

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

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

УДК 621.31:62-83-52:622.242

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Эшматов Зухридин Бегимкул угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Умурзакова Анара-	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская А.М.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
 (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
3-5ГЗБ2	Эшматов Зухриддин Бегимкул угли

Тема работы:

<b>Электрооборудование и электропривод механизма подъема бурового станка</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

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

**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 линейаризованной САУ электропривода ротора, исследование нелинейной САУ электропривода ротора, технико-экономическое обоснование проекта, безопасность и экологичность проекта, заключение</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<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>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Ледовская Анна Михайловна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Умурзакова Анара-	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Эшматов Зухриддин Бегимкул угли		05.04.2018г.

## 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 .....	8
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ .....	10
1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ .....	10
1.2 Описание технологического процесса .....	12
2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ .....	14
2.1 Электропривод подъемной лебедки как объект управления .....	14
2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя .....	18
Номинальная угловая скорость .....	20
2.3 Механическая система привода подъемной лебедки .....	22
2.5 Расчет параметров якорной цепи привода .....	32
2.6 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя .....	34
2.7 Определение области допустимой работы электропривода подъемной лебедки .....	38
2.8 Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки .....	41
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ .....	43
3.1 Функциональная схема электропривода подъемной лебедки .....	43
3.2 Структурная схема САР скорости электропривода подъемной лебедки ..	50
3.3 Оптимизация контура тока якоря .....	51
3.4 Оптимизация контура скорости .....	53
3.5 Структурная схема САР ЭДС двигателя .....	57
3.6 Оптимизация контура ЭДС .....	59
4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ .....	61
4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП подъемной лебедки .....	61
4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели .....	65
4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели .....	65
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	68
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	69
5.1 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода .....	69
5.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ) .....	71
5.3 Планирование проектных работ .....	73
5.4 Расчет сметы затрат на проектирование .....	76
5.5 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта .....	77
5.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода .....	78
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	83
Введение .....	85
6.1 Производственная безопасность .....	85

6.1.1 Анализ опасных и вредных факторов .....	85
6.1.2 Техника безопасности.....	86
6.1.3 Производственная санитария.....	88
6.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
6.3 Экологическая безопасность.....	100
6.4. Правовые и организационные вопросы безопасности. ....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	104
THE CONCLUSION .....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	106

## **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.

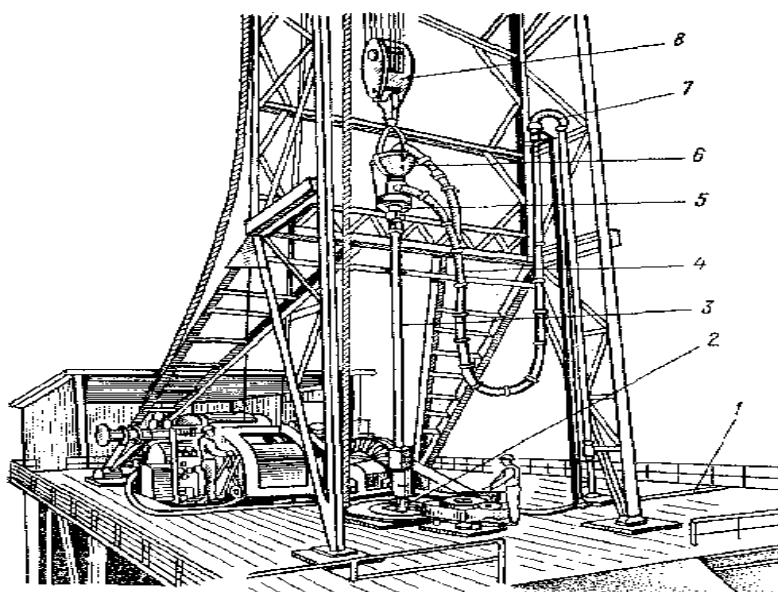


Рисунок 2 – Комплекс буровой установки

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.

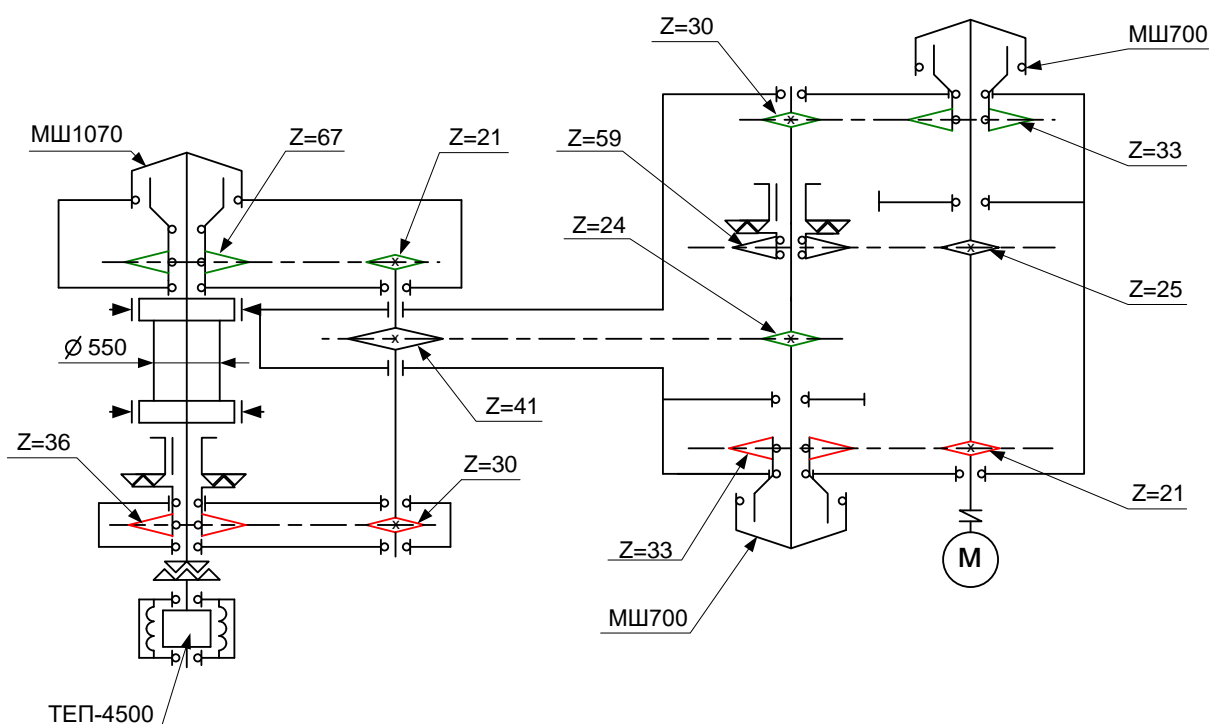


Рисунок 3 - Кинематическая схема лебедки

МШ1070 и МШ700 – муфта шиннопневматическая; ТЭП-4500 – тормоз электромагнитный порошковый; 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.

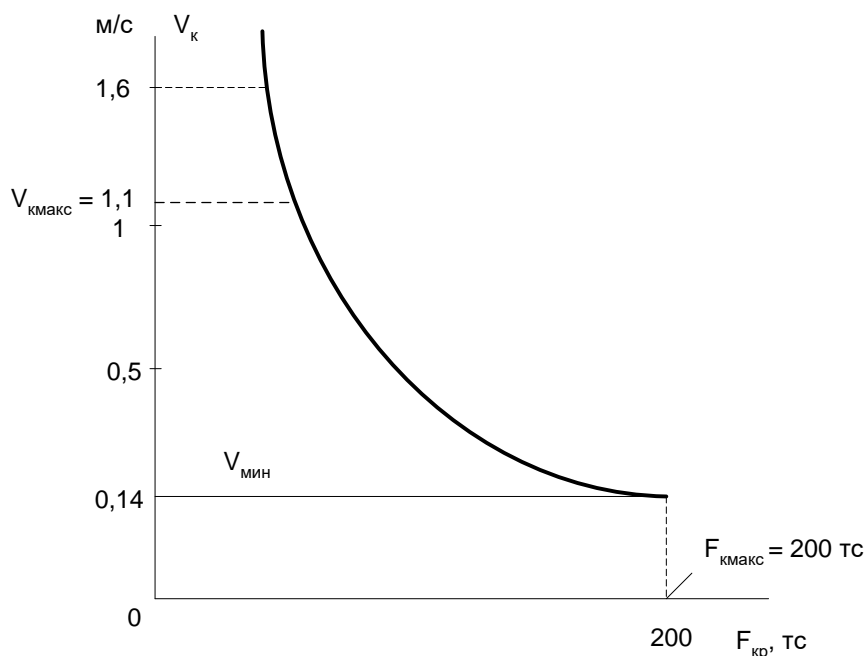


Рисунок 4 - Силовая характеристика подъемной лебедки

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

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

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.



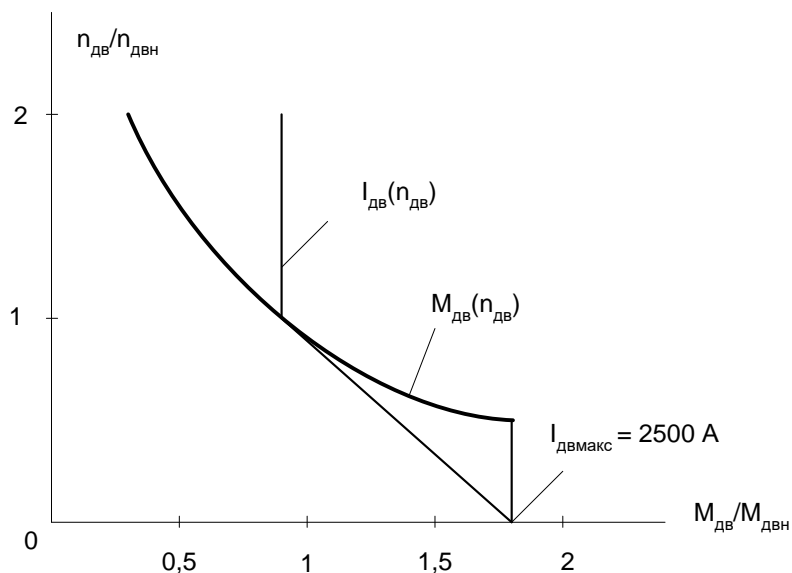


Рисунок 5 - Предельная механическая характеристика электропривода подъемной лебедки

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.

