

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод буровой установки

УДК 622.242.2-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ерченко Евгений Андреевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ерченко Евгению Андреевичу

Тема работы:

Электропривод буровой установки

Утверждена приказом директора (дата, номер)

3483/с от 06.05.2019г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ерченко Евгений Андреевич		.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврской работы

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

Техническое задание

Выполнить проектирование регулируемого реверсивного тиристорного двухзонного электропривода постоянного тока, удовлетворяющего ниже заданным техническим условиям:

1. Электропривод питается от трёхфазной сети переменного тока напряжением 6000 В, 50 Гц;
2. Максимальный сигнал управления в первой зоне регулирования – 10 В;
3. Максимальная скорость вращения $n_{\max} = 1500$ об/мин, соответствующая линейной скорости поднятия колонны бурильных труб 1.5 м/с;
4. Нагрузка переменная, характер нагрузки активный;
5. Перерегулирование скорости при скачкообразной подаче на вход управляющего напряжения не более 10%;
6. Время переходных процессов не должно превышать 1с.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 97 с., 30 рисунков, 21 таблицу, 33 источников, приложение.

Перечень ключевых слов:

ЭП – электропривод;

РЭП – регулируемый электропривод;

САУ РЭП – система автоматического управления регулируемым электроприводом;

РС – регулятор скорости;

РТ – регулятор тока;

РТВ – регулятор тока возбуждения;

РЭ – регулятор ЭДС;

ЗИ – задатчик интенсивности;

ПНР – пуско-наладочные работы;

ПОДЪЁМНАЯ ЛЕБЁДКА, ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА, ПРОГРАММА, ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ДВУХЗОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ.

Объектом исследования является электропривод буровой лебёдки, применяемой на буровой установке БУ 3900/225 ЭК-БМЦ.

Цель работы - разработка и исследование двухзонного электропривода буровой лебедки.

В процессе работы проводились исследования электропривода на имитационной модели, построенной в программной среде Матлаб..

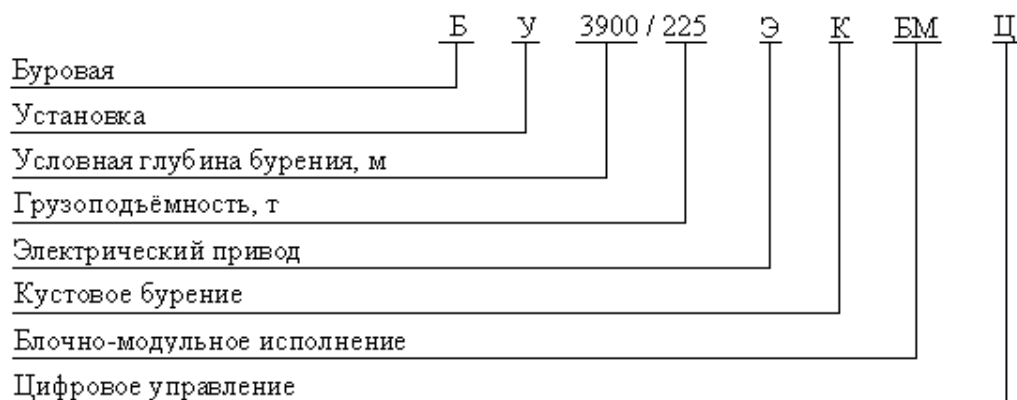
СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	10
1 ЭЛЕКТРОПРИВОД ЛЕБЕДКИ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ	11
1.1 Технологический процесс бурения.....	11
1.2 Основные характеристики буровой лебёдки	15
2 СИЛОВАЯ ЦЕПЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭП.....	18
2.1 Выбор и расчет параметров электродвигателя.....	18
2.2 Механическая система привода подъемной лебедки.....	20
2.2.1 Параметры элементов механической системы привода.....	21
2.2.2 Параметры двухмассовой механической системы.....	22
2.2.3 Параметры одномассовой механической системы	23
2.4 Выбор и расчет параметров тиристорного преобразователя двигателя	26
2.5 Определение параметров силовой цепи	28
2.6 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя.....	30
2.7 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя	33
2.8 Определение области допустимой работы электропривода подъемной лебедки.....	34
2.9 Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки	37
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ.....	40
3.1 Функциональная схема электропривода подъемной лебедки	40
3.2 Структурная схема САР скорости электропривода подъемной лебедки ..	44
3.2.2 Оптимизация контура скорости	47
3.3 Структурная схема САР ЭДС двигателя.....	49
3.3.2 Оптимизация контура ЭДС.....	51
4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ РЭП.....	53
4.1 Анализ основных нелинейностей САУ РЭП	53
4.2 Исследование имитационной модели нелинейной САУ электропривода подъемной лебёдки	53
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»	58
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	59
5.1 SWOT-АНАЛИЗ ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОПРИВОДА буровой лебедки.	59
5.2 Планирование технического проекта	63
5.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования ..	63
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	64
5.3 Составление сметы технического проекта.....	66
5.3.1 Затраты на разработку проекта	66
5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР.....	66
5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	68
5.3.4 Накладные расходы	69
5.3.5 Формирование сметы технического проекта.....	69
5.4 Определение ресурсоэффективности проекта	70

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	73
6. Социальная ответственность.....	74
Введение.....	74
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
6.2. Производственная безопасность	76
6.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	77
6.2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	78
6.2.3. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	80
6.3 Экологическая безопасность	82
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
THE CONCLUSION	89
Список используемых источников.....	90
Приложение А	93

Введение

Установка БУ-3900/225 ЭК-БМЦ – это комплекс специализированного оборудования, выполняющего в процессе бурения скважин определённые функции.



Работа БУ представляет совокупность следующих основных, взаимосвязанных процессов: спускоподъемных операций, разрушение горной породы на забое, очистка забоя от выбуренной породы и выноса её по затрубленному пространству на поверхность, приготовление бурового раствора и очистка его от выбуренной породы для последующего использования.

При бурении работают такие основные механизмы, как: лебёдка, талевая система, вертлюг, ротор, циркуляционная система, насосы, манифольд (трубопровод высокого давления), компрессорный блок с воздухопроводом.

Буровая лебёдка предназначена для осуществления подъёма колонны бурильных труб (КБТ) из скважины и спуска бурильных и обсадных труб в скважину, а также выполнения операций по ликвидации прихватов инструмента в скважине. Применяемая лебёдка двухскоростная, однодвигательная.

Задачей данной работы является разработка и исследование двухзонного электропривода подъемной лебедки буровой установки.

1 ЭЛЕКТРОПРИВОД ЛЕБЕДКИ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

1.1 Технологический процесс бурения

Оборудование установки размещено на следующих основных блоках (рисунки 1.1, 1.2)

- приёмном мосту;
- вышечно-лебёдочном;
- циркуляционной системы;
- насосном;
- компрессорном;
- электрооборудования;
- энергоблоке;
- котельной;
- блоке дополнительных ёмкостей;
- модуле КРУ и ФКУ;

Все блоки установки, кроме энергоблока, котельной, водонефтяной ёмкости, блока дополнительных ёмкостей, модуля КРУ и ФКУ, приёмного моста перемещаются по направляющим балкам внутри кустовой площадки.

Вышечно - лебёдочный блок передвигается с одной точки бурения на другую внутри куста вместе с комплектом бурильных труб, установленных в подсвечниках, механизмом перемещения. Перемещение установки производится по рельсам направляющей общей длиной 90 м.

Мост приёмный служит для выполнения операций, связанных с подачей бурильных и обсадных труб на буровую площадку, складирования бурильных и обсадных труб и другого инструмента.

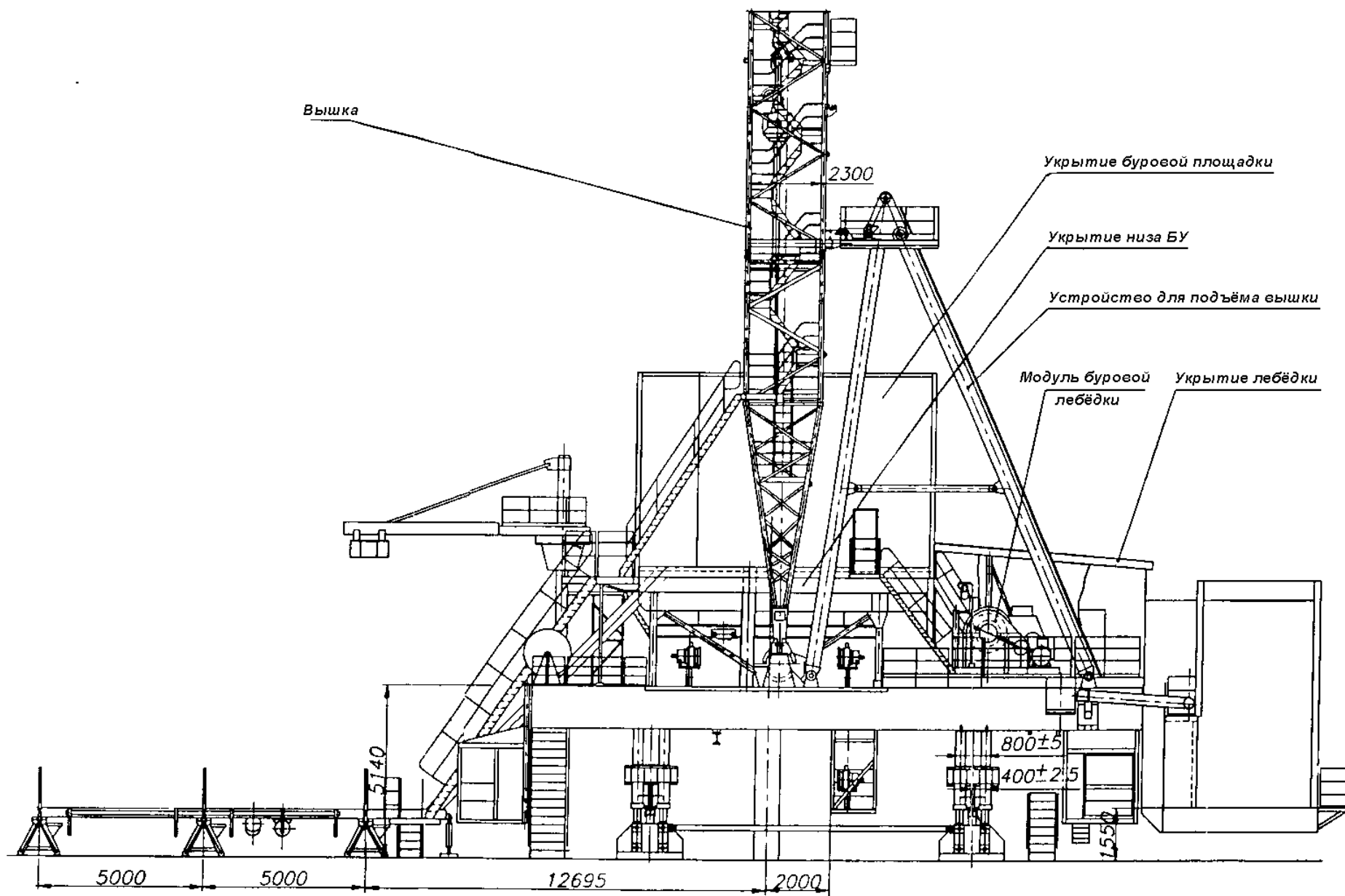


Рисунок 1.1 – Общий вид буровой установки (вид спереди)

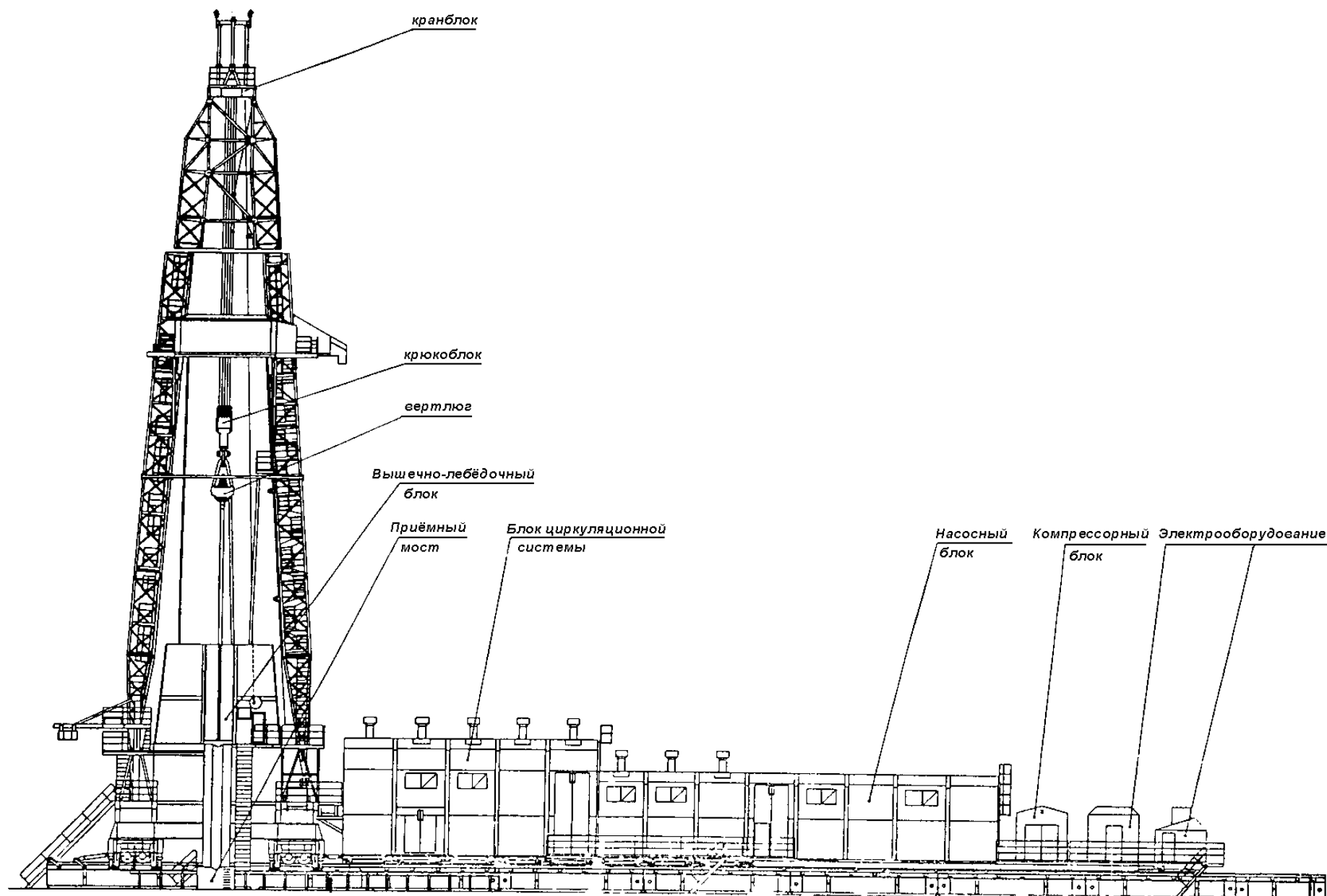


Рисунок 1.2 – Общий вид буровой установки (вид сбоку)

Работа БУ представляет совокупность следующих основных, взаимосвязанных процессов: спускоподъемных операций, разрушение горной породы на забое, очистка забоя от выбуренной породы и выноса её по затрубленному пространству на поверхность, приготовление бурового раствора и очистка его от выбуренной породы для последующего использования.

Перед бурением необходимо разбурить направление под шурфовую трубу (шурф) на глубину, равную длине ведущей трубы, после чего закрепляют трубу шурфа с направляющим наконечником.

При бурении работают такие основные механизмы, как: лебёдка, талевая система, вертлюг, ротор, циркуляционная система, насосы, манифольд (трубопровод высокого давления), компрессорный блок с воздухопроводом.

Бурильная колонна через вертлюг подвешивается к талевой системе. Подача инструмента на забой и поддержание нагрузки на долото производится при помощи регулятора подачи долота.

При турбинном способе бурения буровой раствор насосами через манифольд, вертлюг, бурильную колонну подаётся под давлением к забойным двигателям для вращения долота, осуществляет охлаждение, смазку инструмента и выносит по затрубному пространству выбуренную породу на поверхность. Буровой раствор служит также для крепления стенок пробуренной скважины.

При роторном способе бурения вращение бурильной колонны и долота осуществляется приводом стола ротора. Буровой раствор при меньшем давлении, чем при турбинном способе бурения, через манифольд, вертлюг, бурильную колонну подаётся к забою, для охлаждения и смазки инструмента и выносит по затрубному пространству выбуренную породу на поверхность.

По сливному трубопроводу буровой раствор с выбуренной породой подаётся в циркуляционную систему, где проходит 4 стадии очистки. Очищенный раствор перекачивается в ёмкости для бурового раствора.

Спускоподъёмные операции включают процесс спуска бурильной колонны в скважину и подъём её из скважины для замены долота и перед спуском обсадной колонны после достижения необходимой глубины.

Наращивание бурильной колонны в процессе бурения первой скважины производится одиночными трубами, подаваемыми с мостков к столу ротора по наклонному желобу при помощи вспомогательной лебёдки. При этом вертлюг с ведущей трубой находится в шурфе рядом с ротором, а бурильная колонна подвешена на роторе в клиновом захвате. Труба подхватывается ручным элеватором, осуществляется её приподъём до совмещения ниппелей труб и свинчивание её с бурильной колонной при помощи бурового ключа. После чего осуществляется спуск бурильной колонны в скважину на длину одной трубы. После наращивания на длину ведущей трубы, последняя свинчивается с бурильной колонной и бурильная колонна опускается в скважину до тех пор, пока долото не достигнет забоя. Спуск обсадной колонны производится аналогично спуску бурильной колонны [5].

1.2 Основные характеристики буровой лебёдки

Буровая лебёдка предназначена для осуществления подъёма колонны бурильных труб (КБТ) из скважины и спуска бурильных и обсадных труб в скважину, а также выполнения операций по ликвидации прихватов инструмента в скважине. Применяемая лебёдка типа двухскоростная, однодвигательная.

Технические данные лебёдки приведены в таблице 1.1, кинематическая схема на рисунке 1.3.

Основной (главный) электропривод лебёдки осуществляется от двигателя постоянного тока, который подсоединяется к приводному валу лебёдки кулачковой муфтой. Выходной вал коробки передач соединяется с валом барабана с помощью сдвоенной шинно-пневматической муфты (ШПМ). Переключение передач дистанционное с помощью двухходового пневмоцилиндра.

