \frac{1/0.02397}{0.052 \cdot p(0.0245 \cdot p + 1) + 1} = \\ &= \frac{41.7188}{0.0013p^2 + 0.052p + 1}. \end{aligned}$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора ЭДС

$$K_{OЭ} = \frac{K_{Э}}{K_{ДН}} = \frac{0.02397}{0.02} = 1.1985.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура ЭДС;

$\delta = 4.3\%$  - перерегулирование,

$$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{TB} = 4.1 \cdot 0.0245 = 0.1005 \text{ с}$$

- время первого и окончательного вхождения в 5% зону;

$$\omega_i^{(0)} = t_i^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.0245} = 28.862 \text{ рад/с}$$

или

$$f_i^{(0)} = f_i^{(i)} = \frac{\omega_i}{2\pi} = \frac{28.862}{2 \cdot 3.14} = 4.6 \text{ Гц}$$

- полоса пропускания по фазе и модулю;

$\Delta \dot{A}_{\text{ААОН}\delta} = 0$  - установившаяся ошибка обработки заданного значения ЭДС двигателя.

## 4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ

### 4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП подъемной лебедки

Основными нелинейностями САУ электропривода подъемной лебедки являются:

- насыщение регуляторов ЭДС и тока

$$U_{РЭ \text{ МАКС}} = \pm 10 \text{ В}; U_{РТ \text{ МАКС}} = \pm 10 \text{ В};$$

- постоянное по величине ограничение тока двигателя в переходных режимах, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора напряжения на уровне

$$U_{РН \text{ ДОП}} = U_{ТО} = K_T \cdot I_{ЭП \text{ МАКС}} = 0,014286 \cdot 700 = 10 \text{ В};$$

- насыщение тиристорного преобразователя, соответствующее минимальному углу управления  $\alpha_{i\dot{e}i} = 10^\circ$

$$E_{ТПЯ \text{ МАКС}} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{i\dot{e}i} = 512.6 \cdot \cos 10^\circ = 504.8 \text{ В};$$

- насыщение тиристорного возбудителя

$$E_{ТПВ \text{ МАКС}} = \frac{E_{d0B}}{2} (1 + \cos \alpha_{МИН}) = \frac{342}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319 \text{ В};$$

- изменение значения коэффициента ЭДС и электромагнитного момента  $C = K \cdot \Phi_{дв}$  во второй зоне регулирования;

- основным нелинейным элементом электропривода является нереверсивный тиристорный преобразователь, который имеет одностороннюю проводимость групп вентилях, дискретный характер управления, нелинейную регулировочную характеристику.

При моделировании дискретного тиристорного преобразователя должны быть введены следующие параметры:

$m_B = 6$  – число коммутаций в схеме за один период;

$e_{2m} = \sqrt{2} \cdot E_{2л} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В}$  – амплитуда питающего напряжения преобразователя;

$K_{yO} = \frac{\alpha_{iA*} - \alpha_{iEf}}{180^\circ} = \frac{120^\circ - 10^\circ}{180^\circ} = 0,611$  - коэффициент управляющего органа на

входе СИФУ;





$\alpha_{i\dot{e}i} = 20^\circ$  - минимальный угол управления;

$\alpha_{i\dot{A}\times} = 120^\circ$  - начальный угол управления;

$\alpha_{i\dot{A}\dot{E}\dot{N}} = 150^\circ$  - максимальный угол управление преобразователем;

- форма опорного напряжения линейная с амплитудой размаха напряжения  $2U_{\text{оп макс}} = 10\text{В}$ .

Структурная схема нелинейной САУ электропривода подъемной лебедки приведена на рисунке 30.

Расчетные и экспериментальные (отмеченные \*) параметры звеньев структурной схемы электропривода приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры нелинейной САУ электропривода механизма подъемной лебедки

$U_{\text{зс}}$ В	$T_{\text{зис}}$ с	$U_{\text{зис}}$ В	$T_{\text{ф2,*}}$ с	$K_{\text{рЭ}}$	$U_{\text{ртмакс}}$ В	$U_{\text{рндоп}}$ В	$K_{\text{дн}}$
10	$\geq 4$	10		0,341	$\pm 10$	10	0,02
$K_{\text{рс}}$	$K_{\text{ос}}$	$K_{\text{с}}$ В•с/рад	$K_{\text{дс}}$ В•с/рад	$K_{\text{оэ}}$	$K_{\text{рт}}$	$T_{\text{рт}}$ с	$U_{\text{ртмакс}}$ В
40,21÷ 48,3	0,3	0,095	0,315	1,1985	0,254	0,0175	$\pm 10$
$K_{\text{дтя}}$ В/А	$K_{\text{от}}$	$K_{\text{тпя}}$	$T_{\text{тпя}}$ с	$E_{\text{тпямакс}}$ В	$R_{\text{яц}}$ Ом	$T_{\text{яц}}$ с	$L_{\text{яц}}$ Гн
0,0033	1	98,412	0,00167	504,8	0,02983	0,0175	0,00052 4
$R_{\text{дв}}$ Ом	$T_{\text{дв}}$ с	$L_{\text{дв}}$ Гн	$C$	$J_{\text{э, I}}$ Кг•м <sup>2</sup>	$J_{\text{э, II}}$ Кг•м <sup>2</sup>	$M_{\text{с}}$ Н•м	$K_{\text{дт}}$
0,0166	0,0276	0,00046	7,97	53,084 ÷ 56,17	50,59 ÷ 61,31	1506,4	0,00625
$U_{\text{зтвн}}$ В	$K_{\text{ртв}}$	$T_{\text{ртв}}$ В	$K_{\text{тпв}}$	$T_{\text{тпв}}$ с	$E_{\text{тпвмакс}}$ В	$R_{\text{цв}}$ Ом	$T_{\text{в1}}$ с
10	7,955	0,798	71,52	0,005	319	7,865	0,798
$T_{\text{в2}}$ с	$K_{\text{дтв}}$	$K_{\text{отв}}$	$K$	$T_{\text{фн,*}}$ с			
0,00726	0,333	1,351	126,7	0,0277			

Параметры нереверсивного дискретного тиристорного преобразователя якоря.