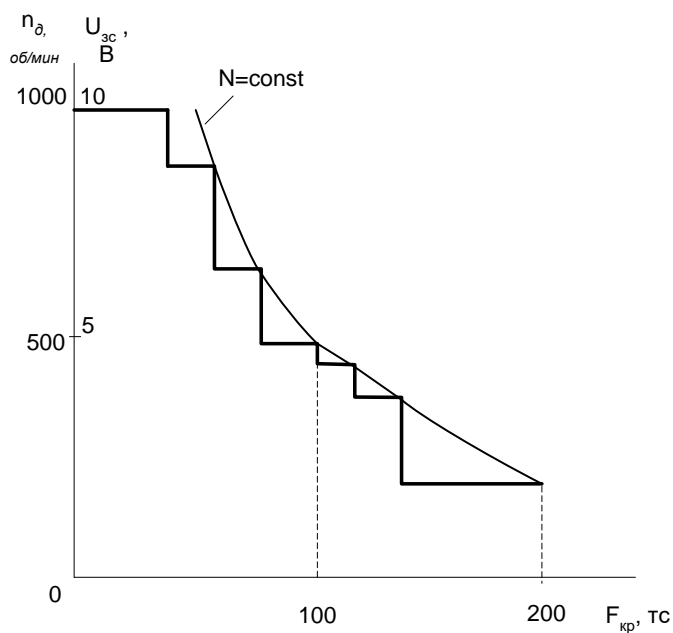


Рисунок 6 - График регулирования скорости при ручном задании веса на первой передаче

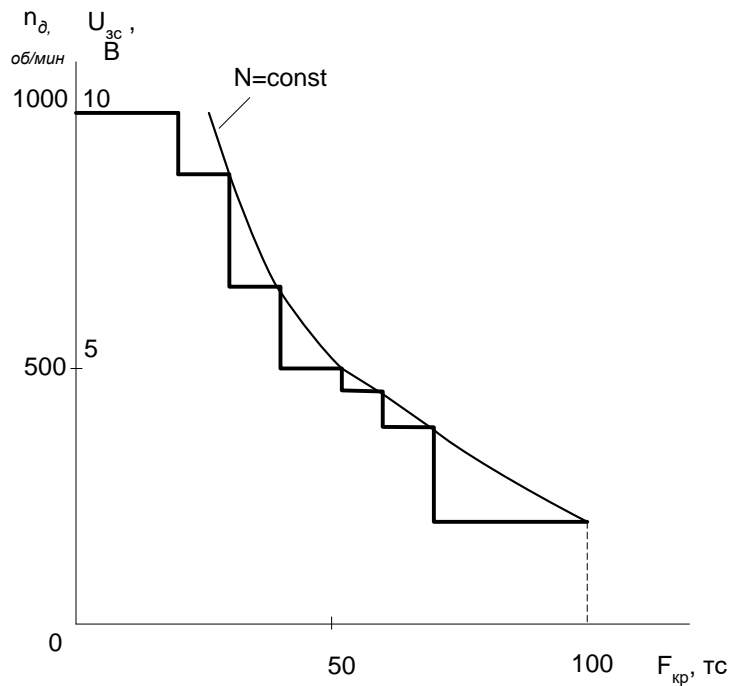


Рисунок 7 - График регулирования скорости при ручном задании веса на второй передаче

## 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	$I_{МАКС}$	2,5 $I_H$
Номинальный поток возбуждения на полюс, Вб	$\Phi_H$	0,0629

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.

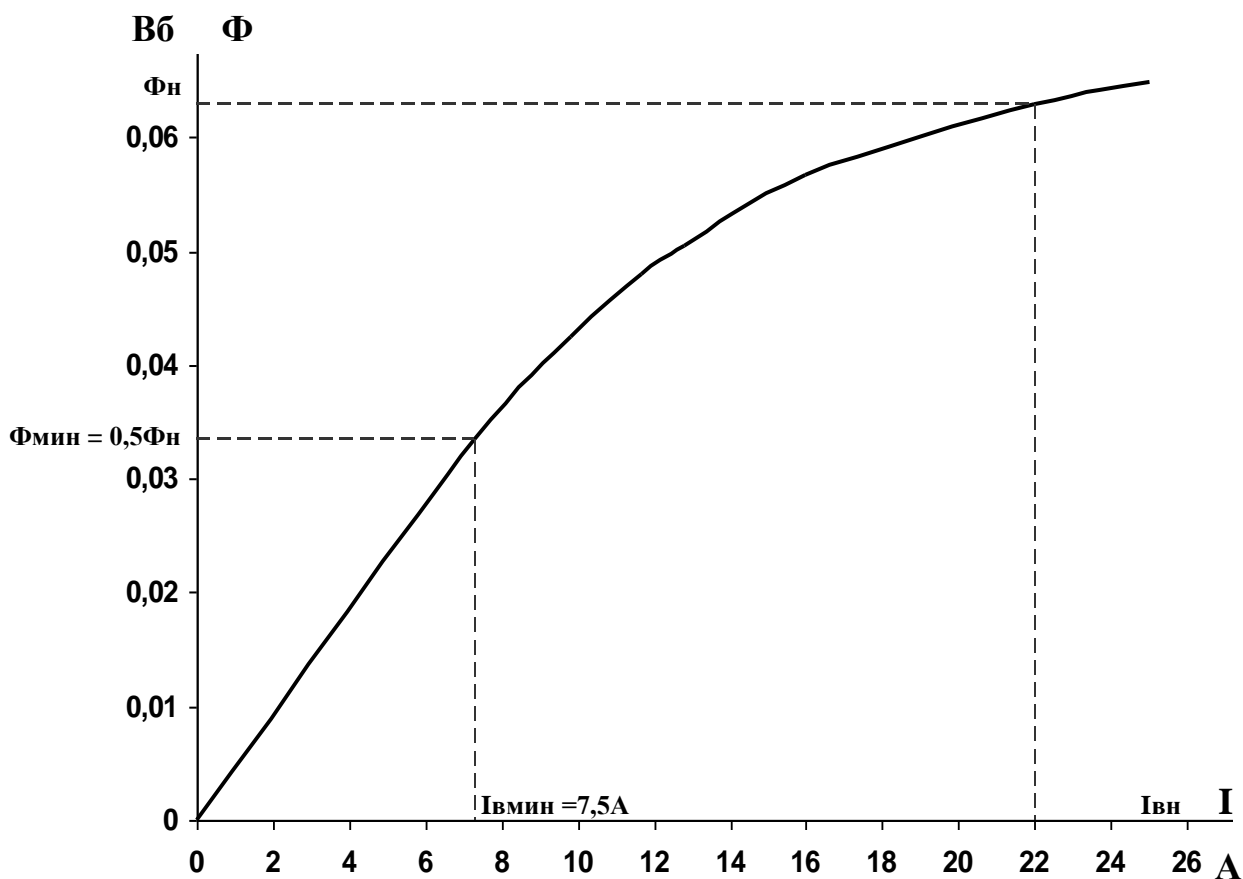


Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МПЭ-500-500

#### 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)

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

- в точке номинального режима работы (минимальное значение)

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

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

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

- 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;

$b_{\text{в}12}$  – эквивалентный коэффициент внутреннего демпфирования.

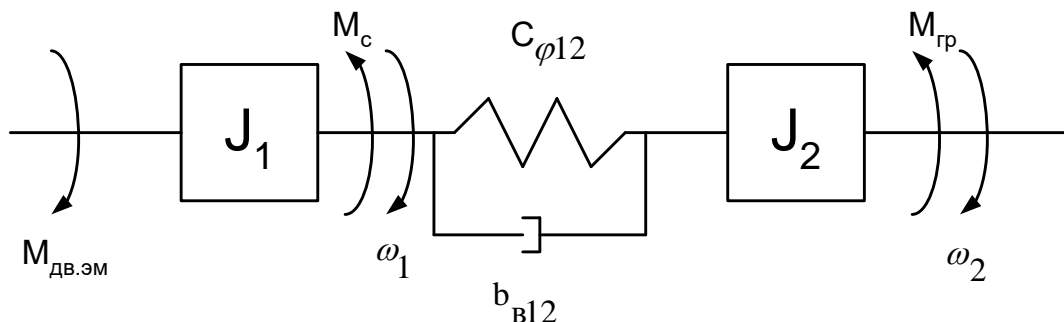


Рисунок 9 – Расчетная схема механической системы электропривода подъемной лебедки

## 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  $l = 50$  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

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

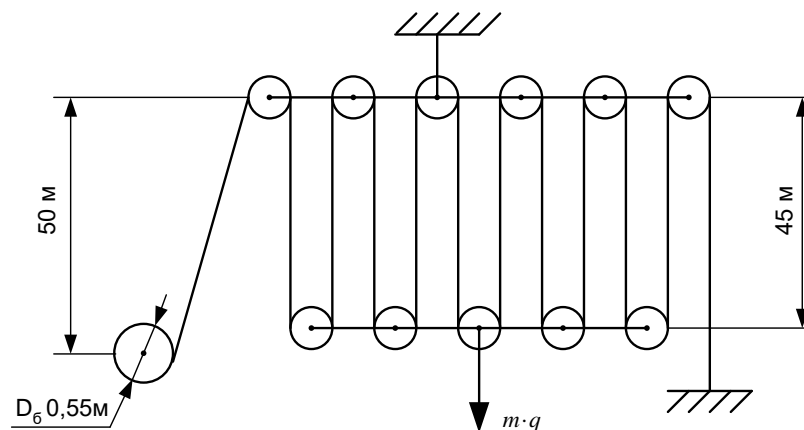


Рисунок 10 - Схема заправки каната подъемной лебедки

## 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  $i_{\text{ел}} = 4,952$  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

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

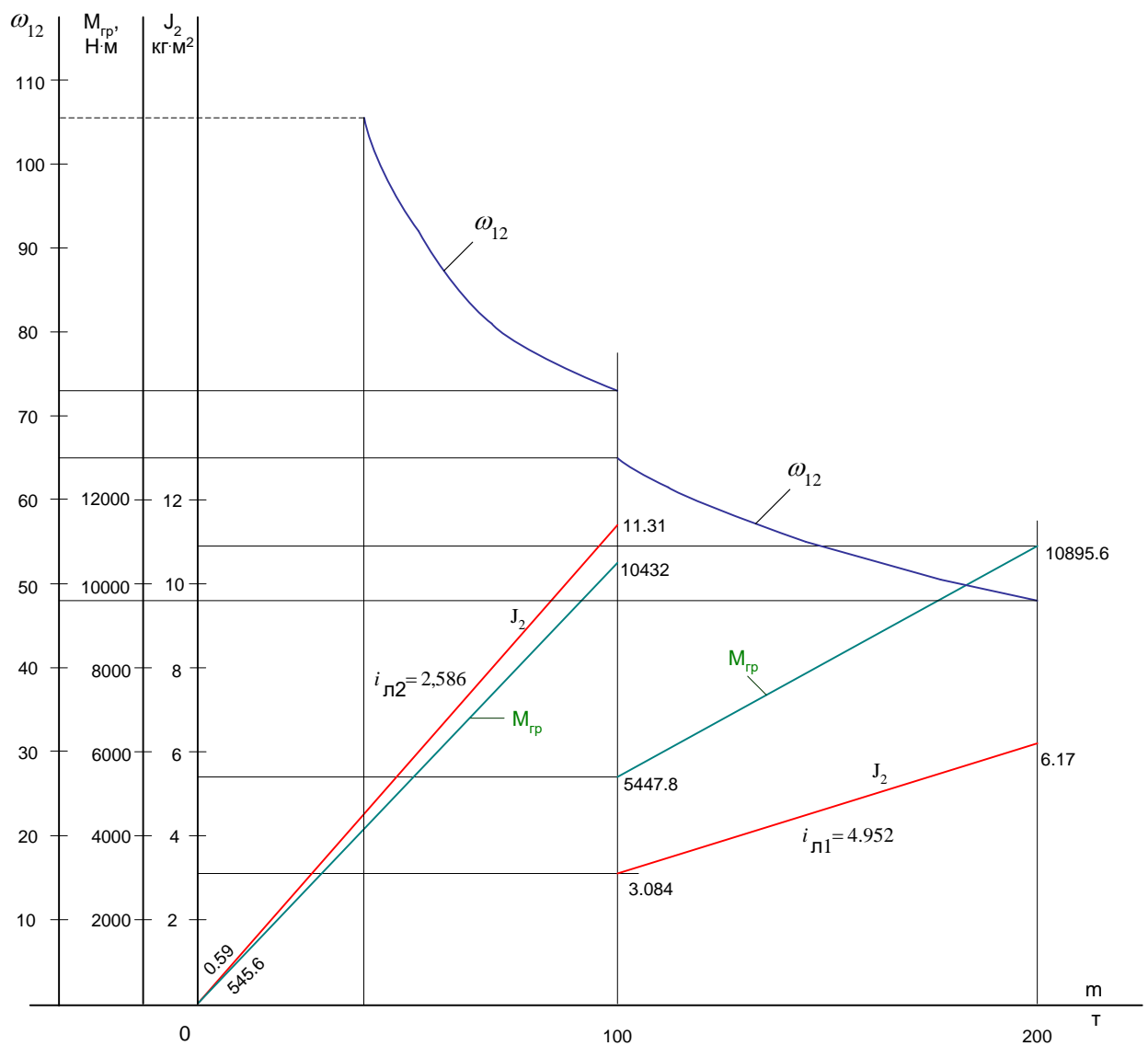


Рисунок 11-Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза

Параметры одномассовой механической системы

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

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

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

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

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

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 ( $i_{л2} = 2,586$ )