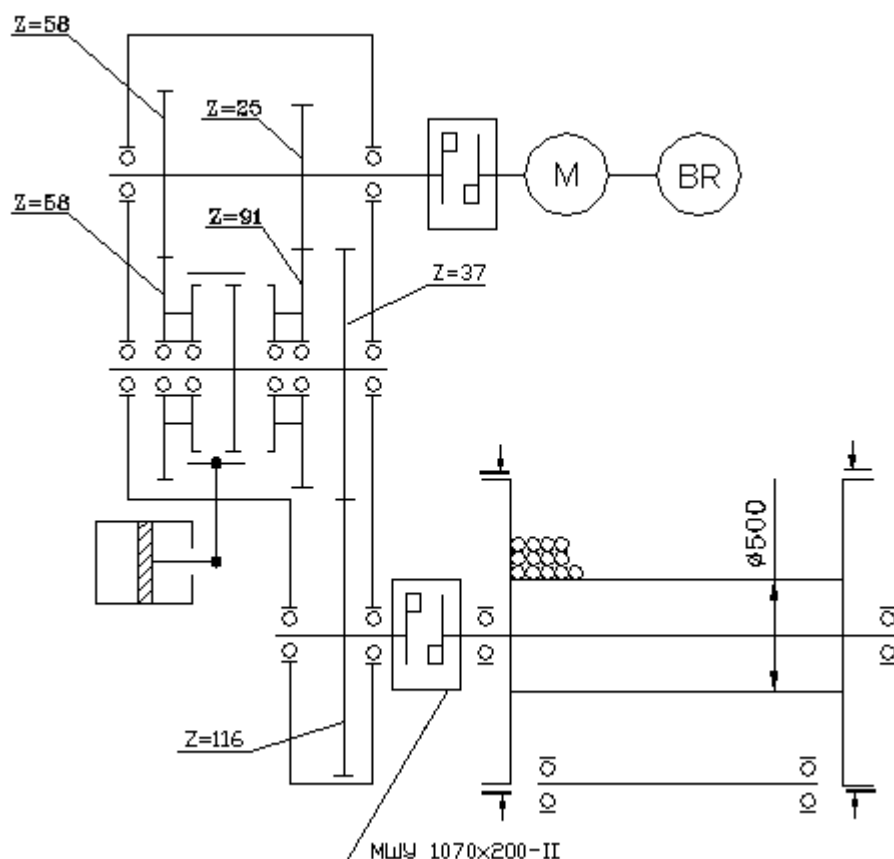


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема электропривода лебёдки

Таблица 1.1 – Технические данные лебёдки

Пп.	Параметры	Ед. изм.	Величина
1	Допустимая нагрузка (усилие) на крюке	тс кН	225 2250
2	Оснастка талевой системы	-	5х6
3	Передаточное отношение талевой системы	-	10
4	КПД талевой системы при нагрузке 225 тс	-	0,947
5	Диаметр барабана по бочке расчётный	м	0,5 0,604
6	Диаметр талевого каната	мм	28
7	Передаточное число коробки передач главного привода: «тихая» передача «быстрая» передача	- -	11,411 3,135
8	Скорость крюка при подъёме порожнего талевого блока	м/с	1,5
9	Мощность, развиваемая на приводном валу лебёдки	кВт	750
10	Скорость крюка при КБТ номинального веса	м/с	0,42

Вспомогательный (аварийный) привод лебёдки осуществляется от электропривода регулятора подачи РПД.

В конструкции лебёдки предусмотрен тахогенератор лебёдки BR2 (или ТГЛ), изменяющий угловую скорость барабана, в качестве которого используется ДПТ МИ11ЛА12, 100 Вт, 2000 об/мин, причём вращение от вала барабана к тахогенератору передаётся через ускоряющую цепную передачу ($j=2,6$).

Управление переключением коробки передач (КП) осуществляется зубчатой муфтой с приводом от пневмоцилиндра, управление которым осуществляется электропневматическими ventилями, питание на катушки которых подаётся через переключатель SAJ, расположенный в шкафу лебёточного блока ШЛБ.

В качестве основного механического тормоза лебёдки применён ленточный тормоз. Привод тормоза выполнен от двух пневмоцилиндров, один из которых рабочий и обеспечивает затормаживание лебёдки при подаче сжатого воздуха в цилиндр, второй привод – аварийный пружинно-пневматический, обеспечивает наложение ленточного тормоза при отсутствии сжатого воздуха в цилиндре.

Электропривод лебёдки предназначен для управления лебёдкой во всех технологических режимах при спускоподъемных операциях. Привод лебёдки выполнен как реверсивный электропривод постоянного тока по системе ТП-Д с двухзонным регулированием скорости [5].

2 СИЛОВАЯ ЦЕПЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭП

2.1 Выбор и расчет параметров электродвигателя

Мощность двигателя выбираем по максимальной нагрузке буровой лебёдки:

$$P_{\text{двн}} \geq 750 \text{ кВт.}$$

Определяем скорость двигателя:

$$n_{\text{двмакс}} \geq \frac{60 \times V_{\text{к}} \times i_{\text{л2}} \times i_{\text{тс}}}{\rho \times D_{\text{б}}} = \frac{60 \times 4,5 \times 3,135 \times 10}{3,14 \times 0,5} = 1438 \text{ об/мин,}$$

где $V_{\text{к}}$ – скорость крюка при подъёме порожнего талевого блока, м/с;

$i_{\text{л2}}$ - передаточное число коробки передач главного привода («быстрая» передача);

$i_{\text{тс}}$ - передаточное отношение талевой системы;

$D_{\text{б}}$ - диаметр барабана, м.

Таким образом выбираем двигатель согласно условию

$$n_{\text{двмакс}} \geq 1438 \text{ об/мин, } P_{\text{двн}} \geq 750 \text{ кВт}$$

Однако для получения максимальной скорости электропривода принято двухзонное регулирование скорости.

Выбираем электродвигатель лебёдки типа 4ПС-450-1000 УХЛ2, 1000 кВт, 1000/1500 об/мин, параметры которого приведены в таблице 2.1 [3].

Таблица 2.1 – Параметры электродвигателя 4ПС-450-1000 УХЛ2

Параметр	Ед. измерения	Значение	
P	кВт	1000	
U	В	800	
I	А	1320	
n	об/мин	1000 (ном.)	1500 (max)
M	кН·м	9,55	6,37
I _B	А	20,7	10

Продолжение таблицы 2.1

$\Phi_{\text{на полюс}}$		Вб	0,15	0,1
Макс. нагрузка по току якоря		рабочая	2,0	2,0
		отключ.	2,25	2,25
КПД,		%	94,4	
Число пар полюсов			4	
Момент инерции		кгм ²	41	
Конструктивный коэффициент			55,4	
Потери (при 1000 кВт и 1000 об/мин)	Стали якоря	кВт	7,83	
	меди якоря		17,1	
	меди КО		10,3	
	меди обм ДП		2,81	
	Меди ОВ		4,81	
	Добавочные		5,28	
	переходные		2,64	
	механические		4,22	
	Суммарные		55,02	

Кривая намагничивания двигателя представлена на рисунке 2.1.

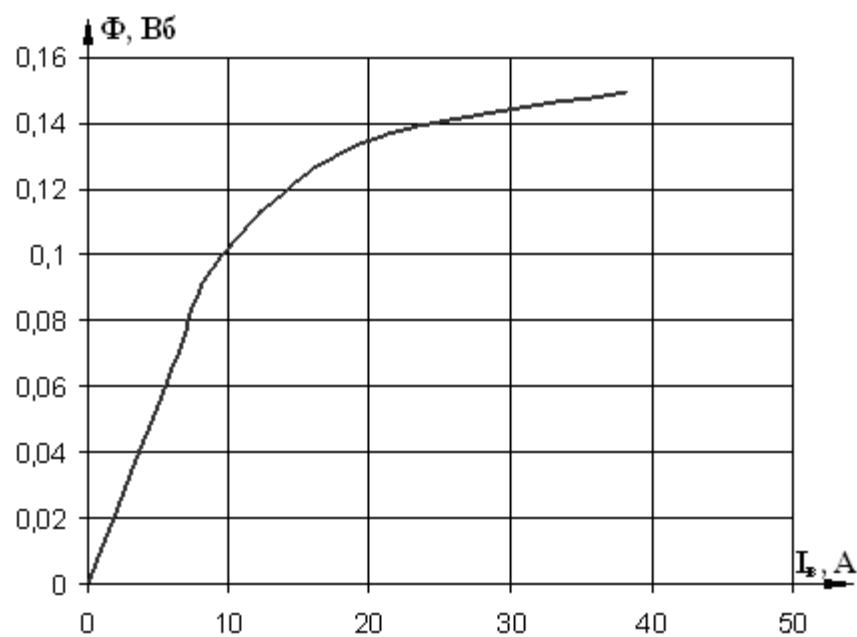


Рисунок 2.1 – Кривая намагничивания двигателя

Расчетные параметры электродвигателя

Горячее сопротивление обмотки якоря

$$R_{\text{дв.гор.}} = k \times (R_{\text{оя}+15^{\circ}\text{C}} + R_{\text{дп}+15^{\circ}\text{C}}) = 1,24 \times (0,00642 + 0,00161) = 9,957 \times 10^{-3} \text{ Ом},$$

где 1,24 – коэффициент, учитывающий зависимость сопротивления обмоток от температуры (принят из интервала $k=1,24 \div 1,38$) [1].

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{\rho}{30} \times n_{\text{дв.н}} = \frac{3,14}{30} \times 1000 = 104,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Максимальная угловая скорость двигателя

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\rho \times n_{\text{двмакс}}}{30} = \frac{3,14}{30} \times 1500 = 157,1 \text{ рад/с}.$$

Коэффициент ЭДС

$$c = \frac{U_{\text{дв.н}} - I_{\text{дв.н}} \times R_{\text{дв.гор.}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{800 - 1320 \times 9,957 \times 10^{-3}}{104,7} = 7,514 \frac{\text{В} \times \text{с}}{\text{рад}}.$$

Электромагнитный момент, соответствующий номинальному току

$$M_{\text{эм}} = I_{\text{дв.н}} \times c = 1320 \times 7,514 = 9,919 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{дв}} @ \kappa_l \times \frac{U_{\text{двн}}}{I_{\text{двн}} \times p \times \omega_{\text{двн}}} = 0,2 \times \frac{800}{1320 \times 2 \times 104,712} = 5,788 \times 10^{-4} \text{ Гн},$$

где $\kappa_l = 0,1 - 0,2$ - для машин с компенсационной обмоткой, принимаем

$$\kappa_l = 0,1.$$

2.2 Механическая система привода подъемной лебедки

Расчетная схема механической системы электропривода лебедки представляет собой двухмассовую систему, представленную на рисунке 2.2.

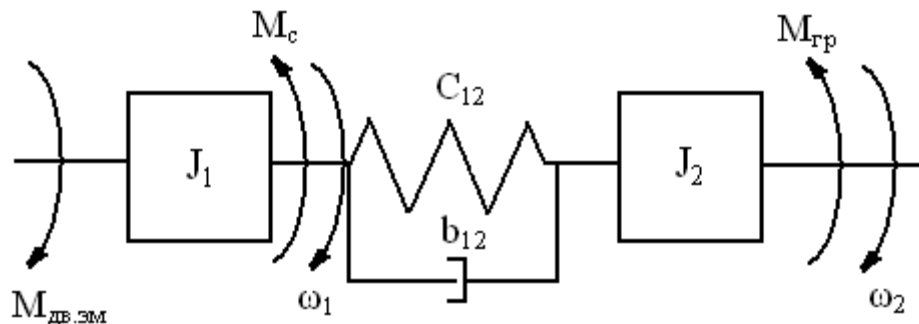


Рисунок 2.2 – Расчетная схема механической системы электропривода подъемной лебедки, где

J_1 – момент инерции двигателя и механизма;

J_2 – момент инерции поднимаемых масс;

$M_{\text{дв.эм}}$ – электромагнитный момент двигателя;

M_c – момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

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

C_{12} – эквивалентная угловая жесткость;

b_{12} – эквивалентный коэффициент внутреннего демпфирования.

2.2.1 Параметры элементов механической системы привода

Момент инерции двигателя

$$J_{\text{дв}} = 41 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции механизма

$$J_{\text{мех}} = 0,5 \times J_{\text{дв}} = 0,5 \times 41 = 20,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции поднимаемых масс приведенный к валу двигателя

$$J_m = m \times \frac{\pi D_6^2}{8} \times \frac{1}{i_L^2} \times \frac{1}{i_{\text{пол}}^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где m – масса поднимаемого груза, кг;

D_6 – диаметр барабана лебедки;

i_L – результирующее передаточное число механизма лебедки;

$i_{\text{ТС}} = 10$ – передаточное отношение талевой системы.

Т. к. основной объем спускоподъемных операций (СПО) выполняется на 2-й (быстрой) передаче лебедки, то расчёты проводим применительно к этому случаю.

Момент инерции поднимаемых масс на второй передаче $i_{л2} = 3,135$ при поднимаемой массе $m = 225$ т.:

$$J_m = 225 \times 10^3 \times \frac{0,5^2}{2} \times \frac{1}{3,135^2} \times \frac{1}{10^2} = 14,308 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Собственный момент сопротивления на валу электродвигателя

$$M_{сдв} = C \times I_{двн} - M_{двн} = 7,514 \times 320 - 9550 = 368,48 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Постоянные потери в передаточном механизме лебедки

$$M_{\text{пост}} = a \times M_{\text{пер}} = 0,125 \times 9550 = 1193,75 \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

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

где $\eta_{\text{пер}}$ - КПД передаточного механизма $\eta_{\text{пер}} = 0,8$ (для лебёдок $\eta_{\text{пер}} = 0,8 - 0,85$);

a – коэффициент постоянных потерь;

$$M_c = M_{сдв} + M_{\text{пост}} = 368,48 + 1193,75 = 1562,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$M_{\text{перн}} @ M_{\text{двн}} = 9550 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – номинальный передаваемый момент механизма.

Момент, развиваемый грузом на второй передаче

$$\begin{aligned} M_{\text{гр}} &= \frac{m \times q \times D_6}{2 i_{\text{ред}} \times i_{\text{мс}}} = \\ &= \frac{225 \times 10^3 \times 9,8 \times 0,5}{2 \times 3,135 \times 10} = 17583,732 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

2.2.2 Параметры двухмассовой механической системы

Структурная схема двухмассовой механической системы приведена на рисунке 2.3.

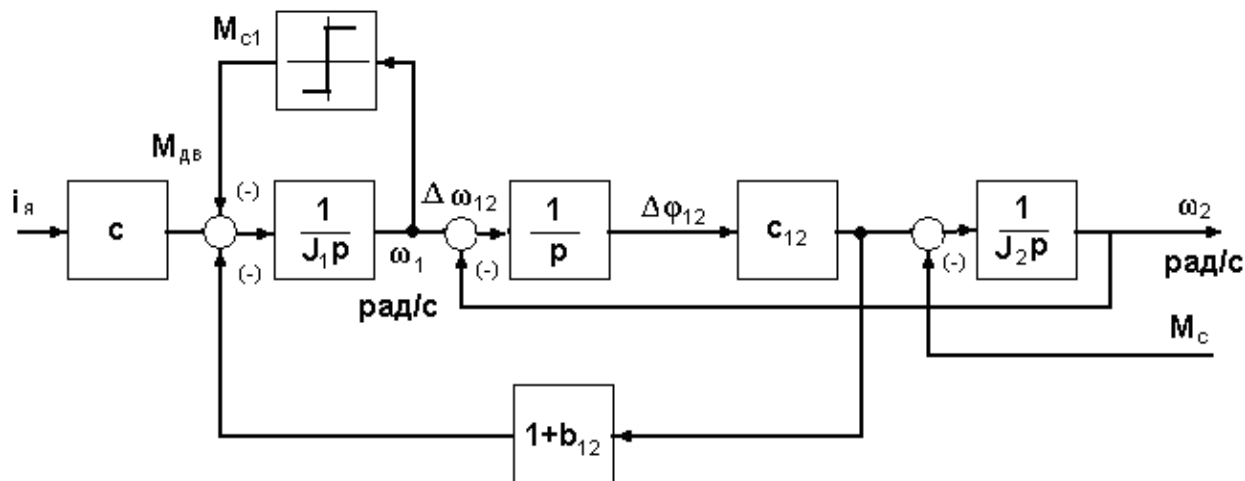


Рисунок 2.3 – Структурная схема двухмассовой механической системы
Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{дв} + J_{мех} = 41 + 20,5 = 61,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления на валу первой массы

$$M_{с1} = M_{сдв} + M_{пос} = 368,48 + 1193,75 = 1562,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции второй массы и соответствующий грузовой момент на ее оси при работе на второй передаче

$$J_2 = 14,308 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 ,$$

$$M_{гр} = 17583,732 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2.3 Параметры одномассовой механической системы

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 2.4.

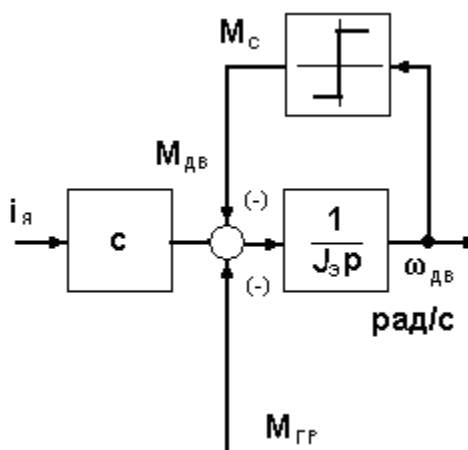


Рисунок 2.4 – Структурная схема одномассовой механической системы

Эквивалентный момент инерции:

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2 = 61,5 + 14,308 = 75,808 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Момент сопротивления реактивного характера на оси эквивалентной массы:

$$M_{cl} = M_{сдв} + M_{пос} = 368,48 + 1193,75 = 1562,23 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент, развиваемый грузом:

$$M_{гр} = 17583,732 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Электромеханическая постоянная времени привода:

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \times R_{яц}}{C^2} = \frac{75,808 \times 0,037}{7,514^2} = 0,05 \text{ с}.$$

2.3 Выбор и расчёт параметров трансформатора

Трансформатор выбираем по следующим параметрам:

$$S_{тр} \geq S_{тр.расч}, U_{2н} \geq \sqrt{3} E_{2ф.расч}, I_{2н} \geq I_{2ф.расч}$$

Расчётное значение фазной ЭДС вентильной обмотки трансформатора:

$$E_{2ффра} = k_{u2ф} \times k_a \times \frac{1}{k_{uc}} \times (1 + k_R) \times U_{дв.макс},$$

где

$k_{u2ф}$ - коэффициент схемы ($k_{u2ф} = 0,428$);

k_a – коэффициент запаса, учитывающий неполное открытие тиристоров преобразователя;

$$k_a = \frac{1}{\cos \alpha_{мин}} = \frac{1}{\cos 10^\circ} = 1,015$$

$\alpha_{мин}$ – минимальный угол управления преобразователя (для реверсивных преобразователей с раздельным управлением $\alpha_{мин} = 10^\circ$);

k_{uc} – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное снижение напряжения питающей сети, для сети 6 кВ $k_{uc} = 0,9$;

k_R - коэффициент запаса, учитывающий падение напряжения в тиристорах, обмотках трансформатора, а также за счёт коммутации, $k_R = 0,05 \div 0,1$;

$$U_{дв.макс} = c \times W_{эл.макс} + I_{доп} \times R_{дв.гор} = 7,514 \times 104,712 + 3960 \times 9,97 \times 10^{-3} = 826,287 \text{ В}$$

$$E_{2\phi\phi, \text{рас}} = k_{u2\phi} \times k_a \times \frac{1}{k_{uc}} \times (1 + k_R) \times U_{\text{ов. макс}} = 0,428 \times 1,015 \times \frac{1}{0,9} \times (1 + 0,05) \times 826,287 = 418,782 \text{ В}$$

Расчётная мощность трансформатора:

$$S_{\text{тр. расч}} = k_S \times \frac{E_{2\phi, \text{расч}}}{k_{U2\phi}} \times k_i \times I_{\text{дв. н}},$$

где k_S – коэффициент схемы выпрямления по мощности, $k_S=1,045$

k_i – коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной, $k_i=1,05 \div 1,1$

$$S_{\text{тр. расч}} = k_S \times \frac{E_{2\phi, \text{расч}}}{k_{U2\phi}} \times k_i \times I_{\text{дв. н}} = 1,045 \times \frac{418,782}{0,428} \times 1,05 \times 320 = 1.417 \times 10^6 \text{ В} \times \text{А}$$

Расчётное действующее значение фазного тока вентильной обмотки

$$I_{2\phi, \text{расч}} = k_i \times k_{i2\phi} \times I_{\text{дв. н}} = 1,05 \times 0,815 \times 320 = 1129,59 \text{ А}$$

Тогда $S_{\text{тр}} \geq 1417 \text{ кВА}$, $U_{2\text{н}} \geq 725,352 \text{ В}$, $I_{2\text{н}} \geq 1129,59 \text{ А}$

Выбираем трансформатор типа ТРМП-3200/6УХЛ1 со следующими параметрами [3]:

Таблица 2.2 – Параметры трансформатора типа ТРМП-3200/6УХЛ1

Номинальная мощность сетевой обмотки	кВ·А	2440
Номинальная частота сети	Гц	50
Номинальное напряжение сетевой обмотки	В	6000
Номинальный ток сетевой обмотки	А	235
Номинальное напряжение вентильной обмотки	В	767
Сопротивление фазы сетевой обмотки при 20 С°	Ом	0,087
Сопротивление фазы вентильной обмотки при 20 С°	Ом	0,00264
Потери КЗ при 75 С°	кВт	22,01
Напряжение КЗ при 75 С°	%	6,13
Потери ХХ	кВт	3,9
Ток ХХ	%	0,311
Суммарные потери	кВт	25,91

Расчётные параметры трансформатора:

Фазное напряжение

$$U_{2\phi\phi} = \frac{U_{2н}}{\sqrt{3}} = \frac{767}{\sqrt{3}} = 442,828 \text{ В}$$

Номинальный фазный ток вентильной обмотки:

$$I_{2\phiн} = \frac{P_{2н}}{m_2 \times U_{2\phi\phi}} = \frac{2440000}{3 \times 442,828} = 1837 \text{ А}$$

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора:

$$Z_{\text{фрасч}} = \frac{U_{\text{кз}} \% \times U_{2н}}{100 \times I_{2\phi\phi}} = \frac{6,3 \times 667}{\sqrt{3} \times 100 \times 1837} = 0,013 \text{ Ом},$$

где $U_{\text{кз}}\%$ - относительное напряжение сквозного короткого замыкания трансформатора;

$I_{2\phiн}$ - номинальный ток вентильной обмотки;

$U_{2н}$ - номинальное напряжение вентильной обмотки.