Таблица 5 - Параметры нереверсивного дискретного ТПЯ

$K_{ТПЯ}$	$m_B$	$e_{2m},$ В	СИФУ	$K_{УО}$	$2U_{ОПмакс}$	$\alpha_{i\hat{e}i}$ , град
98,4	6	537	ЛИН	0,611	10	10
$\alpha_{i\hat{A}\hat{E}\hat{N}}$ , град	$\alpha_{i\hat{A}\times}$ , град	$\varphi_{i\hat{A}\times}$ , град	АУТП	ПОС	$U_{РЭДОП},$ В	
150	120	150	нет	Нет	10	

#### 4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели

Для обеспечения работоспособности контура ЭДС с учетом пульсации выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя в цепи обратной связи по напряжению установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени  $\Phi_{ФН} = T_{ДВ} = 0,085с$ .

На входе электропривода установлен задатчик скорости ЗИС, обеспечивающий постоянный темп разгона и торможения при остановке электропривода. Постоянная времени ЗИС по технологии  $T_{ЗИС} \geq 4с$ .

#### 4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях управления и нагрузки;
- наброс нагрузки вплоть до режима стопорения;
- внезапного стопорения;
- торможение электропривода до меньшей скорости, до полной остановки.

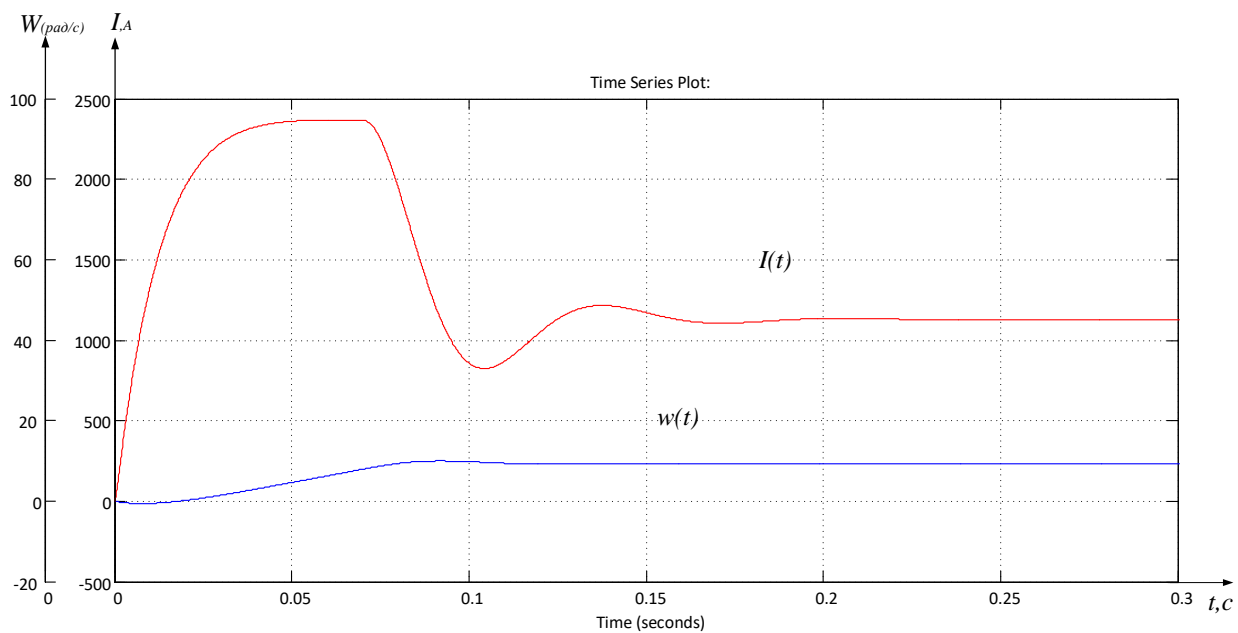


Рисунок 31 - Пуск на минимальную скорость

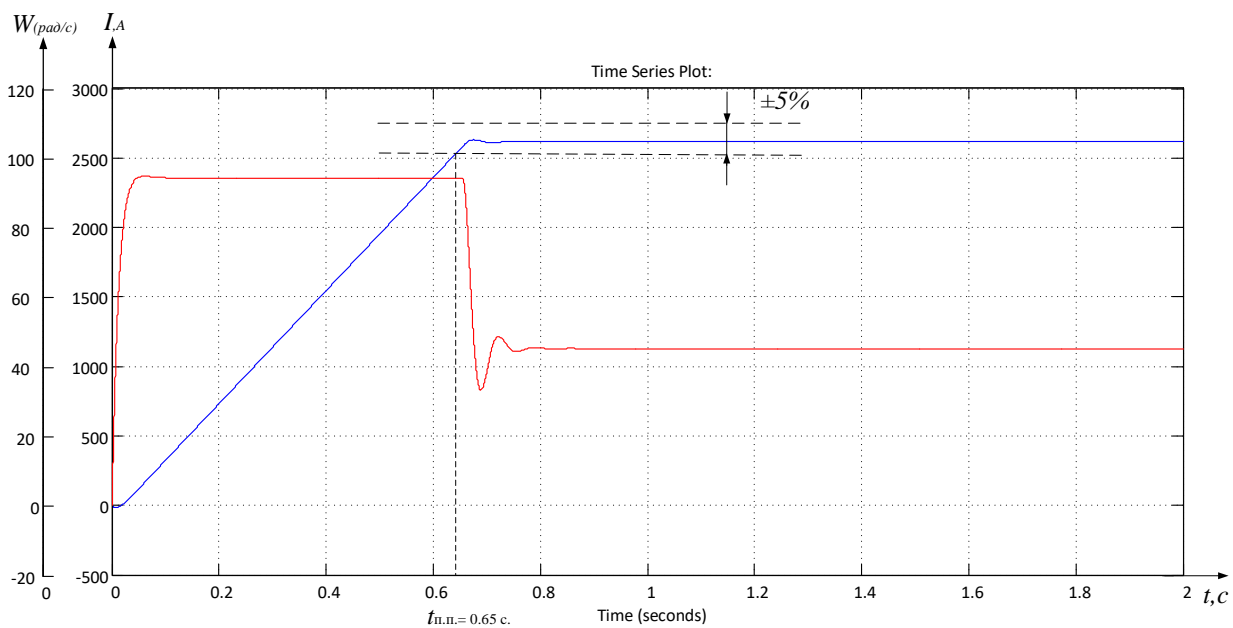


Рисунок 32 - Пуск на максимальную скорость

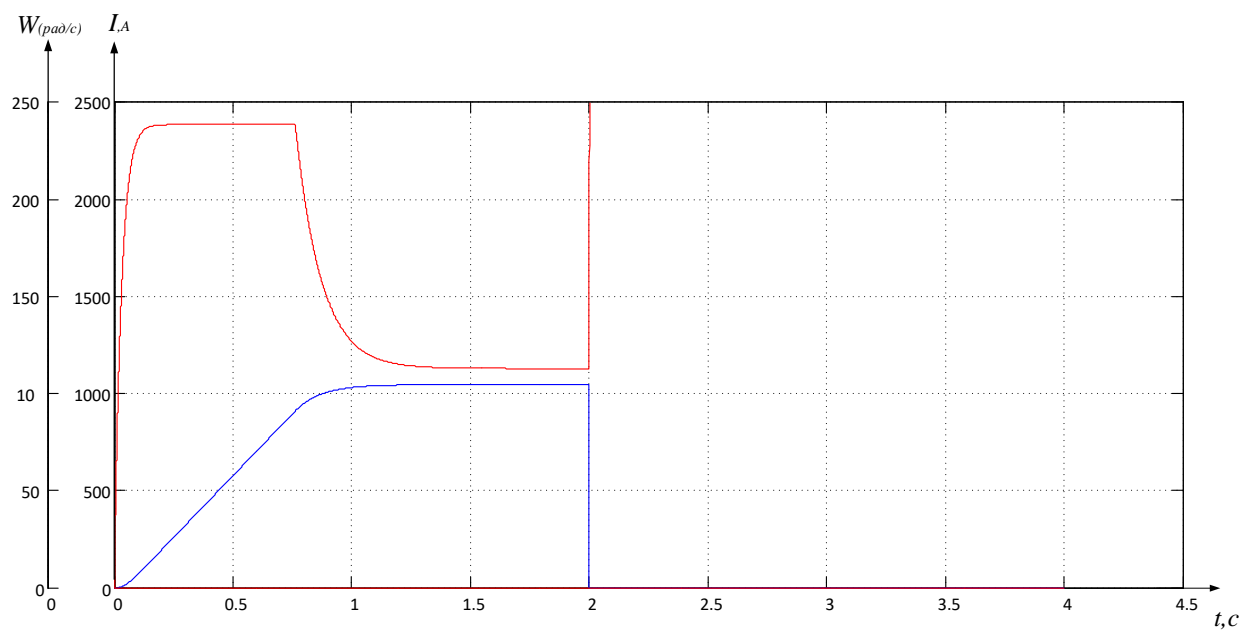


Рисунок 33 - Стопорение при работе на максимальной скорости

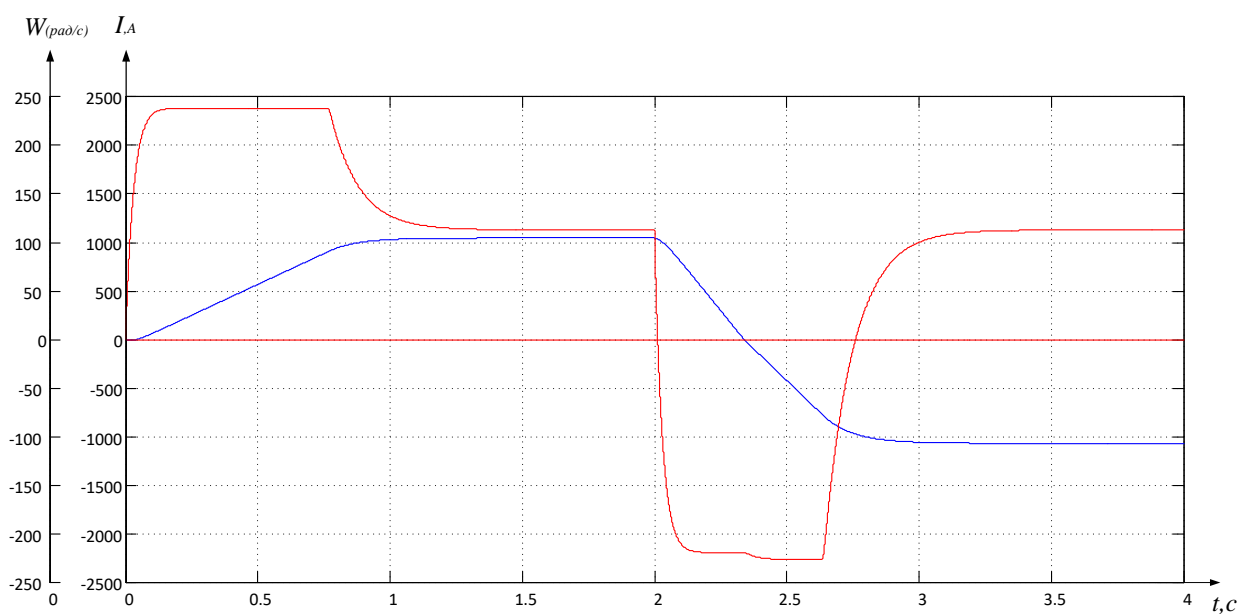


Рисунок 34 – Реверс при работе на максимальной скорости

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г5Б1	Маматову Жамшиду Пардабой угли

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетика</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 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>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: -проведение SWOT анализа, -разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы;
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

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

1.	Оценка конкурентоспособности НИ
2.	Матрица SWOT
3.	Диаграмма Гантта
4.	Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		20.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г5Б1	Маматов Жамшид Пардабой угли		20.03.2020

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