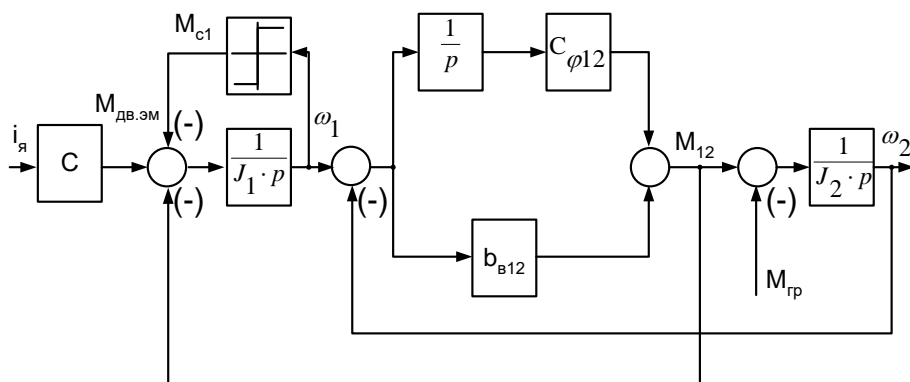
$$M_{\text{гр}} = (545,6 \div 10432,1) \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

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

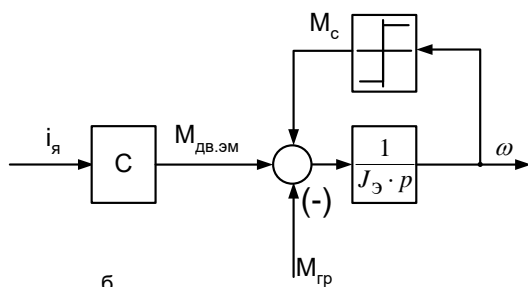
$$T_{\text{ммин}} = \frac{J_{\text{эмин}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{50,59 \cdot 0,03}{7,93^2} = 0,024 \quad \text{с}.$$

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:

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

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:

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

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

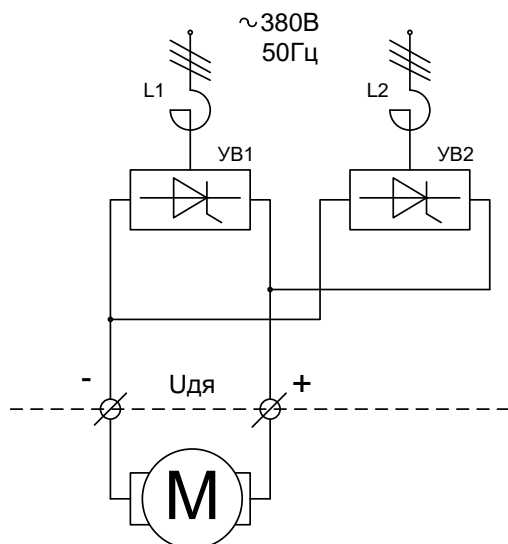


Рисунок 13 – Схема электрическая силовой цепи привода лебедки.

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

$$I_{\text{дгрмакс}} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{\text{грмакс}} \cdot \frac{U_{\text{сф}}}{K_{\text{у2}} \cdot L_{\text{яц}}} = \\ = \frac{1}{3,14} \cdot 0,093 \cdot \frac{220}{0,428 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 290,5 \text{ А},$$

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

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

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.

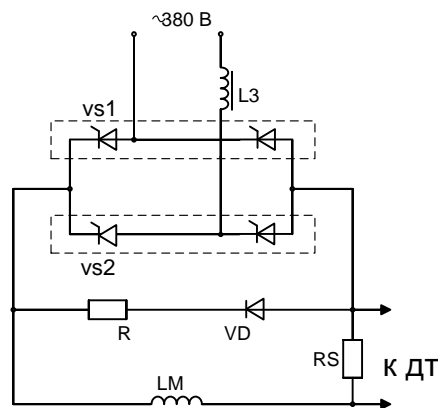


Рисунок 14 - Схема тиристорного возбудителя.

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

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

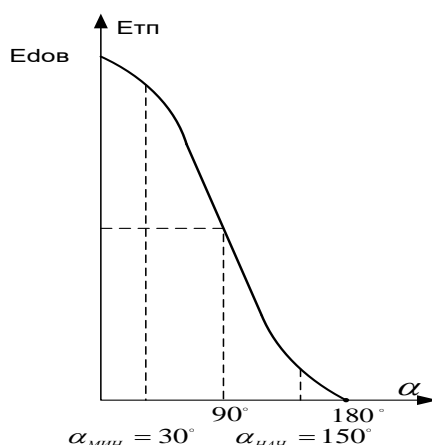


Рисунок 15 - Регулировочная характеристика возбуждителя

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  $\alpha = \alpha_{\text{и}} \text{ и } \alpha_{\text{н}}$ .

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

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

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

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

Предельная электромеханическая характеристика привода при  $\alpha_{\text{и}} \text{ и } \alpha_{\text{н}}$

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

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

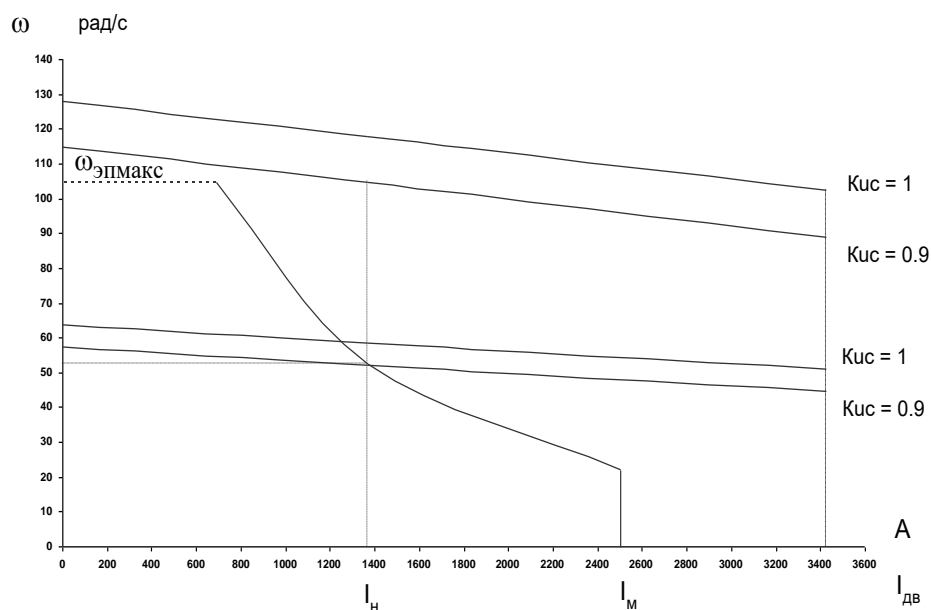


Рисунок 16- Область допустимой работы электропривода подъемной лебедки

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.

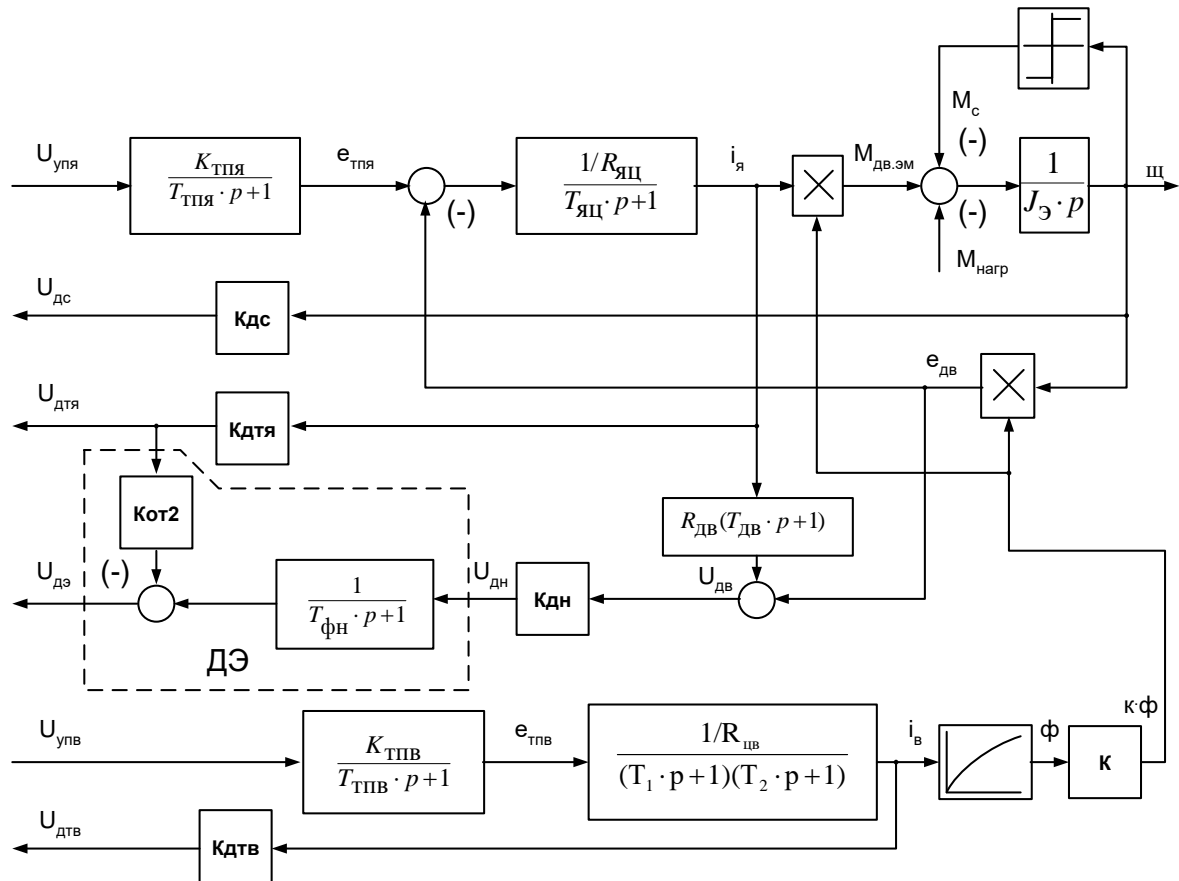


Рисунок 18 - Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки

Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 3.

Коэффициент передачи датчика тока преобразователя якоря

$$K_{\text{дтв}} = \frac{U_{\text{твмакс}}}{I_{\text{ямакс}}} = \frac{10}{3000} = 0,00333 \text{ В/А}$$

Коэффициент передачи датчика скорости ( тахогенератора )

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

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	$K_{\text{дн}}$	$K_{\text{от2}}$	$T_{\text{фн}},^*$ 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  $U_{зэ}$ , 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.

