

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 подъемной лебедки буровой установки

УДК 622.242.5-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Эргашев Азиз Беркинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
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. зав. кафедрой- 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
3-5Г5А1	Эргашеву Азизу Беркиновичу

Тема работы:

Электропривод подъемной лебедки буровой установки

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.
---	--------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

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; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной

	САУ РЭП; принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация; социальная ответственность проекта; Финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. схема кинематическая; 2. - схема электрическая функциональная; 3. - схема электрическая структурная; 4. - схемы электрические принципиальные; 5. - демонстрационный лист; 6. - технико-экономические показатели;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г..
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Эргашев Азиз Беркинович		20.03.2020г.

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика
 Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку, включающую 112 страниц, 50 рисунков, 17 таблиц, 33 источник,

БУРОВАЯ УСТАНОВКА, ЛЕБЕДКА, ЭЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом исследования является дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ, предназначенный для подъема обсадных труб и колон и бурения.

Цель работы - разработка и исследование дополнительного электропривода (ЭП) подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	10
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	11
2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	13
2.1. Кинематическая схема механизма.....	13
2.2 Выбор электродвигателя, расчет параметров	15
2.3. Механическая система дополнительного электропривода подъемной лебедки	18
2.4 Выбор тиристорного преобразователя, расчет параметров.....	24
Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора	25
2.5 Определение параметров тиристорного преобразователя.....	26
2.6 Расчет параметров якорной цепи привода	27
2.7 Определение области допустимой работы дополнительного электропривода подъемной лебедки	28
2.8 Структурная схема силового канала дополнительного электропривода подъемной лебедки	30
3. ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ.....	33
3.1 Функциональная схема дополнительного электропривода буровой лебедки (электропривод РПД).....	33
3.2 Структурная схема САУ электропривода РПД	35
3.3 Оптимизация контура тока якоря	36
3.4. Оптимизация контура скорости.....	40
3.5. Оптимизация контура положения	44
4.ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ.....	47
4.1 Основные нелинейности САУ дополнительного электропривода буровой лебедки	47

4.2 Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки	48
4.3. Имитационная модель нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки	50
4.4. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки на имитационной модели	61
4.4.1. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки при спуско-подъемных операциях	61
4.4.2. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки в режиме подачи долота при бурении.....	65
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	73
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	74
5.1 Анализ конкурентных технических решений	74
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	78
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	78
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	79
5.2.3 Разработка графика проведения проектирования.....	80
5.2.4 Организационная структура проекта	83
5.2.5 Бюджет исследовательской работы	83
5.2.6 Расчет амортизации.....	84
5.2.7 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	85
5.2.8 Специальное оборудование для исследовательских (экспериментальных) работ	86
5.2.9 Основная заработная плата	87
5.2.10 Дополнительная заработная плата	88
5.2.11 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	88
5.2.12 Накладные расходы.....	89

5.3 Определение ресурсоэффективности исследования	89
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	94
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	95
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	96
6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	96
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	97
6.2 Производственная безопасность.....	98
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	100
6.3 Экологическая безопасность.....	104
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	105
Заключение	108
Conclusion.....	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	110

Введение

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

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

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

- парк буровых установок укомплектован более чем наполовину морально устаревшими конструкциями;

- имеет место значительное утяжеление и удорожание бурового оборудования;

- не выпускаются серийно необходимые буровикам установки, что приводит к нецелесообразному использованию установок других классов (более тяжелых) и повышает стоимость бурения;

- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектности (без вышек, оснований и других комплектующих устройств), что в значительной мере снижает эффективность использования оборудования;

- монтажеспособность и транспортабельность установок остается на невысоком уровне, отсутствуют эффективные средства для транспортировки оборудования.

Задачей данной работы является разработка и исследование электропривода (ЭП) регулятора подачи долота лебедки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

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

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Буровая установка БУ-4500/270 ЭК-БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 4500 метров с грузоподъемностью на крюке до 270 тонн. Внешний вид БУ-4500/270 ЭК-БМ приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид БУ-4500/270 ЭК-БМ

На буровой установке БУ 4500/270 ЭК-БМ буровая лебедка состоит из двух приводов – основного и дополнительного. Дополнительный привод лебедки – привод регулятора подачи долота (РПД). Привод выполнен от двигателя постоянного тока типа МПБ 90-1000УХЛ2 мощностью 90 кВт, напряжением питания 440В, с номинальной частотой вращения 1000 об/мин.

Под подачей долота поднимают последовательное опускание верхней точки бурильной колонны при разрушении породы. Для эффективного разрушения проходимых в процессе бурения горных пород необходимо, чтобы на породоразрушающем инструменте поддерживалась определенная нагрузка. Поэтому по мере разрушения породы долото должно подаваться на забой, причем подавать его необходимо со скоростью, соответствующей темпу разрушения породы. Если темп разрушения превышает скорость подачи долота, то оно не догружается и процесс бурения протекает недостаточно эффективно.

Если же подача опережает скорость разрушения горных пород, то долото перегружается, что может привести к его поломке и оставлению шарошек на забое. Отсюда ясно, как важна равномерная подача долота на забой.

Устройства, контролирующие и регулирующие нагрузку на долото, находятся на поверхности и связаны с лебедкой и талевой системой. Между долотом и лебедкой, через которую можно регулировать скорость подачи долота, находятся длинная бурильная колонна и талевая система, обладающие большой упругостью, в результате чего скорость опускания крюка не соответствует скорости подачи долота и долото перегружается, когда его надо разгрузить, и наоборот.

Режим нагрузки на долото и скорость подачи устанавливает бурильщик, регулятор же поддерживает заданную скорость подачи или нагрузку на долото.

В настоящее время буровые установки оборудуются регуляторами подачи долота с электроприводом (РПДЭ). Эти регуляторы подачи состоят из трех основных частей: измерительной — измеряющей нагрузку на крюке, усиливающей измеряемые параметры и силовой — исполняющей команду.

При установившемся режиме бурения скорость подачи долота на забой пропорциональна частоте вращения вала двигателя силового узла и должна быть равна скорости разрушения породы на забое в процессе бурения. Скорость бурения в свою очередь зависит от нагрузки на долото.

Если условия бурения изменяются, то возникает разность между заданной и фактической нагрузками на крюке, в результате чего меняется скорость подачи бурильной колонны на забой.

Для обеспечения наибольшей эффективности бурения бурильщик должен регулировать заданную нагрузку в зависимости от проходимых пород и режима бурения, для чего он поворачивает рукоятку управления до получения желаемых результатов.

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

2.1. Кинематическая схема механизма

Кинематическая схема лебедки ЛБУ-900ЭТ-3 представленная на рисунке 2.1.

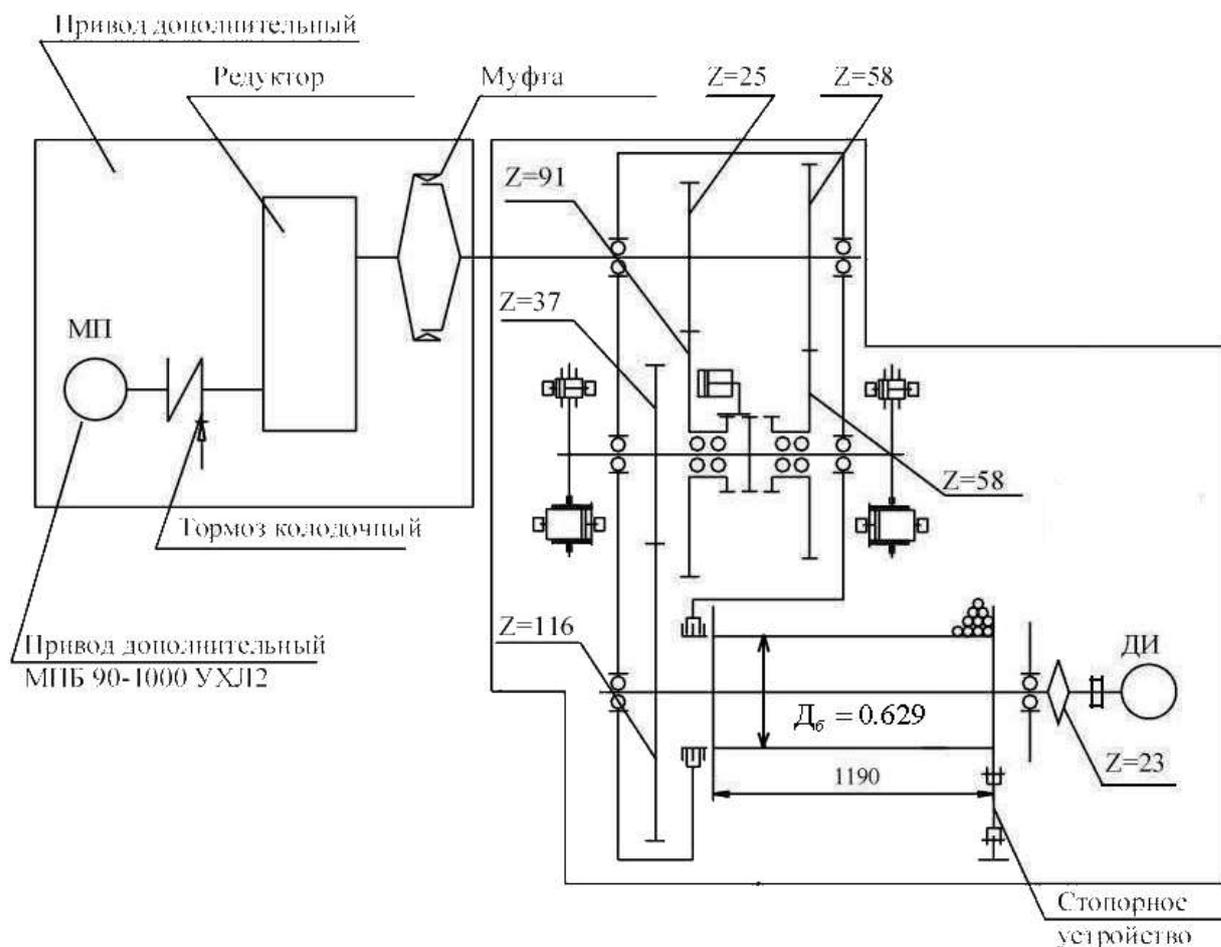


Рисунок 2.1. – Кинематическая схема лебедки ЛБУ-900ЭТ-3

На рисунке 2.1 приведены следующие обозначения:

МП – двигатель постоянного тока;

D_b – диаметр барабана;

ДИ – датчик импульсов.

Дополнительный привод лебедки – привод регулятора подачи долота (РПД) – выполнен от двигателя постоянного тока типа МПБ90-1000УХЛ2,

вращающий момент которого передается на ведущий вал коробки передач через цилиндрический редуктор и шинно-пневматическую муфту МШ500. На быстроходном валу редуктора имеется электрогидравлический колодочный тормоз ТКГ-400С приводом от асинхронного двигателя с к.з. ротором. При включении двигателя колодочного тормоза МТП тормоз растормаживается и затормаживается пружинами при его отключении.

Управление шинно-пневматической муфтой МШ-500 осуществляется с пульта бурильщика через электропневматический вентиль БА-УА. При подаче на катушку БА-УА напряжения 24В сжатый воздух подается в муфту и двигатель регулятора подачи долота РП соединяется механически с ведущим валом коробки скоростей лебедки.

В таблице 2.1 приведены параметры механизма подъема

Таблица 2.1

Наименование параметра	Величина
Допустимая нагрузка на крюке при оснастке талевой системы 5×6, кН (тс)	2700 (270)
Наибольшая нагрузка от массы колонны бурильных труб, кН (тс)	1620 (162)
Число струн талевой системы (оснастка)	10 (5х6)
Диаметр талевого каната, мм	32
Диаметр подъема барабана лебедки, мм при спуско-подъемных операциях, при изменяющейся высоте (0 ÷ 27,5) м	0,786 ÷ 0,629
Передача дополнительного привода от двигателя до барабана - редуктора - "быстрая" передача - "тихая" передача	16 50,08 182,56
Кпд редуктора дополнительного привода	0,97

Механизм оснастки талевой системы представлен на рисунке 2.2.

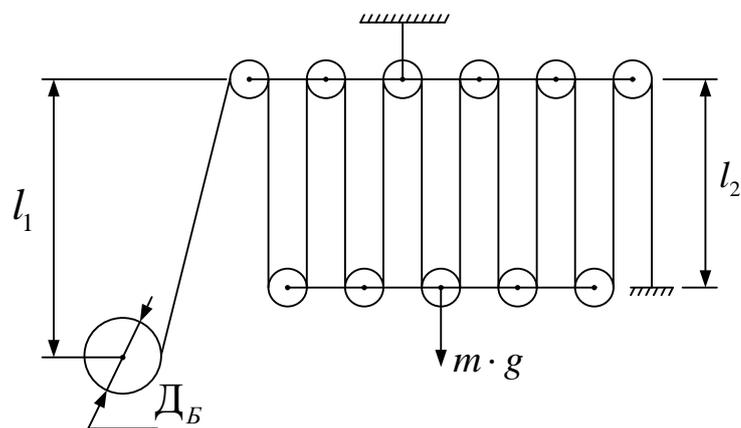


Рисунок 2.2 – Схема оснастки талевой системы

2.2 Выбор электродвигателя, расчет параметров

Электродвигатель МПБ90-1000УХЛ2.

Паспортные данные электродвигателя сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Номинальная мощность, кВт	$P_{\text{двн}}$	90
Номинальное напряжение, В	$U_{\text{двн}}$	440
Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_{\text{двн}}$	1000
Номинальный ток якоря, А	$I_{\text{н}}$	225
Максимально допустимый ток перегрузки двигателя, А	$I_{\text{двмакс}}$	$1,6I_{\text{н}}$
Число пар полюсов	$2p$	2
Число витков обмотки якоря на полюс		38,75
Число параллельных ветвей обмотки якоря		2
Число витков обмотки возбуждения на полюс	$W_{\text{в}}$	431
Сопротивление обмотки якоря при 15°C, Ом	$R_{\text{оя}}$	0,0445
Сопротивление добавочных полюсов при 15°C, Ом	$R_{\text{дп}}$	0,0211

Сопротивление обмотки возбуждения при 15°C, Ом	$R_{об}$	8,2
Номинальный ток возбуждения, А	$I_{вн}$	12,7
Номинальный поток главного полюса, Вб	$\Phi_{двн}$	0,0406*1,18
Номинальный вращающий момент, Н·м	M_n	860
Момент инерции якоря, кг·м ²	$J_{дв}$	1,6
КПД двигателя, %	η	90,5

Кривая намагничивания приведена на рисунке 2.3.