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта электропривода переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести SWOT-анализ электропривод горизонтальной клетки прокатного стана.
- Запланировать технико-конструкторские работы.
- Определить ресурсоэффективность проекта.

### **5.1 SWOT-анализ электропривода переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ.**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта [14,15].

Задача анализа – описать ситуацию, для решения которой нужно принять какое-либо решение.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения

*C* – сильные стороны проекта;

*Сл* – слабые стороны проекта;

*В* – возможности;

*У* – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице

Таблица 6 – Составление предварительной матрицы SWOT

	<p><i>Сильные стороны проекта:</i>  <i>С1.</i> Высокий уровень защиты электрооборудования.  <i>С2.</i> Высококачественные материалы  <i>С3.</i> Высокая точность и производительность электрооборудования  <i>С4.</i> Большой межремонтный период  <i>С5.</i> Высококвалифицированный персонал</p>	<p><i>Слабые стороны проекта:</i>  <i>Сл1.</i> Высокое потребление электроэнергии  <i>Сл2.</i> Высокая цена оборудования  <i>Сл3.</i> Необходимость нахождения источника переменного тока рядом с местом работы</p>
<p><i>Возможности:</i></p> <p><i>В1.</i> Увеличение производительности электрооборудования</p> <p><i>В2.</i> Автоматизация технологического процесса</p> <p><i>В3.</i> Снижение затрат на транспортировку готовой продукции</p> <p><i>В4.</i> Снижение затрат на техническом обслуживании</p>	<p><i>В1С1С2С3С4;</i></p> <p><i>В2С1С2С4;</i></p> <p><i>В3С1С3С5;</i></p> <p><i>В4С1С2С5.</i></p>	<p><i>В1Сл1Сл2;</i></p> <p><i>В2Сл2;</i></p> <p><i>В4Сл2.</i></p>
<p><i>Угрозы:</i></p> <p><i>У1.</i> Отсутствие спроса на технологии производства</p> <p><i>У2.</i> Ограничения на экспорт оборудования</p> <p><i>У3.</i> Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p><i>У4.</i> Угрозы выхода из строя сложного рабочего органа</p>	<p><i>У1С1С5;</i></p> <p><i>У3С1;</i></p> <p><i>У4С1С2.</i></p>	<p><i>У1Сл1Сл3;</i></p> <p><i>У4Сл1Сл3.</i></p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.