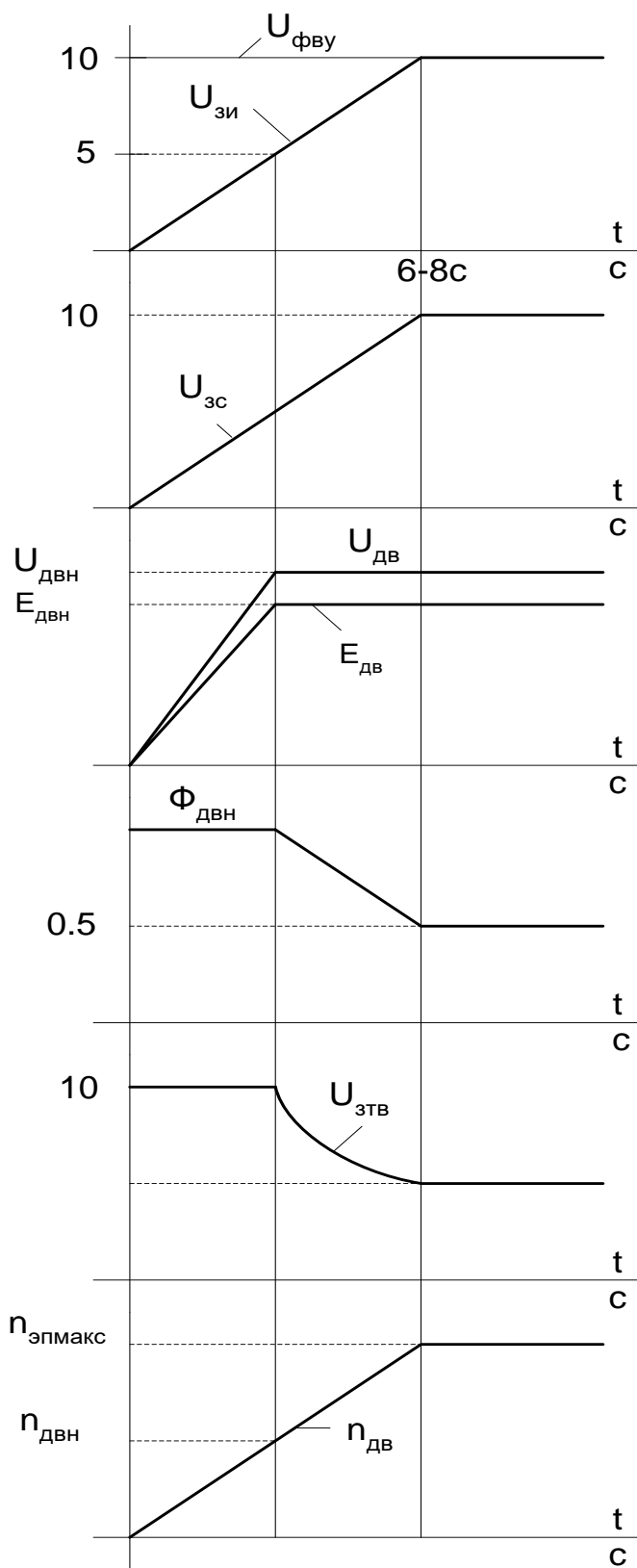


Рисунок 20 Диаграммы, поясняющие принцип работы САР электропривода лебедки

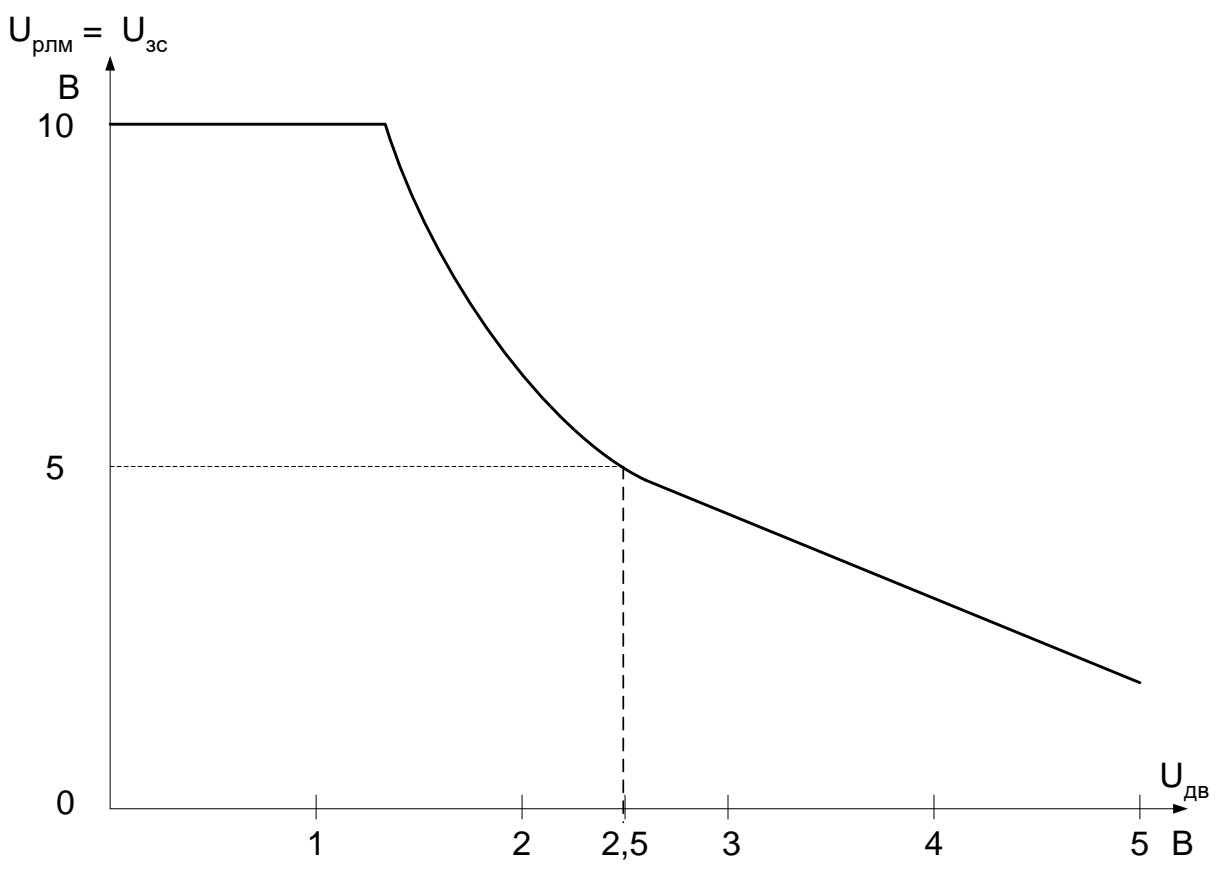
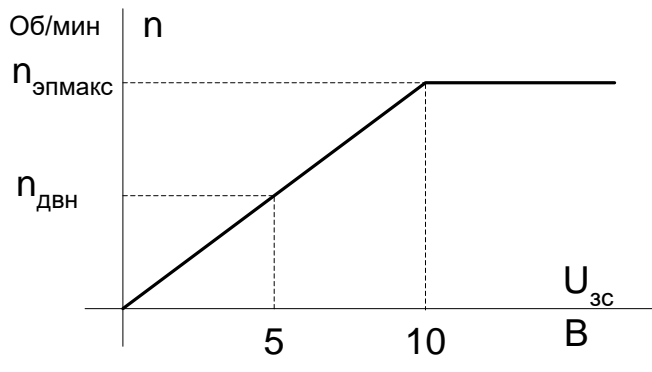


Рисунок 21 Характеристика нелинейного узла





### 3.2 Структурная схема САУ скорости электропривода подъемной лебедки

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

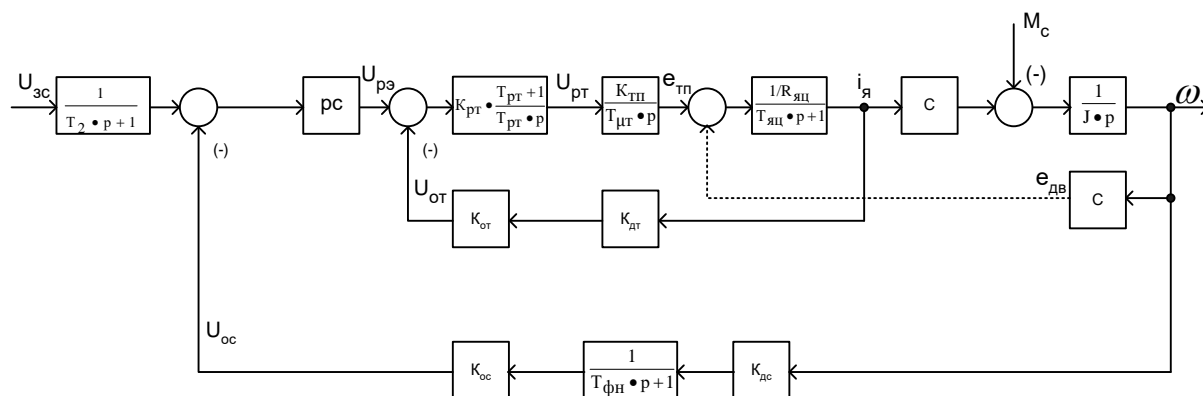


Рисунок 22- Структурная схема САУ скорости электродвигателя привода подъемной лебедки

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.

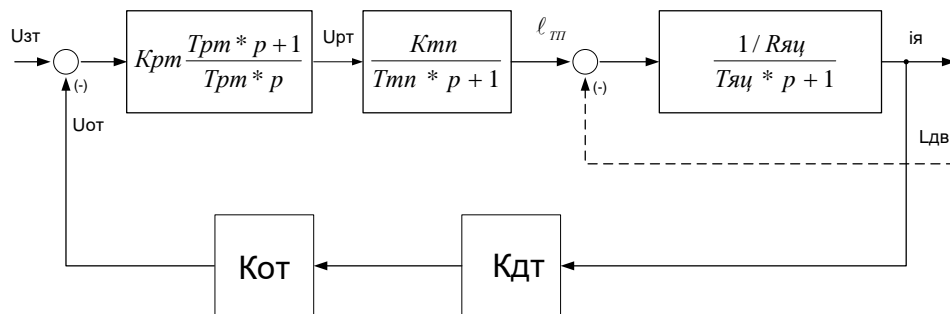


Рисунок 23 - Структурная схема контура тока

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени

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

чительно больше единицы, следовательно принимаем:

- $T_{\mu n} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с}$  – 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

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

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.