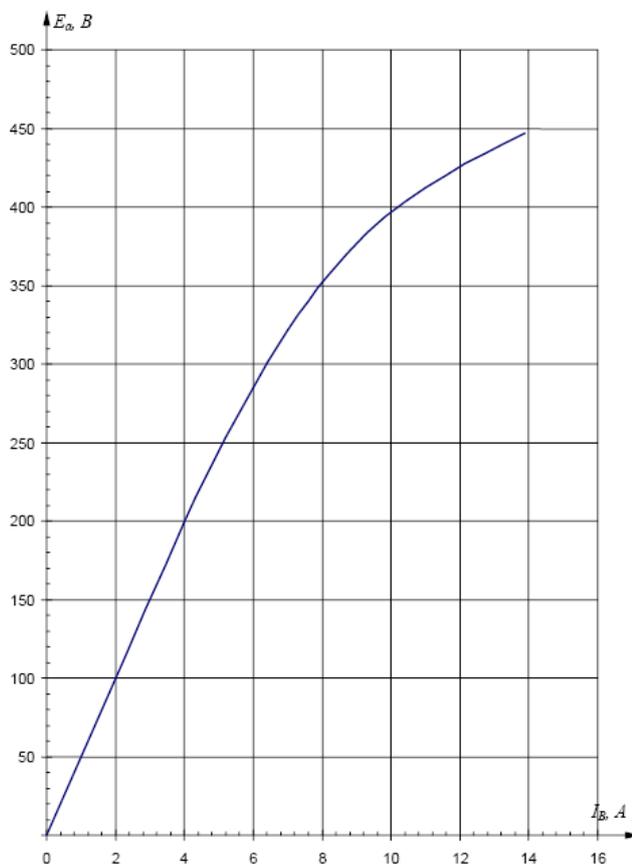


Рисунок 2.3. – Кривая намагничивания двигателя МПБ 90-1000УХЛ2

Расчетные параметры электродвигателя:

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_{дв.н} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{дв.н} = \frac{3.14}{30} \cdot 1000 = 104,72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии

$$R_{\text{дв}} = k_t \cdot (R_{\text{оя}+15^\circ\text{C}} + R_{\text{дп}+15^\circ\text{C}}) \text{ Ом},$$

где $k_t = (1 + \alpha_i \cdot \tau)$ - коэффициент, учитывающий зависимость сопротивления обмоток от температуры;

принимаем $\tau = 75^\circ\text{C}$ - температура перегрева обмоток двигателя;

$$\Delta\alpha_m = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}};$$

тогда

$$R_{\text{дв гор}} = 1,3 \cdot (0,0445 + 0,0211) = 0,08528 \text{ Ом}$$

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{дв}} \cong \gamma \cdot \frac{U_{\text{двн}}}{p \cdot \omega_{\text{двн}} \cdot I_{\text{двн}}} = 0,15 \cdot \frac{440}{2 \cdot 104,72 \cdot 225} = 0,0014 \text{ Гн},$$

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

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

номинальном потоке возбуждения

$$c = \frac{U_{\text{дв.н}} - I_{\text{дв.н}} \cdot R_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{440 - 225 \cdot 0,08528}{104,72} = 4,018.$$

Электромагнитный момент, соответствующий номинальному току

$$M_{\text{эм}} = I_{\text{дв.н}} \cdot c = 225 \cdot 4,018 = 904,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент трения на валу

$$M_{\text{с дв}} = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н}} = 904,05 - 860 = 44,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимально допустимый ток

$$I_{\text{дв.макс}} = 1,6 \cdot I_{\text{дв.н}} = 1,6 \cdot 225 = 360 \text{ А}.$$

2.3. Механическая система дополнительного электропривода подъемной лебедки

Расчетная схема одномассовой механической системы представлена на рисунке 2.4, где приняты следующие обозначения:

J_1 – момент инерции двигателя и механизма;

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

M_c – момент сопротивления типа сухого трения на валу;

ω_1 – угловая скорость вращения электропривода.

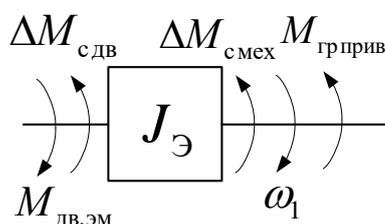


Рисунок 2.4 – Расчетная схема механической одномассовой системы дополнительного электропривода лебедки

Параметры элементов механической одномассовой системы:

Момент инерции двигателя

$$J_{\text{дв}} = 1,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции механизма

$$J_{\text{э,мех}} = 0,0957 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции поднимаемых масс, приведенный к валу двигателя, определим по выражению

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

где m – масса поднимаемого груза, кг;

D_6 – диаметр барабана лебедки, $D_6 = 0,786$ м;

$i_{\text{тп}}$ – результирующее передаточное число механизма лебедки;

$i_{\text{пол}}$ – коэффициент полиспаста, $i_{\text{пол}} = 10$.

Момент инерции поднимаемых масс на первой передаче $i_{тп} = 182,56$ при поднимаемой массе $m = (123,204 \div 258,204) \cdot 10^3$ кг

$$J_m = (123,204 \div 258,204) \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,786}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{182,56^2} \cdot \frac{1}{10^2} = (0,0057 \div 0,01197) \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Собственный момент сопротивления на валу электродвигателя

$$\Delta M_{сдв} = C \cdot I_{двн} - M_{двн} = 904,05 - 860 = 44,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Постоянные потери в передаточном механизме лебедки

$$\Delta M_{мех} = a \cdot M_{перн} = 0,1024 \cdot 1000 = 102,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $M_{перн} = 1000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – номинальный передаваемый момент механизма;

$$a = b = \frac{1 - \eta_{пер.осн} \cdot \eta_{пер.доп} \cdot \eta_{пол}}{2 \cdot \eta_{пер.осн} \cdot \eta_{пер.доп} \cdot \eta_{пол}} = \frac{1 - 0,914 \cdot 0,97 \cdot 0,94}{2 \cdot 0,914 \cdot 0,97 \cdot 0,94} = 0,1024$$

a – коэффициент постоянных потерь в передаче;

b – коэффициент переменных потерь в передаче;

КПД передаточного механизма $\eta_{ред.осн} = 0,914$,

КПД талевого оснастки $\eta_{пол} = 0,94$

КПД редуктора дополнительного привода $\eta_{ред.доп} = 0,97$;

Момент, развиваемый грузом на передаче $i_{тп} = 182,56$

$$M_{гр.прив} = \frac{m \cdot q \cdot D_{\sigma}}{2i_{ред} \cdot i_{пол}} = \frac{(123,204 \div 258,204) \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,786}{2 \cdot 182,56 \cdot 10} = (260,184 \div 545,279) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент инерции на «тихой» передаче

$$J_{\varepsilon} = J_{дв} + J_{мех} + J_m = 1,6 + 0,0957 + (0,0057 \div 0,01197) = (1,7 \div 1,71) \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления реактивного характера на оси эквивалентной массы

$$\Delta M_c = \Delta M_{сдв} + \Delta M_{мех} = 44,05 + 102,4 = 146,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$T_{\text{мин}} = \frac{J_{\text{эмин}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{1,7014 \cdot 0,155}{4,018^2} = 0,0163 \text{ с}$$

и максимальное значение

$$T_{\text{макс}} = \frac{J_{\text{эмакс}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{1,71 \cdot 0,155}{4,018^2} = 0,0164 \text{ с.}$$

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 2.5.

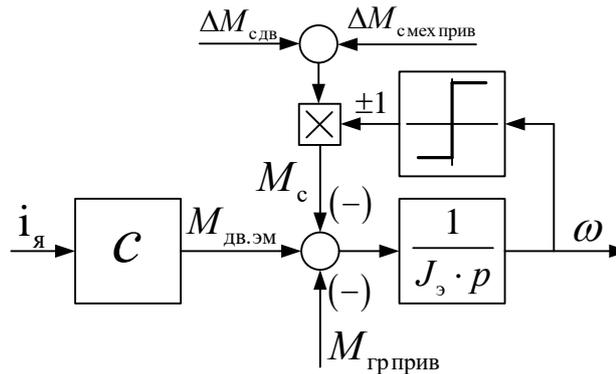


Рисунок 2.5 – Структурная схема одномассовой механической системы

Расчетная схема механической системы дополнительного электропривода лебедки представляет собой двухмассовую систему, представленную на рисунке 2.6, где приняты следующие обозначения:

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;

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

b_{B12} – эквивалентный коэффициент внутреннего демпфирования.

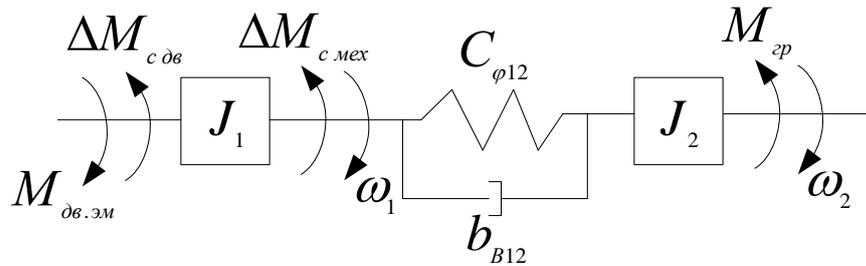


Рисунок 2.6 – Расчетная схема двухмассовой механической системы
дополнительного электропривода подъемной лебедки

Линейная жесткость подъемного каната для компоновочной схемы с $i_{\text{пол}} = 10$ (см. рисунок 2.2) определяется по выражению

$$C_l = i_{\text{пол}} \cdot \frac{C_k}{l} = 10 \cdot \frac{50,25 \cdot 10^6}{(10 \div 35)} = (50,25 \cdot 10^6 \div 14,36 \cdot 10^6) \quad \text{Н/м}$$

- линейная жесткость участка длиной $l = (10-35)$ м

$$C_k = E_k \cdot S_k = 1,25 \cdot 10^{11} \cdot 4,02 \cdot 10^{-4} = 50,25 \cdot 10^6 \quad \text{Н}$$

- жесткость одного погонного метра каната;

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

- модуль продольной упругости для стального каната, принимаем

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

$$S_k = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} = 0,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} = 4,02 \cdot 10^{-4} \quad \text{м}^2$$

- площадь сечения проволок.

При изменении высоты подъема эквивалентная жесткость канатов изменяется в малых пределах, так как при этом будет изменяться только длина параллельно включенных канатов в талевой системе.

Параметры двухмассовой механической системы

Структурная схема двухмассовой механической системы (ДМС) привода подъема приведена на рисунке 2.8.

Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}} = 1,6 + 0,0957 = 1,6957 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления на валу первой массы

$$\Delta M_c = \Delta M_{сдв} + \Delta M_{мех} = 44,05 + 102,4 = 146,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции второй массы и соответствующий грузовой момент на ее оси при работе на первой передаче $i_{тп} = 182,56$

$$J_2 = (0,0057 \div 0,01197) \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$M_{гр.прив} = (260,184 \div 545,279) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При работе на «тихой» передаче $i_{ред} = 182,56$ значение углового коэффициента жесткости ДМС изменяется в пределах:

$$C_{\phi 12\text{верх}} = C_{\text{верх}} \cdot \frac{D_{\text{бмакс}}^2}{4 \cdot i_{\text{ред}}^2} = 50,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,786^2}{4 \cdot 182,56^2} = 232,868 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

$$C_{\phi 12\text{нижн}} = C_{\text{нижн}} \cdot \frac{D_{\text{бмин}}^2}{4 \cdot i_{\text{ред}}^2} = 14,36 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,629^2}{4 \cdot 182,56^2} = 42,617 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

Минимальное значение угловой частоты резонансных колебаний ДМС будет иметь место в нижнем положении крюка-блока с максимальной массой груза.

Максимальная нагрузка, нижнее положение.

$$\omega_{12\text{нижн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{нижн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{макс}})}{J_1 \cdot J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{42,617 \cdot (1,6957 + 0,01197)}{1,6957 \cdot 0,01197}} = 58,817 \text{ рад/с}.$$

Нагрузка отсутствует, нижнее положение.

$$\omega_{12\text{нижн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{нижн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{мин}})}{J_1 \cdot J_{2\text{мин}}}} = \sqrt{\frac{42,617 \cdot (1,6957 + 0,0057)}{1,6957 \cdot 0,0057}} = 85,072 \text{ рад/с}.$$

Максимальная нагрузка, верхнее положение.

$$\omega_{12\text{верхн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{верхн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{макс}})}{J_1 \cdot J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{232,868 \cdot (1,6957 + 0,01197)}{1,6957 \cdot 0,01197}} = 137,489 \text{ рад/с}.$$

Нагрузка отсутствует, верхнее положение.

$$\omega_{12\text{верхн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{верхн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{мин}})}{J_1 \cdot J_{2\text{мин}}}} = \sqrt{\frac{232,868 \cdot (1,6957 + 0,0057)}{1,6957 \cdot 0,0057}} = 198,861 \text{ рад/с}.$$

Коэффициент внутреннего демпфирования ДМС ориентировочно может быть определен по выражению

$$b_{в12нижн} = \frac{\lambda_{вТ} \cdot C_{\phi12нижн}}{\pi \cdot \omega_{12нижн}},$$

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

Максимальная нагрузка, нижнее положение.

$$b_{в12нижн} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 42,617}{3,14 \cdot 58,817} = (0,023 \div 0,046)$$

Нагрузка отсутствует, нижнее положение.

$$b_{в12нижн} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 42,617}{3,14 \cdot 85,072} = (0,016 \div 0,032)$$

Максимальная нагрузка, верхнее положение.

$$b_{в12верхн} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 232,868}{3,14 \cdot 137,489} = (0,054 \div 0,1079)$$

Нагрузка отсутствует, верхнее положение.

$$b_{в12верхн} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 232,868}{3,14 \cdot 198,861} = (0,037 \div 0,0746)$$

Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза представлена на рисунке 2.7.

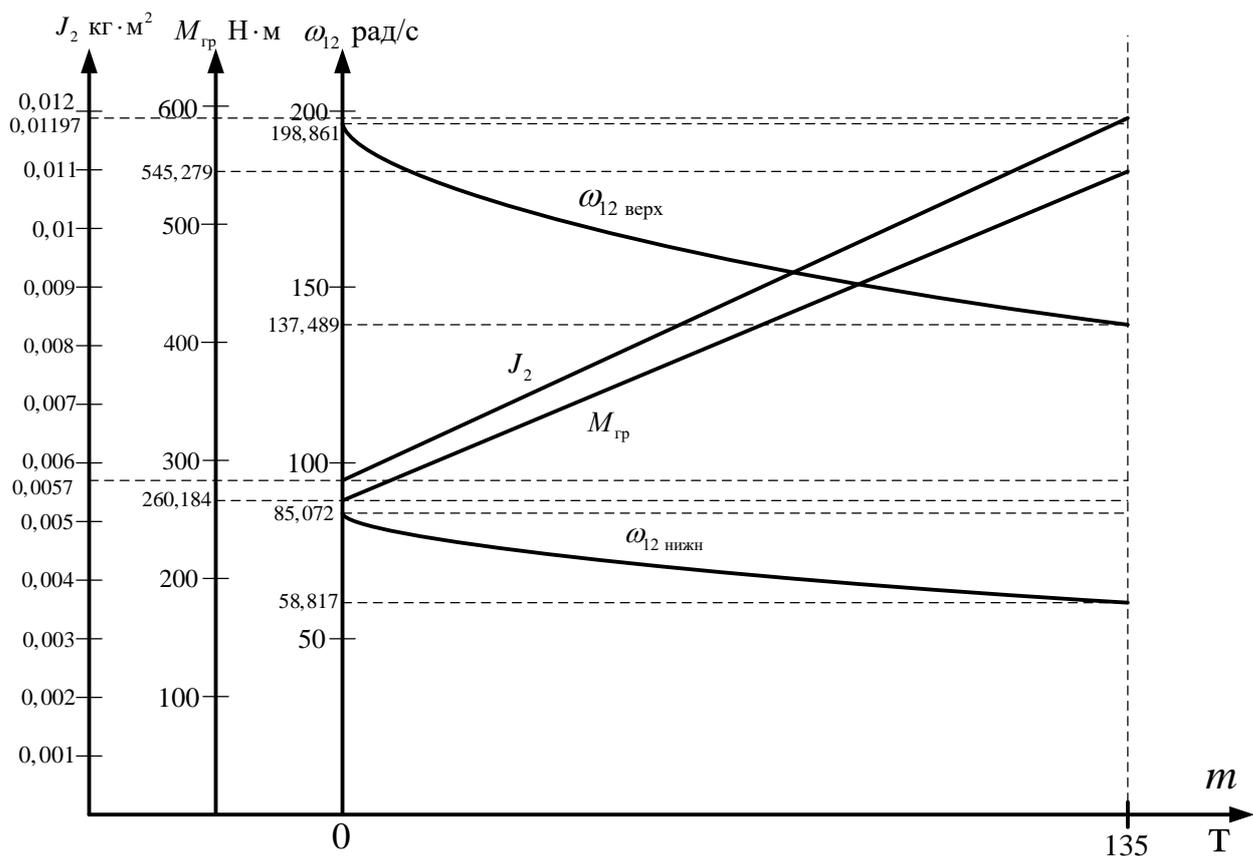


Рисунок 2.7 - Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза

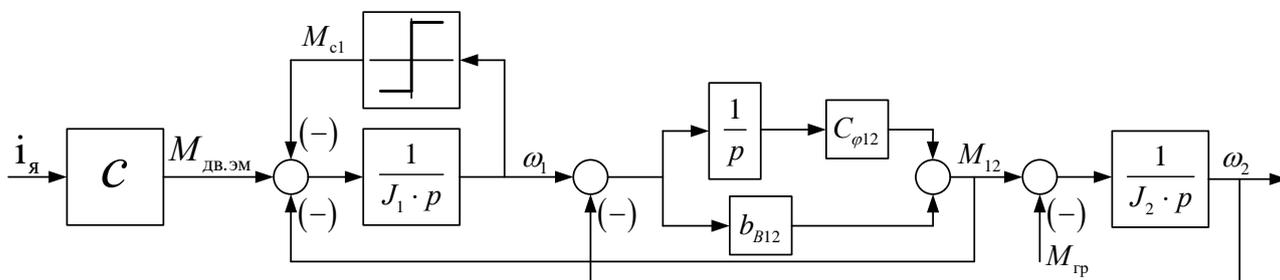


Рисунок 2.8 – Структурная схема механической системы дополнительного привода лебедки

2.4 Выбор тиристорного преобразователя, расчет параметров

Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{дн} \geq U_{дв. н}; I_{дн} \geq I_{дв. н}; I_{дмакс} \geq I_{дв. макс}.$$

Параметры двигателя:

$$U_{дв. н} = 440 \text{ В}; I_{дв. н} = 225 \text{ А}; I_{дв. макс} = 360 \text{ А}.$$

Технические характеристики преобразователя:

- преобразователь реверсивный;
- управление преобразователем отдельное;
- трёхфазная мостовая схема выпрямления;
- сглаживающий реактор в цепи якоря;
- кратковременная перегрузка (не более 5 с);
- коэффициент передачи управляющего органа на входе СИФУ $k_{yo} = 1$;
- Размах опорного напряжения $2 \cdot U_{оп.макс} = 10 \text{ В}$;
- $m_b = 6$;
- $U_{дн} = 460 \text{ В}$;
- $I_{дн} = 320 \text{ А}$.
- $I_{dмакс} = 2,25 \cdot I_{дн} = 720 \text{ А}$ - в течение 10 с.