При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+, -) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Интерактивные матрицы возможностей и угроз представлены в таблицах 7 и 8, соответственно.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>
<i>B1</i>	+	+	-	+	-
<i>B2</i>	+	+	-	+	-
<i>B3</i>	+	-	+	-	+
<i>B4</i>	+	+	-	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта				
	<i>Сл1</i>	<i>Сл2</i>	<i>Сл3</i>	-	-
<i>B1</i>	+	+	-		
<i>B2</i>	-	+	-		
<i>B3</i>	-	-	-		
<i>B4</i>	-	+	-		

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>
<i>У1</i>	+	-	-	-	+
<i>У2</i>	-	-	-	-	-
<i>У3</i>	+	-	-	-	-
<i>У4</i>	+	+	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	<i>Сл1</i>	<i>Сл2</i>	<i>Сл3</i>	-	-
<i>У1</i>	+	-	+		
<i>У2</i>	-	-	-		
<i>У3</i>	-	-	-		
<i>У4</i>	-	+	-		

При разработке технического проекта системы электроснабжения предприятия инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированной системы электроснабжения, что немало важно для потребителей.

Несмотря на то, что для данного анализа сильных сторон, не исключен случай, когда какая-либо одна из слабых сторон окажется наиболее сильным

фактором, негативно влияющим на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл2 - «Высокая стоимость производства». К примеру, при любом проектировании систем с использованием более простых универсальных электрических и конструктивных систем внутризаводской и внутрицеховой сети всегда будет присутствовать сложность в эксплуатации, ввиду наличия высокой ответственности и сложности технической системы для персонала и для потребителей. Но именно для этого разрабатываются и совершенствуются разработки универсальных, простых и безопасных систем с использованием автоматизированного управления, что позволит нам минимизировать влияние слабых сторон.

## **5.2 Организация работ технического проекта**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

## **5.3 Структура работ в рамках технического проектирования**

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 9:

- №1 – составление и утверждение технического задания– включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;
- № 2 –Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;
- № 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;
- № 4 – Проектирование системы внутризаводского электроснабжения – выбор конфигурации схемы электроснабжения, расчет суммарных электрических нагрузок, выбор высоковольтного оборудования;
- № 5 – Проектирование системы внутрицехового электроснабжения – расчет нагрузок по цеху с учетом загруженности всех электроприемников, выбор защитной аппаратуры;
- № 6 – Проведение графических построений – построение схемы внутризаводского электроснабжения с расчетом и нанесением картограммы нагрузок по заводу, построение схемы внутрицехового электроснабжения.
- № 7 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;
- № 8 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;
- № 9 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем и устранение недочетов инженером.
- №10–Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 9– Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Расчеты и проектирование системы электропривод переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ.	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Инженер
	4	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Инженер, Руководитель
	5	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Инженер, Руководитель
	6	Проведение графических построений	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, Руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	8	Составление пояснительной записки	Инженер
	9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Подготовка к защите ВКР	Инженер, Руководитель

#### 5.4 Определение трудоемкости выполнения ТП

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

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5}$$

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

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

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

### 5.5 Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Гантта.

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 10 строим план-график проведения работ (таблица 11).

Таблица 10–Расчёт продолжительность работ.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, рабочие дни					
		Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной $i$ -ой работы		Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной $i$ -ой работы		Ожидаемая трудоемкость выполнения $i$ -ой работы	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	5		3
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	-	23	-	27	-	25
4	Проектирование системы внутризаводского электро-снабжения	1	21	1	25	1	23
5	Расчеты системы внутрицехового электро-снабжения	1	22	1	26	1	24

6	Проведение графических построений	-	1	-	2		2
7	Оценка эффективности полученных результатов	1	4	1	7	1	5
8	Составление пояснительной записки	-	5	-	12		8
9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	3	2	4	2	3

Таблица 11– Диаграмма Гантта

№	Вид работ	Исп-ли	$T_{pi}$ раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	3	-												
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Инженер	25	—————												
4	Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	Руководитель	1							-						
		Инженер	23				—————									
5	Расчет силовой части электроснабжения предприятия	Руководитель	1													-
		Инженер	24								—————					
6	Проведение графических построений и обоснований	Инженер	2													-
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1													-
		Инженер	5													-
8	Составление пояснительной записки	Инженер	8													—————
9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель	1													-
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2													-
		Инженер	3													-

Таким образом, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 95 дней. Из них:

88 – рабочих дней у инженера

7 – рабочих дней у руководителя

## 5.6 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи.

материальные затраты;

полная заработная плата исполнителей технического проекта;

отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

накладные расходы.

## 5.7 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i} ,$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

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

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

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



Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	100	2,5	250
Ручка	2	84	168
Скоросшиватель	1	82	82
Степлер	1	200	200
Флеш-карта	1	250	250
Распечатка	100	2,5	250
Итого			1200

Таким образом, на материальные затраты было потрачено 1200 руб.

### 5.8 Полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп}, (3)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, (4)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{D_{мес}}, (5)$$

где:  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$D_{мес}$  – количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	Месячный основной оклад работника руб.	Средняя заработная плата работника руб.	Продолжительность работ, выполняемых работником раб.дн.	Основная заработная плата одного работника руб.
Руководитель	33664	43764	1683	7	11781
Инженер	12300	16000	615	95	58425
Итого Зосн :					70206

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (6)$$

Где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 14

Таблица 14 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительной заработной платы. $k_{\text{доп}}$ , руб	Основная заработная плата одного работника $Z_{\text{осн}}$ , руб.	Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ , руб.	Полная заработная плата $Z_{\text{п}}$ , руб.
Руководитель	15%	11781	1767	13500
Инженер	12%	60270	7011	65400
Итого:		70206	8778	78900

Таким образом, расходы на оплату заработной платы составят для руководителя 13500 руб., для инженера 65400 руб.