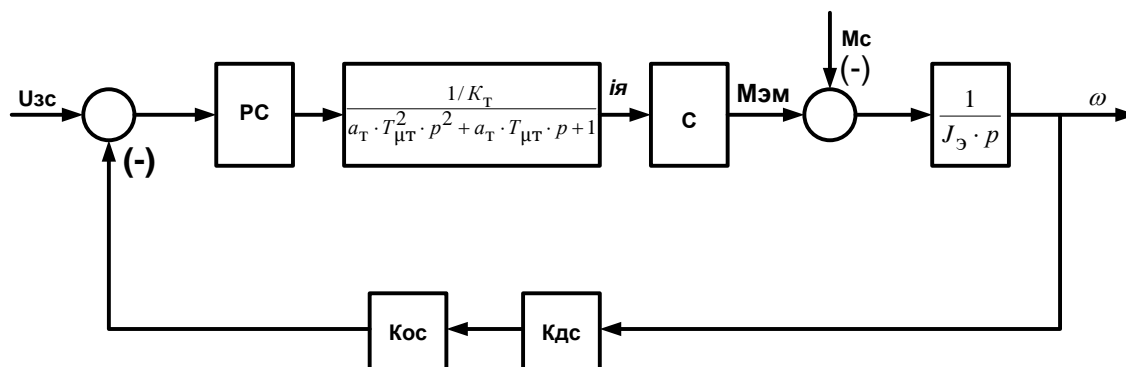


Рисунок 24 - Структурная схема контура скорости

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 
$$K_c = \frac{U_{z\text{макс}}}{\omega_{\text{ЭПмакс}}} = \frac{10}{104,7} = 0,095 \frac{B \cdot c}{рад}$$

- коэффициент обратной связи по скорости;

$U_{z\text{макс}} = 10 \text{ В}$  – 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  $K_{дс} = 0,315 \frac{B \cdot c}{рад}$  - 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.

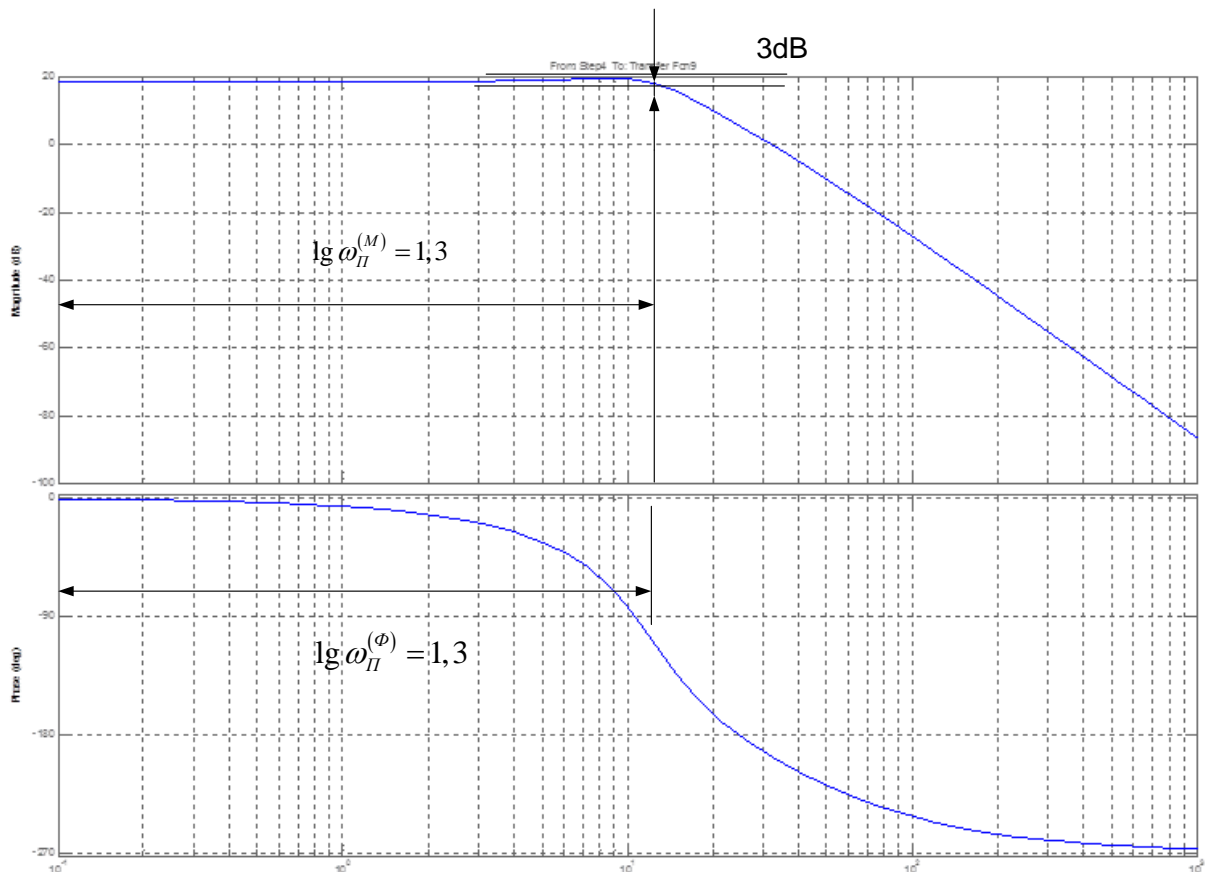


Рисунок 25 - ЛЧХ замкнутого контура скорости



### 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;

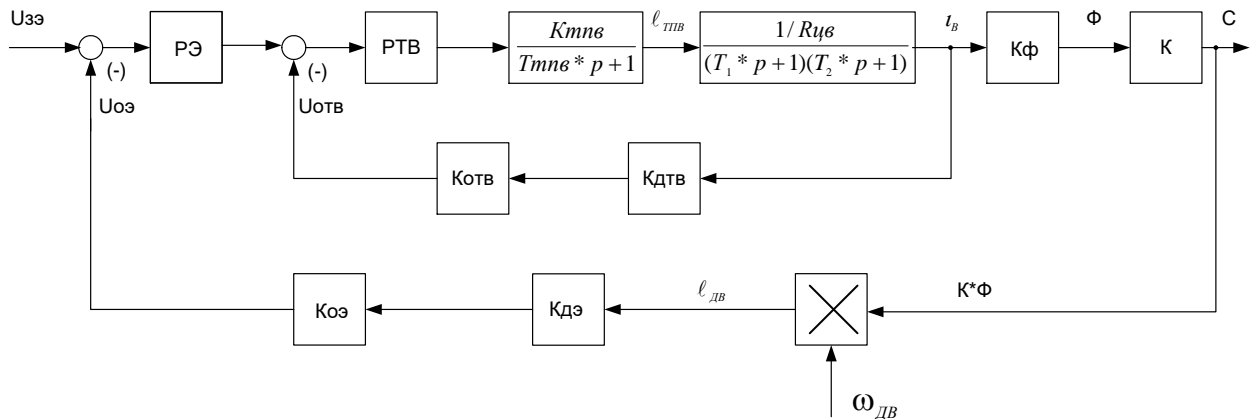


Рисунок 27- Структурная схема САР ЭДС электродвигателя привода подъемной лебедки

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  $U_{зи} > 5В$ .

#### 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.

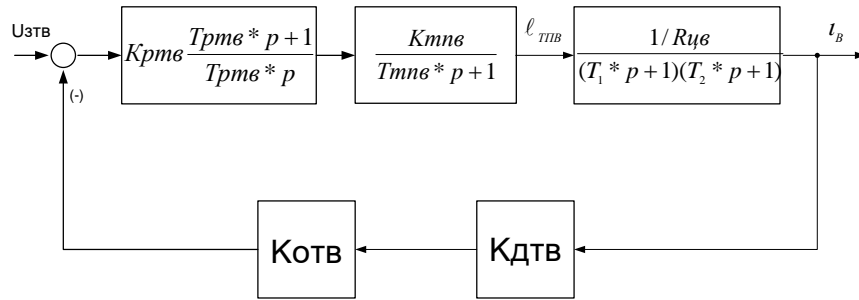


Рисунок 28 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя.

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

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

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

- коэффициент усиления регулятора;

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

- коэффициент обратной связи по току возбуждения;

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

$$T_{pTB} = T_1 = 0,798 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

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

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

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

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

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

### 3.6 Оптимизация контура ЭДС

Структурная схема контура приведена на рисунке 29 где внутренний

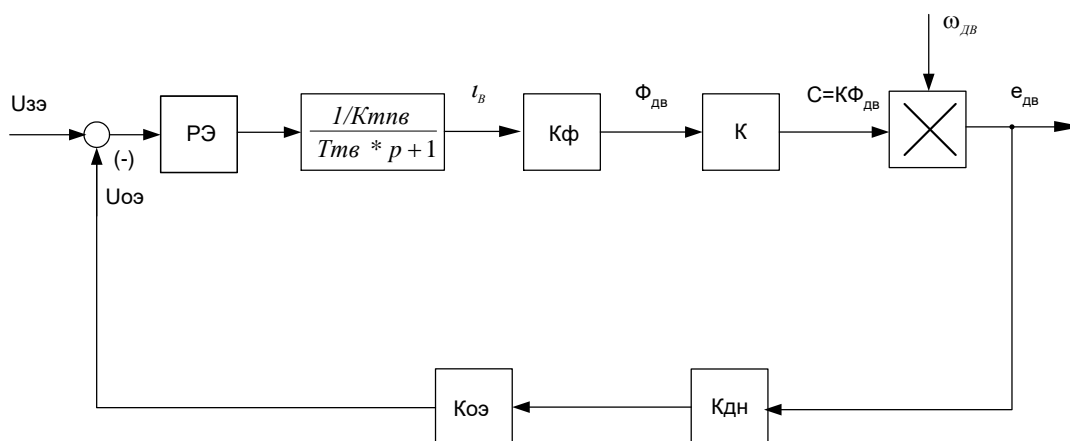


Рисунок 29 - Структурная схема контура ЭДС

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;

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

или

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

- полоса пропускания по фазе и модулю;

$\Delta \dot{A}_{\text{ААОН}\dot{\circ}} = 0$  - 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

$$U_{p\dot{e}} \text{ МАКС} = \pm 10 \text{ В}; U_{pT} \text{ МАКС} = \pm 10 \text{ В};$$

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

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

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

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

- насыщение тиристорного возбудителя

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

- изменение значения коэффициента ЭДС и электромагнитного момента

$C = K \cdot \Phi_{\text{ДВ}}$  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;

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

$K_{УО} = \frac{\alpha_{iA*} - \alpha_{iEf}}{180^\circ} = \frac{120^\circ - 10^\circ}{180^\circ} = 0,611$  - 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	$K_{y0}$	$2U_{OPmax}$	$\alpha_{iEi},$ град
98,4	6	537	ЛИН	0,611	10	10
$\alpha_{iAEN},$ град	$\alpha_{iAx},$ град	$\varphi_{iAx},$ град	АУТП	ПОС	$U_{PЭДОП},$ 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.