Выбор трехфазного токоограничивающего реактора

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

$$Z_{фрасч} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{сф}}{100 \cdot I_{фрасч}} = \frac{5,5 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 192,543} = 0,0626 \text{ Ом}$$

где $I_{фрасч} = k_{i2ф} \cdot k_i \cdot I_{двн} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot 225 = 192,543 \text{ А}$;

$U_{сф}$ - фазное напряжение питающей сети, $U_{сф} = 380 \text{ В}$;

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

Предварительно пренебрегаем активным сопротивлением обмоток реактора, тогда $X_{фрасч} = Z_{ф}$ и необходимое значение индуктивности обмотки фазы реактора

$$L_{фрасч} = \frac{X_{фрасч}}{\omega_c} = \frac{0,0626}{314} = 0,199 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор типа РТСТ-265-0,156У3 с паспортными данными:

$$U_{л} = 410 \text{ В}; I_{фн} = 265 \text{ А}; R_{рф} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; L_p = 0,156 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

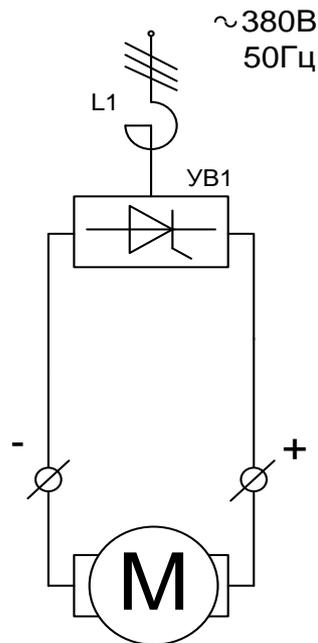


Рисунок 2.9. – Схема электрическая силовой цепи дополнительного привода лебедки

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\text{фрасч}} = \omega_c \cdot L_p = 314 \cdot 0,000156 = 48,984 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление от коммутации анодных токов

$$R_k = \frac{m_b \cdot X_{\text{фрасч}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 48,984 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,0468 \text{ Ом.}$$

2.5 Определение параметров тиристорного преобразователя

Средневыпрямленная ЭДС при угле управления $\alpha = 0$ (ЭДС холостого хода)

$$E_{d0} = k_{u2л} \cdot U_{2л} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В.}$$

Параметры силовой цепи преобразователя:

– активное сопротивление преобразователя:

$$R_{\text{тп}} = 2 \cdot R_{\text{рф}} + R_k = 2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} + 46,8 \cdot 10^{-3} = 61,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом ;}$$

– индуктивность преобразователя:

$$L_{\text{тп}} = 2 \cdot L_{\text{рф}} = 2 \cdot 0,156 \cdot 10^{-3} = 0,312 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Углы управления:

– минимальный $\alpha_{\text{мин}} \geq (5 \div 10)^\circ$,

– максимальный $\alpha_{\text{макс}} \leq 160^\circ$.

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{\text{тп макс}} = \frac{\pi \cdot k_{\text{yo}} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{\text{оп.макс}}} = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot 513}{10} = 161,082.$$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{тп}} = \frac{0,5}{m_{\text{в}} \cdot f_{\text{с}}} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с.}$$

2.6 Расчет параметров якорной цепи привода

Сопrotивление якорной цепи с учетом параллельного включения двух выпрямительных мостов

$$\begin{aligned} R_{\text{яц}} &= R_{\text{тп}} + R_{\text{двгор}} + 0,1 \cdot R_{\text{двгор}} = \\ &= 61,2 \cdot 10^{-3} + 85,28 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 85,28 \cdot 10^{-3} = 155,008 \cdot 10^{-3} \text{ Ом,} \end{aligned}$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{тп}} = 1,4 \cdot 10^{-3} + 0,312 \cdot 10^{-3} = 1,712 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{1,712 \cdot 10^{-3}}{155,008 \cdot 10^{-3}} = 11,0446 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{\text{дгрмакс}} = \frac{K_{\text{грмакс}} \cdot E_{d0}}{\omega_{\text{с}} \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{0,093 \cdot 513}{314 \cdot 1,712 \cdot 10^{-3}} = 88,7497 \text{ А,}$$

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

В относительных единицах

$$\frac{I_{\text{дгрмакс}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{88,7497}{225} = 0,394.$$

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

$$P(1)\% = \frac{E_{d(1)\text{макс}} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot I_{\text{двн}} \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{87,943 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 225 \cdot 1,712 \cdot 10^{-3}} = 12,118\% ,$$

где $E_{d(1)\text{макс}} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot m_B}{(m_B^2 - 1)} = \frac{513}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 87,943 \text{ В}$ – действующее значение первой

гармоники выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$.

2.7 Определение области допустимой работы дополнительного электропривода подъемной лебедки

Максимальный допустимый ток двигателя:

при $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{двн}}$

$$I_{\text{двмакс}} = k_{\text{пер дв}} \cdot I_{\text{двн}} = 1,6 \cdot 225 = 360 \text{ А},$$

где $k_{\text{пер дв}}$ - коэффициент перегрузочной способности двигателя, $k_{\text{пер дв}} = 1,6$.

Максимальный допустимый ток преобразователя $I_{d \text{ макс}} = 720 \text{ А}$.

Принимаем при работе в первой зоне $I_{\text{эпмакс}} = 360 \text{ А}$.

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{мин}} &= \arccos \frac{c \cdot \omega_{\text{эпмакс}} + I_{\text{двн}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ис}} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{4,018 \cdot 104,72 + 225 \cdot 0,155}{0,9 \cdot 513} = \\ &= \arccos(0,986875) = 9,29333^\circ , \end{aligned}$$

принимаем $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$.

Предельная электромеханическая характеристика привода рассчитывается по выражению

$$\omega(I) = \frac{1}{K \cdot \Phi_{\text{двном}}} (K_{\text{ис}} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - I_{\text{дв}} \cdot R_{\text{яц}})$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

$K_{ис} = 0,9$				
$\Phi_{дв} = 0,0406 \text{ Вб}$	$I_{дв}, \text{ А}$	0	$I_{дв н} = 225 \text{ А}$	$I_{дв макс} = 360 \text{ А}$
	$\omega_{дв}, \text{ рад/с}$	113,16 2	104,7	99,275
$K_{ис} = 1$				
$\Phi_{дв} = 0,0406 \text{ Вб}$	$I_{дв}, \text{ А}$	0	$I_{дв н} = 225 \text{ А}$	$I_{дв макс} = 360 \text{ А}$
	$\omega_{дв}, \text{ рад/с}$	125,73 6	117,056	111,848

По данным таблицы 2.3 построены предельные характеристики дополнительного электропривода подъемной лебедки, ограничивающие его область допустимой работы в 1 квадранте. Предельные характеристики дополнительного электропривода подъемной лебедки приведены на рисунке 2.10.

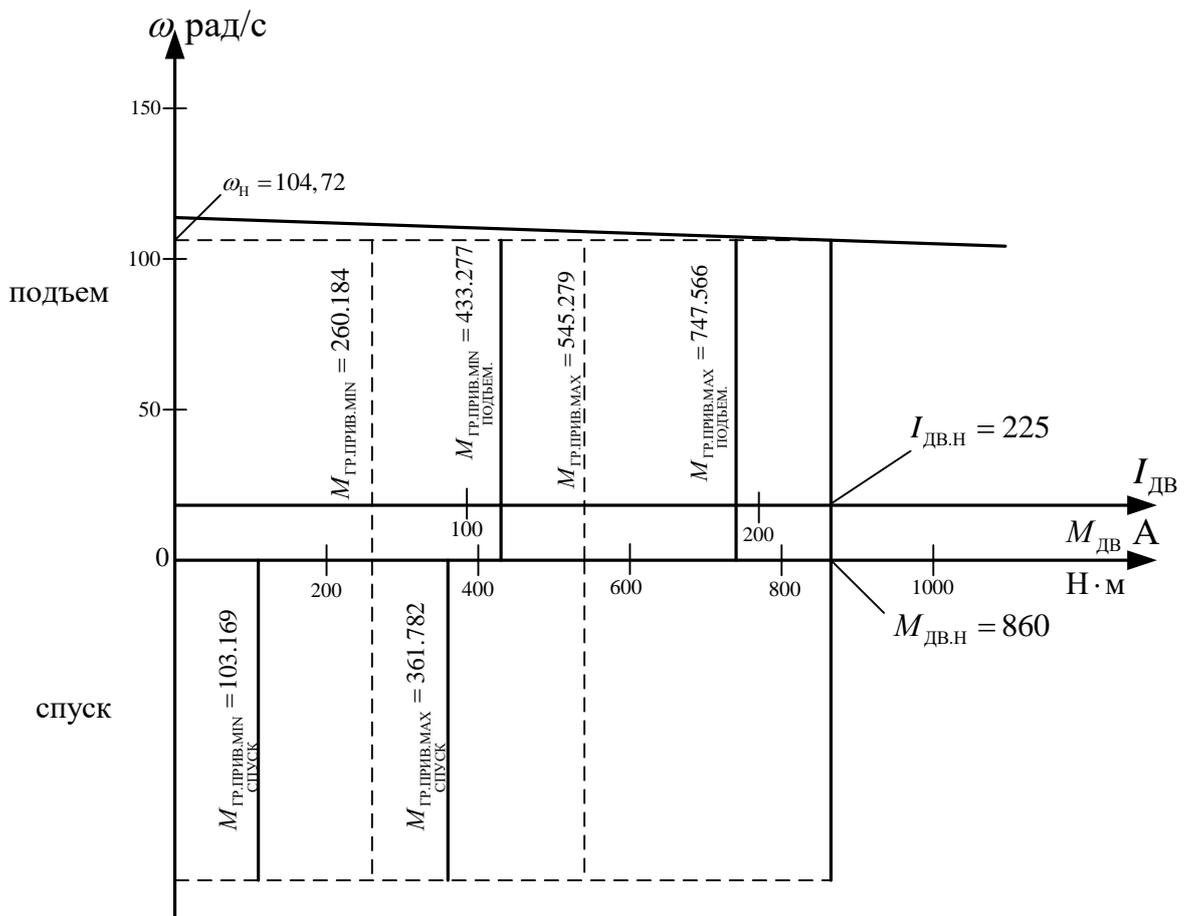


Рисунок 2.10 – Область допустимой работы дополнительного электропривода лебедки

2.8 Структурная схема силового канала дополнительного электропривода подъемной лебедки

В силовой канал электропривода входят:

- тиристорный преобразователь, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

Структурная схема силового канала регулируемого электропривода приведена на рисунке 2.12:

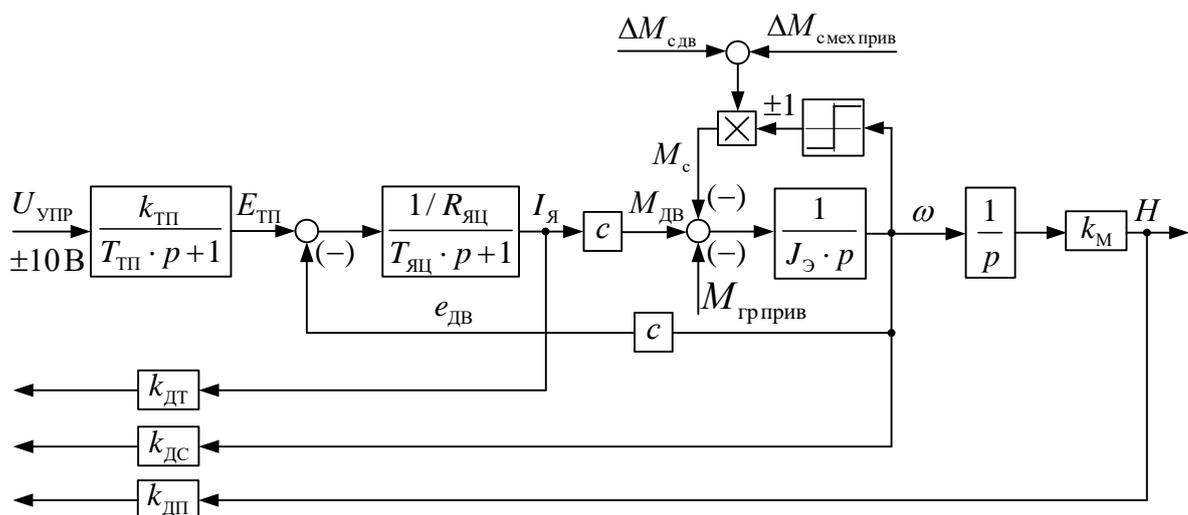


Рисунок 2.12 – Структурная схема силового канала
главного электропривода подъемной лебедки

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$k_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{эт макс}}}{I_{\text{эп макс}}} = \frac{10}{360} = 0,02777 \text{ В/А.}$$

Коэффициент передачи датчика скорости

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{зс.макс}}}{\omega_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{104,72} = 0,0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

Коэффициент передачи датчика положения

$$k_{\text{дп}} = \frac{n_{\text{дп}} \cdot i_{\text{пол}}}{\pi \cdot D_{\delta}} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot (0,629 \div 0,786)} = (5063,14 \div 4051,8) \frac{\text{дискрет}}{\text{м}},$$

где $n_{\text{дп}} = 1000$ число импульсов датчика положения на один оборот вала.

Коэффициент передачи механизма

$$k_{\text{м}} = \frac{D_{\delta}}{2 \cdot i_{\text{пол}} \cdot i_{\text{ред}}} = \frac{(0,629 \div 0,786)}{2 \cdot 10 \cdot 182,56} = (0,00017 \div 0,000215) \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Параметры структурной схемы приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

$U_{\text{УП}}$	В	± 10
$k_{\text{ТП}}$		161,082
$T_{\text{ТП}}$	с	0,00167
$R_{\text{ЯЦ}}$	Ом	$155,008 \cdot 10^{-3}$
$L_{\text{ЯЦ}}$	Гн	$1,712 \cdot 10^{-3}$
$T_{\text{ЯЦ}}$	с	$11,0446 \cdot 10^{-3}$
c	$\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$	4,018
$J_{\text{Э}}$	кг·м ²	(1,7 ÷ 1,71)
$k_{\text{М}}$	$\frac{\text{м}}{\text{рад}}$	(0,00017 ÷ 0,000215)
$k_{\text{ДТ}}$	$\frac{\text{В}}{\text{А}}$	0,02777
$k_{\text{ДС}}$	$\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$	0,0955
$k_{\text{ДП}}$	$\frac{\text{дискр}}{\text{м}}$	(5063,14 ÷ 4051,8)
$M_{\text{ГР.ПРИВ}}$	Н·м	(260,184 ÷ 545,279)
$M_{\text{С.ДВ}}$	Н·м	44,05
$M_{\text{МЕХ}}$	Н·м	102,4
$M_{\text{С}}$	Н·м	146,45

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

3.1 Функциональная схема дополнительного электропривода буровой лебедки (электропривод РПД)

Функциональная схема электропривода РПД приведена на рисунке 3.1.