Тогда индуктивность обмотки фазы трансформатора, пренебрегая её активным сопротивлением ($X_{\text{фрасч}} = Z_{\text{фрасч}}$):

$$L_{\text{тр.ф}} = \frac{X_{\text{тр.ф}}}{\omega_c} = \frac{0,013}{314} = 4,14 \times 10^{-5} \text{ Гн}$$

2.4 Выбор и расчет параметров тиристорного преобразователя двигателя

Условиями выбора преобразователя являются:

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

По параметрам двигателя:

$$U_{\text{дн}} = 800 \text{ В}; \quad I_{\text{дн}} \geq 1320 \text{ А}; \quad I_{\text{дммакс}} \geq 3960 \text{ А}$$

выбираем преобразователь со следующими параметрами:

- преобразователь реверсивный;

трехфазная мостовая схема выпрямления ($m_v=6$, $k_u=0,428$);

$$U_{\text{дн}} = 800 \text{ В};$$

$$I_{\text{дн}} = 1320 \text{ А};$$

$$I_{\text{дммак}} = 3960 \text{ А.}$$

Определение параметров тиристорного преобразователя

Схема выпрямления трехфазная мостовая.

Число фаз (пульсов) $m_B = 6$.

Коэффициент схемы выпрямления по напряжению; $k_{U2} = 0,428$.

Эквивалентное сопротивление от коммутации анодных токов

$$R_k = \frac{m_B \times X_{\text{тр.ф}}}{2 \times p} = \frac{6 \times 0,013}{2 \times 3,14} = 0,012 \text{ Ом.}$$

Управление преобразователем – раздельное.

Углы управления

- начальный $a_{\text{нач}} = 120^\circ$,
- минимальный $a_{\text{мин}} = 10^\circ$.

Опорное напряжение $U_{\text{оп.макс}} = 10 \text{ В.}$

Максимальное значение напряжения управления на входе СИФУ

$$U_{\text{у макс}} = 2 \times U_{\text{оп.макс}} \times \frac{a_{\text{нач}} - a_{\text{мин}}}{180} = 10 \times 2 \times \frac{120 - 10}{180} = 12,22 \text{ В.}$$

Коэффициент передачи управляющего органа на входе СИФУ

$$k_{\text{yo}} = \frac{U_{\text{у макс}}}{U_{\text{оп.макс}}} = \frac{12,22}{10} = 1,222.$$

Средневыпрямленная ЭДС при $a = 0^\circ$

$$E_{d0} = k_{\text{сх}} \times U_{\text{с.л}} = 1,35 \times 767 = 1035 \text{ В};$$

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{\text{тп макс}} = \frac{\rho \times k_{\text{yo}} \times E_{d0}}{2 \times U_{\text{оп.макс}}} = \frac{3,14 \times 1,222 \times 1035}{2 \times 10} = 198,569.$$

Максимальное значение ЭДС

$$E_{\text{тп макс}} = E_{d0} \times \cos a_{\text{мин}} = 1035 \times \cos 10^\circ = 1019 \text{ В.}$$

Постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{тп}} = \frac{0,5}{m_B \times f_c} = \frac{0,5}{6 \times 50} = 0,00167 \text{ рад/с.}$$

2.5 Определение параметров силовой цепи

Сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{дв} + 2 \times R_{тр} + R_k + 0.1 \times R_{дв} = \\ = 9,957 \times 10^{-3} + 2 \times 0,00264 + 0,012 + 0,1 \times 9,957 \times 10^{-3} = 0,028 \text{ Ом}$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + 2 \times L_{тр.ф} = 5,788 \times 10^{-4} + 2 \times 3,503 \times 10^{-5} = 6,5 \times 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи привода

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{6,5 \times 10^{-4}}{0,028} = 0,024 \text{ с.}$$

Максимально допустимый ток электропривода

$$I_{эп \text{ макс}} = I_{дв. \text{ макс}} = 3960 \text{ А.}$$

Оценим ширину области прерывистого тока и величину пульсации тока двигателя при выбранных параметрах силовой цепи.

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{дггрмак} = \frac{K_{гр.макс} \times E_{d0}}{w_c \times L_{яц}} = \\ = \frac{0,093 \times 1035}{314 \times 6,5 \times 10^{-4}} = 471,607 \text{ А,}$$

$$\text{где } K_{грмакс} = 1 - \frac{\rho}{m_\phi} \times \operatorname{ctg} \frac{\rho}{m_\phi} = 1 - \frac{3,14}{6} \times \operatorname{ctg} \frac{3,14}{6} = 0,093;$$

Что в относительных единицах составляет

$$\frac{I_{дггрмак}}{I_{двн}} = \frac{471,607}{1320} = 0,35.$$

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

$$P(1)\% = \frac{E_{d0} \times 100}{m_\phi \times w_c \times I_n \times L_{яц}} = \frac{250,922 \times 100}{6 \times 314 \times 1320 \times 6,5 \times 10^{-4}} = 15,523\%,$$

$$\text{где } E_{d1\max} = \frac{E_{d0} \times \sqrt{2} \times m_e}{\omega_e^2 - 1} = \frac{1035 \times \sqrt{2} \times 6}{36 - 1} = 250,922 \text{ В}$$

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

Величина пульсаций тока двигателя при угле управления $\alpha = 10^\circ$ (минимальное значение)

$$P(1)\% = \frac{E_{d1\max} \times 100}{m_e \times \omega_c \times I_H \times L_{яц}} = \frac{59,961 \times 100}{6 \times 314 \times 320 \times 6.5 \times 10^{-4}} = 3,709\%$$

$$E_{d1\max} = \frac{E_{d0} \times \sqrt{2} \times m_e \times \cos(\alpha)}{\omega_e^2 - 1} \times \sqrt{1 + 6^2 \times \sin^2(\alpha)}$$

где

$$= \frac{1035 \times \sqrt{2} \times 6 \times \cos(10^\circ)}{36 - 1} \times \sqrt{1 + 6^2 \times \sin^2(10^\circ)} = 59,961 \text{ В}$$

- действующее значение первой гармоники выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 10^\circ$.

Построены электромеханические характеристики системы ТП – Д, представленные на рисунке 2.5 (показаны характеристики в первом и четвёртом квадрантах).

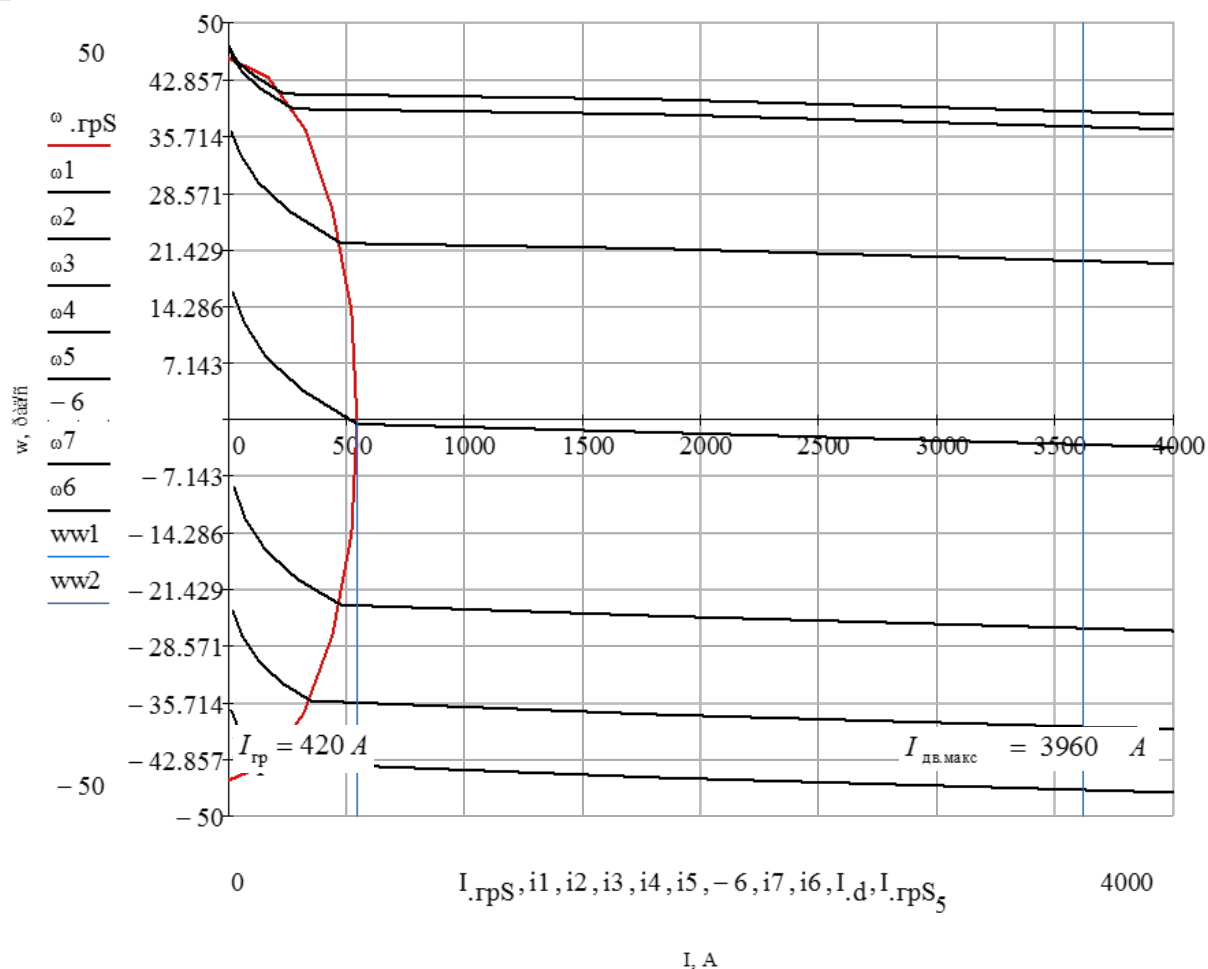


Рисунок 2.5 – Электромеханические характеристики системы ТПЯ – Д

2.6 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя

Регулирование во второй зоне (от 1000 до 1500 об/мин) осуществляется изменением тока (потока) возбуждения для этого предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления.

Принципиальная электрическая схема тиристорного возбудителя двигателя подъемной лебедки приведена на рисунке 2.6.

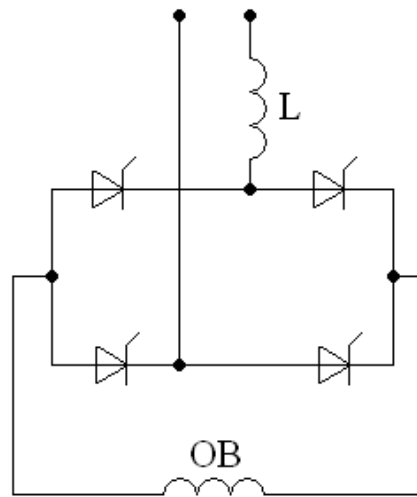


Рисунок 2.6 – Схема тиристорного возбудителя

Кривая намагничивания двигателя представлена на рисунке 2.7.

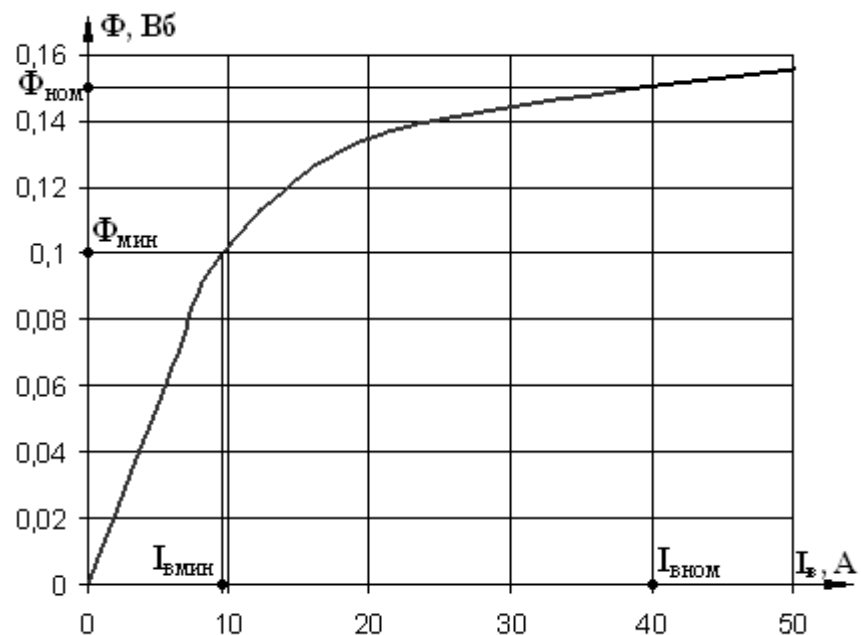


Рисунок 2.7 - Кривая намагничивания двигателя

Сопротивление обмотки возбуждения при рабочей температуре:

$$R_{в.гор} = 1,38 \times R_{в} = 1,38 \times 5,35 = 7,383 \text{ Ом}$$

Усреднённое значение индуктивности:

$$L_{в} = 2 \times p \times W_{в} \times \frac{D\Phi}{DI_{в}} = 2 \times 4 \times 329 \times \frac{0,05}{30,5} = 4,315 \text{ Гн}$$

где $D\Phi = \Phi_{ном} - \Phi_{мин} = 0,15 - 0,1 = 0,05 \text{ Вб}$

по рисунку $I_{вном} = 40 \text{ А}$, $I_{вмин} = 9,5 \text{ А}$

$$DI_{в} = I_{вн} - I_{вмин} = 40 - 9,5 = 30,5 \text{ А};$$

W_B – число витков на полюс

Индуктивность потока рассеяния

$$L_s = 2 \times p \times W_B \times \frac{\Phi_n \times (s - 1)}{I_{BH}} = 2 \times 4 \times 329 \times \frac{0,15 \times (1,18 - 1)}{40} = 1,777 \text{ Гн}$$

Номинальное напряжение обмотки возбуждения двигателя

$$U_{BH} = I_{BH} \cdot R_{B\text{гор}} = 40 \cdot 7,383 = 295,32 \text{ В.}$$

Требуемое напряжение однофазной сети

$$U_c = \frac{K_{u2} \times U_{BH}}{\cos a_{\min}} = \frac{1,11 \times 295,32}{\cos 30^\circ} = 378,459 \text{ В.}$$

Принимаем номинальное напряжение однофазной сети возбудителя

$$U_{CH} = U_L = 380 \text{ В.}$$

Необходимое значение сопротивления токоограничивающего реактора

$$Z_{pv} = \frac{U_{K3} \times U_{\phi n}}{100 \times I_{\phi \text{расч}}} = \frac{5,5 \times 380}{100 \times 48,84} = 0,428 \text{ Ом,}$$

где $I_{\phi \text{расч}} = K_{i\phi} \times K_i \times I_{BH} = 1,11 \times 1,1 \times 40 = 48,84 \text{ А}$ - расчетный ток

возбудителя, потребляемый из сети;

$U_{K3} = 5,5\%$ -напряжение К.З. реактора.

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

$$X_{\phi \text{расч}} = Z_{pv} = 0,428 \text{ Ом,}$$

$$L_{\phi \text{расч}} = \frac{X_{\phi \text{расч}}}{\omega_c} = \frac{0,428}{314} = 1,362 \times 10^{-3} \text{ Гн}$$

где $\omega_c = 2\pi \times f_c = 2 \times 3.14159 \times 50 = 314 \text{ рад/с.}$

Принимаем значения углов управления возбудителем $a_{\min} = 30^\circ$,

$a_{\text{нач}} = 150^\circ$, $a_{\text{макс}} = 180^\circ$.

Среднее значение ЭДС возбудителя при угле управления $a = 0^\circ$

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

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного возбудителя

$$K_{ув\max} = \frac{\rho \times E_{доо}}{U_{y\max}} \times \frac{a_{нач} - a_{мин}}{180^0} = \frac{3,14 \times 342}{10} \times \frac{150^0 - 30^0}{180^0} = 71,5.$$

Регулировочная характеристика возбудителя имеет вид (см. рисунок 2.8)

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

Постоянная времени тиристорного возбудителя

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

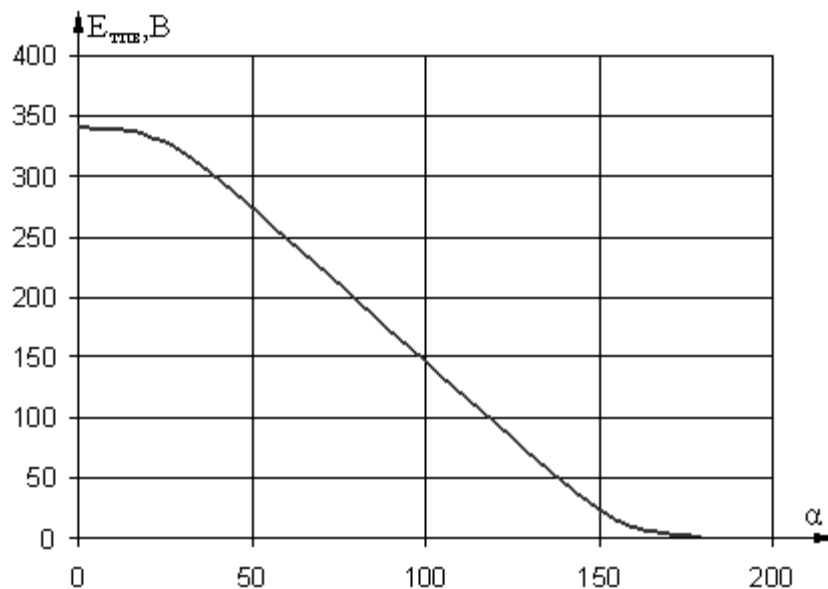


Рисунок 2.8 – Регулировочная характеристика возбудителя

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$K_{дмс} = \frac{U_{ддтв\max}}{I_{ддв}} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ В/А.}$$

2.7 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

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

$$R_{цв} = R_{вгор} + 0,1R_{вгор} = 7,383 + 0,1 \cdot 7,383 = 8,121 \text{ Ом.}$$

Постоянная времени основного потока обмотки возбуждения

$$T_{\sigma} = \frac{L_{\sigma}}{R_{цв}} = \frac{4,315}{8,121} = 0,531 \text{ с,}$$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения

$$T_S = \frac{L_S + L_{mnв}}{R_{цв}} = \frac{1,777 + 0,005}{8,121} = 0,219 \text{ с,}$$

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_K \approx 0,1 T_{\sigma} = 0,053 \text{ с.}$$

2.8 Определение области допустимой работы электропривода подъемной лебедки

Характеристики рассчитываются при пониженном напряжении сети, то есть при $k_{Uc} = 0.9$.