### **5.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данном разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (7)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [14].

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 78,9 = 23,8 \text{ тыс.руб}$$

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды составят 23.8 тыс. руб.

### **5.10 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

### **5.11 Формирование сметы затрат технического проекта**

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 15

Таблица 15 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат %
1. Материальные затраты ТП	1,2	1,0
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	78,9	63,7
3. Отчисления во внебюджетные фонды	23,8	19,2
4. Накладные расходы	20,1	16,0
5. Итого	124,0	100,0

Таким образом была рассчитана смета затрат на разработку технического проекта составляет 124 тыс.руб, из которых более половины (64%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

### 5.12 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [8]:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Экономичность: оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли

процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии.

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 16.

Таблица 16. - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	4
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	5
5. Надежность	0,20	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,07	5
7. Энергоэффективность	0,15	4
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,07 + \\ + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

Таким образом, показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.
2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определен перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 95 дней (88 дней – занятость инженера, 7 дней – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Ганта
3. Бюджет научно-технического исследования составил 124 тыс. руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (1,2 рублей), затрат на оплаты труда (78,9 тыс. рублей), отчислений во внебюджетные фонды (23,8тыс. рублей) и накладных расходов (20,1тыс. рублей).
4. Проведена оценка результатов ресурсоэффективности, которая составила 4,6 из 5, что говорит о хорошей эффективности реализации технического проекта.
5. Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность предприятия путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г5Б1	Маматов Жамшид Пардабой угли

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	ОЭЭ
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Тема ВКР:**

**Электропривод переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ**

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

<b>1. Характеристика объекта исследования</b> (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электропривод переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;  организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
--	---

<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы  – движущиеся части механизмов и машин  – поражения электрическим током – повышенный уровень шума – повышенный уровень вибрации  – недостаточная освещенность рабочей зоны  – отклонение параметров микроклимата  – утечки токсичных и вредных веществ
--	--

<b>3, Экологическая безопасность:</b>	1) Анализ воздействия на окружающую
---------------------------------------	-------------------------------------

	<p>среду: воздействие н атмосферу (выбросы), гидросферу (сбросы), литосферу (образование отходов) в процессе работы буровой установки.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<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> </ul> <p>Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова А.О.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Маматов Жамшид Пардабой угли		



## **СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Целью данной части выпускной квалификационной работы является выявление основных опасных и вредных производственных факторов при наладке Электропривод переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ создание мероприятий по недопущению опасных факторов и уменьшение влияния вредных факторов производства.

Электропривод переменного тока подъемной лебедки, буровой установки создан на базе комплектного электропривода постоянного тока типа БУ 2900/200 ЭК-БМ, питающегося от трехфазной сети переменного тока 380В, 50Гц. Электропривод находится в генераторной станции в непосредственной близости от станка. Питание к станку подается по кабельным туннелям.

Обслуживающий персонал поддерживает исправное состояние, безаварийную и надлежащую работу обслуживаемых устройств и электрооборудования.

- настройку, ремонт механического и электрооборудования.
- контроль работы основных и вспомогательных узлов станка в порядке текущей эксплуатации.

При пуско-наладочных работах для обслуживающего персонала опасность представляет не только электрооборудование станка, но и сам технологический процесс. Электрические установки, с которыми приходится иметь дело работающим на производстве, представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут определить ее наличие.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- 

## **6.2 Производственная безопасность**

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. В нашей стране государство направляет средства на проведение мероприятий по охране здоровья трудящихся и в частности на обеспечение техники безопасности и производственной санитарии. Мероприятия, связанные с созданием безопасных условий труда осуществляются в плановом порядке.

В данном разделе рассмотрены следующие вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте электромонтера.

### 6.3 Анализ опасных и вредных факторов

Таблица 17 Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра-ботка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение параметров микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014– Шум. Общие требования безопасности.
2. Повышенный уровень шума		+	+	СП 52.13330.2016 - Естественное и искусственное освещение.
3. Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ – Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН.2.2.2/2.4.1340-03.- .Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
5. Утечки токсичных и вредных веществ	+	+	+	ГОСТ.12.1.012-2004.- Вибрационная безопасность. Общие требования.
6. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 17494-87 - Машины электрические вращающиеся.
7. Движущиеся части машин и механизмов	+	+	+	

#### Отклонение параметров микроклимата

Для создания и автоматического поддержания на рабочем месте независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажно-

сти, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Таблица 18 Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Іб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 19 Допустимые величины интенсивности теплового облучения.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Повышенное значение напряжения в электрической сети, замыкание которой может пройти через тело человека.

В данном разделе рассмотрены правила безопасности при работе с аппаратами для бурения скважины.

Прежде чем приступить к работе с аппаратом, необходимо тщательно ознакомиться с паспортом и правилами по эксплуатации. Через каждые 12 месяцев эксплуатации аппарата, а также после хранения свыше 12 месяцев

на складе производится проверка аппарата в соответствии с технической документацией.

Источником напряжения в электроприводе являются токоведущие части электропривода.

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются:

- 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением;
- 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением;
- 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала;
- 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

К коллективным средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

Оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения; устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения; устройства дистанционного управления; предохранительные устройства; молниеотводы и разрядники; знаки безопасности.

При эксплуатации аппарата должны выполняться правила электробезопасности, т.к. на него подается переменное напряжение 220-380 В. Обслуживание

живающий и ремонтный персонал должен руководствоваться в работе документом [14].

К обслуживанию аппарата и управлению во время работы допускаются лица:

имеющие соответствующую квалификацию;

знающие правила эксплуатации данного аппарата и изучившие настоящий паспорт;

знающие правила техники безопасности;

Для безопасной работы необходимо выполнять следующие правила:  
включение аппарата в сеть производить только через розетку с заземляющим контактом;

для дополнительной защиты при питании аппарата от стационарной сети клемму ЗЕМЛЯ аппарата соединить с защитным заземлением;

следить за исправностью кабелей и качеством контактов;

аппарат должен устанавливаться на сухое рабочее место;

не допускается попадание воды внутрь аппарата.

Запрещается:

- работать с аппаратом при сломанной или демонтированной сетевой вилке;

- использовать электрические кабели с поврежденной изоляцией или плохим соединением;

наступать на соединительные кабели или тянуть за них;

- работать при снятых передней и задней панелях с включенным напряжением питания;

оставлять работающий аппарат без присмотра;

производить ремонтные и регулировочные работы с электрической частью аппарата в полевых условиях;

касаться незащищенными частями тела неизолированных частей контактов силового кабеля, включенного в сеть аппарата.