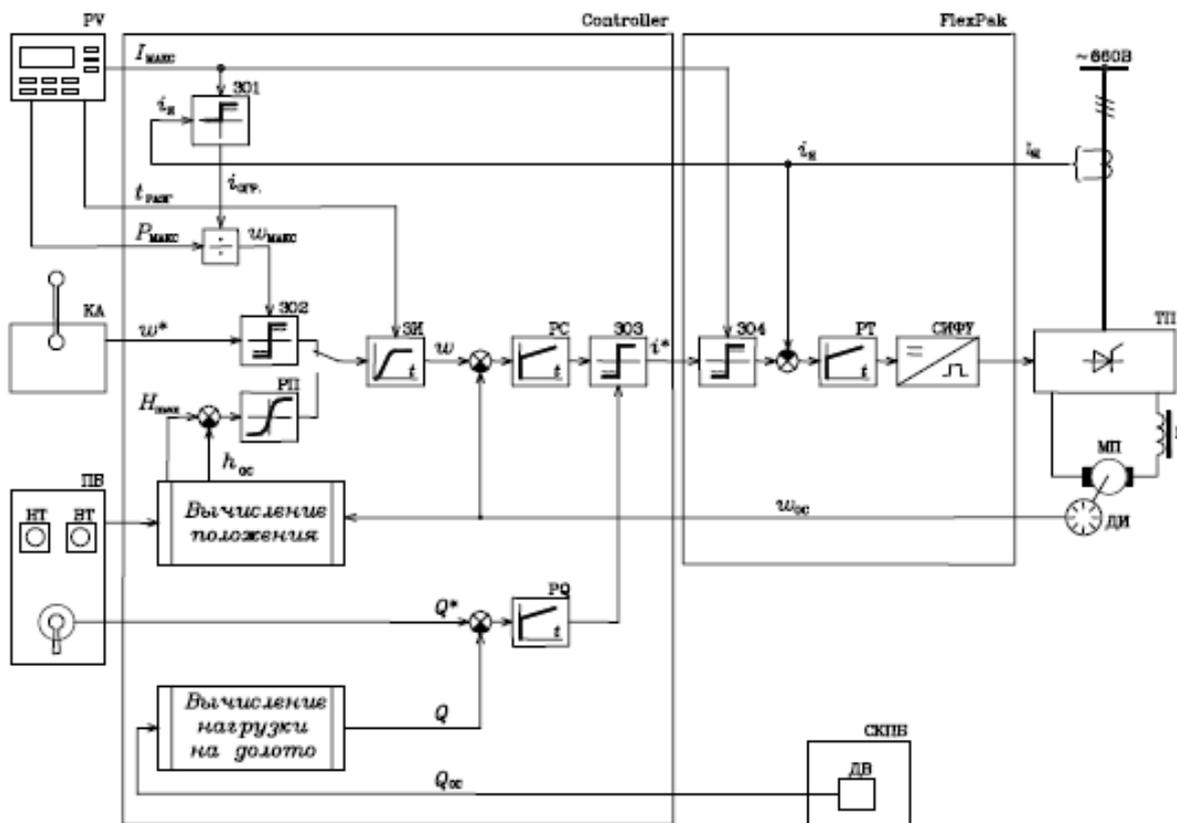


Рисунок 3.1. - Функциональная схема электропривода РПД

Основные функциональные устройства дополнительного электропривода лебедки:

- ТП – тиристорный преобразователь;
- МП – двигатель постоянного тока;
- СИФУ – система импульсно-фазового управления;
- РТ – регулятор тока;
- РС – регулятор скорости;
- RQ – регулятор натяжения каната;
- КА – командоаппарат;
- ЗО – звено ограничения;

РП – регулятор положения;

ДВ – датчик веса;

ДИ – датчик импульсный;

ПБ – пульт бурильщика;

Блок вычисления положения;

Блок вычисления нагрузки на долото;

Электропривод РПД выполнен по системе ТП-Д постоянного тока. Тиристорный преобразователь выполнен нереверсивным. Поэтому для обеспечения спуска порожнего элеватора или подачи инструмента при легкой колонне бурильных труб предусмотрен реверс двигателя путем изменения полярности обмотки возбуждения с помощью контактора КМ. Питание обмотки возбуждения осуществляется от однофазного мостового выпрямителя, выполненного на тиристорах и встроенного в микропроцессорную систему управления FlexPak.

САР дополнительного электропривода лебедки в режиме поддержания заданной скорости подъема и спуска трехконтурная, аналогичная основной лебедки. Отличие заключается в том, что контур тока выполнен в микропроцессорной системе управления FlexPak, а контуры скорости и положения - в контроллере МПК.

В режиме регулятора подачи долота (РПД) изменяется структура САР дополнительного привода. Звено ограничения ЗОЗ выявляет наибольший сигнал с выхода регулятора скорости РС или с выхода регулятора натяжения каната (PQ). С выхода ЗОЗ сигнал задания тока поступает на вход регулятора тока РТ.

ПИ-регулятор натяжения PQ сравнивает заданное усилие на долото Q^* и фактическое усилие Q , вычисляемое контроллером, и выдает задание тока i^* на вход регулятора тока РТ. В результате привод будет работать с постоянством нагрузки на долото.

До соприкосновения долота с забоем сигнал на выходе ПИ-регулятора натяжения PQ минимальный. Поэтому сигнал с выхода регулятора скорости

РС (который больше сигнала с выхода регулятора натяжения PQ) поступает на вход регулятора тока РТ. Привод работает с постоянством скорости спуска.

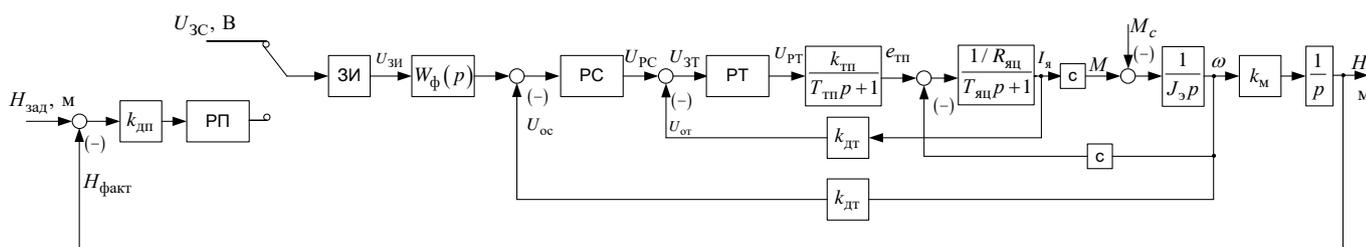
При соприкосновении долота с забоем сигнал на выходе регулятора натяжения PQ возрастет. Если сигнал с выхода регулятора натяжения PQ будет превышать сигнал с выхода регулятора скорости РС (задана малая скорость спуска), то привод будет работать с постоянством натяжения в мертвом конце каната (постоянством веса).

В общем случае, если при бурении задана большая скорость спуска, то бурение происходит с постоянством скорости (при этом нагрузка на долото не постоянна). Если при бурении задана малая скорость бурения, то бурение происходит с постоянством нагрузки на долото (постоянством усилия в мертвом конце каната).

3.2 Структурная схема САУ электропривода РПД

Структурная схема линеаризованной САУ электропривода РПД приведена на рисунке 3.2.

Рисунок 3.2 – Структурная схема САУ дополнительного привода подъемной лебедки



На схеме приняты следующие обозначения:

РС – регулятор скорости;

РТ – регулятор тока;

РП – регулятор положения;

$K_{дт}$ – коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ;

$K_{дс}$ – коэффициент входной цепи обратной связи регулятора и передачи датчика скорости.

$K_{дп}$ – коэффициент передачи датчика положения.

САУ электропривода РПД реализована как трехконтурная с внутренними контурами тока якоря и скорости и внешним контуром положения.

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

Оптимизация проводится в два этапа:

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

3.3 Оптимизация контура тока якоря

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема приведена на рисунке 3.3, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя.

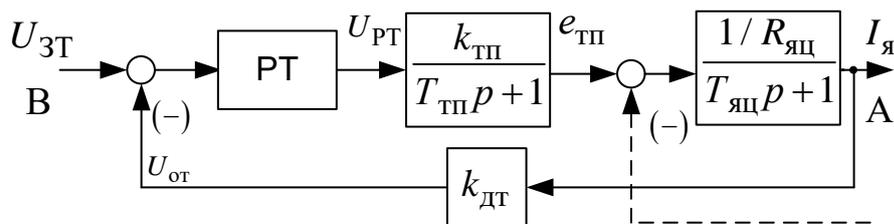


Рисунок 3.3 – Структурная схема контура тока в режиме заторможенного двигателя.

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени $T_{яц} = 11,044 \cdot 10^{-3}$ с и $T_{тп} = 1,67 \cdot 10^{-3}$ с.

Отношение $\frac{T_{яц}}{T_{тп}} = \frac{11,044 \cdot 10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-3}} = 6,61$ значительно больше единицы,

следовательно, принимаем:

- $T_{\mu\Gamma} = T_{\Gamma\Pi} = 0,00167$ с – малая постоянная времени контура;

- $T_{яц} = 0,011044$ с – большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

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

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

где $T_{\text{рт}} = T_{яц} = 0,011044$ с – постоянная времени регулятора.

Коэффициент обратной связи по току

$$k_{\Gamma} = \frac{U_{\text{эт.макс}}}{I_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{360} = 0,0277 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

где $U_{\text{эт.макс}} = 10$ – максимальное напряжение задания на ток;

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{k_{\Gamma\Pi} \cdot k_{\Gamma} \cdot a_{\Gamma} \cdot T_{\mu\Gamma}} = \frac{0,01104 \cdot 0,155008}{161,082 \cdot 0,02777 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,115,$$

где $a_{\Gamma} = 2$ – коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W_{\text{т.раз}}(p) = \frac{1}{a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{т}} \cdot p \cdot (T_{\mu\text{т}} \cdot p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot (0,00167 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{1}{5,577 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p}$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W_{\text{т.зам}}(p) = \frac{1/k_{\text{т}}}{a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{т}} \cdot p \cdot (T_{\mu\text{т}} \cdot p + 1) + 1} = \frac{1/0,02777}{2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot (0,00167 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{7,198}{5,577 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p + 1}$$

По структурной схеме контура тока (см. рисунок 3.3) набираем имитационную модель в среде Matlab R2007a, представленную на рисунке. ПИ – регулятор организован по схеме, изображенной на рисунке 3.5.

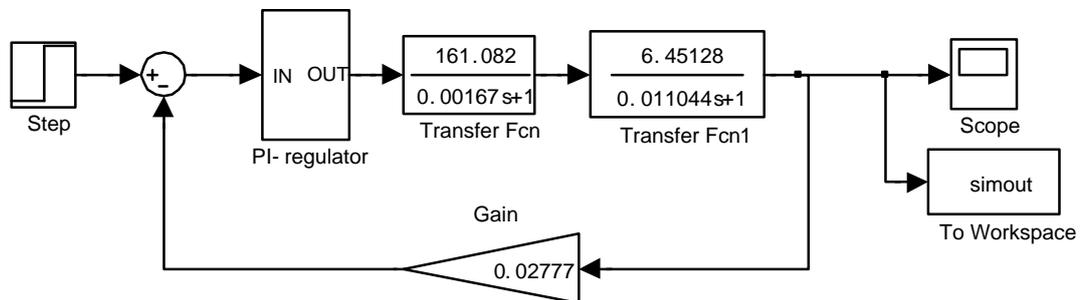


Рисунок 3.4 – Имитационная модель контура тока

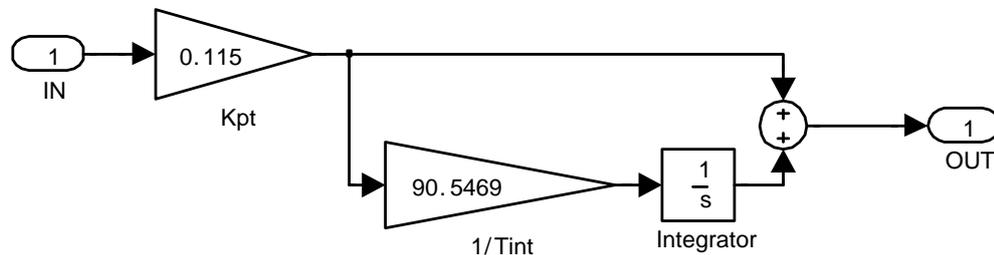


Рисунок 3.5 – Модель ПИ – регулятора в среде Matlab R2006a.

Результаты моделирования переходных процессов в контуре тока, при отработке ступенчатого входного воздействия $U_{\text{ст}} = 10 \text{ В}$ приведены в виде переходной характеристики $i_{\text{я}}(t)$ на рисунке 3.6.

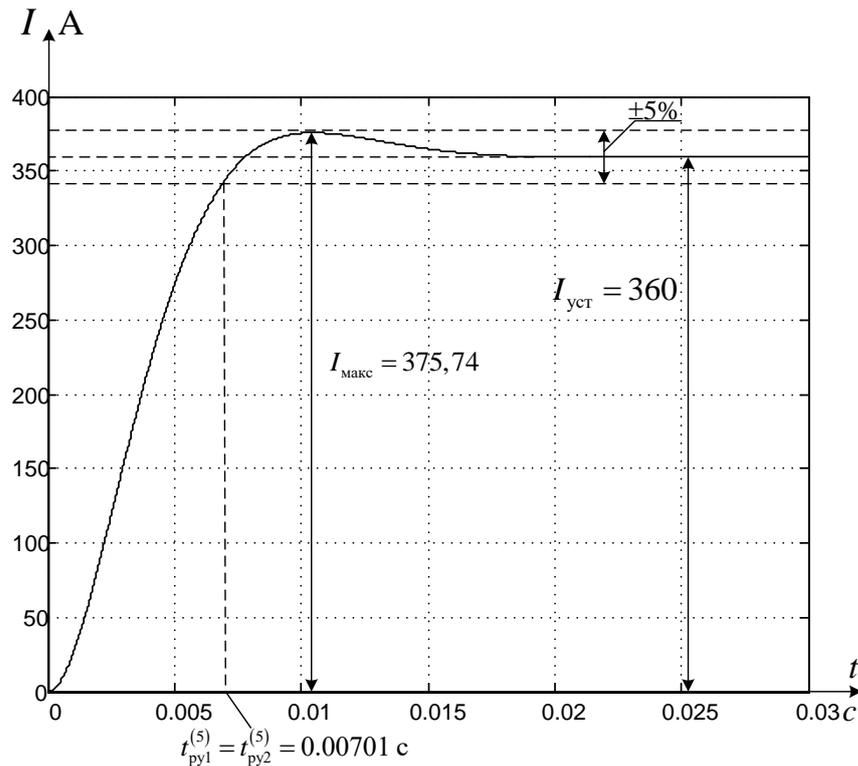


Рисунок 3.6 – Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по структурной схеме, представленной на рисунке 3.6

По переходной характеристике $i(t)$ были определены следующие показатели:

$t_{\text{py1}}^{(5)} = 0,00701$ с – время первого согласования;

$t_{\text{py2}}^{(5)} = 0,00701$ с – время переходного процесса;

$I_{\text{макс}} = 375,74$ А – максимальное значение тока;

$I_{\text{уст}} = 360$ А – установившееся значение тока;

$$\sigma = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{375,74 - 360}{360} \cdot 100\% = 4,37\% \text{ – перерегулирование.}$$

Анализ полученных результатов моделирования контура тока, настроенного на модульный оптимум показывает, что они практически не отличаются друг от друга. Небольшая разница экспериментальных и ожидаемых показателей

связана с неточностью обработки графиков. Так как установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0$, то в контуре тока обеспечивается астатическое регулирование.

3.4. Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 3.7.

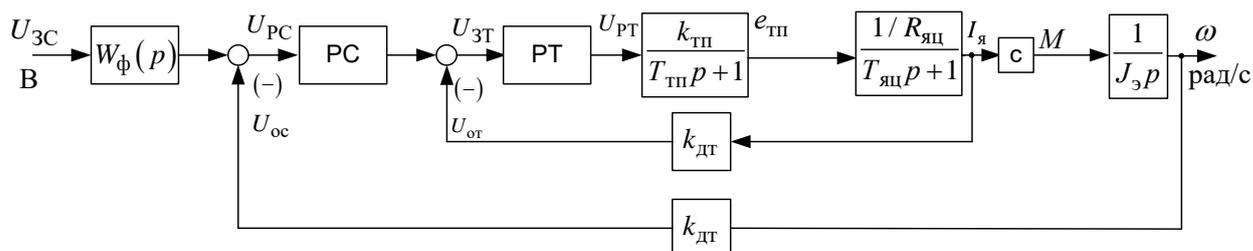


Рисунок 3.7 – Структурная схема контура скорости

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

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p} = k_{pc} + \frac{1}{T_{pc} \cdot p}.$$

Малая постоянная времени контура

$$T_{\mu c} = a_T \cdot T_{тп} = 2 \cdot 0.00167 = 0.00334 \text{ с.}$$

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{10}{104.72} = 0.0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где $U_{зс.макс} = 10 \text{ В}$ – максимальное напряжение задания на скорость.