Работа электропривода в I и III квадрантах

Машина работает в двигательном режиме, преобразователь работает в выпрямительном режиме (угол управления $\alpha < 90^\circ$).

Минимальный угол управления преобразователем находится из условия обеспечения максимальной скорости электропривода $\omega_{\text{ЭП макс}}$ при номинальном токе двигателя $I_{\text{дв.н}}$ [1]

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos \frac{\omega_{\text{ЭП макс}} + I_{\text{дв.н}} \cdot R_{яц}}{k_{Uc} \cdot E_{d0}} \\ \alpha_{\text{мин}} \approx \arccos \frac{7,514 \cdot 104,712 + 1320 \cdot 0,027}{0,9 \cdot 1035} = 24,0^\circ.$$

Принимаем $\alpha_{\text{мин}} = 24^\circ$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП – Д при $\alpha_{\text{мин}}$

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{C} (k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{яц} \cdot I_{\text{я}}).$$

Расчеты сводим в таблицу 2.3:

Таблица 2.3 – Расчет электромеханической характеристики при $\alpha_{\min} = 24^\circ$

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$I_{\text{дв.н}} = 1320 \text{ А}$	$I_{\text{эп макс}} = 3960 \text{ А}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	98.538	93.794	84.308

Работа электропривода во II и IV квадрантах.

Электрическая машина работает в генераторном режиме (режим рекуперативного торможения)

Предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{C} \times (k_{Uc} \times E_{d0} \times \cos d + (R_{\text{тп}} - R_{\text{ц.дв}}) \times I_{\text{я}}),$$

где $R_{\text{тп}} = 2 \times R_{\text{р.ф}} + R_{\text{к}} = 2 \times 0.00264 + 0.011 = 0,016 \text{ Ом}$,

$R_{\text{ц.дв}} = R_{\text{яц}} - R_{\text{тп}} = 0,027 - 0,016 = 0,011 \text{ Ом}$,

принимая $d = 5^\circ$.

Результаты расчеты сводим в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Предельная характеристика безопасного инвертирования

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$I_{\text{дв.н}} = 1320 \text{ А}$	$I_{\text{эп макс}} = 3960 \text{ А}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	107,433	102.7	93.213

Максимальный угол управления преобразователем при работе в инверторном режиме:

$$\alpha_{\text{макс}} = \arccos \frac{2 \times R_{\text{тп}} \times I_{\text{эп макс}}}{C \times k_{Uc} \times E_{d0}} - \cos d = \arccos \frac{2 \times 0,016 \times 3960}{0.9 \times 1035} - \cos 5^\circ = 147,1^\circ.$$

Принимаем $\alpha_{\text{макс}} = 147,1^\circ$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП – Д при угле управления $\alpha_{\text{макс}}$

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{C} \times (-k_{Uc} \times E_{d0} \times \cos \alpha_{\text{макс}} - R_{\text{яц}} \times I_{\text{я}}).$$

Расчеты сводим в таблицу 2.5

Таблица 2.5 –Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП-Д

$I_{я}, A$	0	$I_{дв.н} = 1320 A$	$I_{эп макс} = 3960 A$
$\omega, \frac{рад}{с}$	90.501	85.758	76.272

Рассмотрим систему ТП-Д при пониженном значении потока возбуждения.

Электромеханическая характеристика системы ТП – Д при $\alpha_{мин}$

$$\omega(I_{я}) = \frac{1}{K \times \Phi_{мин}} \times (k_{Uc} \times E_{d0} \times \cos \alpha_{мин} - R_{яц} \times I_{я}).$$

Расчеты сводим в таблицу 2.6

Таблица 2.6 – Расчет электромеханической характеристики при $\alpha_{мин} = 12.7^\circ$ при пониженном значении потока возбуждения

$I_{я}, A$	0	$I_{дв.н} = 1320 A$	$I_{эп макс} = 3960 A$
$\omega, \frac{рад}{с}$	145.251	138.818	125.951

Работа электропривода во II и IV квадрантах.

Предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega(I_{я}) = \frac{1}{K \times \Phi_{мин}} \times (k_{Uc} \times E_{d0} \times \cos d' + (R_{тп} - R_{ц.дв}) \times I_{я}),$$

Результаты расчеты сводим в таблицу 2.7

Таблица 2.7 – Предельная характеристика безопасного инвертирования при пониженном значении потока возбуждения

$I_{я}, A$	0	$I_{дв.н} = 1320 A$	$I_{эп макс} = 3960 A$
$\omega, \frac{рад}{с}$	145.726	144.535	142.152

Электромеханическая характеристика системы ТП – Д при угле управления $\alpha_{макс}$

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \times (-k_{\text{Ус}} \times E_{d0} \times \cos \alpha_{\text{макс}} - R_{\text{яц}} \times I_{\text{я}}).$$

Расчеты сводим в таблицу 2.8

Таблица 2.8 – Электромеханическая характеристика системы ТП-Д при пониженном значении потока возбуждения

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$I_{\text{дв.н}} = 1320 \text{ А}$	$I_{\text{эл макс}} = 3960 \text{ А}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	122.749	129.182	142.048

По таблицам строим характеристики системы преобразователь – двигатель, представленный на рисунке 2.9.

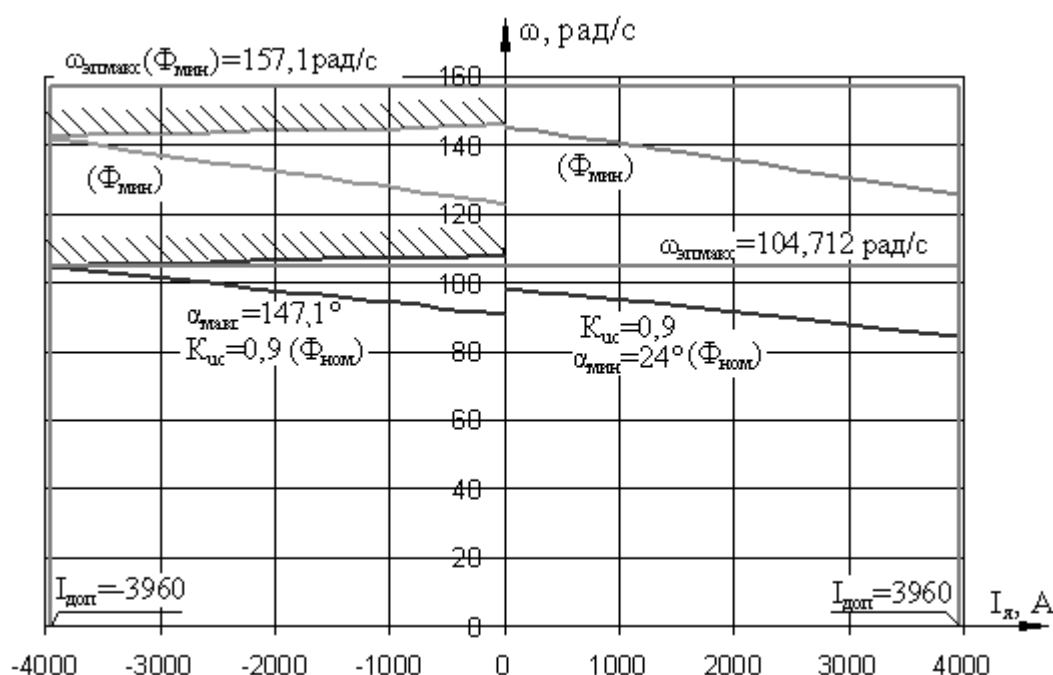


Рисунок 2.9 – Область допустимой работы электропривода подъемной лебедки

2.9 Структурная схема силового канала электропривода подъемной лебедки

Структурная схема системы двухзонного регулирования скорости электропривода лебёдки приведена на рисунке 2.10.

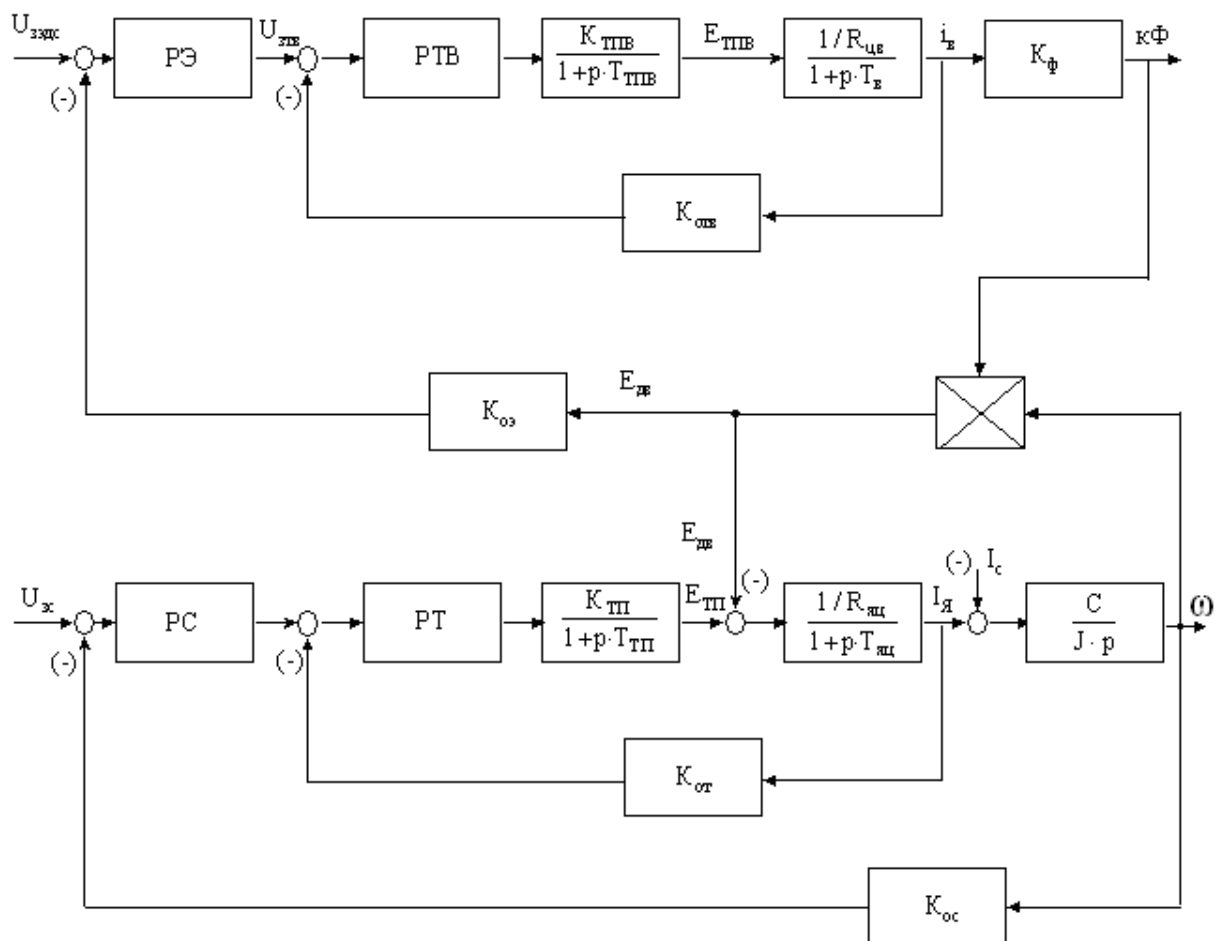


Рисунок 2.10 – Структурная схема системы двухзонного регулирования скорости электропривода лебёдки

Параметры элементов схемы сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Параметры структурной схемы силового канала электропривода

$U_{зс}$	$k_{ТП}$	$T_{ТП}$	$R_{яц}$	$T_{яц}$	c	J	$K_{от}$	$K_{ос}$	$K_{ф}$
В	с	с	Ом	с	$\frac{В \cdot с}{рад}$	кг·м ²			
±10	198,569	0,00167	0,028	0,024	7,514	75,808	0,002525	0,096	0,188

Продолжение таблицы 2.9

$U_{зэдс}$	$k_{ТПВ}$	$T_{ТПВ}$	$R_{цв}$	$T_{в}$	$K_{отв}$	$K_{оэ}$
В	с	с	Ом	с		
±10	71,5	0,005	8,121	0,531	0,25	0,013

Коэффициент обратной связи по току: $K_{от} = \frac{U}{I_{я}} = \frac{10}{3 \times I_{н}} = \frac{10}{3960} = 2,525 \times 10^{-3}$

Коэффициент обратной связи по скорости: $K_{ос} = \frac{10}{W_{н}} = \frac{10}{104,7} = 0,096$

Коэффициент обратной связи по току возбуждения: $K_{отб} = \frac{10}{I_{BH}} = \frac{10}{40} = 0,25$

Коэффициент обратной связи по ЭДС: $K_{оэ} = \frac{10}{W_{н} \times C} = \frac{10}{104,7 \times 7,514} = 0,013$

Коэффициент передачи по потоку: $K_{\phi} = \frac{C}{I_{BH}} = \frac{7,514}{40} = 0,188$

3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ

3.1 Функциональная схема электропривода подъемной лебедки

Функциональная схема электропривода подъемной лебедки представлена на рисунке 3.1.

Для обеспечения автоматического изменения установившейся скорости привода (при подъеме и спуске) в зависимости от веса колонны предусмотрено устройство регулирования (точнее - ограничения) сигнала задания скорости двигателя в определенной зависимости от сигнала датчика веса ДВ, кратко - «регулятор мощности» (РМ); (10В соответствует 255 тс (2250 кН))

Задание скорости подъема (спуска) $U_{\text{зад}}$ поступает от потенциометрического командоаппарата ВС-Л, далее сигнал поступает на основной вход узла ограничения задания скорости УО. На второй вход УО поступает сигнал ограничения задания скорости от веса инструмента, формирующийся в функциональном преобразователе ФП, на вход которого поступает сигнал от датчика веса ДВ.

Схема действует таким образом, что с увеличением веса сигнал задания скорости $U_{\text{зс}}$ автоматически уменьшается, благодаря чему обеспечивается требуемая грузоподъемная характеристика с постоянством мощности на рабочем участке.

На третий вход УО поступают еще сигналы ограничения скорости спуска и подъема от конечного выключателя «Талевый блок выше 24 м» и «Талевый блок ниже 5 м», ограничивая скорость спуска и подъема величиной не более 0,75 м/с.

Сформированный описанным образом сигнал $U_{\text{зс}}$ подается на вход задатчика интенсивности ЗИ. Далее выходной сигнал $U_{\text{зи}}$ поступает на задающий вход РС. На другой вход РС подается сигнал обратной связи по

скорости $U_{\text{осс}}$, который снимается с тахогенератора двигателя лебедки ТГ-МЛ.

На выходе РС имеется узел ограничения задания тока УОТЯ, выходной сигнал которого $U_{\text{зтя}}$ является сигналом задания тока якоря. С помощью узла УОТЯ ограничивается максимальный (стопорный) ток якоря. Величина ограничения должна быть различной для условий работы двигателя в различных квадрантах механической характеристики. Поэтому требуемая величина сигнала $U_{\text{отя}}$, управляющего узлом УОТЯ, устанавливается автоматически в зависимости от номера квадранта, который определяется логическим узлом определения квадранта УОК.

В зависимости от номера квадранта, узел выбора ограничения момента УВОМ обеспечивает четыре значения сигнала $U_{\text{отя}}$. Узел УВОМ - это переключающее устройство, задающее различные величины ограничения в зависимости от работы в том или ином квадранте в соответствии с уставками. Выходной сигнал УВОМ через функциональный преобразователь $U_{\text{отя}} = f(M)$, где значение момента вычисляется с учетом потока Φ двигателя ($\Phi_{\text{выч}}$) поступает на вход УОТЯ.

Выходной сигнал УОТЯ, т.е. сигнал задания тока $U_{\text{зтя}}$, через устройство выделения модуля УВМ, поступает на задающий вход регулятора тока якоря РТЯ. Сигнал, пропорциональный току якоря снимается с трансформаторов тока ТА1, ТА2, установленных на силовом входе ТП, поступает на вход датчика тока якоря ДТЯ, где формируется сигнал обратной связи по току $U_{\text{остя}}$. Этот сигнал подается на второй вход РТЯ.

Выходной сигнал РТЯ $U_{\text{ртя}}$ поступает на вход узла ограничения угла управления УОУ, в которое вводятся ограничения по углам управления α_{min} и α_{max} . Выходной сигнал узла УОУ является управляющим напряжением $U_{\text{упр}}$ для системы импульсно-фазового управления (СИФУ) силового тиристорного преобразователя ТП. Выбор тиристорной группы ТП «Вперед» или «Назад» осуществляется автоматически в зависимости от знака $U_{\text{зтя}}$.

Контур регулирования ЭДС является составной частью САР двухзонного регулирования и состоит из датчика ЭДС ДЭ, регулятора ЭДС РЭ, узла ограничения тока возбуждения УОТВ и регулятора тока возбуждения РТВ.

На задающий вход РЭ подается сигнал задания номинальной ЭДС $U_{\text{ном}}$. Датчик ЭДС формирует сигнал, пропорциональный ЭДС двигателя, согласно уравнению: $E_{\text{дв}} = U_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$. С выхода ДЭ сигнал $U_{\text{дэ}}$, пропорциональный фактической ЭДС, подается на второй вход РЭ.

Выходное напряжение РЭ $U_{\text{рэ}}$ через устройство ограничения тока возбуждения УОТВ подается на вход регулятора тока возбуждения РТВ, являясь заданием регулируемого тока возбуждения. На второй вход РТВ поступает сигнал обратной связи от датчика тока возбуждения ДТВ $U_{\text{дтв}}$. Сигнал выхода РТВ $U_{\text{рत्व}}$ является сигналом управления для СИФУ ТВ.

При работе электропривода лебедки на скоростях ниже номинальной сигнал на выходах УОТВ и РТВ постоянен, и регулятор РТВ работает в режиме стабилизации номинального тока возбуждения.

После того как достигается номинальное напряжение якоря и продолжается увеличение задающего сигнала и скорости, напряжение на якоре, а соответственно и ЭДС двигателя несколько возрастают, и при этом ЭДС начинает превышать заданное значение. Тогда вступает в действие регулятор РЭ и уменьшает ток возбуждения, в результате чего возрастает скорость двигателя.

Увеличение задания на входе РС практически полностью компенсируется увеличением сигнала обратной связи по скорости, и при возрастании скорости от номинальной до максимальной, напряжение на якоре двигателя остается постоянным (номинальным).

Тахогенератор ТГЛ в системе САР выдает сигнал в систему защиты на аварийное отключение ТП при превышении максимальной скорости лебедки.