Утечка токсичных и вредных веществ

На промышленных объектах и установках с выделением сероводорода и других газов должны предусматриваться мероприятия по предотвращению влияния газов на рабочий персонал (герметизация установок и устьевого оборудования скважин, газоулавливание).

В газокompрессорных станциях, нефтенасосных, газораспределительных будках и других производственных помещениях содержание газов в воздухе не должно превышать:

Таблица 20 Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вредного вещества	ПДК
метана, % объема	0,7
сернистого газа, мг/м <sup>3</sup>	10
окиси углерода, мг/м <sup>3</sup>	20
паров бензина (в пересчете на углерод), мг/м <sup>3</sup>	300
сероводорода в смеси с углеводородами, мг/м <sup>3</sup>	3
ртути, мг/м <sup>3</sup>	0,01
метанола (спирта метилового), мг/м <sup>3</sup>	5

#### Повышенный уровень шума

При наличии производственного шума, превышающего допустимые санитарные нормы, и вибрации оборудования должны проводиться технические мероприятия по ограничению воздействия этих вредных факторов на рабочих

Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах приводятся [14] в зависимости от частоты, характера шума и категории рабочего места (кабины наблюдений, помещения управления, постоянные рабочие места и т. д.). Допустимый уровень звукового давления составляет 80 дБ. В механических устройствах часто причинами недопустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремон-

тах и т. п.

Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» предусматривает следующие меры для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике, применение технологических процессов, при которых уровень звукового давления на рабочих местах не превышает допустимые, и др.); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

Основной мерой борьбы с шумом является подавление его в источнике возникновения. Это необходимо учитывать уже на стадии конструирования технологического оборудования: совершенствовать кинематические схемы; заменять ударные взаимодействия безударными (например, устанавливать шинно-пневматические муфты на буровых лебедках вместо муфт кулачковых); заменять подшипники качения подшипниками скольжения; применять новые незвучные материалы (текстолит, капрон, нейлон и проч.); заменять возвратно-поступательное движение вращательным; создавать жидкостные ванны.

В процессе монтажа и эксплуатации оборудования особое внимание необходимо обратить на его балансировку, крепление и устройство фундаментов. Эффективность различных мероприятий по борьбе с шумом приведена в таблице 21.



Таблица 21- Эффективность различных мероприятий по борьбе с шумом.

Мероприятия	Снижение уровня шума (дБ) в диапазонах частот	
	низких	высоких
Звукоизоляция шумного оборудования установкой в отдельное помещение	25-35	50-60
Звукоизоляция кожухами	5-15	20-40
Виброизоляция пружинными амортизаторами	22-30	15-20
Виброизоляция прокладками и вставками	<5	<15

Для индивидуальной защиты органов слуха выпускаются противошумные наушники (ВЦНИИОТ-7и, ВЦНИИОТ-2м, ВЦНИИОТ-4А, К2), противошумные каски (ВЦНИИОТ-2) антифоны-вкладыши (резиновые, с жидкостным наполнителем, из супер тонкого волокна - беруши). Эффективность названных средств зависит от характера шума. Так, противошумные наушники при частоте звука 500 Гц снижают уровень звукового давления почти на 30 дБ, а при частоте 2000 Гц – на 40 дБ

При использовании средств индивидуальной защиты от шума (оно должно начинаться, согласно ГОСТ, при работе в зонах с уровнем звука выше 85 дБ) следует знать, что их защитное действие ограничено в связи с тем, что шум действует не только на ухо, но и непосредственно на ткани тела, костные ткани (так называемая костная проводимость). Поэтому при очень высоких звуковых уровнях давлений (более 125 - 130 дБ) применяют специальную противошумную одежду. В зонах с октавными уровнями звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе даже кратковременное пребывание запрещено [12].

#### Повышенный уровень вибрации

Различают следующие методы борьбы с вибрациями:

- подавление в источнике возникновения;

- отстройка от режима резонанса изменением массы и жесткости вибрирующих конструкций или установлением нового рабочего режима;

- вибродемпфирование, т.е. превращение энергии механических колебаний в другие виды энергии при помощи материалов с большим внутренним трением, сплавов (на основе меди, кобальта, никеля), пластмасс, резины дерева, а также нанесения на поверхности конструкций упруговязких материалов с большим внутренним трением (слоистые жесткие и неслоистые мягкие покрытия, вибродемпфирующие мастики типа ВД1 и др.);

- виброгашение, т.е. введение дополнительных реактивных масс - фундаментов, виброгасителей (дополнительные колебательные системы);

- виброизоляция - в виде пружинных, резиновых или комбинированных опор.

Как и в борьбе с шумом, основной мерой при борьбе с вибрацией является подавление ее в источнике возникновения. Для этого необходимо совершенствовать существующие кинематические схемы (заменять цепные передачи карданными, ударные взаимодействия безударными и др.), тщательно центрировать устанавливаемые механизмы, устранять биения валов, муфт, своевременно крепить резьбовые и прочие соединения.

Индивидуальными средствами защиты от вибраций являются рукавицы с вкладышами из пенопласта, поролона, обувь с прокладками из виброизолирующих материалов. В качестве весьма эффективных средств защиты целесообразно применять войлочные стельки, валенки с галошами, резиновые коврики на рабочем месте бурильщика, индивидуальные основания под полом и др.

Нормируемыми параметрами вибраций для рабочих мест (за исключением самоходных машин и средств - транспорта) являются амплитуды перемещений (в мм) по частотам полос 2; 4; 8; 16; 31,5 и 63 Гц. Возможно нормирование и по средним квадратическим величинам колебательной скорости (в мм/с или в дБ относительно  $5 \cdot 10^5$  мм/с) в тех же частотах октавных полос (СН 245 - 71, глава 13).

Если вибрации в течение рабочего дня воздействуют на работающих меньше 4 ч, то допустимые величины параметров вибрации увеличиваются на 3 дБ, при воздействии менее 2 ч - на 6 дБ, менее 1 ч - на 9 дБ.

Исследованиями [16] установлено, что при бурении уровень звука колеблется в пределах 90 - 101 дБА, при спускоподъемных операциях - 100 - 101 дБ А, при этом наибольшего значения шум достигает при подъеме очередной свечи, рабочей трубы и при проработке скважины. При бурении ротором с приводом от цепной передачи уровень звука на площадке составляет 110-115 дБ.