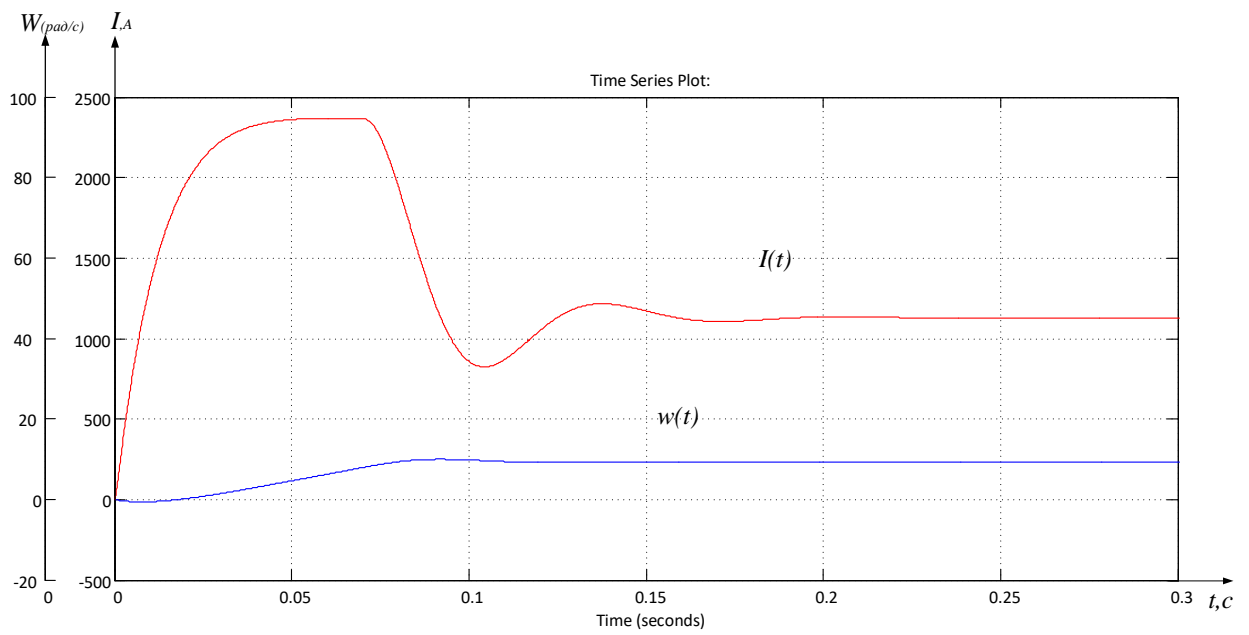


Рисунок 31 - Пуск на минимальную скорость

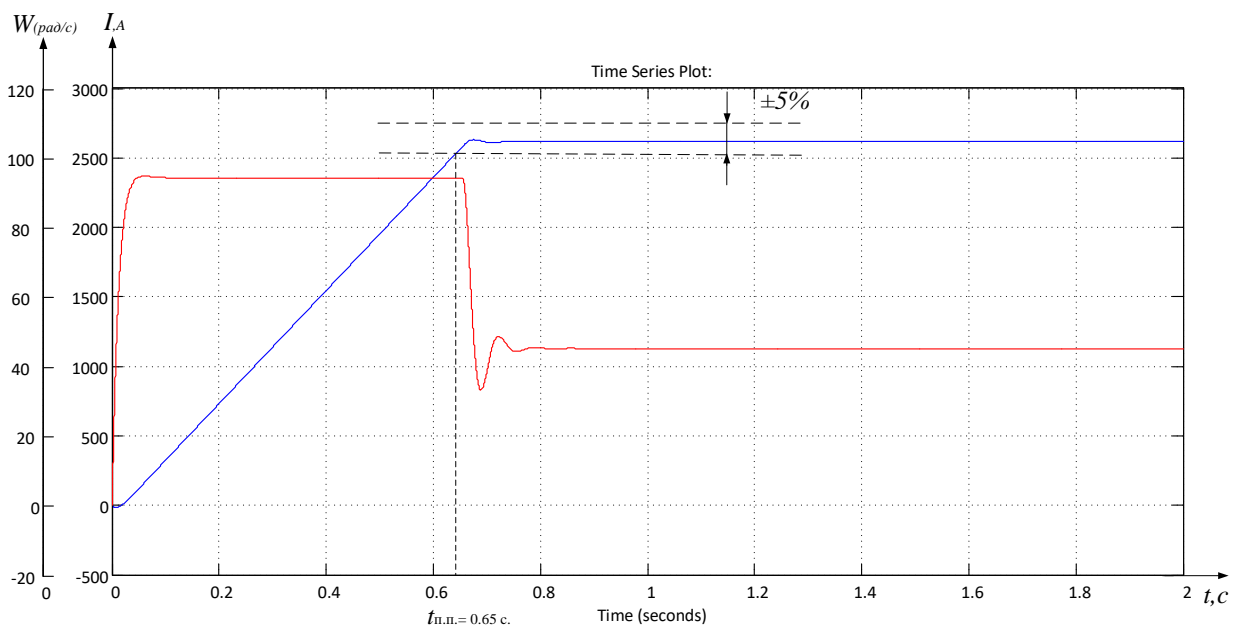


Рисунок 32 - Пуск на максимальную скорость

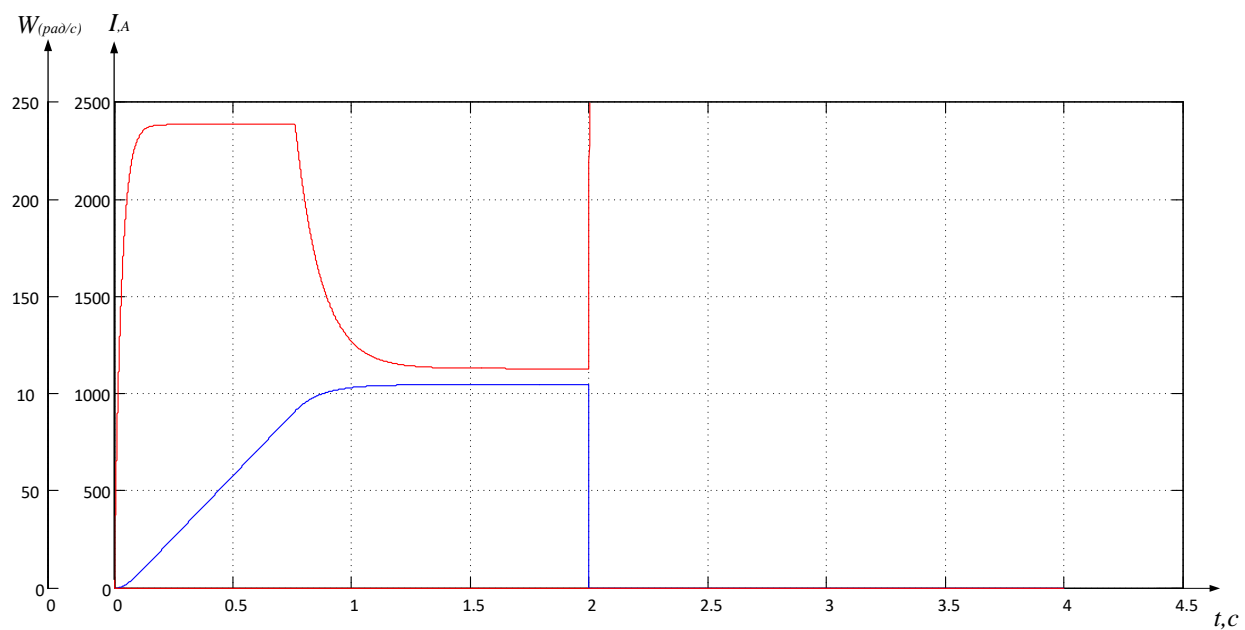


Рисунок 33 - Стопорение при работе на максимальной скорости

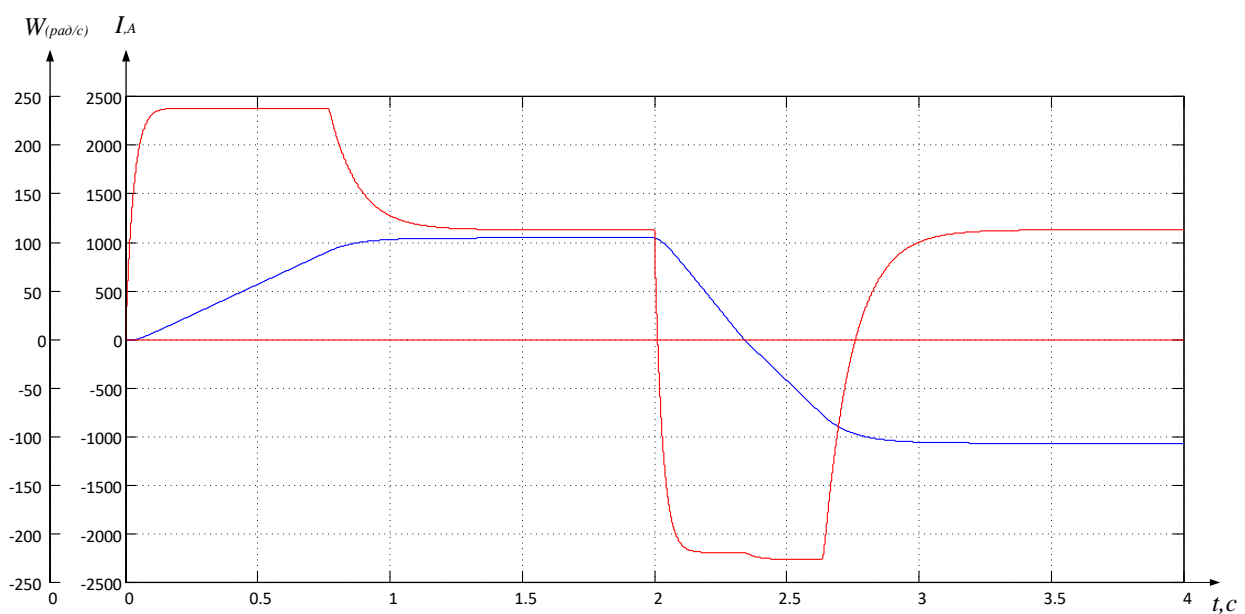


Рисунок 34 – Реверс при работе на максимальной скорости

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

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗБ1	Эшматов Зухриддин Бегимкул угли

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИнЭО)	<b>Кафедра</b>	ЭПЭО
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Для научно-исследовательского проекта необходимо три человека: руководитель проекта, инженер-программист и студент-дипломник. На ПНР было задействовано 4 человека. 2. Список литературы состоит из необходимых источников для данного раздела.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30 %

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

1. <i>Планирование и формирование бюджета</i>	2.1 Планирование научно-исследовательских работ. 2.2 Пусконаладочные работы. 2.3 Состав бригады для проведения ПНР. 2.4 Стоимость ПНР. 2.5 Расчет расходов при эксплуатации электропровода.
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</i>	3.1 Интегральный финансовый показатель. 3.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности. 3.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

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

1. *Диаграмма Ганта*

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	Попова С.Н.	к.э.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5ГЗБ1	Эшматов Зухриддин Бегимкул угли		

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

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

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

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

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

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

### **5.1 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода.**

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

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

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

Выбор наиболее оптимальной структурной схемы представлен в таблице 7

Таблица 7 – Анализ вариантов исполнения структурной схемы

	Варианты		Примечания: (преимущества недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектов		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=90 кВт	P=55 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

*Для проведения оценки выбраны следующие показатели:*

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

7. генерирование помех;

Коэффициент весомости критериев представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Коэффициенты весомости критериев

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

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Уровень цели	низкий	средний	высокий
Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Оценка обеспеченности вариантов исполнения

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0.5	0,5	0.5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0.5	0	0.5	2,25

Из таблицы 9 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

## 5.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)

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

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n K_i * \Pi_i$$

где

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

$P_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Весовые коэффициенты НТУ представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Весовые коэффициенты НТУ

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

Шкала оценки новизны представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Шкала оценки новизны проектного решения

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

Значимость теоретических уровней представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Значимость теоретических уровней

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



Возможность реализации по времени и масштабам представлена в таблице 13

Таблица 13 – Критерии реализации по времени и масштабам

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

$$k_1 = 0.6; П_1 = 6;$$

$$k_2 = 0.4; П_1 = 7;$$

$$k_3 = 0.2; П_1 = 10;$$

$$k_4 = 0.2; П_1 = 4.$$

$$НТУ = 0,6*6+0,4*7+0,2*10+0,2*4 = 9,2.$$

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

### 5.3 Планирование проектных работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;

2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Графический метод планирования.