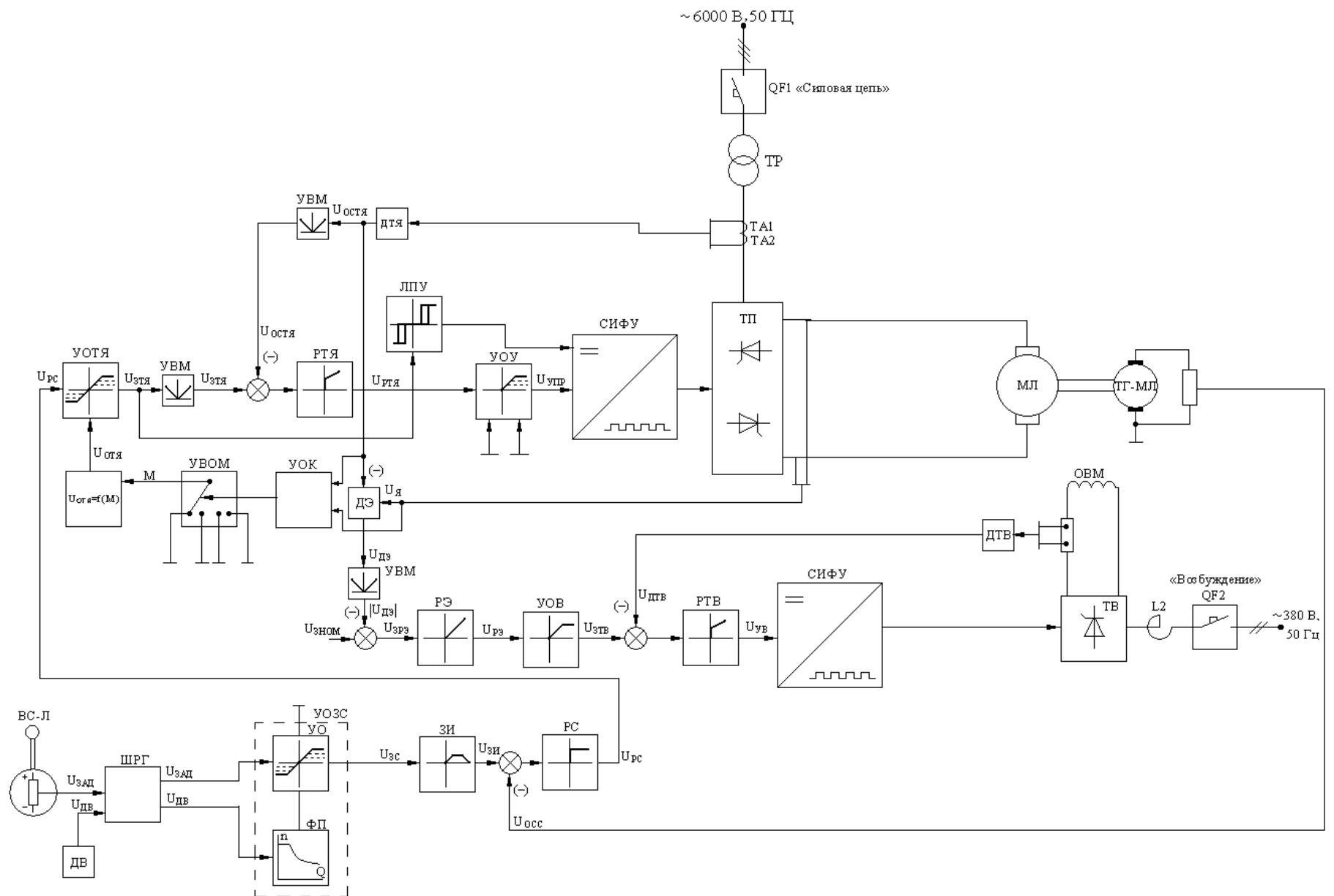


Рисунок 3.1 – Функциональная схема САР лебёдки

3.2 Структурная схема САР скорости электропривода подъемной лебедки

Структурная схема линейризованной САР скорости электропривода подъемной лебедки приведена на рисунке 3.2.

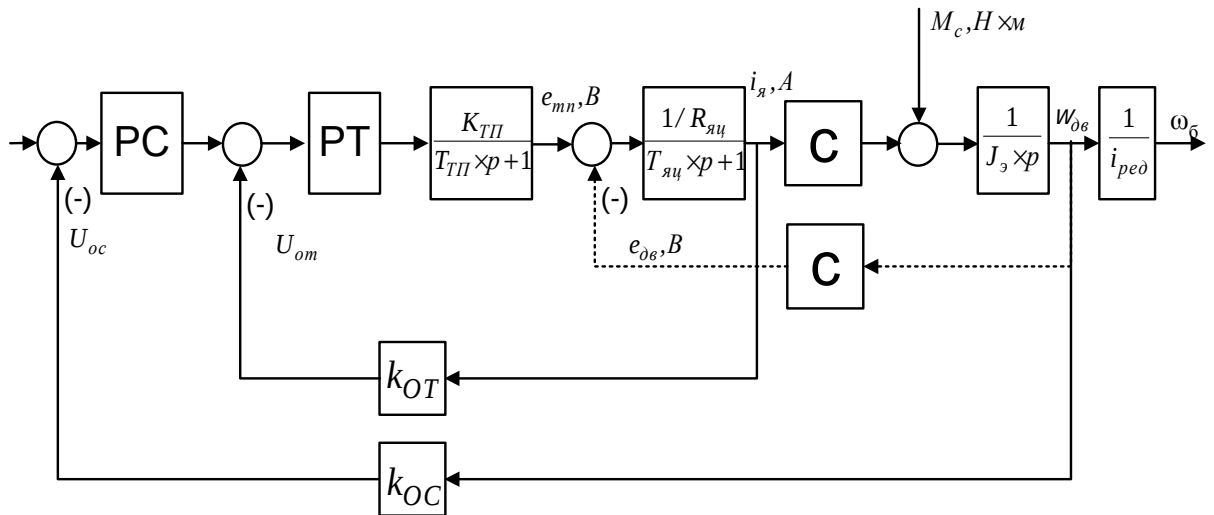


Рисунок 3.2 – Структурная схема САР скорости электродвигателя привода подъемной лебедки

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема контура приведена на рисунке 3.3, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя. Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными $T_{яц} = 0.024$ с и $T_{тп} = 0.00167$ с. Отношение $\frac{T_{яц}}{T_{тп}} = \frac{0.024}{0.00167} = 14,371$ значительно больше единицы, следовательно принимаем:

- $T_m = T_{тп} = 0.00167$ с - малая постоянная времени контура;

- $T_{яц} = 0.024 \text{ с}$ - большая постоянная времени контура, которую следует компенсировать.

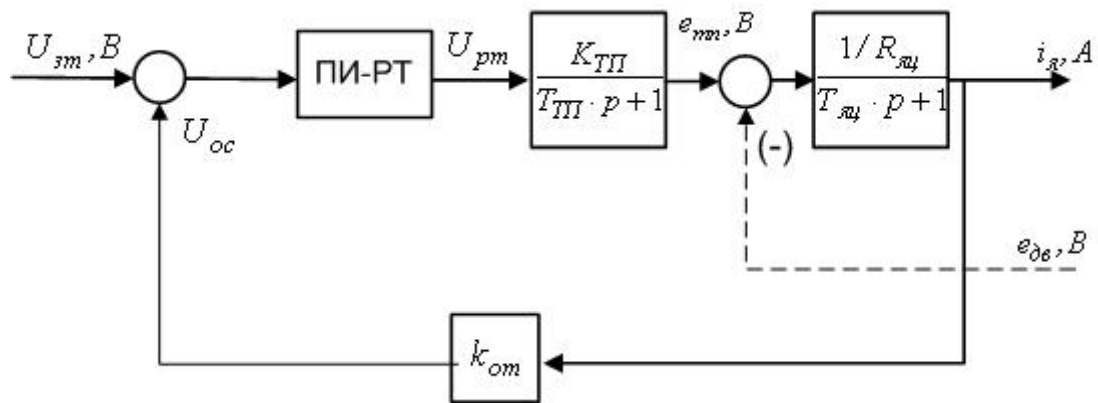


Рисунок 3.3 – Структурная схема контура тока

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

$$W_{рт}(p) = k_{рт} \times \frac{T_{рт} \times p + 1}{T_{рт} \times p},$$

где $T_{рт} = T_{яц} = 0.024 \text{ с}$ - постоянная времени регулятора;

$$k_{рт} = \frac{T_{яц} \times R_{яц}}{k_{тп} \times k_{т} \times a_{т} \times T_{м}} = \frac{0,024 \times 0,028}{172,755 \times 2,525 \times 10^{-3} \times 2 \times 0.00167} = 0,445 \quad - \quad \text{коэффициент}$$

усиления регулятора;

$k_{т} = k_{от} = 2,525 \times 10^{-3}$ - коэффициент обратной связи по току;

$U_{зт.макс}$ - максимальное напряжение задания на ток;

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

Произведём расчёт логарифмических амплитудо- и фазочастотных характеристик.

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W_{т.раз}(p) = \frac{1}{a_{т} \times T_{м} \times p \times (T_{м} \times p + 1)} = \frac{1}{2 \times 0.00167 \times p \times (0.00167 \times p + 1)} =$$

$$= \frac{1}{5.577 \times 10^{-6} \times p^2 + 3.34 \times 10^{-3} \times p}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока якоря

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{1/k_T}{a_T \times T_m \times p \times (T_m \times p + 1) + 1} = \frac{1/0,002525}{2 \times 0,00167 \times p \times (0,00167 \times p + 1)} =$$

$$= \frac{396,04}{5,577 \times 10^{-6} \times p^2 + 3,34 \times 10^{-3} \times p + 1}.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование,

$t_{\text{py1}}^{(5)} = 4,1 \times T_m = 4,1 \times 0,00167 = 0,006847$ - время первого согласования, с,

$t_{\text{py2}}^{(5)} = 4,1 \times T_m = 4,1 \times 0,00167 = 0,006847$ - время переходного процесса, с,

при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_{\Pi}^M = \omega_{\Pi}^{\Phi} = 0,71/T_m = 0,71/0,00167 = 425,15$ рад/с – полоса пропускания по модулю и фазе или

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

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

Расчёт ЛАЧХ производился при помощи программы Матлаб

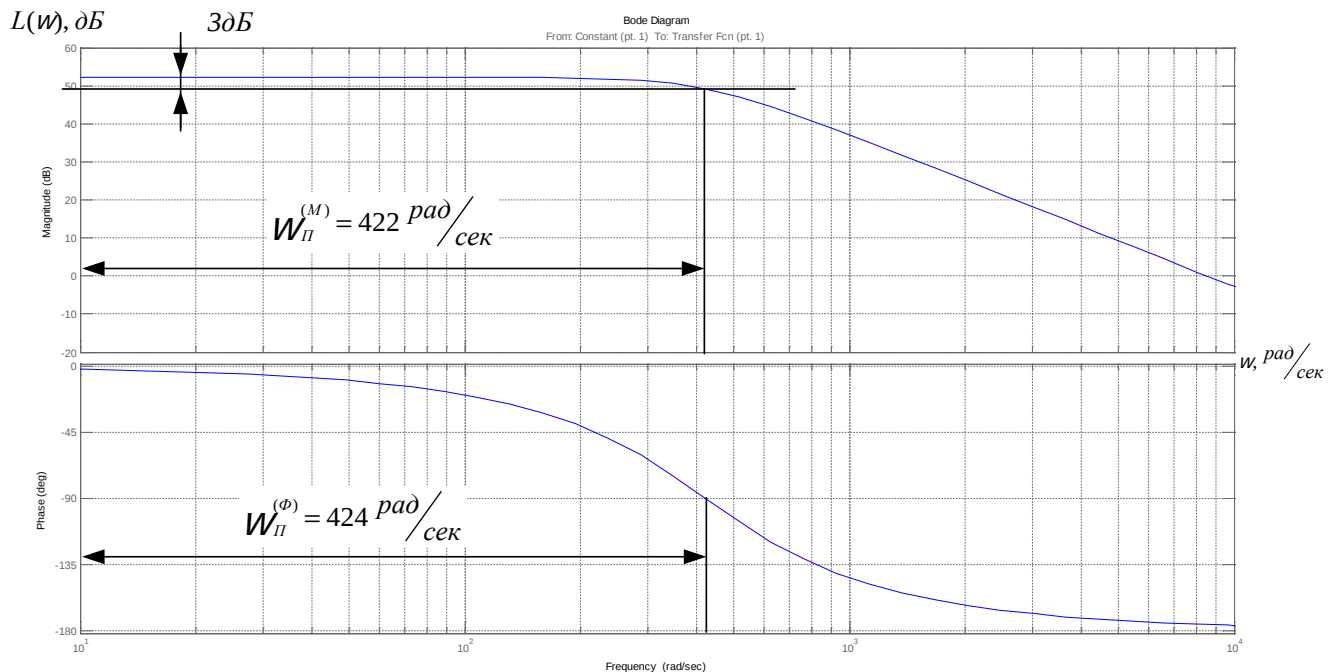


Рисунок 3.5 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура тока, настроенного на МО

3.2.2 Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 3.7.

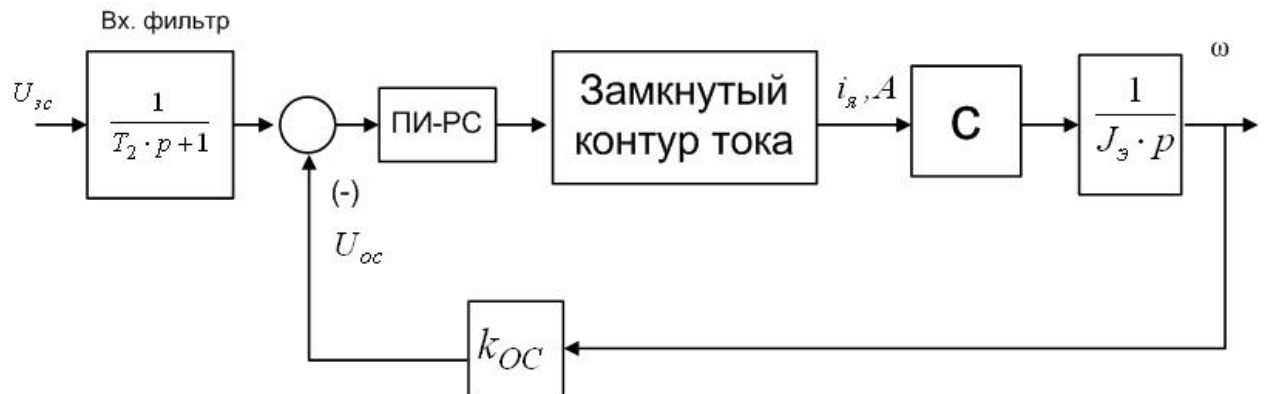


Рисунок 3.7 – Структурная схема контура скорости

Параметры элементов контура

Контур скорости настраиваем на МО. С учетом параметров контура выбираем П – регулятор с передаточной функцией

$$W_{pc}(p) = k_{pc} = \frac{J_3 \times \kappa_T}{c \times \kappa_c} \times \frac{1}{a_c \times a_T \times T_m} = \frac{75,808 \times 2,525 \times 10^{-3}}{7,514 \times 0,096} \times \frac{1}{2 \times 2 \times 0,00167} = 39,724,$$

где k_{pc} – коэффициент усиления регулятора;

$a_c = 2$ – коэффициент оптимизации контура скорости по МО;

$T_m = a_T \times T_{np} = 0,00334$ с – малая постоянная времени регулятора;

Произведём расчёт логарифмических амплитудно- и фазочастотных характеристик.

Передаточные функции контура:

-полная передаточная функция разомкнутого контура скорости

$$\begin{aligned} W_{с.раз}(p) &= \frac{1}{a_c \times a_T \times T_m \times p \times [a_T \times T_m \times p \times (T_m \times p + 1) + 1]} = \\ &= \frac{1}{2 \times 2 \times 0,00167 \times p \times [2 \times 0,00167 \times p \times (0,00167 \times p + 1) + 1]} = \\ &= \frac{1}{3,725 \times 10^{-8} \times p^3 + 2,231 \times 10^{-5} \times p^2 + 6,68 \times 10^{-3} \times p}; \end{aligned}$$

-полная передаточная функция замкнутого контура скорости

$$W_{\text{р.зам}}(p) = \frac{1/k_c}{a_c \times a_t \times T_m \times p \times [a_t \times T_m \times p \times (T_m \times p + 1) + 1] + 1} =$$

$$= \frac{1/0,096}{2 \times 2 \times 0.00167 \times p \times [2 \times 0.00167 \times p \times (0.00167 \times p + 1) + 1] + 1} =$$

$$= \frac{10.41}{3.725 \times 10^{-8} \times p^3 + 2.231 \times 10^{-5} \times p^2 + 6.68 \times 10^{-3} \times p + 1}.$$

Показатели качества работы контура скорости по управлению

$d = 8,1\%$ - перерегулирование,

$t_{\text{py}1}^{(5)} = 7 \times T_{\text{мТ}} = 0,0117$ с – время первого согласования,

$t_{\text{py}2}^{(5)} = 12 \times T_{\text{мТ}} = 0,02$ с – время переходного процесса, при отработке

ступенчатого входного воздействия;

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

пропускания контура по модулю;

$$\omega_{\Pi}^{\phi} = \frac{0,35}{T_{\text{мТ}}} = 209,58 \text{ рад/с или } f_{\Pi}^{\phi} = \frac{\omega_{\Pi}^{\phi}}{2\pi} = \frac{209,58}{2 \times 3,14} = 33,372 \text{ Гц –}$$

полоса пропускания контура по фазе;

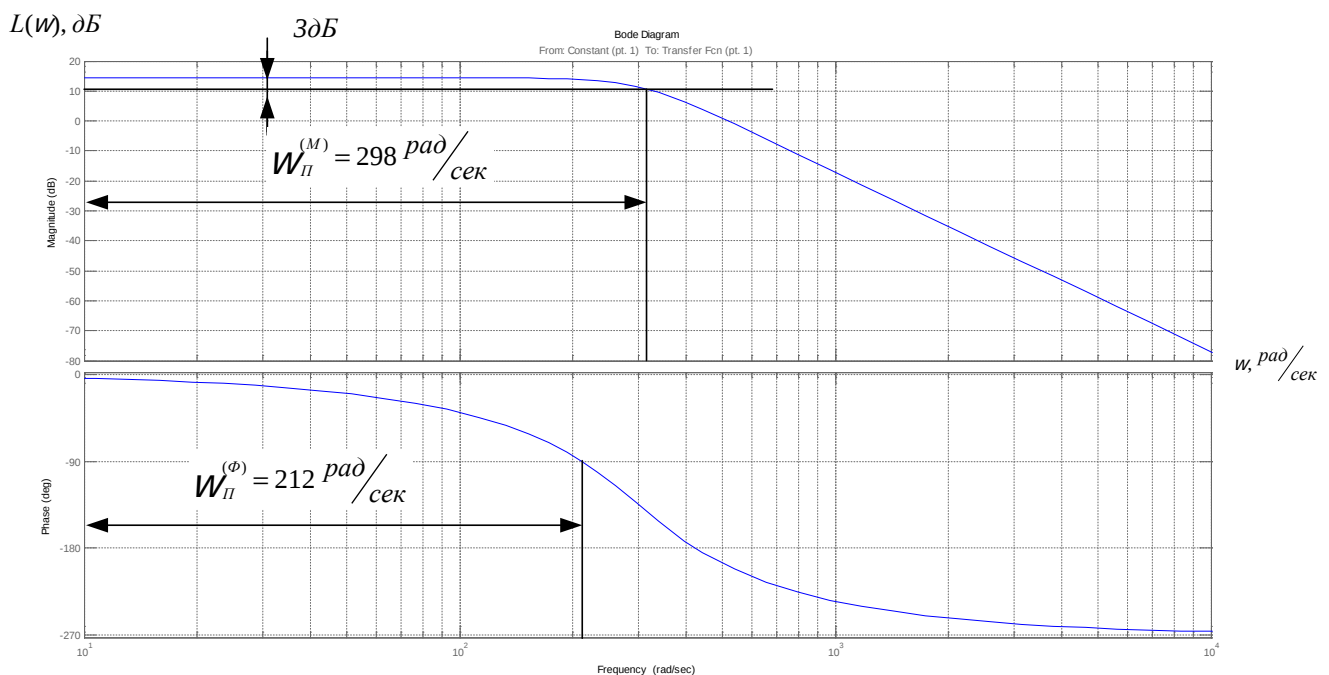


Рисунок 3.9 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура скорости, настроенного на МО