#### Недостаточная освещенность рабочей зоны

Современные нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях составлены в зависимости от наименьшего размера объекта различия, контраста объекта различения с фоном и от светлоты фона. Чем меньше объект (деталь, риска, трещина), который приходится различать в процессе работы, чем меньше контраст (т.е. разница в светлоте тонов) между объектом и фоном, и чем темнее фон, на котором находится данный объект, тем выше норма освещенности рабочей поверхности.

В связи с этим вся зрительная работа в производственных помещениях поделена на 8 разрядов от I до VIII в порядке увеличения наименьших размеров объектов различения и соответственного убывания норм на освещенность. Кроме того, предусматривается увеличение на одну ступень норм освещенности, если совершаемая работа опасна в отношении травматизма обслуживающего персонала и в некоторых других случаях.

#### Движущиеся части машин и механизмов

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Если функциональное назначение движущихся частей, представляю-

щих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

#### **6.4 Экологическая безопасность**

На рассматриваемой буровой используется обваловка каждого куста-скважины добычи нефти. При аварийной ситуации, при попадании в почву нефти используются установки для очистки почвы от нефтяных примесей.

В каждом цехе подготовки переработки нефти (ЦППН) используется шламовое хозяйство. Шламовая установка напоминает стиральную машину, где загрязненная почва проходит все стадии очистки от нефти. Очищенную землю можно использовать в качестве обваловки на кустах.

Контроль за состоянием природной среды организуется службами (отделами, ответственными за охрану окружающей среды инженерами) предприятием и его подразделений, осуществляется контроль методом приборных измерений лабораториями подразделений.

Промысловые объекты и установки, технологический процесс в которых связан с выделением газа, копоти, пыли и других вредных веществ, следует располагать по отношению к жилому району с подветренной стороны с учетом господствующего направления ветра и отделять от границ жилых районов санитарно-защитными зонами (разрывами).

Ширина санитарно-защитной зоны для жилых районов устанавливается согласно действующим санитарным нормам. В отдельных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора допускается уменьшение ширины санитарно-защитной зоны в зависимости от степени ослабления или полной ликвидации вредных факторов.

В санитарно-защитной зоне между жилыми районами и объектами нефтегазо-добычи допускается размещать производственные объекты с

меньшим, чем у данного объекта, классом вредностей при условии, что между размещаемыми объектами и жилыми районами будет сохранена требуемая санитарно-защитная зона.

Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена.

Загрязненные производственные стоки при бурении, освоении, капитальном и текущем ремонтах скважин, деэмульсации нефти и при других работах должны собираться и отводиться для частичного или полного обезвреживания или закачки в поглощающие скважины. Для этого все промышленные объекты согласно проекту должны быть оборудованы постоянными или временными сооружениями - обвалованиями, сборными канавами, котлованами, ловушками, очистными установками, поглощающими скважинами и т. п. До осуществления этих мероприятий ввод объектов в эксплуатацию запрещается [9].

Сбор, хранение и утилизация отходов производства. Отходы подразделяются на промышленные (нефтешламы, масла, резина, ветошь и др.) и бытовые отходы (от жизнеобеспечения человека: столовые, вагончики-бытовки и др.). Отходы должны сортироваться и собираться по видам и классу опасности в контейнеры, которые находятся на специальных площадках. Отходы учитываются и сдаются на полигоны и свалки для утилизации или захоронения. Отходы бурения (буровой шлам, буровые сточные вода, отработанный буровой раствор) размещается в шламовый амбар, специальное сооружение для размещения и утилизации отходов бурения расположенное на землях краткосрочного пользования. Жидкая фаза отходов бурения утилизируется в систему нефтесбора, шламовый амбар рекультивируется либо методом ликвидации, либо методом лесной рекультивацией (посадка саженцев древесных растений). Земли сдаются в Гослесфонд. Размещение и сброс других видов отходов и технологических жидкостей в шламовый амбар запрещен и считается экологическим правонарушением, за которое на виновника налагается административный штраф, рассчитывается ущерб и сверхлимитные платежи.

Для сбора нефти с загрязненных мест имеется различное нефтесборное оборудование, начиная с откачивающих агрегатов до зарубежной техники - нефтесборщики различных принципов действия (фирмы "Вайкома"). Для утилизации существуют установки по переработке нефтешламов, нефтезагрязненных грунтов в НГДУ и СУХТП.

### **6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, работающий в программном приложении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом, возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор.

Перечень возможных ЧС на объекте: авария, пожар, террористический акт.

Буровые установки относятся к категории А [15]. Категория производ-

ства по степени опасности поражения молнией - II. Класс взрывопожароопасной зоны по ПУЭ - В-Iг (наружные установки, где возможно образование паро- и газоздушных взрывоопасных смесей при неисправностях и авариях),

Пожарная профилактика промышленных объектов, согласно [9], заключается в следующем:

- предотвращении образования горючей среды (регламентирование допустимой концентрации горючих веществ в воздухе, нормирование концентрации кислорода или другого окислителя в газе), а также ограничении горючести обращающихся в производстве веществ, материалов, оборудования и конструкций;

- предотвращении образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания;

- поддержании температуры горючей среды ниже максимально допустимой до горючести;

- поддержании давления в горючей среде ниже максимально допустимого до горючести;

- уменьшении определяющего размера горючей среды ниже максимального по горючести.

Эти профилактические мероприятия обеспечиваются:

- строгим соблюдением нормативов пожарной безопасности, обучением персонала, пропагандой основ пожарной профилактики на предприятиях;

- применением широкого комплекса организационно-технических мероприятий;

- правильной планировки предприятий и цехов; применения огнестойких материалов для строительных конструкций и ограничения использования пожароопасных веществ;

- автоматизации и механизации пожароопасных производственных процессов;

- герметизации оборудования и технологических линий и др.

На стадии проектирования БУ, учитываются требования соответствующих нормативных документов, регламентирующих меры пожарной профилактики. К таким документам относятся: СНиП «Противопожарные требования. Основные положения проектирования», СНиП «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования», ПТУСП («Противопожарные технические условия строительного проектирования») предприятий нефтегазодобывающей промышленности, «Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности», нормы и правила устройства производственной вентиляции, отопления, электрического освещения и др.