При графическом методе планирования на основе расчета трудоемкости и календарной продолжительности выполнения всех включенных в план работ с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном масштабе (соответствующим производственному календарю планируемого года) строится графическая модель комплекса работ в виде линейной диаграммы, в которой положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Типовое содержание проектных работ представлены в таблице .14

Таблица 14 – Содержание проектных работ

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	5	3	РП, И.
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	5	РП, И.
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	13	20	17	РП, И.

4. Кинематическая схема механизма	5	10	8	РП, И.
5. Разработка структурной (принципальной) схемы ЭП	12	15	14	РП, И.
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	5	5	РП, И.
7. Выбор способа регулирования скорости	7	10	9	РП, И.
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	6	10	8	РП, И.
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	24	30	30	РП, И.
10. Оптимизация САР электропривода	20	25	23	РП, И.
11. Разработка программы имитационного моделирования	10	15	12	РП, И.
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	6	10	10	РП, И.
13. Техничко-экономические расчеты	8	13	10	РП, И.
14. Составление пояснительной записки	35	45	40	РП, И.
15. Разработка графического сопровождения проекта	20	25	25	РП, И.

РП –руководитель проекта;

И – инженер.

График выполнения работ по дням составлен на год с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 250, которые требуются на выполнение данного проектирования.

#### 5.4 Расчет сметы затрат на проектирование.

Смета затрат на проектирование представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Смета на проектирование

Статьи расхода	Сумма	Примечания
	руб	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	55000	
2. Специальное оборудование	44000	Стенды, приборы, установки, программы
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	200000	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	24000	12% от ст.3
5. ЕСН	67200	30%( ст.3+ст.4)
6. Расходы на научные и производственные командировки	15680	7% от(ст.3+ст.4)
7. Расходы и услуги сторонних организаций	32000	
8. Накладные расходы	140000	70% от ст.3
9. Плановая прибыль	30184	7% от (ст.3+4+5+8)
10. Годовая сметная стоимость проекта	608064	

По результатам расчетов строим гистограмму:

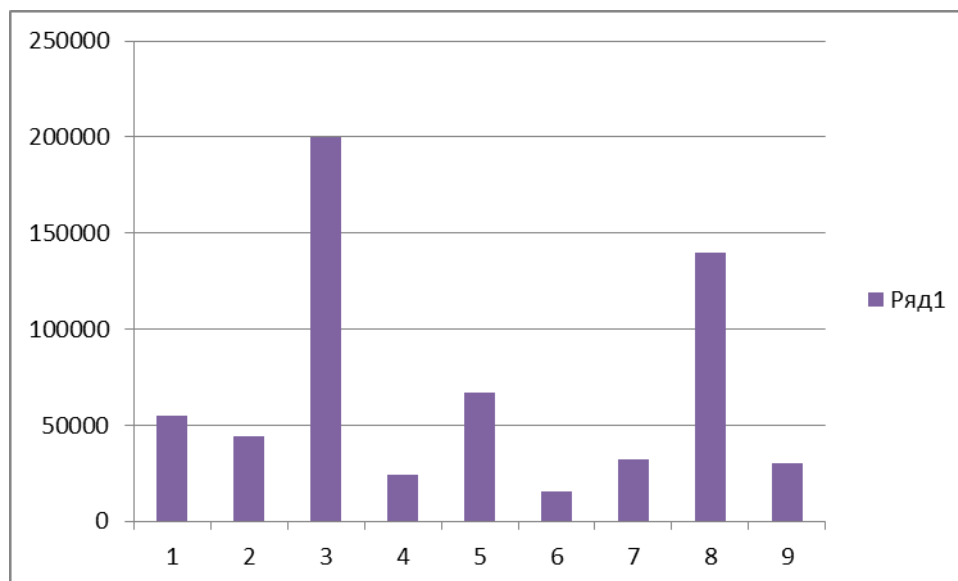


Рисунок 40 - Гистограмма затрат на проектирование

### 5.5 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта.

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

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

Расчет капитальных вложений оформлен в виде таблицы 16.

Таблица 16 – Капитальные вложения

	Кол- во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
<b>I. Оборудование:</b>			
Электродвигатель5АИ280S8 <sup>1</sup>	1	101905	101905
ПреобразовательАТIVAR 71HD75N4 <sup>2</sup>	1	264279	264279
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)		73237	73237
		65913	65913
<b>II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.</b>			
Комплектный привод (6%)			
Некомплектный (15%)		6591	6591
<b>III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)</b>			
		608064	608064
<b>IV. Плановые накопления монтажной организации (10%) от II</b>			
<b>V. Сметная стоимость проектно конструкторских работ</b>			
<b>Всего затрат</b>			<b>1130096</b>

Были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен действительных на 01 декабря 2017 года.

### 5.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

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

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

- Расчет стоимости силовой электроэнергии

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

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

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{55 * 6300 * 0,65 * 0,6 * 0,7}{0,94 * 0,93} = 108207 \text{ кВт} * \text{ч}.$$

где:

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

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

$k_{\text{м}}$  – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$  – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6–0.8);

$k_{\text{з}}$  – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7–0.8);

$k_{\text{с}}$  – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{\text{дв}}$  – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

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

где  $C_{\text{э}}$  – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий.  $C_{\text{э}}$  - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 3,25 руб/кВт·ч для Томской области., введенный с 1 января 2018г.

$$C_{\text{эл}} = 108207 * 3,25 = 351672,8 \text{ руб}.$$

#### Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K * \frac{H_{\text{а}}}{100},$$

где

$K$  – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_{\text{а}}$  – проценты отчислений на амортизацию.

- Электродвигатели – 9.6%

$$A_{\text{год}} = 101905 * \frac{9,6}{100} = 9783;$$

- Преобразователи – 3.5%

$$A_{\text{год}} = 264279 * \frac{3,5}{100} = 9250;$$

- Электропривод – 9.6%

$$A_{\text{год}} = 366184 * \frac{9,6}{100} = 35153;$$

Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов.

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

Затраты на ППР электропривода

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

где:

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

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

$C_{\text{опр}} = 168$  руб·час – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплаты);

$C_{\text{охр}} = 67,2$  руб·час – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = 96 + 84 + 168 + 67,2 = 415,2 \text{ руб/ч.}$$

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

Нормы трудоемкости ремонта электропривода представлены в таблице 17.



Таблица 17 – Нормы трудоемкости

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

Затраты на ППР электропривода представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Затраты на ППР

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	42	Раз в 2 года	415.2	17438.4
Текущего ремонта	15	Раз в 6 месяцев	415.2	6228
Технического обслуживания	9	Раз в месяц	415.2	3736.8

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

Затраты на ППР электропривода в год представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты на ППР электропривода в год

	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки об- моток	8719.2
Текущего ремонта	12456
Технического обслуживания	44841.6
Итого	66016.8

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

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно-технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Были рассчитаны издержки на ремонтно–эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово–предупредительные работы. Благодаря частотному преобразователю с асинхронным двигателем мы имеем высокую точность регулирования, плавный пуск двигателя, что значительно уменьшает его износ, а значит и затраты на его ремонт, а также экономия электроэнергии в случае переменной нагрузки, повышенный ресурс оборудования. Окупаемость данного оборудования происходит в течении 1-2 лет, тогда как работа оборудования гарантирована в течении минимум 10 лет, при условии соблюдения норм технического обслуживания оборудования.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗБ2	Эшматов Зухриддин Бегимкул угли

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

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Рабочая зона представляет собой открытую площадку для бурения скважины, подверженную воздействиям окружающей среды. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>1.1. В качестве вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения выявлены:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Аномальные параметры микроклимата рабочей зоны;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Повышенные уровни шума и вибрации;</li> <li>– Электромагнитное излучение;</li> <li>– Повышенная тяжесть и напряженность физического труда;</li> <li>– Повышенная степень нервно-эмоционального напряжения;</li> <li>– Загрязнение воздушной среды рабочей зоны.</li> </ul> <p>1.2. В качестве опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения выявлены:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Механических травмы и повреждения;</li> <li>– Возможность поражения электрическим током.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Анализ воздействия на окружающую среду: воздействие на атмосферу (выбросы),</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>гидросферу (сбросы), литосферу (образование отходов) в процессе работы буровой установки.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень 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>Возможная ЧС на объекте: возникновение пожара. Разработка мер по предупреждению ЧС и действий при ее возникновении, необходимое оснащение первичными средствами пожаротушения, системой пожарной сигнализации.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работников (электротехнический персонал) в рабочей зоне.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Эшматов Зухриддин Бегимкул угли		

## **Введение**

Исследуемый в проекте электропривод подъемной лебедки, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, на базе нереверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления подъемной лебедки в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В)

С целью поддержания системы регулирования в исправном и работоспособном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, предусмотрены следующие мероприятия:

- периодические осмотры устройства регулирования, оперативным персоналом один раз за смену;
- регулировочные мероприятия и осмотр устройства управления, оперативно-ремонтным персоналом еженедельно;
- техническое обслуживание два раза в год;
- текущий ремонт один раз в год.

Работы по обслуживанию и ремонту электропривода, проводимые оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по обслуживанию и ремонту устройства управления, имеющего щитовое исполнение и находящегося в помещении операторной, ведутся при искусственном освещении.

### **6.1 Производственная безопасность**

#### **6.1.1 Анализ опасных и вредных факторов**

Буровые установки являются объектами повышенной взрыво - пожароопасности: при проведении технологических процессов применяются горючие жидкости (дизельное топливо, нефть и др.). Во время бурения продуктивных горизонтов возможно наличие природного газа под полом буровой и в насосной.

Возможные опасные факторы при ведении буровых работ:

- а) опасность поражения электрическим током;
- б) выполнение спускоподъемных операций (СПО);

в) наличие вращающихся агрегатов.

Возможные вредные факторы при ведении буровых работ:

а) неблагоприятные климатические условия;

б) шум и вибрации;

в) неудовлетворительное освещение рабочего места в темное время суток;

г) использование вредных веществ для приготовления промывочных жидкостей на буровой бывает причиной отравлений и ожогов работающих.

### **6.1.2 Техника безопасности**

Использование электропривода вызывает опасность поражения электрическим током, причем основным источником электротравматизма являются установки низкого напряжения (до 1000 В). При этом большинство пострадавших составляют лица не электротехнического персонала (бурильщики, их помощники, слесари и т.д.).

Основными мерами защиты при эксплуатации электроустановок являются:

- использование токов низкого напряжения (12-36В);
- использование высоких частот;
- контроль и профилактика повреждений изоляции;
- обеспечение недоступности токоведущих частей;
- использование защитного заземления и зануления;
- использование защитного отключения;
- применение средств защиты и предохранительных приспособлений.

Надежная изоляция пускорегулирующих аппаратов, контакторов, магнитных пускателей, автоматов, цепей автоматического электропривода является одной из главных мер обеспечения безопасности в электроустановках.

Наличие локальных дефектов изоляции (механические повреждения, разрывы) выявляется при измерениях мегомметром.

Недоступность токоведущих частей достигается правильным их распо-

ложением на недоступной высоте или в недоступном месте, применением ограждений и блокировок. В установках напряжением ниже 1000 В применяют сплошные ограждения в виде кожухов и крышек. Сетчатые ограждения (с размером ячеек сетки не более 25 x 25 мм), используют в установках напряжением выше 1000 В. Защитные ограждения имеют двери, запирающиеся на замок.

Защитное отключение — автоматическое устройство, срабатывающее при изменении электрических параметров сети при различных нарушениях ее нормальной работы; пробое одной из фаз, повреждении изоляции, прикосновение человека и т. п.

В электроустановках напряжением выше 1000 В дополнительными электрозащитными средствами являются диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики и изолирующие подставки, а в установках напряжением до 1000 В - те же средства за исключением диэлектрических перчаток.