3.3 Структурная схема САР ЭДС двигателя

Структурная схема САР ЭДС двигателя приведена на рисунке 3.11

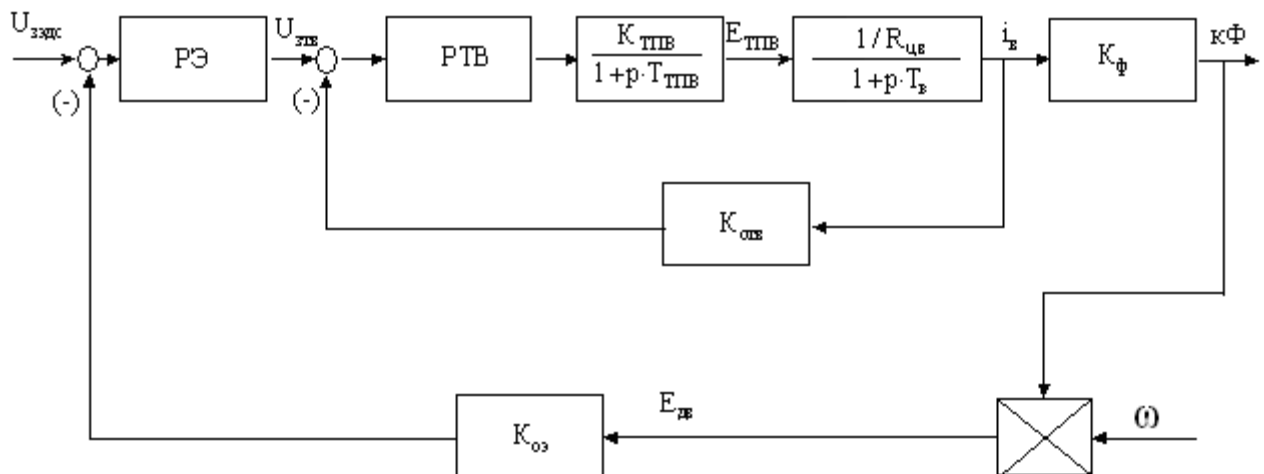


Рисунок 3.11 . Структурная схема САР ЭДС электродвигателя привода подъемной лебедки

3.3.1 Оптимизация контура тока возбуждения двигателя

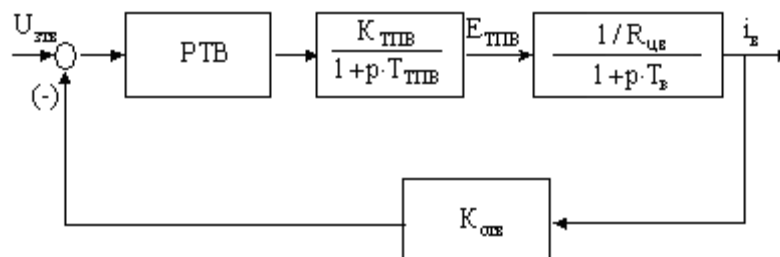


Рисунок 3.12 – Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными

$T_{\varepsilon} = 0.531 \text{ с}$ и $T_{ТПВ} = 0.005 \text{ с}$. Отношение $\frac{T_{\varepsilon}}{T_{ТПВ}} = \frac{0.531}{0.005} = 106,2$ значительно больше

единицы, следовательно принимаем:

- $T_{ТВ} = T_{ТПВ} = 0.005 \text{ с}$ - малая постоянная времени контура;

- $T_{\varepsilon} = 0.531 \text{ с}$ - большая постоянная времени контура, которую следует компенсировать.

Проводим оптимизацию контура на МО с ПИ-РТВ:

$$W(p)_{РТВ} = k_{РТВ} \times \frac{T_{pm} \times p + 1}{T_{pm} \times p},$$

$$\text{где } k_{\text{рТВ}} = \frac{R_{\text{цб}} \times T_{\text{с}}}{K_{\text{млб}} \times K_{\text{омб}} \times a \times T_{\text{млб}}} = \frac{8,121 \times 0,531}{71,5 \times 0,25 \times 2 \times 0,005} = 24,124$$

- коэффициент усиления регулятора;

где $a=2$ – коэффициент оптимизации по МО;

Произведём расчёт логарифмических амплитудно- и фазочастотных характеристик контура.

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{ТВЗАМ}} &= \frac{1}{K_{\text{омб}}} \frac{1}{a \times T_{\text{млб}}^2 \times p^2 + a \times T_{\text{млб}} \times p + 1} = \\ &= \frac{1/0,25}{2 \times 0,005^2 p^2 + 2 \times 0,005 \times p + 1} = \frac{4}{0,00005 \times p^2 + 0,01 \times p + 1} \end{aligned}$$

Показатели качества работы контура:

$d = 4,3\%$ - перерегулирование;

$t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)} = 4,1 \times T_{\text{млб}} = 4,1 \times 0,005 = 0,021 \text{ с}$ – время переходного процесса;

$$\omega^{(\phi)} = \omega^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{\text{пТВ}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0,005} = 141,421 \text{ рад/с}$$

или $f_{\text{п}} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = \frac{141,421}{2 \times 3,14} = 22,519 \text{ Гц}$ – полоса пропускания;

$D_{\text{уст}} = 0$ - установившаяся ошибка отработки заданного значения тока возбуждения.

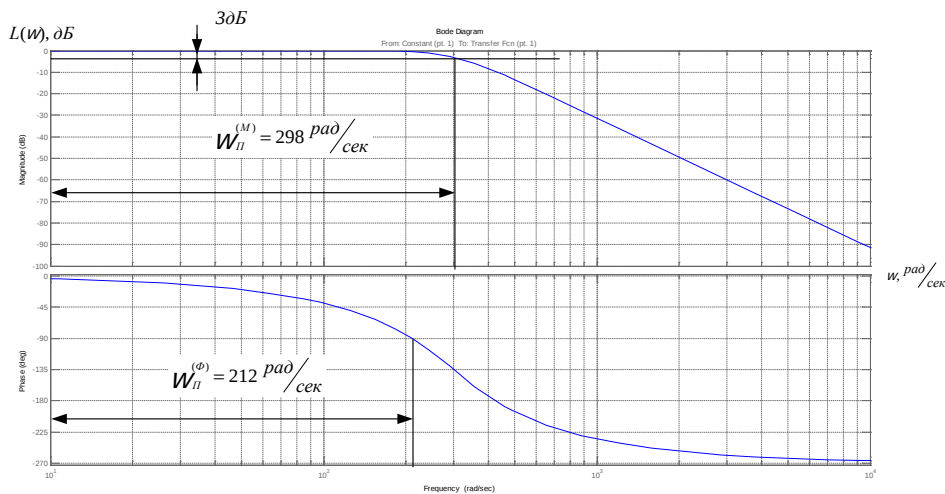


Рисунок 3.14 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура тока возбуждения, настроенного на МО

3.3.2 Оптимизация контура ЭДС



Рисунок 3.16 – Структурная схема контура ЭДС

Проводим оптимизацию контура ЭДС на МО, оптимизированный контур тока возбуждения представлен усеченной до первого порядка передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ТВЗМ}} = \frac{1/K_{\text{ОТВ}}}{T_{\text{ТВ}} \times p + 1},$$

где $T_{\text{ТВ}} = 2T_{\text{мТВ}} = 0.01\text{с}$.

$$\begin{aligned} W_{\text{раз.кэ}}(p) &= W_{\text{РЭ}}(p) \times \frac{1}{2T_{\text{мнБ}} \times p + 1} \times K_{\Phi} \times \frac{1}{K_{\text{ОТВ}}} \times K_{\text{ОЭ}} \times W_{\text{max}} = W_{\text{эс}}(p) = \frac{1}{2 \times T_{\text{м}} \times p \times (T_{\text{м}} \times p + 1)} \\ W_{\text{РЭ}}(p) &= \frac{2T_{\text{мнБ}} \times p + 1}{2 \times T_{\text{м}} \times p \times (T_{\text{м}} \times p + 1)} \times \frac{K_{\text{ОТВ}}}{K_{\Phi} \times K_{\text{ОЭ}} \times W_{\text{max}}} = \frac{2T_{\text{мнБ}} \times p + 1}{4 \times T_{\text{мнБ}} \times p \times (2 \times T_{\text{мнБ}} \times p + 1)} \times \frac{K_{\text{ОТВ}}}{K_{\Phi} \times K_{\text{ОЭ}} \times W_{\text{max}}} = \\ &= \frac{K_{\text{ОТВ}}}{K_{\Phi} \times K_{\text{ОЭ}} \times W_{\text{max}} \times 2 \times T_{\text{мнБ}} \times p} = \frac{0,25}{0,188 \times 0,013 \times 157,1} \times \frac{1}{4 \times 0,005 \times p} = \frac{0,652}{0,02p} \end{aligned}$$

принимаем И – РЭ с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{рэ}} = \frac{K_{\text{РЭ}}}{T_{\text{РЭ}} \times p} = \frac{0,652}{0,02p},$$

Передаточная функция замкнутого контура

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{ЗЗМ}} &= \frac{1/K_{\text{ОЭ}}}{T_{\text{РЭ}} \times p (2 \times T_{\text{мТВ}} \times p + 1) + 1} = \frac{1/0,013}{0,02 \times p (0,01 \times p + 1) + 1} = \\ &= \frac{76,923}{0,0002p^2 + 0,02p + 1} \end{aligned}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура ЭДС;

$\delta = 4.3\%$ - перерегулирование,

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = t_{\text{пу2}}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\text{ТВ}} = 4.1 \cdot 0.01 = 0.041\text{с}$$

$$w_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0.01} = 70,71 \text{ рад/с}$$

или
$$f_{\Pi}^{(\Phi\Phi)} = f_{\Pi}^{(MM)} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{70,71}{2 \times 3,14} = 11,26 \text{ Гц}$$

- полоса пропускания по фазе и модулю;

$DE_{двуст} = 0$ - установившаяся ошибка отработки заданного значения ЭДС двигателя.

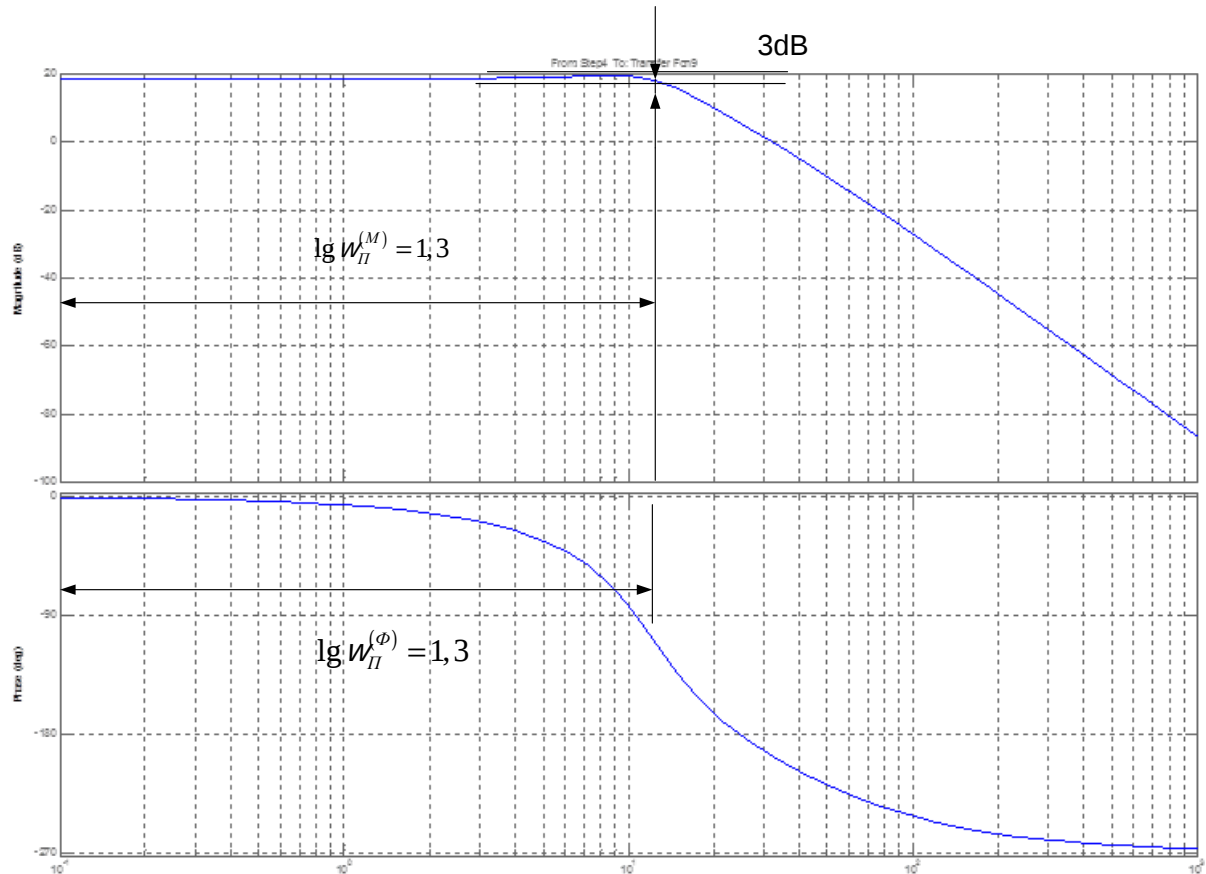


Рисунок 3.18 – Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура ЭДС, настроенного на МО

4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ РЭП

4.1 Анализ основных нелинейностей САУ РЭП

Учтем следующие основные нелинейности характеристик элементов САУ:

- насыщение регуляторов скорости, тока, ЭДС ($U_{pc\max} = U_{pt\max} = U_{pэ\max} = 10 \text{ В}$);
- характеристику устройства постоянного токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости

$$U_{pc} \leq U_{pc\text{ доп}},$$

$$\text{где } U_{pc\text{ доп}} = k_t \times I_{эп\max} = 0,002525 \times 3960 = 10 \text{ В};$$

- ограничение угла управления тиристорного преобразователя, которое учитывается ограничением ЭДС преобразователя

$$E_{тп.\max} = 1019 \text{ В}.$$

- насыщение тиристорного возбудителя

$$E_{тпв\max} = \frac{E_{d0B}}{2} (1 + \cos \alpha_{\min}) = \frac{342}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319 \text{ В};$$

Также в ходе настройки контуров САУ двухзонного ЭП лебедки в имитационную структуру были внесены следующие изменения:

1) Фильтр на входе контура тока $W(p) = \frac{1}{0.00334p + 1}$

2) В контур тока для устранения перерегулирования в динамических режимах включаем в цепь ОС по току корректирующий фильтр с передаточной функцией: $W_{к.фт}(p) = \frac{T_{1фт} p + 1}{T_{2фт} p + 1},$

где $T_{1ф\phi} = 2 \times T_{яц} = 0,0048 \text{ с}$, $T_{2ф\phi} = T_{яц} = 0,024 \text{ с}$.

- 3) В схеме учтено сопротивление типа «сухое трение».

4.2 Исследование имитационной модели нелинейной САУ электропривода подъёмной лебёдки

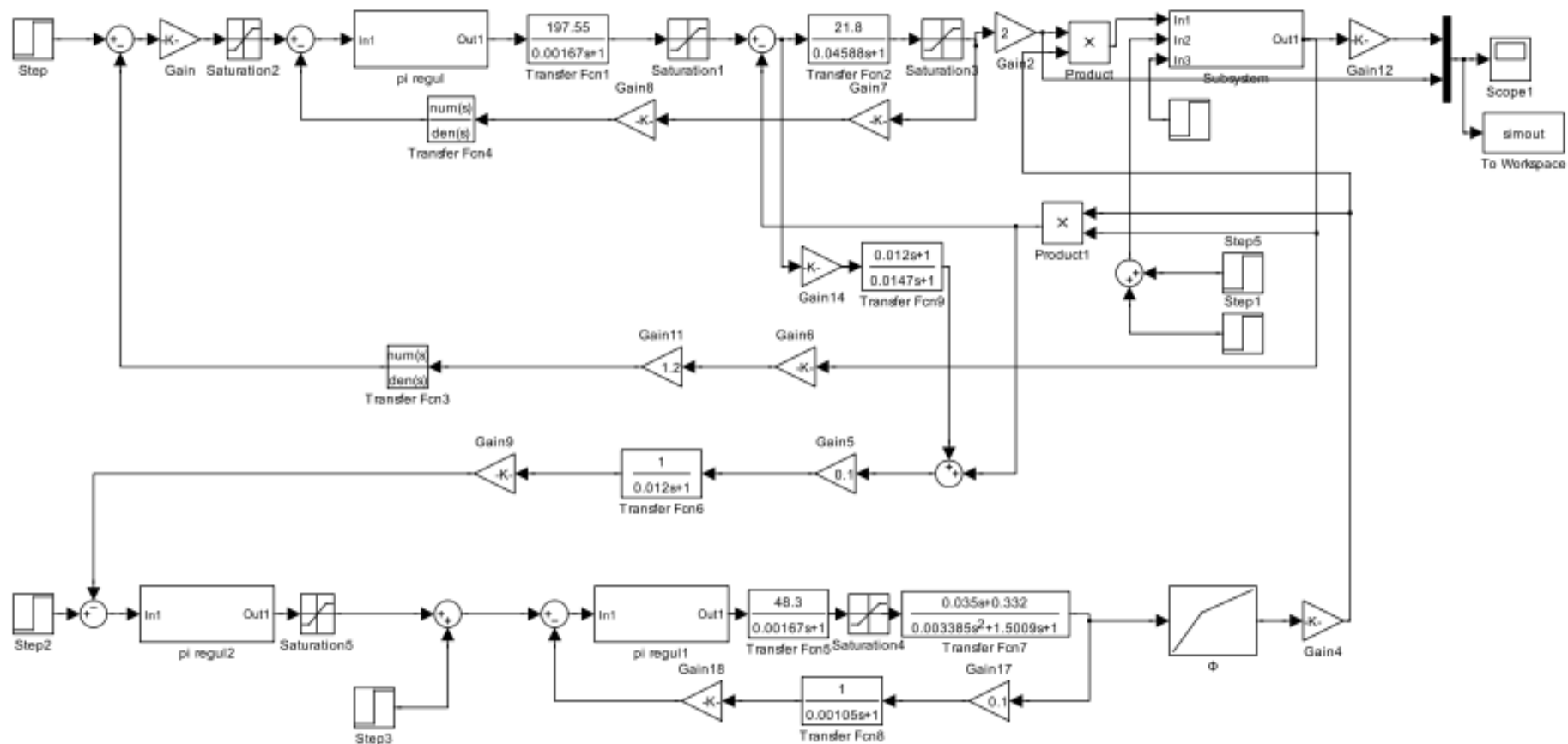


Рисунок 4.1 – Имитационная модель нелинейной САР

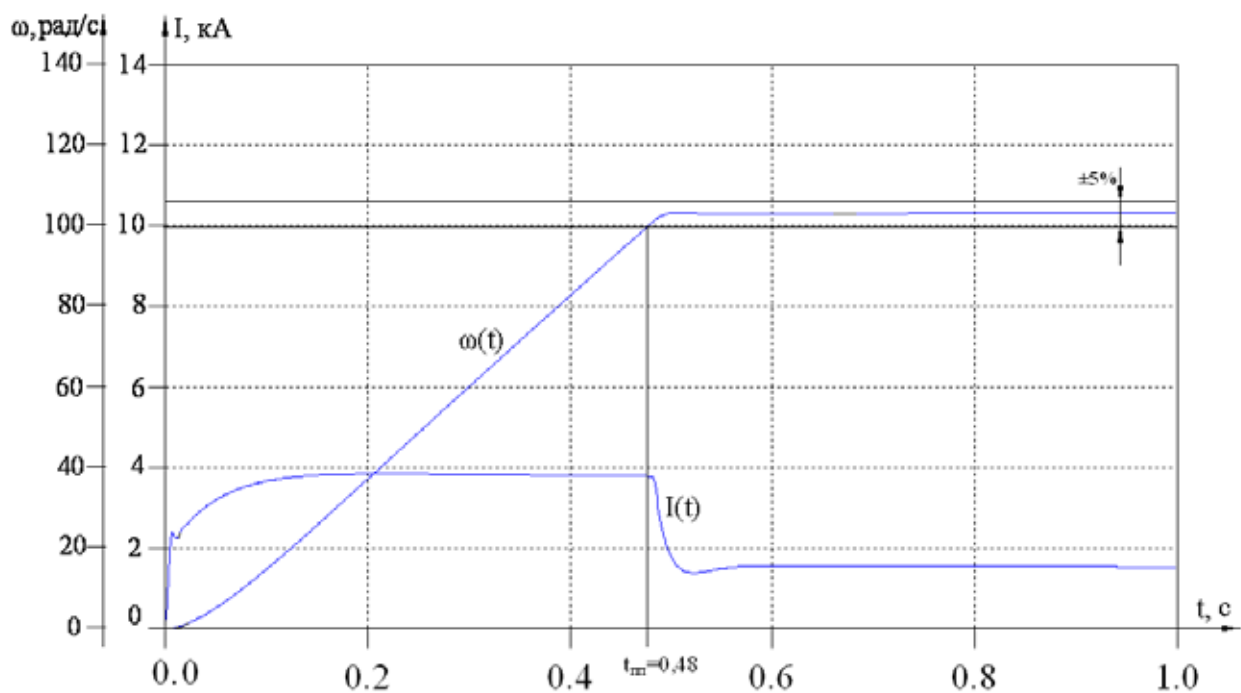


Рисунок 4.2 – Пуск электропривода при $U_{zc}=10\text{ В}$, $U_{z3}=10\text{ В}$ с номинальной нагрузкой