Согласно [12], предотвращение распространения пожара должно обеспечиваться:

- устройством противопожарных преград (стен, зон, поясов, защитных полос);
- установлением предельно допустимых площадей противопожарных отсеков и секций;
- устройством аварийного отключения и переключения аппаратов и коммуникаций;
- применением средств, предотвращающих розлив и растекание жидкостей при пожаре;
- применением огнепреграждающих устройств (огнепреградителей, затворов, клапанов, заслонок и т. п.);
- применением разрывных предохранительных мембран на аппаратуре и коммуникациях;
- вокруг предприятия и производственных объектов (БУ) устраиваются дороги для подъезда пожарных машин и доступа пожарных к любой точке объекта, что способствует быстрой локализации пожара.

Согласно [12], опасными факторами пожара, воздействующими на людей, являются открытый огонь и искры; повышенная температура воздуха, предметов и т. п.; токсичные продукты горения; дым; пониженная концентрация кислорода; обрушение и повреждение зданий, сооружений, устано-



вок; взрыв.

Пребывание в горящем здании людей не принимающих непосредственного участия в тушении пожара и лишенных средств защиты, становится опасным уже при температуре окружающей среды выше 60°C, при задымленности, затрудняющей ориентирование в пространстве, снижении содержания кислорода в помещении до 17 - 18%, поэтому люди должны иметь возможность эвакуироваться из здания. Ниже на рисунке 36 представлен предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

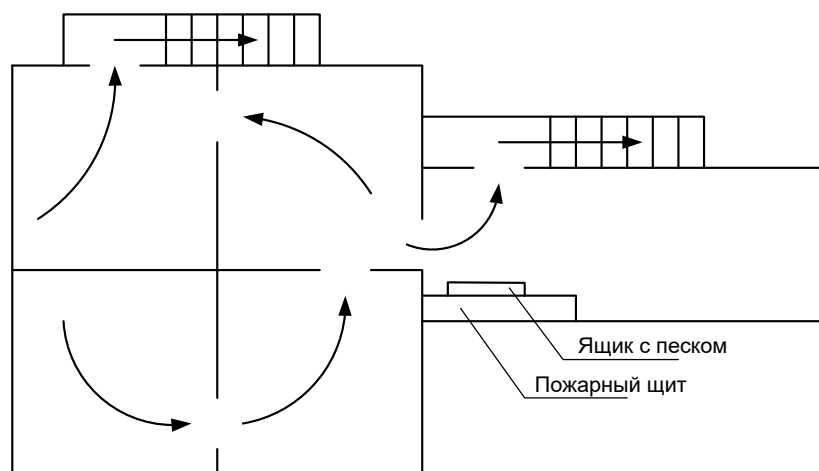


Рисунок 36 - Предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

На буровых объектах, согласно [3], необходимо иметь огнетушители химические пенные ОХП-10 (6 шт.) ломы, топоры и багры (по 2 шт.), лопаты и ведра (по 4 шт.), 4 ящика для песка объемом по 0,5 м<sup>3</sup> каждый. В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличено.

На буровых с электроприводом наряду с перечисленными средствами следует иметь огнетушители углекислотные (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), а при использовании промывочных жидкостей на углеводородной основе целесообразно создание в помещении насосной установки пенного пожаротушения (пеногенераторы для получения химической пены - ПГП или генераторы воздушной пены - ГВП).

Кроме того, в последнее время буровые оборудуются системами водя-

ного тушения: технические водопроводы снабжают пожарными кранами, в помещении насосной и в бытовых помещениях хранят выкидные пожарные рукава и ручные пожарные стволы к ним.

### **Выводы по разделу**

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

В ходе разработки данного раздела отражены все возможные вредные и опасные факторы, возникающие в процессе работы с оборудованием подъема кислородной фурмы, а так же приведены организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность и документация, регламентирующая действия рабочих, которые её обеспечивают, вопросы, связанные с экологической безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Все рассмотренные вопросы подразумевают определенные правила для рабочих и возможности их внедрения непосредственно на производственном участке.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассчитаны параметры силовой цепи и цепи возбуждения, определены оптимальные параметры настройки электропривода, рассчитаны статические и динамические характеристики. С помощью прикладных программ исследованы режимы работы привода в первой и второй зоне регулирования скорости и проанализировано влияние параметров электропривода на динамику системы.

На основании приведённых исследований и расчетов показано, что данный электропривод подъемной лебедки удовлетворяет требованиям технического задания и может быть использован в качестве электропривода подъемной лебедки с двухзонным регулированием скорости.

В экономической части работы проведена оценка технико-экономического обоснования выбора темы, приведён расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода подъемной лебедки, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

## **THE CONCLUSION**

During performance of final qualifying work the parameters of a power(force) circuit and circuits of excitation are designed, the optimum parameters of adjustment of the electric drive are determined, are designed static and dynamic characteristics. With the help of the applied programs the modes of operations of a drive in the first and second zone of regulation of speed are investigated and the influence of parameters of the electric drive on dynamics(changes) of system is analysed.

On the basis of the given researches and accounts is shown, that the given electric drive of an elevating winch meets the requirements of the technical project and can be used as the electric drive of an elevating winch with two-zoned regulation of speed.

In an economic part of work the estimation of the feasibility report of a choice of a theme is carried out(spent), the account of expenses on designing and realization of starting-up and adjustment works of the electric drive of an elevating winch, and also stages of their realization is given.

In work questions of safety and ecologies , electrosafety, industrial and fire safety also are considered at installation, adjustment and service of the electric drive on chisel installation.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дудля Н.А. Проектирование буровых машин и механизмов: Учебник - К.:Выща шк.,1990. - 390 с.
2. Документация по обслуживанию электропривода лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ
3. Удут Л.С, Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. - Томск: Изд. ТЛИ им. С,М. Кирова, 1991. - 104 с.
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х.Евзеров и др.; под ред. В.М.Перельмутора. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.
5. Тарабин Б.В., Лунин Л.Ф., Смирнов Ю.Н. Интегральные микросхемы: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1985. - 528 с.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. - Оптимизация контуроа регулирования. - Томск: Изд.ТПУ,2000.-144с.
7. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учебное пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. —5-е изд., стер. —Москва: Высшая школа, 2009. —335 с.
8. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. —Москва: Изд-во МГИУ, 2002. —232 с.
9. Техника безопасности в электроэнергетических установках : справочное пособие / под ред. П. А. Долина. —Москва: Энергоатомиздат, 1987. —400 с.: ил.
- 10.ГОСТ Р ИСО 26000-2012. «Руководство по социальной ответственности»
- 11.ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

- 12.ГОСТ12.1.003–2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»
- 13.ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»
- 14.ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
- 15.ГОСТ Р 22.0.01-2016. «Безопасность в ЧС. Основные положения»
- 16.N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- 17.N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»
- 18.СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1)»
- 19.СН 2.2.4/2.1.8.556-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»