Коэффициент усиления регулятора скорости

$$k_{pc} = \frac{J_э \cdot k_T}{c \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{1,7 \cdot 0,02777}{4,018 \cdot 0,0955} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 18,418.$$

Большая постоянная времени контура, постоянная времени фильтра

$$T_2 = T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 = 0.01336 \text{ с},$$

где $a_c = 2, b_c = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости на СО.

Передаточная функция разомкнутого контура скорости, настроенного на СО

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с.раз}} &= \frac{b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left\{ a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left[a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\}} = \\ &= \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p + 1}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot (0.00167 \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\}} = \\ &= \frac{0.01336 \cdot p + 1}{4.977 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 2.981 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.925 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}. \end{aligned}$$

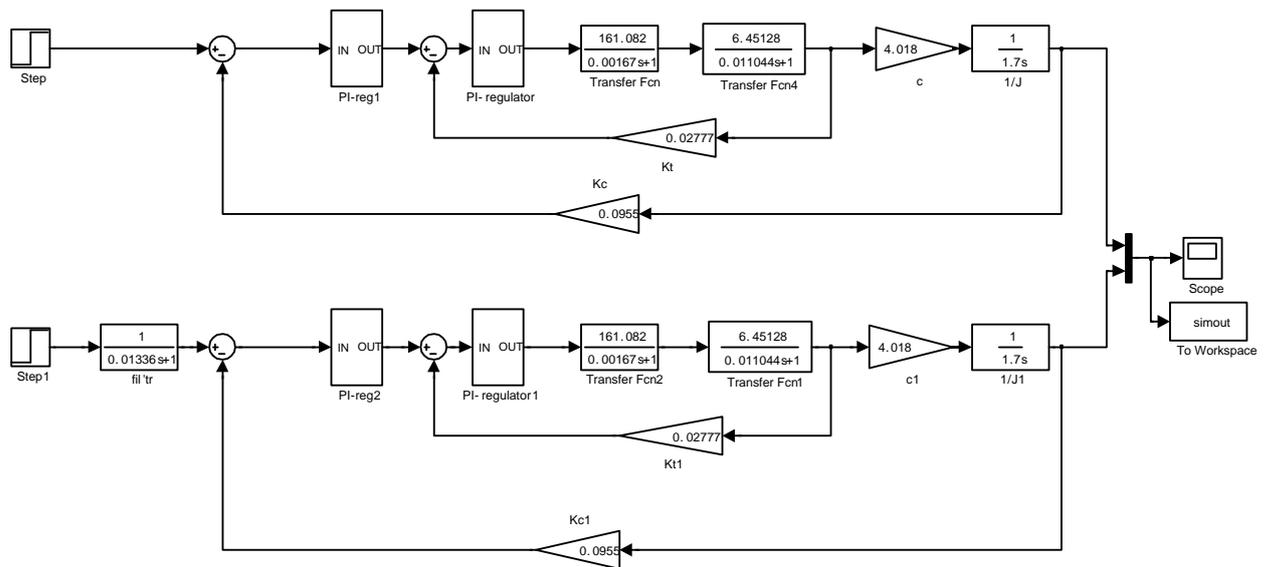
Передаточная функция замкнутого контура скорости без фильтра на входе

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с.зам}}^{\text{бф}} &= \frac{\frac{1}{k_c} \cdot (b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left\{ a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left[a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1} = \\ &= \frac{\frac{1}{0.0955} \cdot (2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot (0.00167 \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1} = \\ &= \frac{0.1398 \cdot p + 10.471}{4.977 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 2.981 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.925 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.336 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

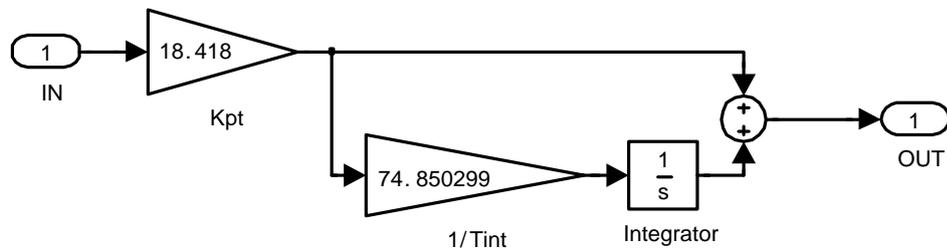
Передаточная функция замкнутого контура скорости с фильтром на входе

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с.зам}}^{\text{сф}} &= \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left\{ a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left[a_t \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1} = \\ &= \frac{\frac{1}{0.0955}}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot (0.00167 \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\} + 1} = \\ &= \frac{10.471}{4.977 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 2.981 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.925 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.336 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

По структурной схеме контура скорости, настроенного на СО (см. Рис. 3.7) набираем имитационную модель в среде Matlab R2007a, представленную на рисунке 3. 8.



1)



2)

Рисунок 3. 8 – 1) Имитационная модель контура скорости 2) ПИ-регулятор скорости

Результаты моделирования переходных процессов в контуре скорости, настроенного на симметричный оптимум, при обработке ступенчатого входного воздействия приведены в виде переходных характеристик на рисунке 3.9 .

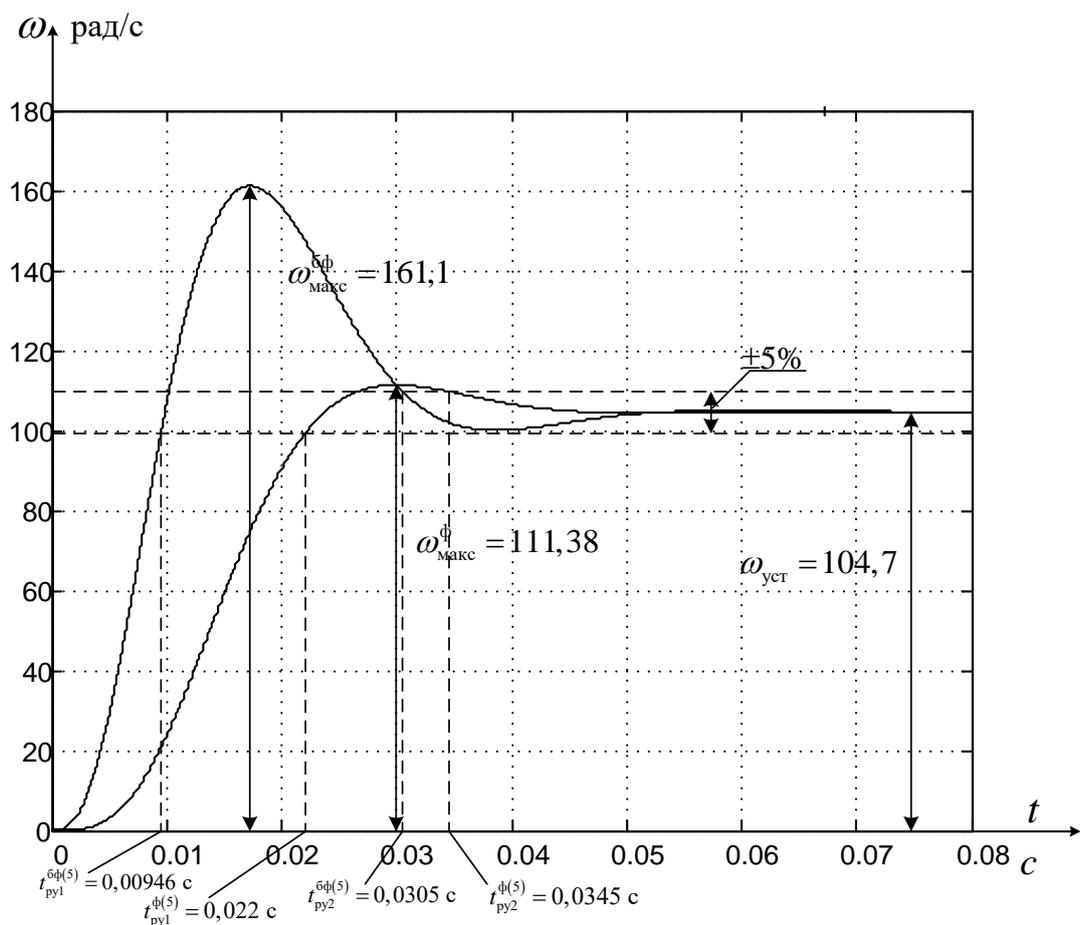


Рисунок 3.9 – Переходные характеристики $\omega(t)$ контура скорости

настроенного на СО: 1 – $\omega(t)$ без входного фильтра; 2 – $\omega(t)$ с фильтром на входе контура

По переходной характеристике $\omega(t)$ были определены следующие показатели:

$t_{\text{py1}}^{(5)\phi} = 0.022$ с – время первого согласования (с фильтром);

$t_{\text{py2}}^{(5)\phi} = 0.0345$ с – время переходного процесса (с фильтром);

$t_{\text{py1}}^{(5)\phi} = 0.00946$ с – время первого согласования (без фильтра);

$t_{\text{py2}}^{(5)\phi} = 0.0305$ с – время переходного процесса (без фильтра);

$$\omega_{\text{макс}}^{\phi} = 111.381 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – максимальное значение скорости (с фильтром);}$$

$$\omega_{\text{уст}} = 104.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – установившееся значение скорости;}$$

$$\sigma_{\phi} = \frac{\omega_{\text{макс}}^{\phi} - \omega_{\text{уст}}}{\omega_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{111,381 - 104,7}{104,7} \cdot 100\% = 6.38\%$$

$$\sigma_{\text{бф}} = \frac{\omega_{\text{макс}}^{\text{бф}} - \omega_{\text{уст}}}{\omega_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{161,1 - 104,7}{104,7} \cdot 100\% = 53.86\% \text{ –}$$

– перерегулирование.

Анализ полученных результатов моделирования контура скорости (с фильтром), настроенного на симметричный оптимум показывает, что они практически не отличаются друг от друга. Небольшая разница экспериментальных и ожидаемых показателей связана с неточностью обработки графиков. Установившаяся ошибка при настройке контура скорости по СО $\Delta\omega_{y,\text{уст}}=0$, следовательно этот контур обладает астатизмом первого порядка по управлению.

3.5. Оптимизация контура положения

Для обеспечения точного останова подъемного механизма в крайнем верхнем и нижнем положениях реализуется дополнительный контур регулирования по высоте подъема. Для его реализации необходим датчик положения (высоты подъема). Импульсный датчик положения установлен на валу барабана. Структурная схема представлена на рисунке 3.19.

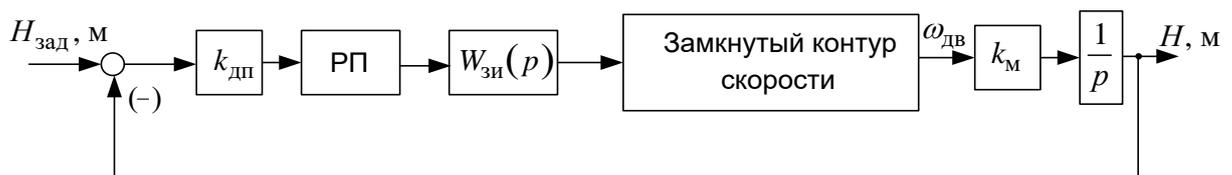


Рисунок 3.10 – Структурная схема контура положения.

На входе контура скорости установлен S-образный задатчик интенсивности скорости с постоянной времени задатчика $T_{зи}=2\text{с}$. Представим задатчик интенсивности инерционным звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W(p)_{зи} = \frac{1}{\tau_{зи} \cdot p + 1},$$

где

$$\tau_{зи} = \frac{T_{зи} \cdot V_{слмакс}}{V_{макс} \cdot (3 \div 4)} = \frac{2 \cdot 0,2}{(3 \div 4)} = (0,133 \div 0,1)\text{с}$$

– постоянная времени задатчика интенсивности;

$$V_{слмакс} = 0,2 \cdot V_{макс}$$

– принятое максимальное значение скорости подъема (спуска) в следящем режиме, м/с.

Параметры звеньев контура положения:

$$k_c = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{10}{104,72} = 0,0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \quad \text{– коэффициент обратной связи по скорости;}$$

$$T_{мсэ} = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{с} \quad \text{– малая постоянная времени контура скорости;}$$

$$k_m = \frac{D_{\delta}}{2 \cdot i_{пол} \cdot i_{ред}} = \frac{(0,629 \div 0,786)}{2 \cdot 10 \cdot 182,56} = (0,00017 \div 0,000215) \frac{\text{М}}{\text{рад}} \quad \text{–}$$

коэффициент передачи механизма;

$$k_{дп} = \frac{n_{дп} \cdot i_{пол}}{\pi \cdot D_{\delta}} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot (0,629 \div 0,786)} = (5063,14 \div 4051,8) \frac{\text{дискрет}}{\text{М}} \quad \text{–}$$

коэффициент передачи датчика положения, установленного на валу барабана;

– число импульсов датчика положения на один оборот вала.

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}}.$$

Задатчик интенсивности остается в контуре положения. Следовательно, коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_{\text{дп}} \cdot a_{\text{п}} \cdot T_{\text{мпз}}} = \frac{0,0955}{(0,00017 \div 0,000215) \cdot (5063,14 \div 4051,8) \cdot 4 \cdot 0,11336} = (0,2447 \div 0,2418),$$

где

$$T_{\text{мпз}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\text{мсз}} + \tau_{\text{зи}} = 2 \cdot 2 \cdot 3,34 \cdot 10^{-3} + (0,133 \div 0,1) = (0,14636 \div 0,11336) \text{с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура положения с задатчиком интенсивности скорости.

$a_{\text{п}} = 4$ – коэффициент оптимизации контура положения по ЛО.

Оптимизированный контур имеет следующие передаточные функции:

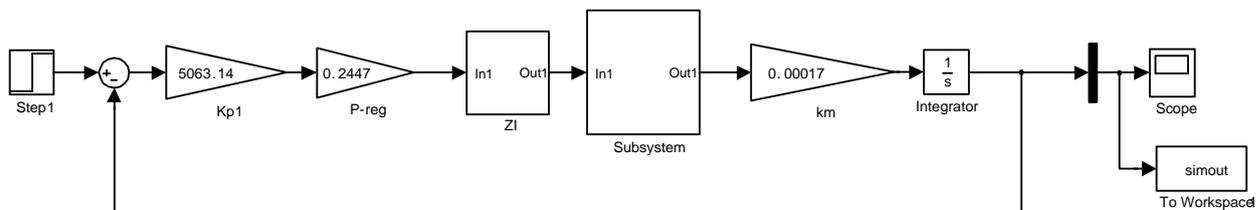
– разомкнутого контура с задатчиком скорости

$$W(p)_{\text{п.раз}} = \frac{1}{a_{\text{п}} T_{\text{мпз}} p \cdot (\tau_{\text{зи}} p + 1) \cdot (b_c a_c^2 T_{\text{мсз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мсз}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мсз}} p + 1)} = \frac{1}{0,45344 \cdot p \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot (2,98 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,92 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01336 \cdot p + 1)}$$

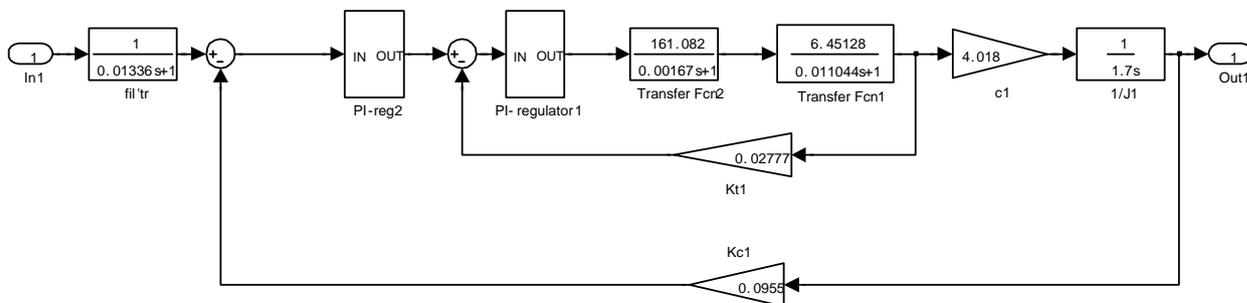
– замкнутого контура с задатчиком скорости по управлению

$$W(p)_{\text{п.раз}} = \frac{1/k_{\text{п}}}{a_{\text{п}} T_{\text{мпз}} p \cdot (\tau_{\text{зи}} p + 1) \cdot (b_c a_c^2 T_{\text{мсз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мсз}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мсз}} p + 1) + 1} = \frac{1/5063,14}{0,45344 \cdot p \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot (2,98 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,92 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01336 \cdot p + 1) + 1}$$

По передаточной функции контура положения, набираем имитационную модель в среде Matlab R2006a, представленную на рисунке 3.11.