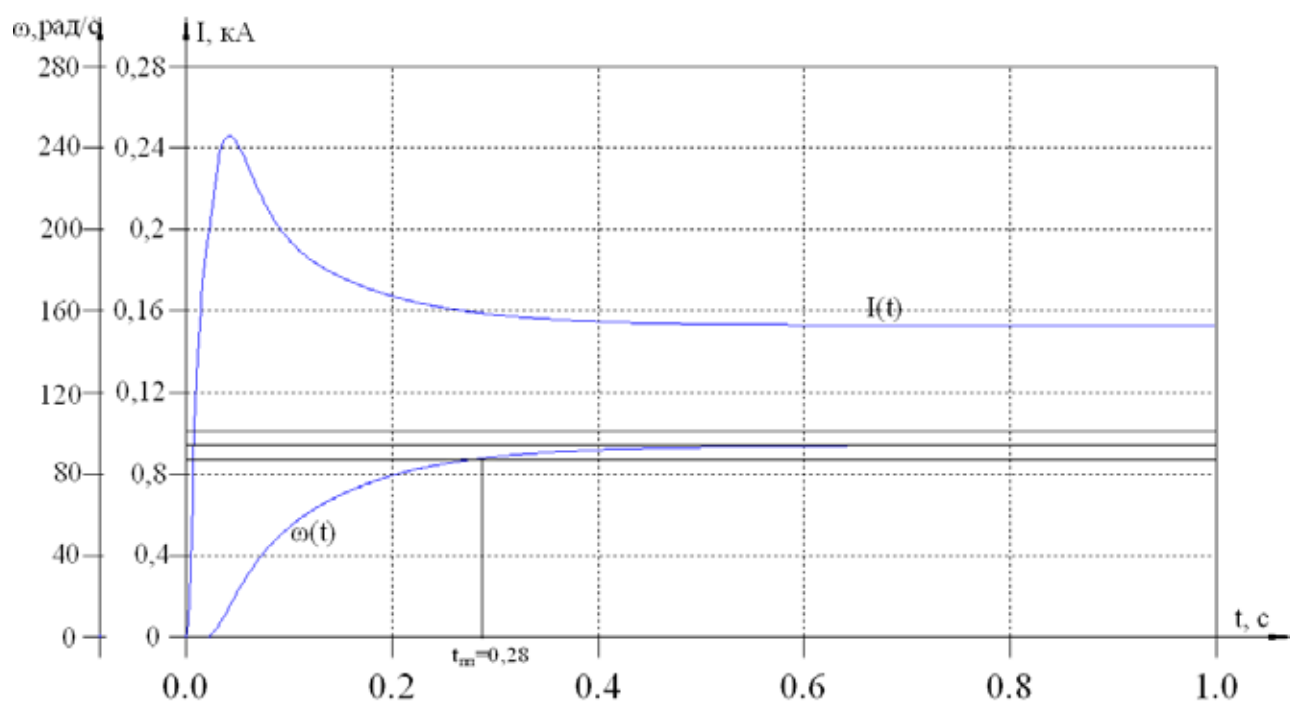


Рисунок 4.3 – Пуск электропривода при $U_{zc}=1\text{ В}$, $U_{z3}=10\text{ В}$ с номинальной нагрузкой

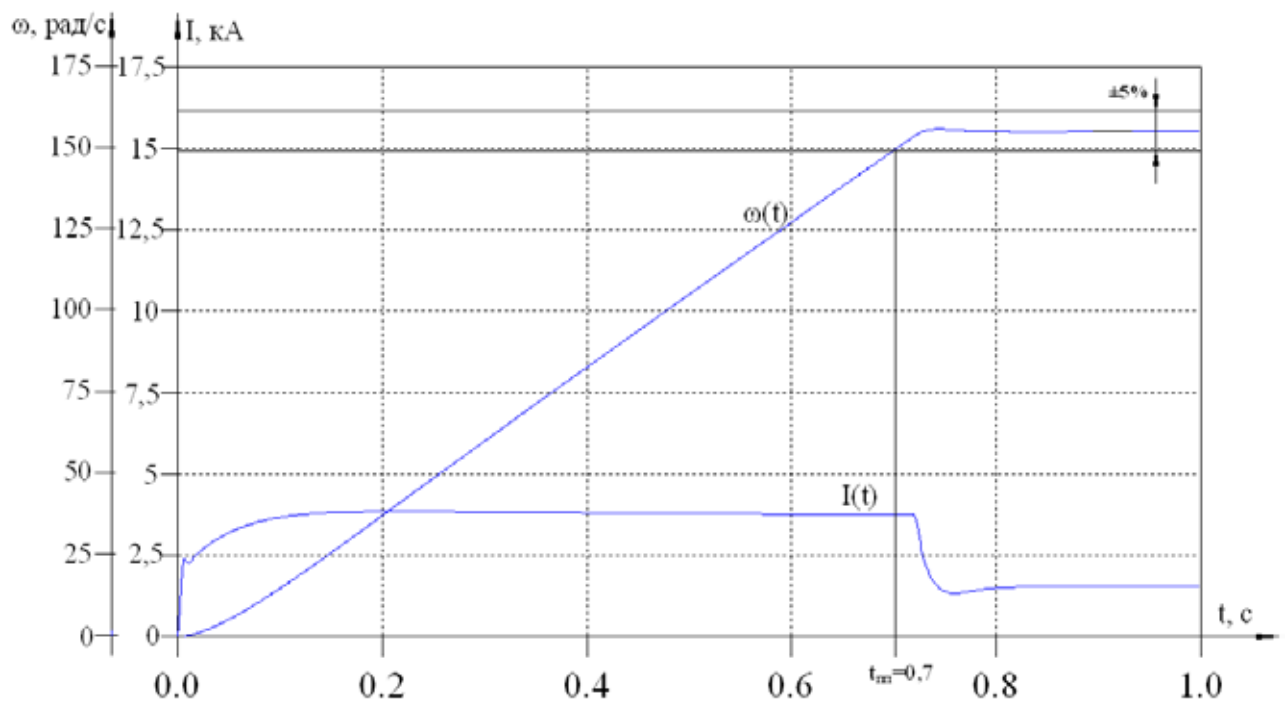


Рисунок 4.4 – Пуск электропривода $U_{\text{зс}}=15$ В, $U_{\text{зэ}}=10$ В с номинальной нагрузкой

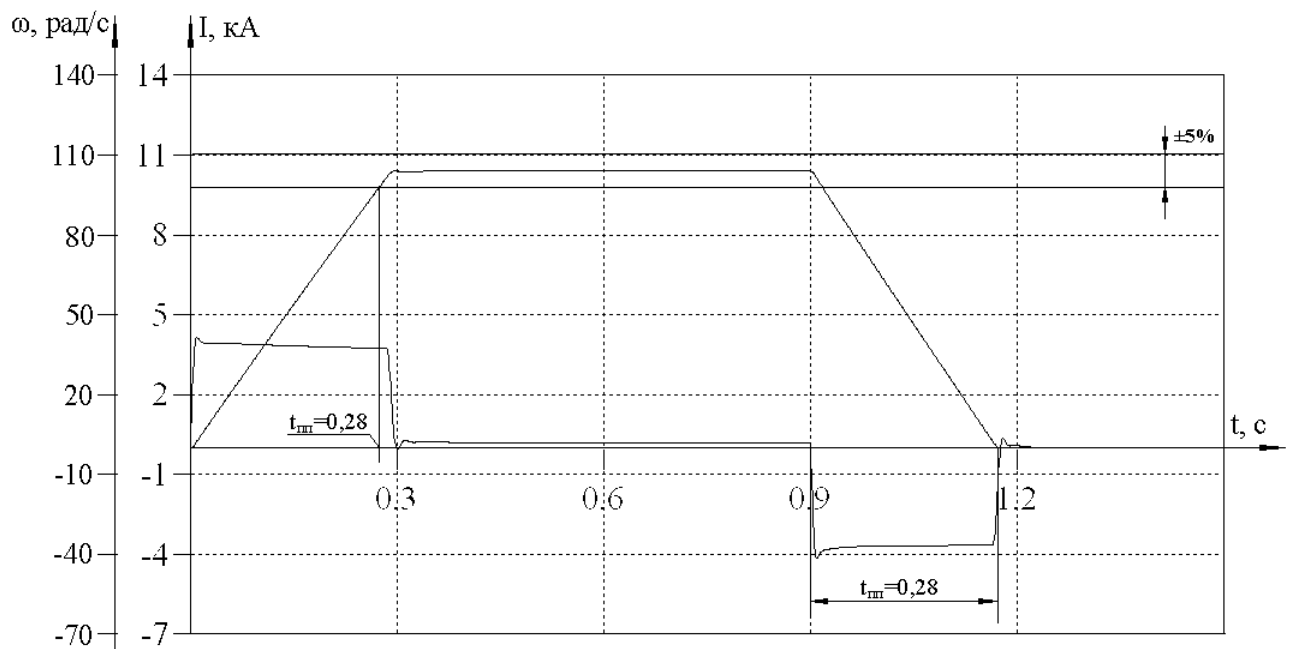


Рисунок 4.5 – Пуск-останов на холостом ходу $U_{\text{зс}}=10$ В, $U_{\text{зэ}}=10$ В

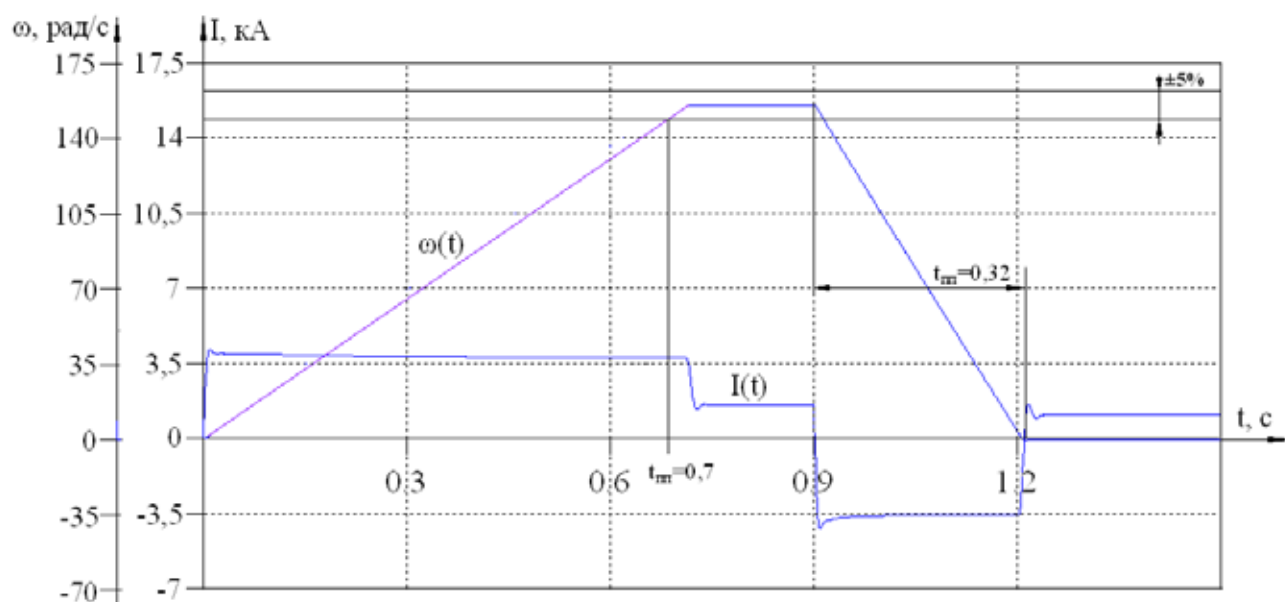


Рисунок 4.6 – Пуск-останов с номинальной нагрузкой $U_{zc}=15\text{ В}$ $U_{зз}=10\text{ В}$

На приведенных выше характеристиках представлены результаты исследования имитационной модели электропривода в нескольких основных режимах, таких как пуск электропривода под нагрузкой и на холостом ходу, пуск-останов электропривода. Исследования проводились в двух зонах регулирования: первой зоне (от 0 до 1000 об/мин) соответствует задание на скорость до 10 В, во второй зоне (от 1000 до 1500 об/мин) задание на скорость увеличивается до 15 В. Время разгона электропривода определяется постоянной времени задатчика интенсивности. На рисунке 4.3 представлен переходный процесс с заданием на скорость 1В, при котором не происходит насыщения регуляторов. На других характеристиках при исследовании нелинейной САУ ток достигает насыщения и ограничивается на максимальном уровне. Из рисунка 4.5 видно, что при работе привода без нагрузки, время достижения системой установившегося значения скорости равно времени полной остановки привода. При работе с номинальной нагрузкой (рисунок 4.6) во второй зоне регулирования время разгона до максимальной скорости равно $t_{пн}=0,7\text{ с}$, тогда как время останова составляет $t_{пн}=0,32\text{ с}$. Из результатов исследования можно сделать вывод, что спроектированный электропривод полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ерченко Евгений Андреевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость затрат технического проекта</i>	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранта. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Продолжительность выполнения</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	Для составления графика по проектированию асинхронного электропривода шахтного вентилятора • оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы • определить трудоемкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта
2. <i>Формирование сметы технического проекта</i>	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: · материальные затраты; · полная заработная плата исполнителей; · отчисления во внебюджетные фонды; · накладные расходы
3. <i>Ресурсоэффективность технического проекта</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик- Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ерченко Евгений Андреевич		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование электропривода буровой лебедки, и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование проектно-конструкторских работ
- расчет затрат на проектные работы электропривода буровой лебедки;
- определение ресурсной эффективности проекта.

5.1 SWOT-АНАЛИЗ ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОПРИВОДА буровой лебедки.

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [24].

Применительно к проекту по разработке электропривода буровой лебедки, SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 5.1

Таблица 5.1- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	B1 C1C2C3C4	B1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	B2 C2C4C5	B2 Сл1Сл2
В3.Резервное питание электропривода Буровой лебедки	B3 C1C2C4C5	B3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	B4 C1C3C5	
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1 C5	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2 C5	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому надзору	У3 C4	У3 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающе го напряжен ия	С2. Надежно сть систем защит и аварийно й сигнализ ации	С3. Большая экономия потребля емой эл.энергии	С4. Квалифи цированн ый персонал	С5. Неболь шие затраты на ремонт и обслужи вание оборудо вания
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	-	+	+
В3.Резервное питание электропривода Буровой лебедки	+	+	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+

Возможности	Сильные стороны проекта		
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-
В3.Резервное питание электропривода Буровой лебедки	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	-	-	-

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица угроз

Возможности	Сильные стороны проекта		
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-
В3.Резервное питание электропривода Буровой лебедки	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	-	-	-
Возможности	Сильные стороны проекта		
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-
В3.Резервное питание электропривода Буровой лебедки	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	-	-	-

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение

технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

5.2 Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

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

5.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного электродвигателя , частотного преобразователя;

№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MAT LAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических □

(Мэм) и электромеханических □(I1) характеристик характеристик электродвигателя при изменении частоты в среде MAT LAB ;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№ 10 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№ 11 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [24].

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула [24]

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, (1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, раб.дн.;

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

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 5.4

Таблица 4 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	8
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	8
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	8
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13	15	14
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	3	2
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором

работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 8 дней, дипломник 75 дней. Общая продолжительность выполнения ВКР составила 87 рабочих дней.

5.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на не материальные средства
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.3.1 Затраты на разработку проекта

Стоимость затрат на создание проекта приведена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 Стоимость комплектующих и нематериальных средств . [24]

Наименование оборудования	Цена, руб
Затраты на комплектующие для ПК	39180
Затраты на программное обеспечение MAT Lab	109 500
Итого	148 680

5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из

трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, (2)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \times Т_{\text{р}}, (3)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$Т_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 5.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{тс}} + З_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}} (4)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{\text{р.к.}}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Таблица 5.6– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб	Продолжительность работ, раб. дн	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43763	1683	8	13464
Дипломник	12300	3690	15990	615	75	46125
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.						59589

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной. Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	13 464	2 019	15 483
Дипломник	0,12	46 125	5535	51 560
Итого		59589	7 554	67 043

5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и

медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды $k_{внеб} = 30,2 \%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 67043 = 20\,247. \text{ руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Величину накладных расходов принимаем в размере $K_{нр}$ - 16% от общей суммы затрат.

5.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. [24].

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма руб.	Структура затрат %
Материальные и не материальные затраты ТП	148 680	52,94
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	67 043	23,86
Отчисления во внебюджетные фонды	20 247	7,2
Накладные расходы	44 946	16
Итого	280 916	100

Исходя из представленной выше таблицы 8, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 280 916 руб. Большая часть (52,94 %) составляют затраты на спецоборудование.

5.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [11] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [24]:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, (7)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода буровой лебедки рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- Надежность буровой лебедки – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях агрессивной среды и возможности скопления

горючих и агрессивных газов, не стабильным напряжением и высокой влажностью). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

- Энергосбережение буровой лебедки – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- Материалоемкость буровой лебедки – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании буровой лебедки нужно учитывать, что его работа является непрерывно-постоянной и остановки производить только для его обслуживания. Поэтому подбор осуществлялся таким образом, что при тех же условия подобрать электропривод который бы расходовал меньше энергии.

- Производительность буровой лебедки – должна обеспечить заданную скорость спускоподъемных операций и иметь запас прочности при возникновении аварийных ситуаций . Производительность достигается за счет правильного расчета и подбора электродвигателей для тех условий в которых она будет работать, и использование качественного электрооборудования.

- Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа буровой лебедки. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, в данной конструкции используются мультиконтактные силовые разъемы, а легкость в настройке и управлении обеспечит частотный преобразователь

- Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi}=5*0,25+5*0,2+4*0,15+4*0,15+5*0,15+4*0,1=4,6 \quad ; \quad (9)$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

- Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 280 916 руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ерченко Евгений Андреевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Асинхронный электропривод лебедки буровой установки БУ-2900/200 ЭК БМ.
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	-Объектом исследования является асинхронный электропривод лебедки буровой установки в машинном отделении. -Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности при бурении нефтяных и газовых скважин.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- Основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации буровой лебедки - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены лебедка. - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. - Организация и охрана труда.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Основными вредными факторами являются: - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде(шум); - Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). - Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата); Опасными факторами станции являются: Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: - Пожар, взрыв. - Аварии.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ерченко Евгений Андреевич		

6. Социальная ответственность

Введение

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе лебедки буровой установки, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

Исследуемый в проекте асинхронный электропривод лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, на базе нереверсивного тиристорного преобразователя, предназначен спускоподъемных операций в процессе бурения и эксплуатации скважин.

Преимуществом такого вида электропривода обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства и требует степень защиты электрических машин не ниже IP54.[14].

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

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

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

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

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

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

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

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

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

Конструктивная особенность буровой установки модульного исполнения. Помещение машинного отделения выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Модуль машинного состоит из сборных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18]. Блочно-модульное исполнение предусматривает повышение монтажной способности и улучшенный

обогрев модулей. Система обогрева рабочих мест смешанная (электро- и паробогрев).

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

6.2. Производственная безопасность

Табл. 6.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
2.Акустические колебаниями в производственной среде(шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
3. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].
4.Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5.Движение машин и механизмов			+	Требуемая норма(расстояние) от двигающихся механизмов и машин 1м, согласно Снп 10-01-93[33]. СТ СЭВ 790-77.
6. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.			+	[ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.16] Наличие высокого напряжения на рабочем месте, ГОСТ Р МЭК 536-94- Средства защиты от поражения эл.током.

6.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

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

Ø Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа лебедки буровой установки. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] насоса буровой установки – 90дБ.

Ø Акустические колебаниями в производственной среде (шум)

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании насоса буровой установки, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, давление в рабочем состоянии. В данном производстве шум достигает 75—80 дБ.

Ø Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

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

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

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

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

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

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

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

6.2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм в следствии:

А) Движущиеся части машин машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации буровой лебедки является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей; ремонт и смазка лебедки буровой установки во время ее

работы; включение лебедки буровой установки без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе с лебедкой буровой установки допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления механизмами буровой установки и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

Основными причинами поражения человека электрическим током являются: удар электрическим током при использовании неисправных электроприборов; присоединение к незаземленным частям электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.). Последствия при поражении электрическим током – термические ожоги, потеря сознания, разрыв внутренних органов, костных тканей и смерть.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма; общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электротравмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электротравм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током.

Характерные местные электротравмы:

электроожоги – 40 %

электрические знаки – 7 %

металлизация кожи – 3 %

механические повреждения – 0,5 %

Электроофтальмия – 1,5 %

Смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Элетроожог – самая распространенная электротравма. Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

6.2.3. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

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

Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

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

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

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

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

Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

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

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

Основными мероприятиями для защиты от поражения электрическим током являются: Организационные и технические.

Организационные мероприятия включают в себя: правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида); обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.); назначение ответственных за электрохозяйство лиц; контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ; проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации

не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта; контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Технические мероприятия. К ним относят: применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий; защиту людей и животных от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях, изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений, расположения электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте;

защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения; использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением; выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных; изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

6.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации буровой установки образуются отходы производства: отработанные ртутные лампы, отработанные промышленные масла, буровой шлам, бытовой мусор. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия на месторождении.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно - защитной зоны цеха добычи ;
- мониторинг сточных вод .

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

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Техногенные пожары и взрывы — это происшествия, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В связи с насыщенностью сферы производства сложной техникой, такие чрезвычайные ситуации происходят все чаще, что вызывает большое беспокойство специалистов.

Техногенное происшествие содержащее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и т.п. Травмы персонала полученные при аварии оборудования .

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагрева проводников, и разрушение механических частей оборудования под высоким давлением гидроудара что приводит к воспламенению изоляционного материала, разрушению механических частей, получению травм обслуживающего персонала.

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

Предупреждение ЧС, готовность к ним и реагирование должны быть составной частью системы управления охраной труда в организации.

В соответствии с этим в каждой организации должны быть определены мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

Мероприятия должны:

- Гарантировать, что имеющаяся необходимая информация, оповещение и координация действий работников обеспечат защиту всех людей в случае аварийной ситуации в рабочей зоне;
- Предоставлять информацию соответствующим службам аварийного реагирования и обеспечивать их быстрое оповещение при аварии;
- Предусматривать оказание первой медицинской помощи, проведение противопожарных мероприятий и эвакуацию всех людей, находящихся в рабочей зоне;
- Предоставлять соответствующую информацию и возможность подготовки всех работников, включая проведение регулярных тренировок по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию

1. Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

- а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании);

- б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а так же работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;
- в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;
- г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании.

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетание последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания
- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями);
- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

Заключение

В данном разделе был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации асинхронного электропривода насоса буровой установки газоперерабатывающего завода. Освещены вопросы

техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения аварийной ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был спроектирован регулируемый реверсивный тиристорный двухзонный электропривод постоянного тока.

В ходе выполнения работы были рассчитаны параметры силовой цепи, цепи возбуждения, с помощью прикладных программ построены электромеханические характеристики системы ТП – Д, и зона прерывистых токов, определена область существования характеристик при работе электропривода буровой лебедки в первой и второй зонах регулирования. Также произведена настройка контуров системы автоматизированного регулирования. Настройка всех контуров системы производилась на модульный оптимум. В ходе оптимизации получены П - регулятор скорости, ПИ - регулятор тока, И - регулятор ЭДС и ПИИ - регулятор тока возбуждения, построены амплитудно- и фазочастотные характеристики каждого контура (разомкнутого и замкнутого). Произведён расчёт динамических характеристик электропривода. Исследование переходных режимов линеаризованной и нелинейной систем проводилось в программной среде Матлаб.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

Спроектированный электропривод питается от трёхфазной сети переменного тока напряжением 6000 В, 50 Гц, максимальный сигнал управления в первой зоне регулирования – 10 В, во второй зоне – 15 В, максимальная скорость вращения $n_{\max} = 1500$ об/мин ($\omega_{\max} = 157,1$ рад/с), перерегулирование скорости при скачкообразной подаче на вход управляющего напряжения не превышает 10%, время переходных процессов не превышает 1с во всех исследованных режимах работы электропривода. Следовательно, спроектированный электропривод полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

THE CONCLUSION

In given exhaust special work was designed controllable reversing thyristor two-region direct current electric drive.

During designing of present work, parameters of a power circuit and circuits of excitation are calculated. Also circuits of the system of automatic regulation was adjusted, and static and dynamic characteristics of electric drive was designed.

The modes of system of electric drive are explored with the help of the programme Windora and results of this exploration show, that the parameters of given electric drive meets the requirements of the technical project.

In an economic part of the project are shown advantages of digital systems of electric drive. In this part of project was calculated costs of balancing and commissioning.

In the part of ecological compatibility and safety of the project was described questions of electrosafety, fire safety, ecology safety, sanitation of production.

Список используемых источников

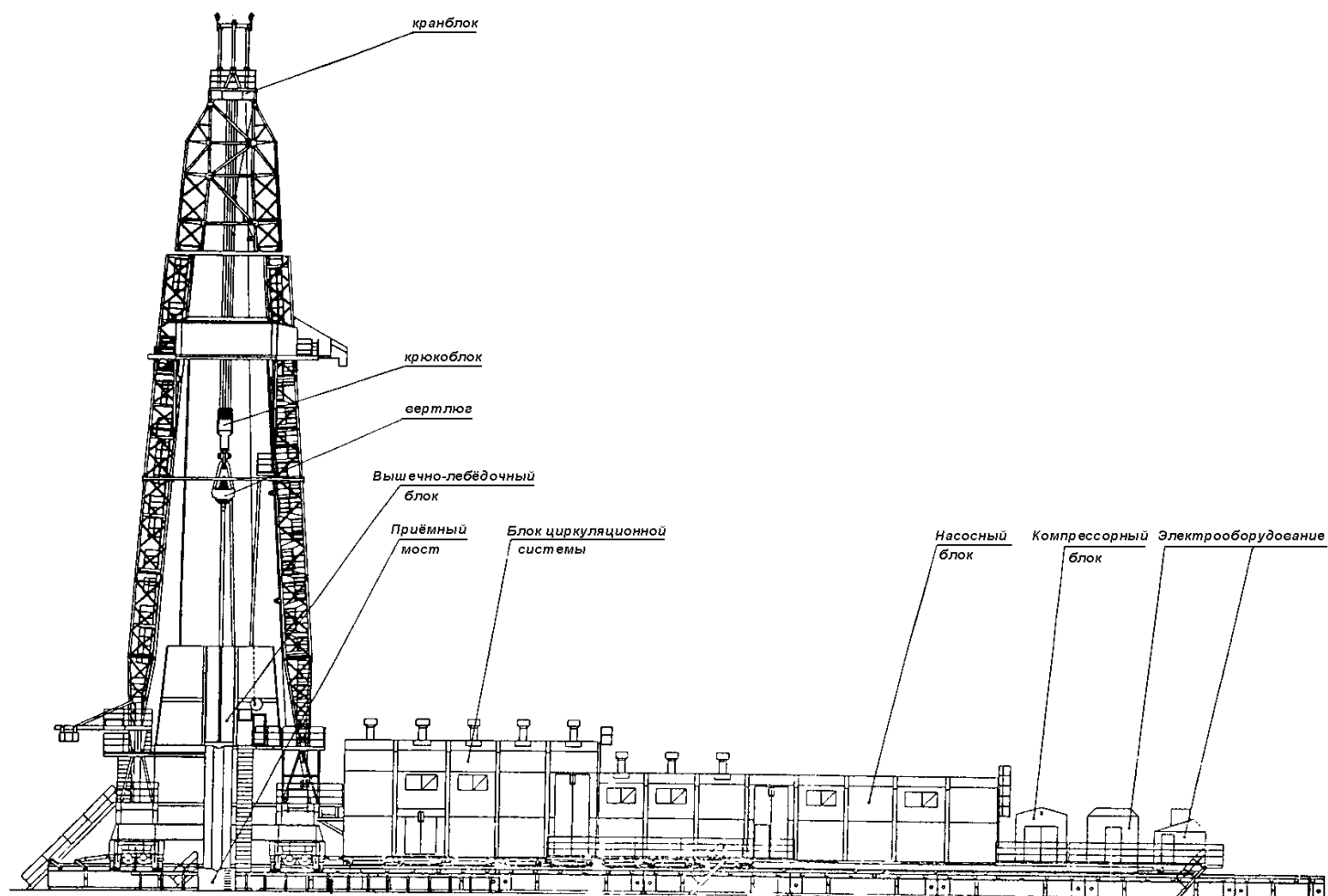
1. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
2. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
3. Справочник по электрическим машинам в 2т. Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т1. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил.
4. Онищенко Г. Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.: РАСХН. 2003. – 320.: ил.
5. «Установка буровая БУ-3900/225 ЭК-БМЦ» руководство по эксплуатации;
6. «Общие указания по наладке и эксплуатации электрооборудования буровых установок» руководство по эксплуатации;
7. Сацукевич М. Ф., Мехедко Ф. В. «Справочник электротехника». Минск, «Беларусь», 1969. 400 с. с илл.
8. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
9. Однокопылов И.Г., Асинхронный электропривод механизма подъема крана мостового типа с повышенной безопасностью и живучестью: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.03 / И. Г. Однокопылов; Томский политехнический университет (ТПУ), Электротехнический институт (ЭЛТИ), Кафедра электропривода и электрооборудования ; науч. рук. Ю. Н. Дементьев. — Электронные текстовые данные (1 файл : 950 Kb). — Томск, 2008.
10. РД-75.000.00-КТН-085-12 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций»;
11. «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП);
12. ГОСТ Р 51330.18 «Ремонт и проверка электрооборудования используемого во взрывоопасных газовых средах (кроме подземных выработок

- или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ)»;
13. ГОСТ Р 52350.19 «Ремонт, проверка и восстановление электрооборудования»;
 14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ);
 15. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;
 16. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»;
 17. СН 2.2.4/2.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
 18. РД 153-39.4-114-01 «Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах»;
 19. РД 39-00147105-006-97 «Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов»;
 20. РД 153-39.4-056-00 «Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов»;
 21. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
 22. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
 23. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
 24. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
 25. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
 26. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.
 27. ГОСТ Р 55020-2012. Арматура трубопроводная. – введен 01.03.2012. -М.: Стандартиформ, 2013.
 28. ЭкспертТруб [Электронный ресурс]: все про сантехнику и трубы. – Режим доступа: <http://experttrub.ru>
 29. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для сред.проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.

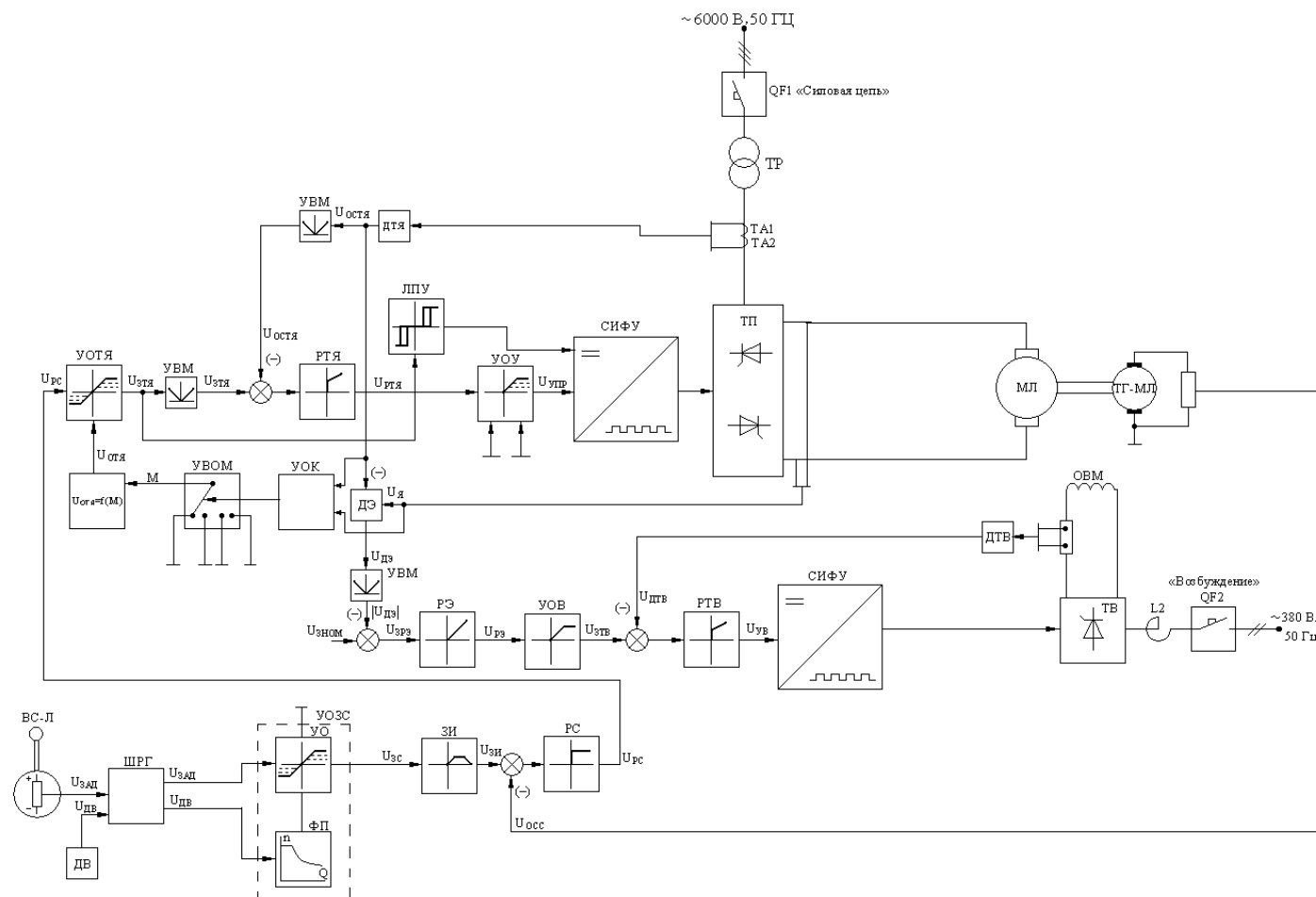
30. Руководство по эксплуатации «ЭПЦ-15000». – Томск: Томский завод электроприводов, 2013. – 25 с.
31. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1988.. – 368 с.
32. Руководство по эксплуатации «Блок управления регулируемый БУР». – Томск.: ЭлеСи, 2013. – 25 с.
33. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

Приложение А

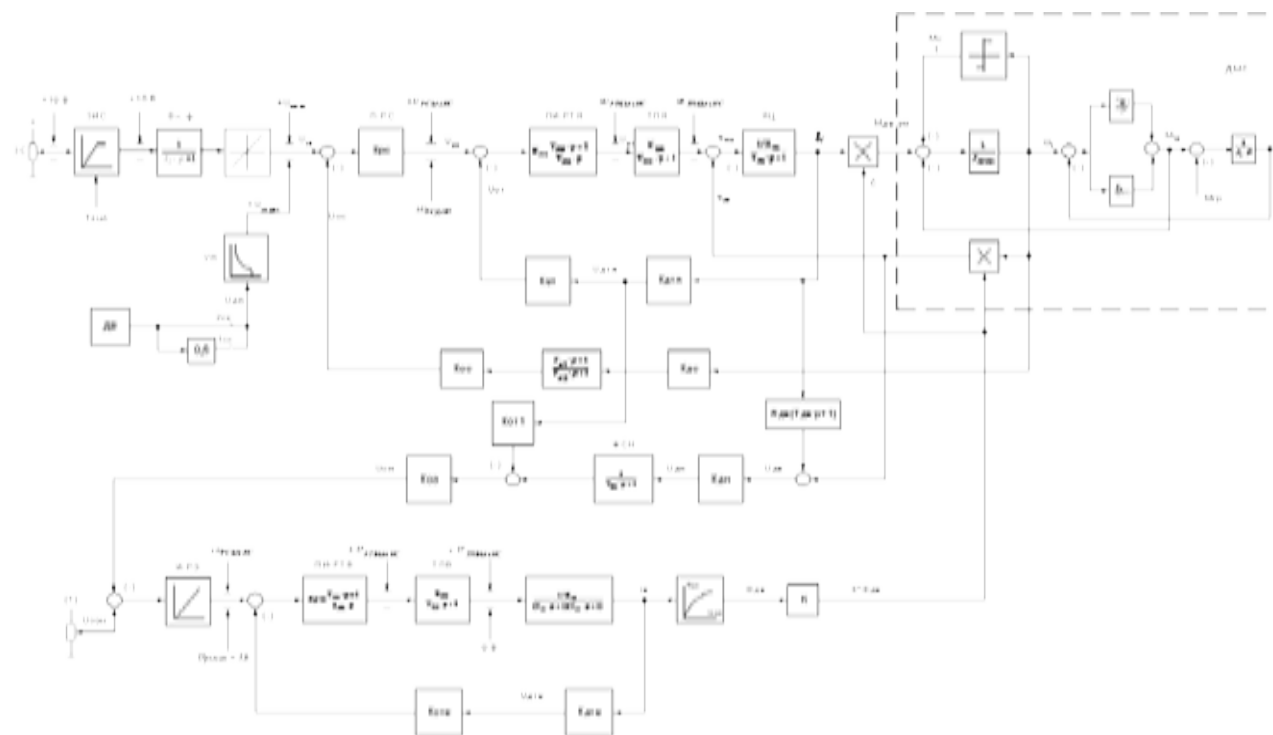
Общий вид буровой установки



Функциональная схема электропривода



Структурная схема САУ скорости электродвигателя привода подъемной лебедки



Пуск-останов с номинальной нагрузкой двухзонного электропривода.