Основными причинами травм и аварий при СПО является:

- несогласованность действий рабочих буровой вахты, при работе неполной вахтой или при неправильно понимаемых сигналах подаваемых в процессе работы (из-за значительного шума, недостаточной освещенности, неудобства средств индивидуальной защиты и др.);

- конструктивные недостатки современного бурового оборудования и инструмента

- буровая лебедка с недостаточно надежной системой механического ручного торможения и несовершенными приспособлениями для укладки талевого каната на барабан;

- недостатки в организации рабочих мест на буровой площадке: размещение оборудования (подсвечников, автоматического бурового ключа, механических ключей, привода ротора, рабочей трубы с вертлюгом), способствующее созданию обширных опасных зон;

- нерациональная по отношению к бурильщику установка щита контрольно-измерительных приборов;

- недостатки в конструкции и взаиморасположении средств передачи информации;

- стесненность рабочей площадки вокруг ротора и загроможденность ее инструментом (роторными вкладышами, переводниками, приспособлением для отвинчивания долот и проч.);

- сложная производственная среда, снижающая работоспособность буровиков, быстроту и точность их действий.

### **6.1.3 Производственная санитария**

Защита работающих от неблагоприятных климатических условий достигается с помощью специализированной одежды. Наряду с этим прошла испытания и внедряется система обогрева буровых теплым воздухом в холодное время года, также для жаркого времени года широкое применение начинают получать агрегатные неавтономные кондиционеры, укомплектованные средствами автоматического регулирования и дистанционного управления.

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:

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



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

Производственные помещения должны быть выполнены в соответствии с СНиП, санитарными нормами проектирования промышленных предприятий, указаниями по строительному проектированию зданий и сооружений нефтяной, промышленности и Противопожарными техническими условиями строительного проектирования.

Производственные помещения должны иметь устройства для проветривания (открывающиеся створки в оконных переплетах или фонарях и др.).

Площадь и число открывающихся створок определяются проектом.

Створки оконных переплетов, а также створки фонарей должны быть снабжены устройствами для легкого и быстрого открывания и закрывания.

Фонари производственных помещений должны быть оборудованы дистанционным управлением или площадками с лестницами для обслуживания оконных фрамуг.

Входы в производственные помещения в местностях с суровыми климатическими условиями должны быть снабжены тамбурами, защитными стенами и другими устройствами, предохраняющими работающих в помещениях от резкого понижения температуры при открывании входных дверей.

Расположение аппаратуры в производственных помещениях, а также трубопроводов должно обеспечивать удобство их обслуживания, ремонта и осмотра. Производственные помещения и рабочие места следует содержать в чистоте. Полы должны быть ровными и удобными для очистки и ремонта.

В производственных и подсобных помещениях должны быть приняты меры к максимальному использованию естественного освещения. Окна должны быть полностью остеклены и содержаться в чистоте.

На производственных объектах должны иметься санитарно-бытовые помещения для обслуживающего персонала согласно санитарным нормам.

Санитарно-бытовые помещения необходимо ежедневно убирать и проветривать. Помещения для обогрева и отдыха рабочих необходимо сооружать (устанавливать) на каждой буровой установке, установке капитального ремонта скважин и других производственных объектах.

Расстояние между указанными помещениями и вышкой или мачтой должно превышать высоту этих сооружений не менее чем на 10 м.

В помещении следует иметь бачок с питьевой водой, аптечку с полным набором медикаментов первой помощи, носилки и мебель.

Производственные помещения, в которых постоянно или длительно находятся люди, должны оборудоваться отопительными устройствами, отвечающими требованиям санитарных и противопожарных норм, а электрические нагревательные приборы также Правилам устройства электроустановок.

Производственные помещения с технологическими тепловыделениями должны быть оборудованы дежурным отопительным устройством для поддержания в этих помещениях температуры не ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  во время остановки на ремонт аппаратуры и оборудования.

В производственных помещениях со значительным выделением пыли должны устанавливаться нагревательные приборы с гладкими поверхностями, допускающими легкую очистку их от пыли, лотки отопительных трубопроводов, проходящие в полу взрыво- и пожароопасных помещений, должны быть полностью засыпаны песком, а места прохода их под внутренними стенами должны быть тщательно уплотнены. Производственные помещения должны оборудоваться естественной механической или смешанной вентиляцией, создающей требуемые условия воздушной среды в соответствии с СН 245-71; СН 433-71; СНиП ПГ.7-62.

Обслуживание вентиляционных систем должно поручаться выделенным для этой цели обученным работникам предприятия. Эффективность вентиляции необходимо периодически инструментально проверять и обнаруженные дефекты устранять. Помещения, в которых могут выделяться газы, содержащие сернистые соединения, должны быть оборудованы вентиляцией

с механическим побуждением, а в необходимых случаях и местной вытяжной механической вентиляцией. В производственных помещениях с теплоизбытками свыше 20 ккал/м<sup>3</sup> должны предусматриваться аэрационные фонари.

В газовых компрессорных станциях с газомоторными двигателями место забора приточного воздуха должно быть расположено со стороны воздушных фильтров на расстоянии не менее 16 м от выхлопных труб газомоторкомпрессоров или на 6 м ниже выхлопных труб газомоторкомпрессоров при горизонтальном расстоянии между ними не менее 16м.

Газораспределительные установки (пункты) должны быть оборудованы естественной вытяжной вентиляцией с удалением воздуха из нижней и верхней зон помещения при помощи шахт с дефлекторами.

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.). Ниже в таблице 8.1 приведем допустимые уровни шума для нашего случая.

Таблица 6.1 - Допустимые уровни шума на рабочем месте.

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гн								Уровень звука в эквиваленте
	3	25	50	00	000	000	000	000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	9	2	6	3	0	8	6	4	85

Согласно [12] предусмотрено несколько мероприятий 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 6.2.

Таблица 6.2 - 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].

Различают следующие методы борьбы с вибрациями:

- подавление в источнике возникновения;
- отстройка от режима резонанса изменением массы и жесткости виб-

рирующих 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.

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.

Технологические методы нормализации воздуха рабочей зоны должны исключать или резко ограничивать процессы и операции, сопровождающиеся выбросом в рабочую зону вредных газов, паров, аэрозолей. Так, на некоторых буровых предприятиях организованы централизованное изготовление промывочных жидкостей на специальных заводах и доставка их на буровые. В процессе использования таких жидкостей в них добавляют некоторые стабилизирующие реагенты или постепенно заменяют их поставляемыми с завода.

При изготовлении промывочных жидкостей непосредственно на буро-

вой следует тщательно подобрать их компоненты, по возможности исключив наиболее вредные вещества (многовалентные соли хрома, сернистые нефти и проч.) и заменив их сходными по действию на промывочные жидкости, но менее вредными веществами.

Технологические процессы приготовления и использования промывочных жидкостей на буровой должны исключать их разлив и выделение из них вредных паров и газов. Для этого следует:

- вводить закрытые системы приготовления и циркуляции промывочных жидкостей;
- перед подъемом бурильного инструмента для предотвращения сифонов и переливов из труб заменять раствор в скважине до выравнивания его плотности в трубах и затрубном пространстве;
- тщательно очищать промывочные жидкости перед закачкой их в скважину с тем, чтобы посторонними предметами не закупорить отверстия в забойном двигателе и долоте и не вызвать сифона при подъеме инструмента;
- поднимать инструмент с очисткой поверхности бурильных труб от промывочной жидкости при помощи резиновых обтираторов;
- быстро удалять с рабочих поверхностей разлитые промывочные жидкости и реагенты;
- поддерживать параметры промывочной жидкости на уровне, исключая поступление в нее из горных пород агрессивных жидкостей, нефти или газа; случайно поступающие вместе с промывочной жидкостью газы необходимо немедленно из нее выводить (дегазация) и удалять или нейтрализовать (в случае поступления сероводорода), пропуская через раствор извести;
- устанавливать контроль за наличием вредных веществ в воздухе рабочей зоны и их концентрацией при помощи переносных газоанализаторов или газосигнализаторов;
- отбор проб целесообразно вести одновременно с контролем параметров промывочной жидкости.



## 6.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

### Пожарная безопасность

Буровые установки относятся к категории А [15]. Категория производства 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 обрабатываемых 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, установок; 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 47 представлен предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

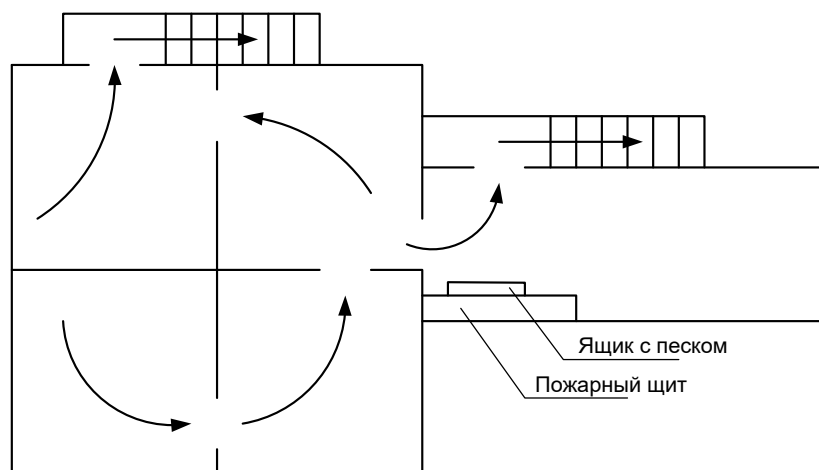


Рисунок 47 - Предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

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 ис-

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

### **6.3 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 промысловые 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.

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

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый объект относится к помещению с повышенной опасностью, из-за наличия трансформаторная подстанция, а также из-за большого количества пыли и повышенной влажности, возможности одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям буровой установки, .

На подстанция имеется комплект предупредительных плакатов.

- Основными мерами защиты на объекте от поражения током являются
- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением от случайного прикосновения;
  - электрическое разделение сети;
  - устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и д.р.;
  - применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;
  - организация безопасной эксплуатации электроустановок;
  - применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства, ограждающие средства защиты, предназначенные для временного ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохра-

нительные средства защиты предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

К основным техническим средствам защиты от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- отключение электроустановки и электрическая изоляция токоведущих частей;
- ограждение и вывешивание запрещающих, указательных, предупреждающих и предписывающих плакатов;
- сигнализация и блокировка;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сети;
- зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной защиты и защитные средства: штанги изолирующие, диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, переносные заземления, предупредительные плакаты, предохранительные пояса.

К основным организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ в электроустановках согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

## 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.Перельмута. - 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. Броун С.И., Хоботько В.И. Программированное руководство по безопасному ведению буровых работ. - М.: Недра, 1978.
8. С.И. Броун. Охрана труда в бурении. - М.: Недра, 1981.
9. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. Изд.2. - М.: Недра, 1975.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). - М.: Атомиздат, 1972.
11. Техника безопасности в нефтяной промышленности. - Труды ВНИИТБ, вып. XIX - XXVII, 1970 - 1977.
12. Система стандартов безопасности труда. Сборники ГОСТов. 4 тома. - М.: издательство стандартов, 1971.

13. Охрана труда в машиностроении. Под редакцией Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1983.
14. Противопожарные требования. Основные положения проектирования СНИП /П-А.5-70.-М.:1971.
15. Методическое пособие для расчета вибрации. - Т.: ТПУ Д989.
16. Панов Г. Е., Броун С. И. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988.