1)



2)

Рисунок 3.11. – 1)Имитационная модель контура положения 2) Модель контура скорости на СО, входящая в контур положения

Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению и обеспечивает равную нулю статическую ошибку при постоянном значении задающего сигнала $V=0$ и равное нулю перерегулирование при обработке ступенчатого задания.

4.ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

4.1 Основные нелинейности САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

- насыщение регулятора скорости $U_{р.макс} \leq (10 \div 12)$ В, принимаем

$$U_{р.макс} = 10 \text{ В};$$

- насыщение регулятора тока $U_{рт.макс} \leq (10 \div 12)$ В. Принимаем $U_{рт.макс} = 10$ В;
- характеристика устройства постоянного токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости

$$U_{рс} \leq U_{рс.доп},$$

где $U_{рс.доп} = k_T \cdot I_{эп.макс} = 0.02777 \cdot 360 = 9.9972 \text{ В};$

примем $U_{рс.доп} = 10 \text{ В}$

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

$$E_{тп.макс} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} = 513 \cdot \cos 10^\circ = 505.206 \text{ В.};$$

- активный характер нагрузки

$$M_c(\omega) = M_c;$$

- нелинейный характер регулировочной характеристики реверсивного тиристорного преобразователя с линейным опорным напряжением.

4.2 Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

Структурная схема нелинейной САУ главного электропривода буровой лебедки представлена на рисунке 4.1.

4.3. Имитационная модель нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

На основании структурной схемы (рисунок 4.1) в пакете Simulink системы MATLAB R2007a разработана имитационная модель нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки:

Имитационная модель регулируемого электропривода представлена на рисунке 4.2:

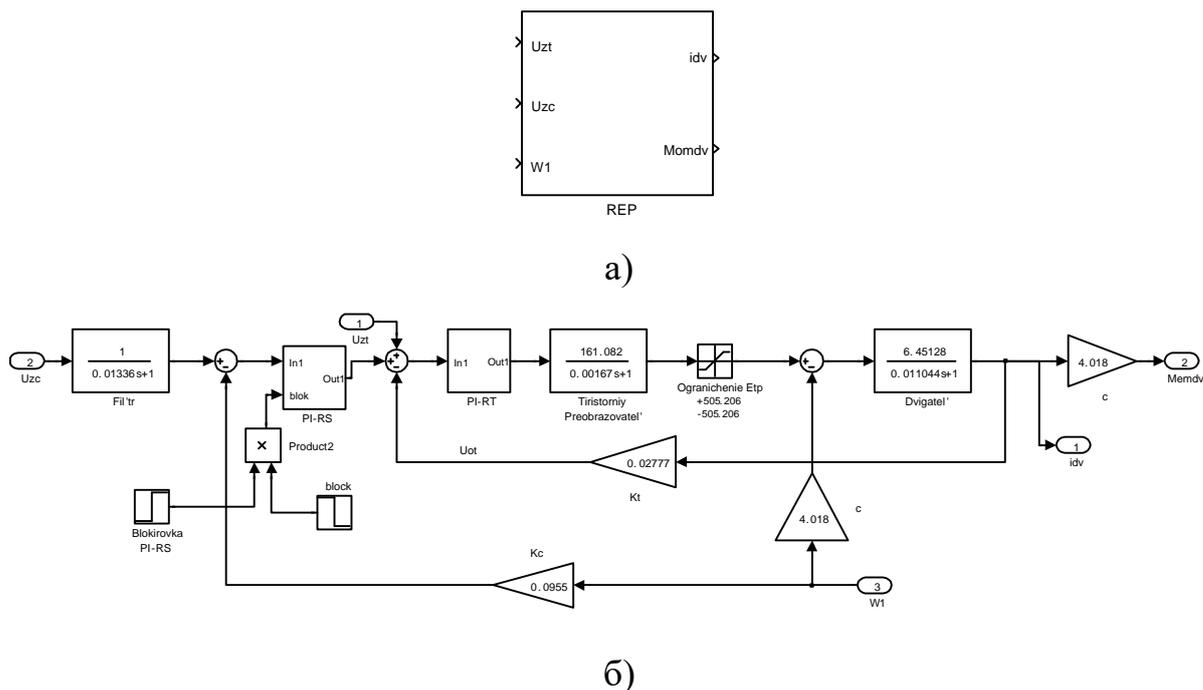
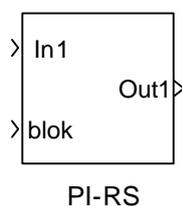


Рисунок 4.2 – Имитационная модель РЭП:

а) – суперблок; б)– схема набора модели

На рисунках 4.3, 4.4 представлены имитационные модели ПИ-регулятора скорости и ПИ-регулятора тока.



а)

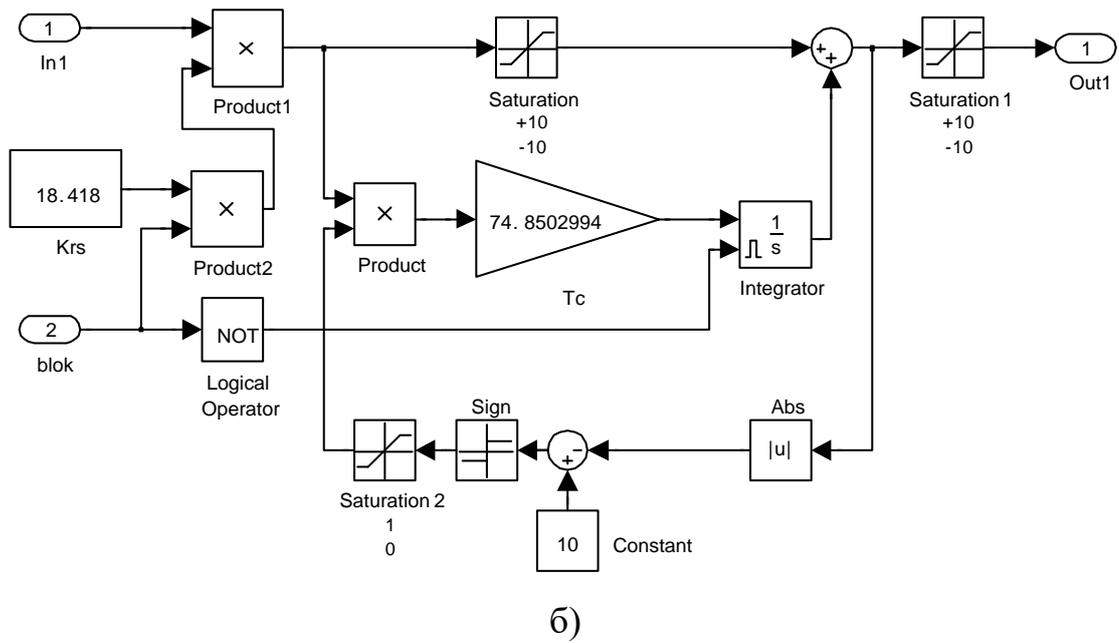
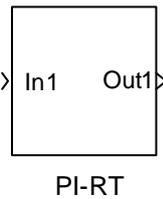
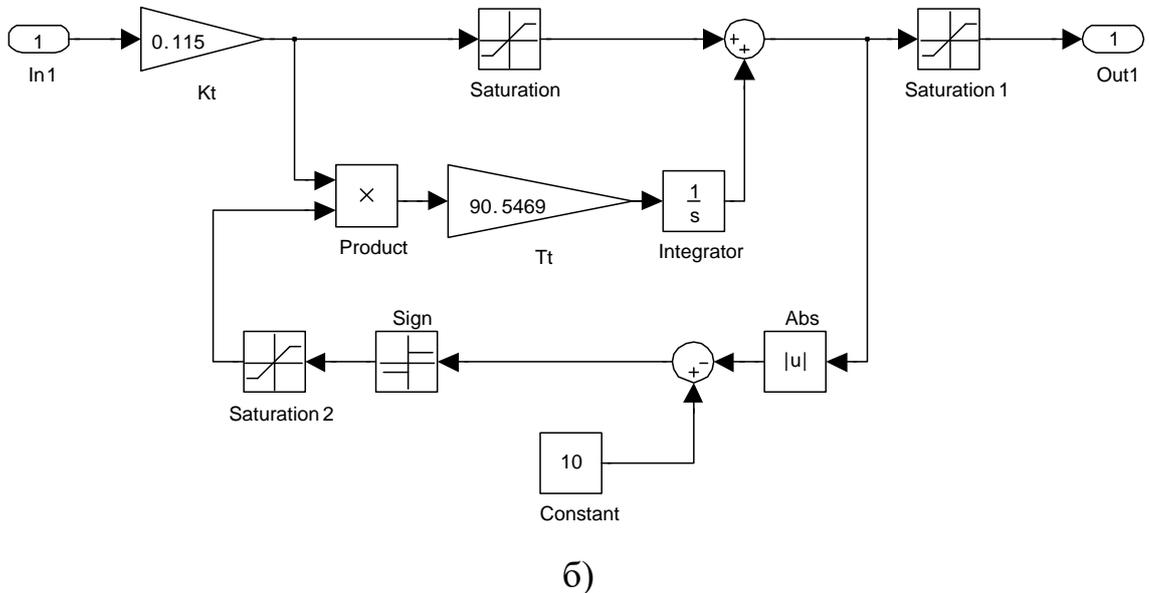


Рисунок 4.31 – Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с постоянным ограничением: а) – суперблок; б)– схема набора модели



PI-RT

а)



б)

Рисунок 4.4 – Имитационная модель ПИ-регулятора тока с постоянным ограничением: а) – суперблок; б)– схема набора модели

Ограничение момента двигателя в пусковых режимах может быть достигнуто применением датчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода. Простейшим датчиком скорости является линейный датчик. Фактически установка линейного датчика скорости обеспечивает постоянное значение темпа нарастания (спадания при торможении) скорости, т.е. постоянное ускорение (замедление) привода, что достигается поддержанием постоянного значения динамического момента электропривода.

При этом электромагнитный момент электродвигателя и его максимальное значение зависят от значения статического момента нагрузки. Датчик интенсивности с *s*-образной характеристикой позволит дополнительно ограничить вторую производную скорости (темп нарастания динамического момента электропривода) и тем самым повысить плавность переходных процессов в электроприводе.

Модель датчика интенсивности с *s*-образной характеристикой принята аналоговой с максимальными значениями входного и выходного напряжения 10 В (рисунок 4.5). Схема набора имитационной модели датчика интенсивности с *S*-образной характеристикой представлена на рисунке 4.6. Приняты следующие параметры:

$$t_1 = 0,5 \text{ с}, t_2 = 1 \text{ с}, T_{\text{зи}} = 2 \cdot t_1 + t_2 = 2 \cdot 0,5 + 1 = 2 \text{ с}$$

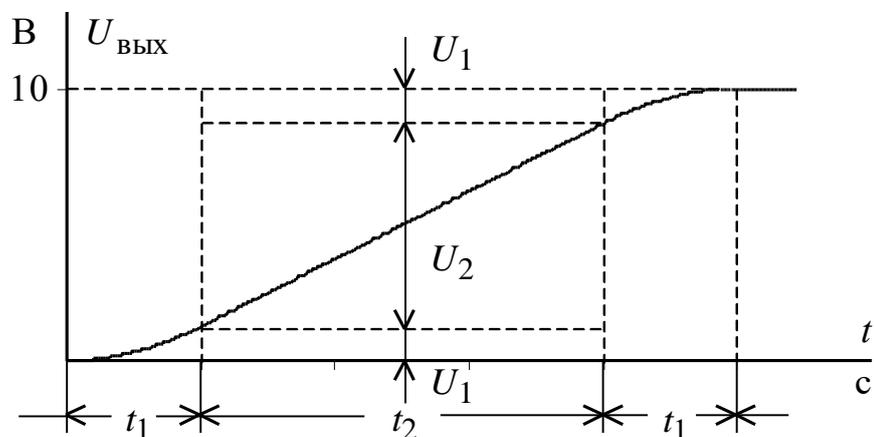


Рисунок 4.5 – Временная характеристика *S*-образного датчика интенсивности

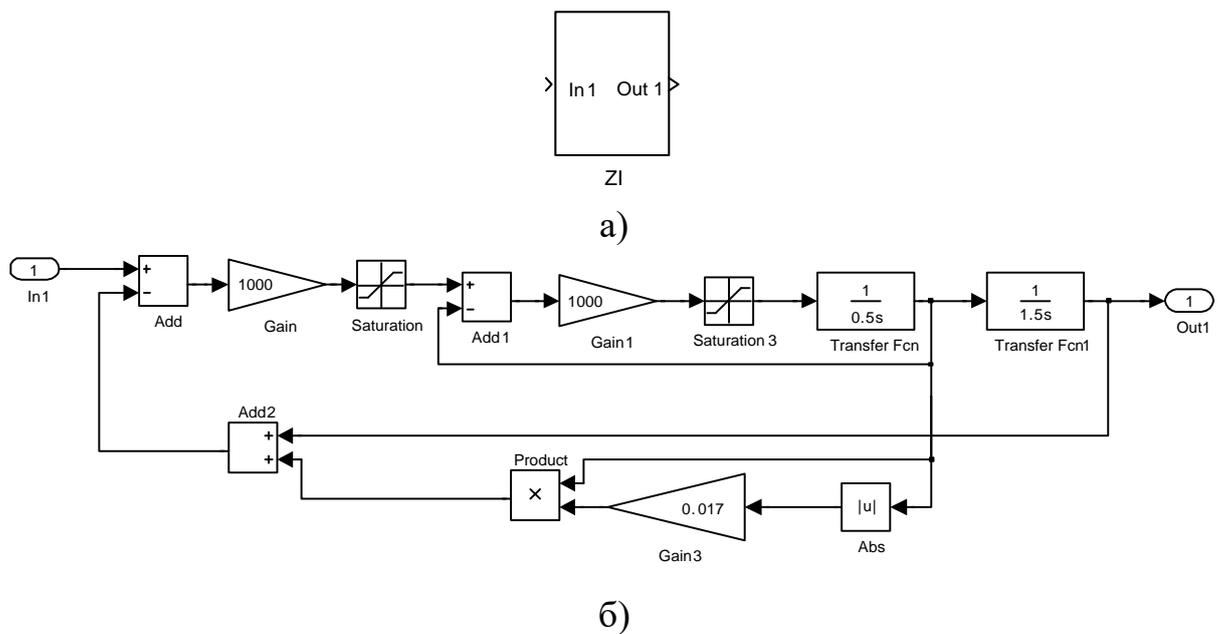


Рисунок 4.6 – Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой: а) – суперблок; б)– схема набора модели

Имитационная модель инерционной массы, набранной в пакете Simulink системы MATLAB, с учетом в общем случае переменного момента инерции J и переменного момента сопротивления активного характера M_c приведена на рисунке 4.7. В модели присутствуют две инерционные массы т.к. система является двухмассовой. Параметры настройки имитационной модели:

- блоки Saturation и Saturation1 Upper limit=10000, Lower limit=0;
- блоки Saturation2 и Saturation3 Upper limit=0, Lower limit=-10000;
- блок Lookup Table4

input	-10000	0	0.0001	10000
output	0	0	1	1

- блок Lookup Table3

input	-10000	0	0.0001	10000
output	1	1	0	0

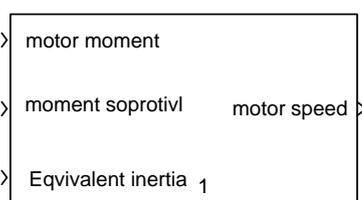
- блок Lookup Table1

input	-10000	-0.0001	0	10000
output	0	0	1	1

- блок Lookup Table2

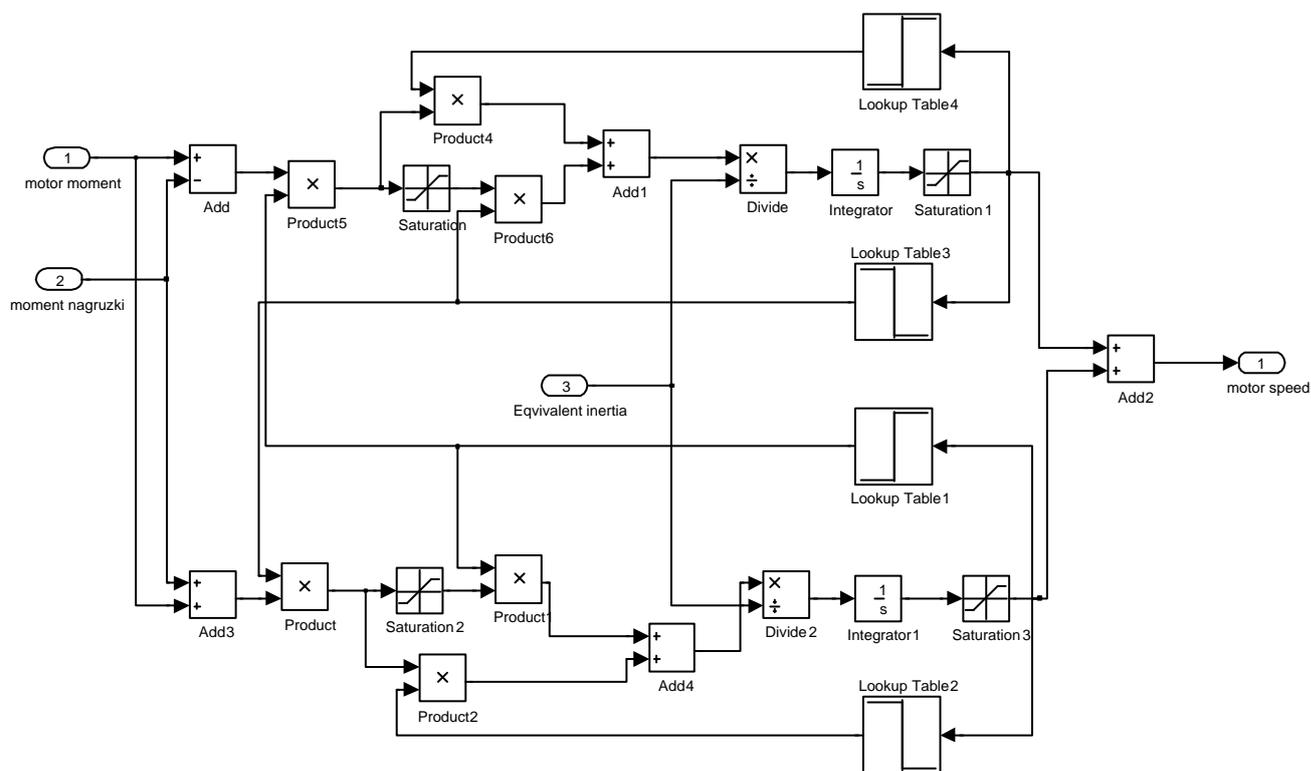
input	-10000	-0.0001	0	10000
output	1	1	0	0

Значения момента инерции J и момента сопротивления реактивного характера M_C могут изменяться произвольным образом в зависимости от времени или координат электропривода.



INMASS

а)



б)

Рисунок 4.7 – Имитационная модель инерционной массы:

а – суперблок; б – схема набора модели

Т.к. диаметр барабана является изменяющейся составляющей в работе буровой лебедки, он реализован логическим элементом (блок S-Function Builder). Параметры настройки логического элемента:

$u_0[0]$ – отработанная высота;

Приведенный угловой коэффициент жесткости ДМС $C_{\phi 12}$ переменный в зависимости от отработанной высоты $H_{отр}$ и диаметра барабана лебедки $D_б$. Имитационная модель функционального преобразователя $C_{\phi 12} = f(D_б, H_{отр})$ представлена на рисунке 4.9.

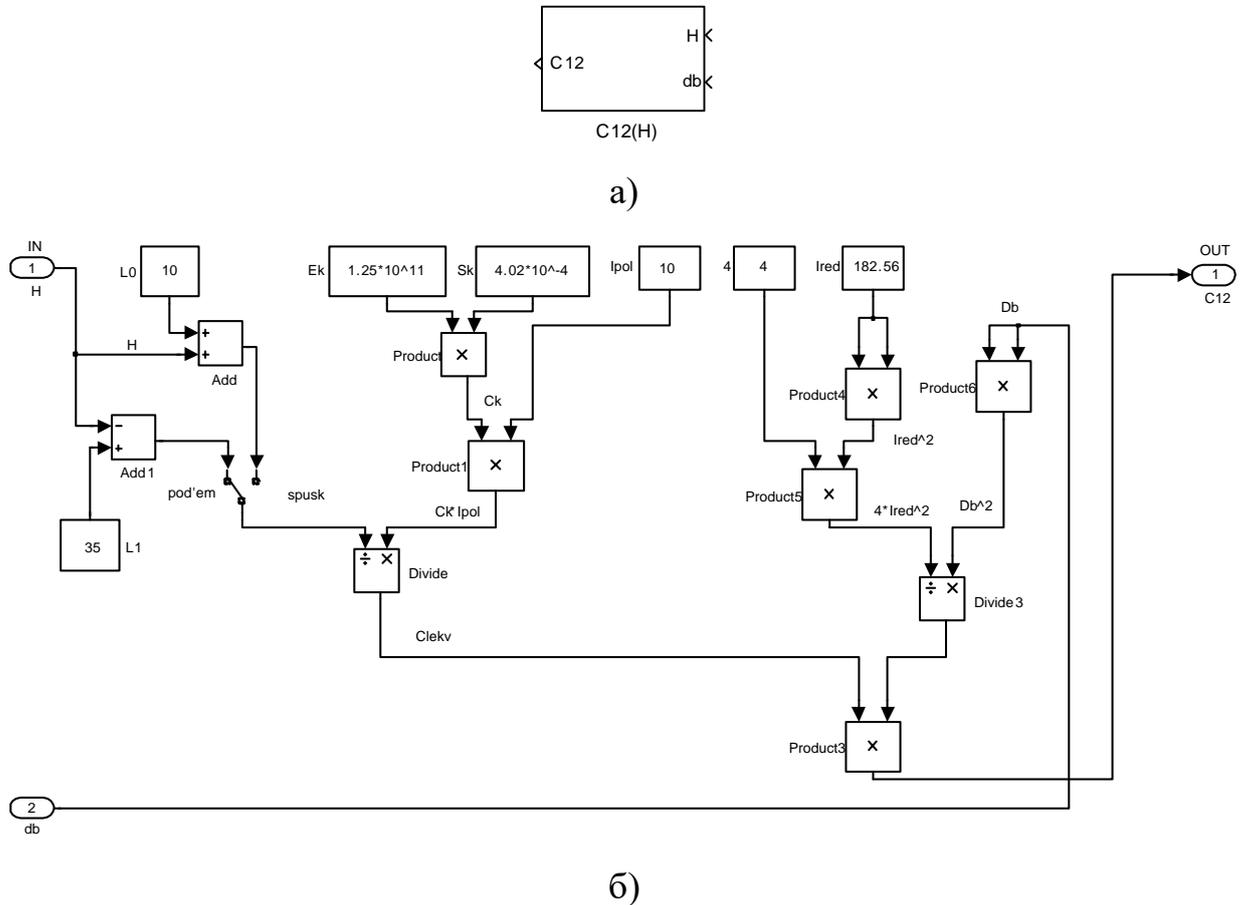


Рисунок 4.9 – Схема функционального преобразователя
а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент внутреннего демпфирования ДМС $b_{\hat{A}12}$ переменный в зависимости от приведенного углового коэффициента жесткости ДМС $C_{\phi 12}$ и эквивалентного момента инерции второй массы $J_{\text{эkv}2}$. Имитационная модель функционального преобразователя $b_{B12} = f(C_{\phi 12}, J_{\text{эkv}2})$ представлена на рисунке 4.10.

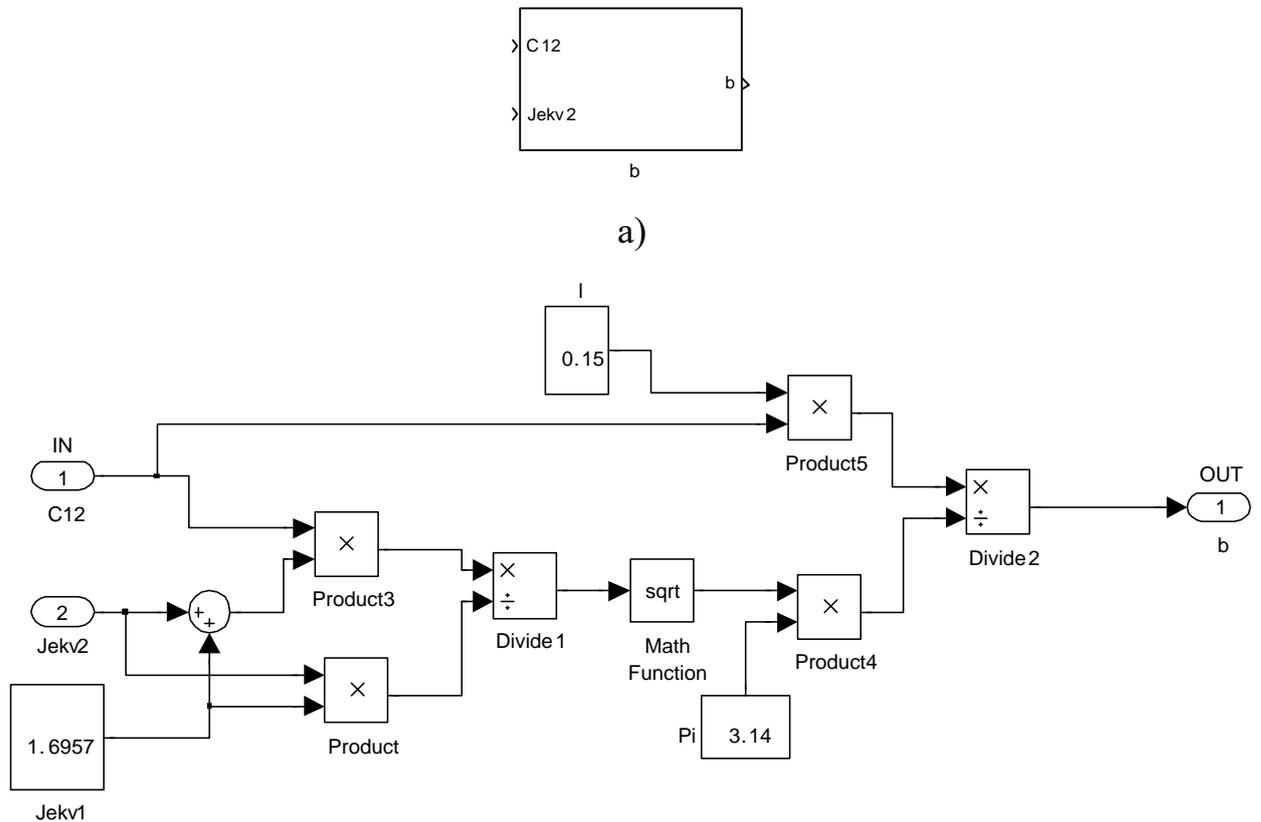


Рисунок 4.10 – Имитационная модель функционального преобразователя

$$b_{B12} = f(C_{\phi 12}, J_{\text{эkv}2}):$$

а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент передачи механизма K_M переменный в зависимости от диаметра барабана лебедки D_6 . Имитационная модель функционального преобразователя $K_M = f(D_6)$ представлена на рисунке 4.11.

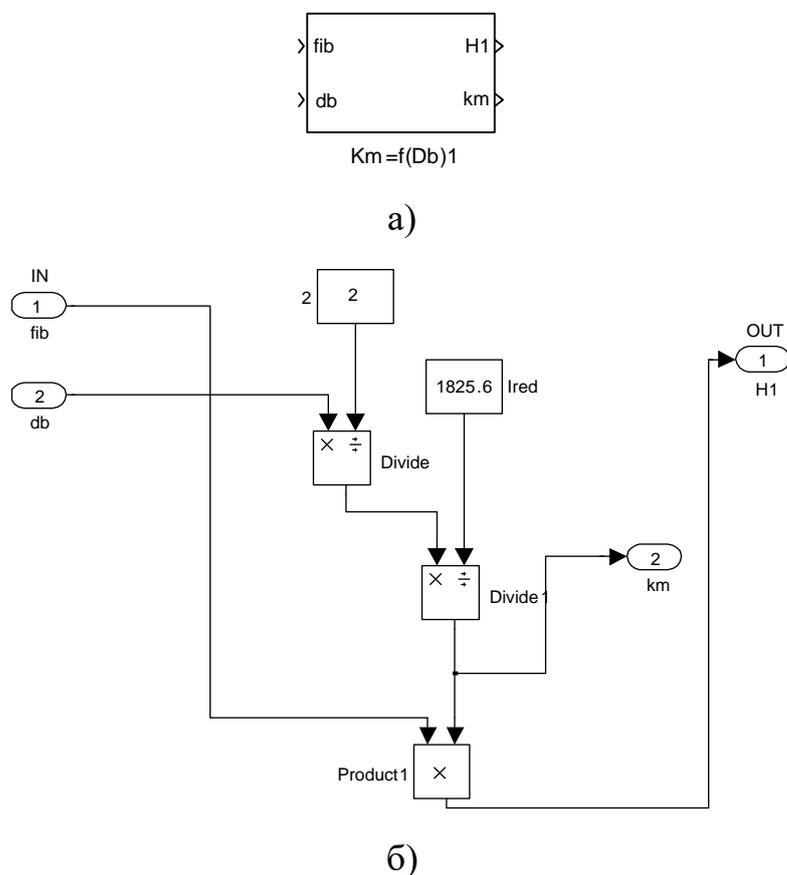


Рисунок 4.11 – Имитационная модель функционального преобразователя : а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент передачи датчика положения $K_{дп}$ переменный в зависимости от диаметра барабана лебедки D_6 . Имитационная модель функционального преобразователя $K_{дп} = f(D_6)$ представлена на рисунке 4.12.

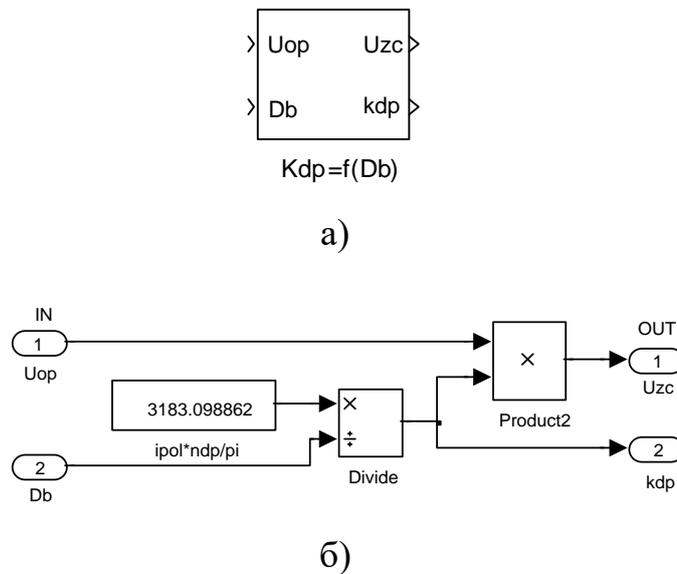


Рисунок 4.12 – Имитационная модель функционального преобразователя

$$K_{дп} = f(D_6) : \text{а – суперблок; б – схема набора модели}$$

Коэффициент П-регулятора положения переменный в зависимости от коэффициента передачи механизма K_m и от коэффициента передачи датчика положения $K_{дп}$. Имитационная модель функционального преобразователя $K_{рп} = f(K_m, K_{дп})$ представлена на рисунке 4.13.

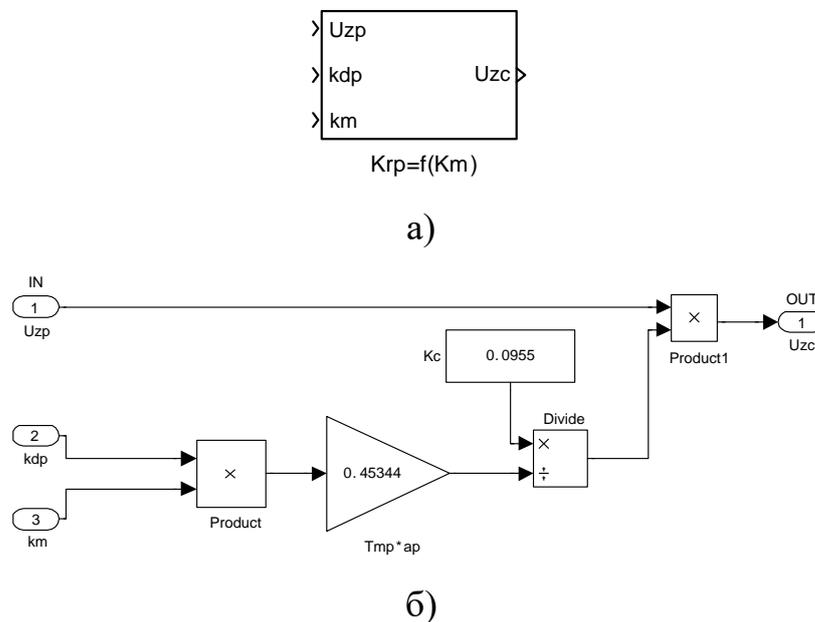


Рисунок 4.13 – Имитационная модель функционального преобразователя

$$K_{рп} = f(K_m, K_{дп}) : \text{а – суперблок; б – схема набора модели}$$

Имитационная модель САУ дополнительного электропривода буровой лебедки, разработанная по структурной схеме (рисунке 4.1), представлена на рисунке 4.14.

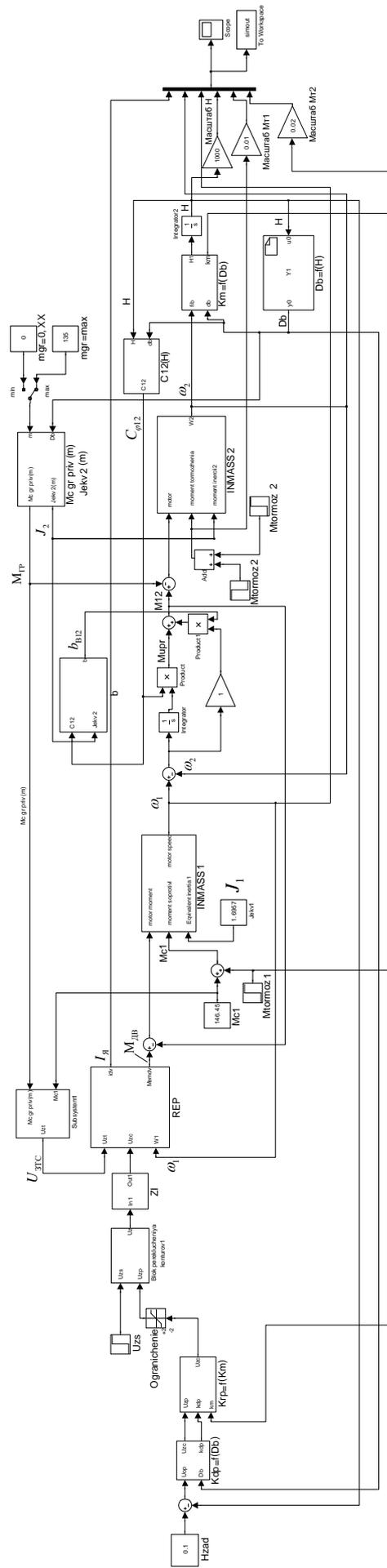


Рисунок 4.14 - Имитационная модель САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

4.4. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки на имитационной модели

Целью исследований является проверка работоспособности дополнительного электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ главного электропривода буровой лебедки в следующих режимах:

- 1) Режим спуско-подъемных операций;
- 2) Режим подачи долота при бурении.

4.4.1. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки при спуско-подъемных операциях

Особенности работы в режиме спуско-подъемных операций

Перед выполнением операций по подъёму или спуску колонны труб колонна удерживается неподвижной, канаты лебедки не натянуты, привод включен, регуляторы заблокированы. Перед тем, как будет освобождена колонна, предварительно необходимо выбрать слабины и натянуть канаты, создать удерживающий момент на валу второй массы (удерживающую подъёмную силу на крюке). Затем освобождается колонна и на привод подается задание требуемой скорости на подъем или спуск колонны.

Программа исследований электропривода лебедки в режиме спуско-подъемных операций

Исследования электропривода подъёмной лебедки проводятся в следующих основных технологических режимах работы подъёмной лебедки.

1. Подъем или спуск колонны труб. Работа на подъем колонны. Удерживается колонна труб, производится выбор слабины канатов, натяжение канатов, создание удерживающего момента на валу второй массы в режиме заблокированного регулятора скорости.

2. Освобождается колонна труб, колонна удерживается лебедкой (канаты натянуты), подается задание скорости привода на подъём или спуск, в верхнем или нижнем положении осуществляется останов привода с удержанием

колонны, наложением тормоза и отключением привода (блокировкой регуляторов).

3. Подъем или спуск пустого грузозахватного приспособления. Трогание на подъём или спуск из положения «удержание груза тормозом», регулирование скорости и останов привода с наложением тормоза. В этом режиме канаты предварительно натянуты.

4. Установка груза при подъёме или спуске в крайние или заданную позиции по высоте в следящем режиме работы электропривода.

Результаты исследований

1. Подъем из нижнего положения (натяжение канатов, выход на максимальную скорость, переход в следящий режим, точная остановка, наложение тормозов):

- без колонны (только крюк).
- при максимальной массе колонны;

Результаты исследований приведены на рисунках 4.15, 4.16 соответственно.

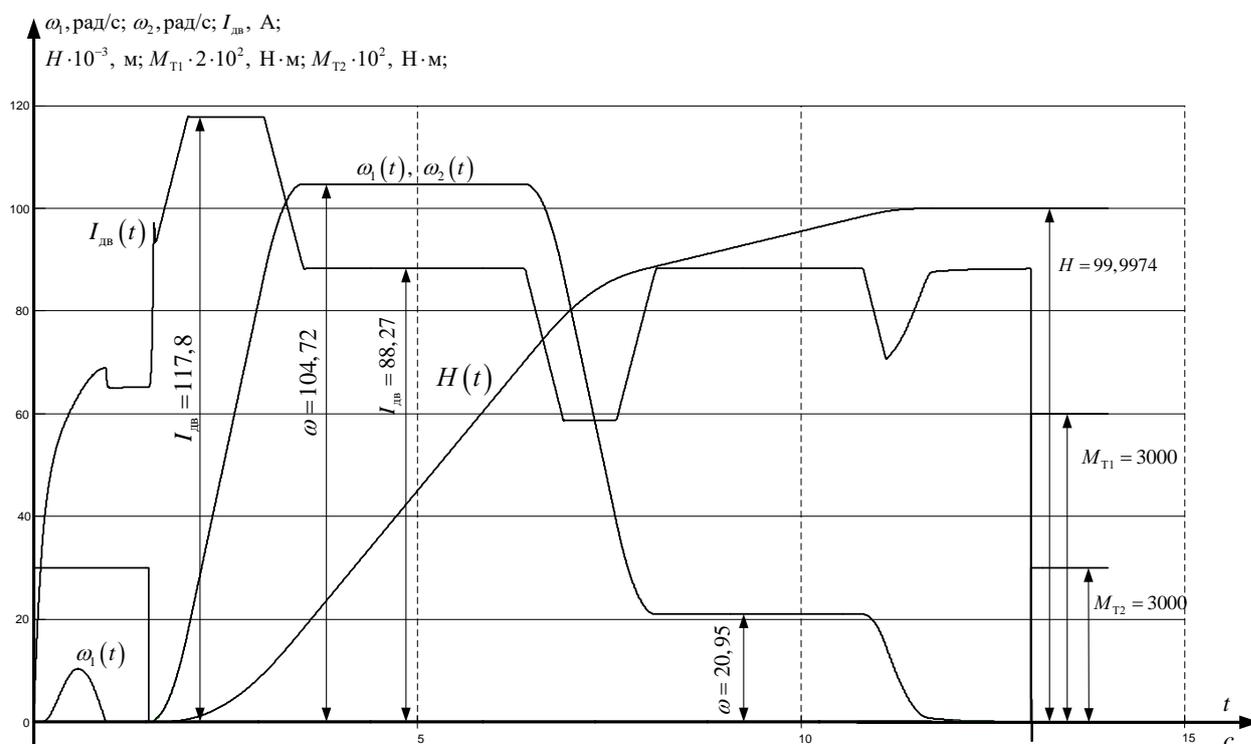


Рисунок 4.15 – Процесс подъема из нижнего положения без колонны

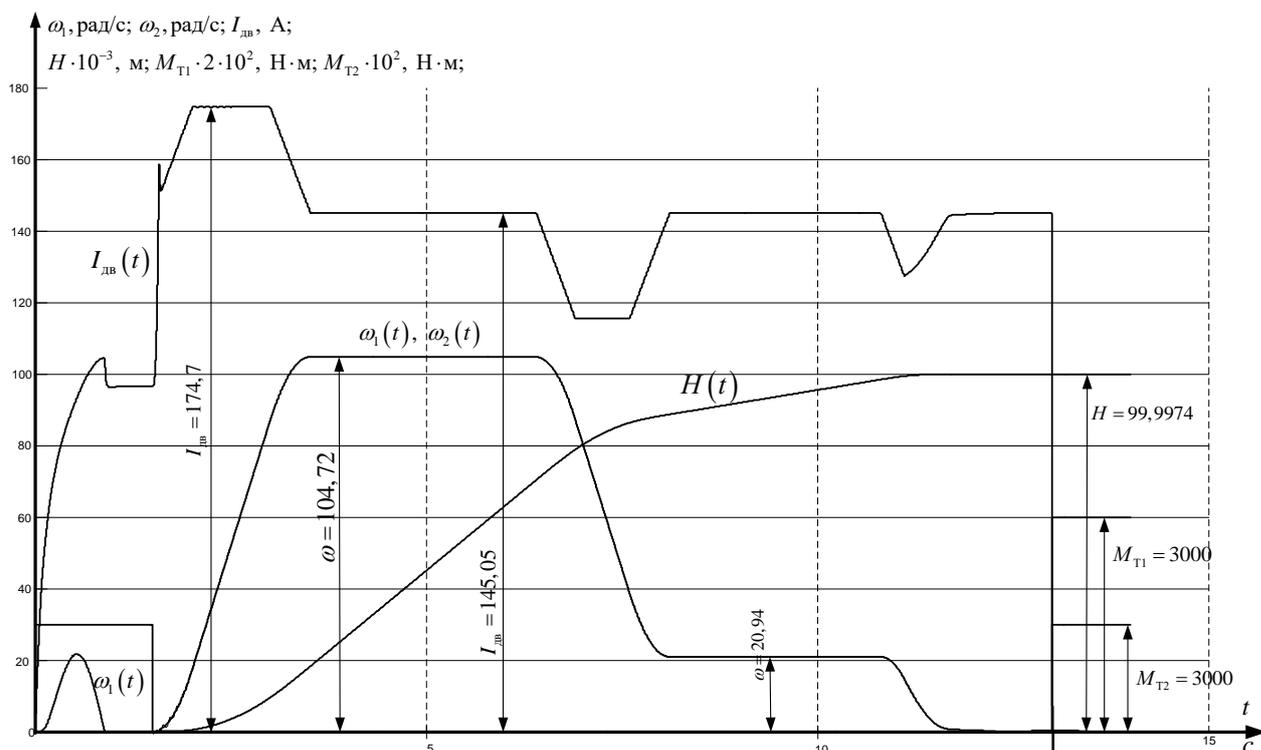


Рисунок 4.16 – Процесс подъема из нижнего положения при максимальном весе КОЛОННЫ

На период времени s подается статическое задание на ток, при этом ПИ-регулятор скорости находится в заблокированном состоянии и заторможена вторая масса тормозом M_{T2} . Вследствие этого происходит изменение первой скорости, что способствует натяжению канатов. В момент времени $t=1,5$ с вторая масса растормаживается, и ПИ-регулятор скорости разблокирован, что приводит к тому, что электропривод начинает разгоняться до номинальной скорости, и начинается подъем колонны. По мере приближения к заданному положению включается следящий контур, и скорость снижается до значения ограничения регулятора положения. Контур положения обеспечивает точную остановку в заданном положении. После остановки электропривода снимается статическое задание на ток $U_{ЗТС}$, блокируется регулятор скорости и накладываются тормоза M_{T1} и M_{T2} .

2. Спуск из верхнего положения (натяжение канатов, выход на максимальную скорость, переход в следящий режим, точная остановка, наложение тормозов):

– без колонны (только крюк).

– при максимальной массе колонны;

Результаты исследований приведены на рисунках 4.17, 4.18
соответственно.

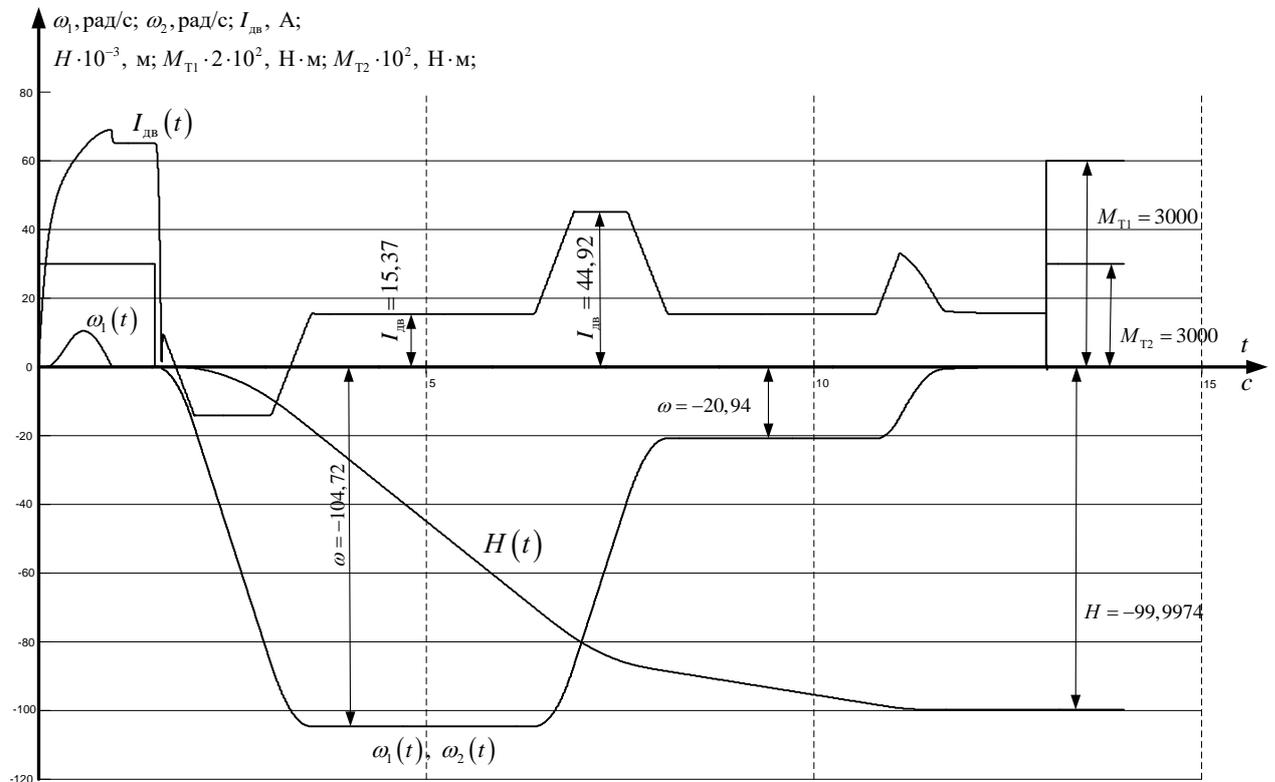


Рисунок 4.17 – Процесс спуска из верхнего положения без колонны

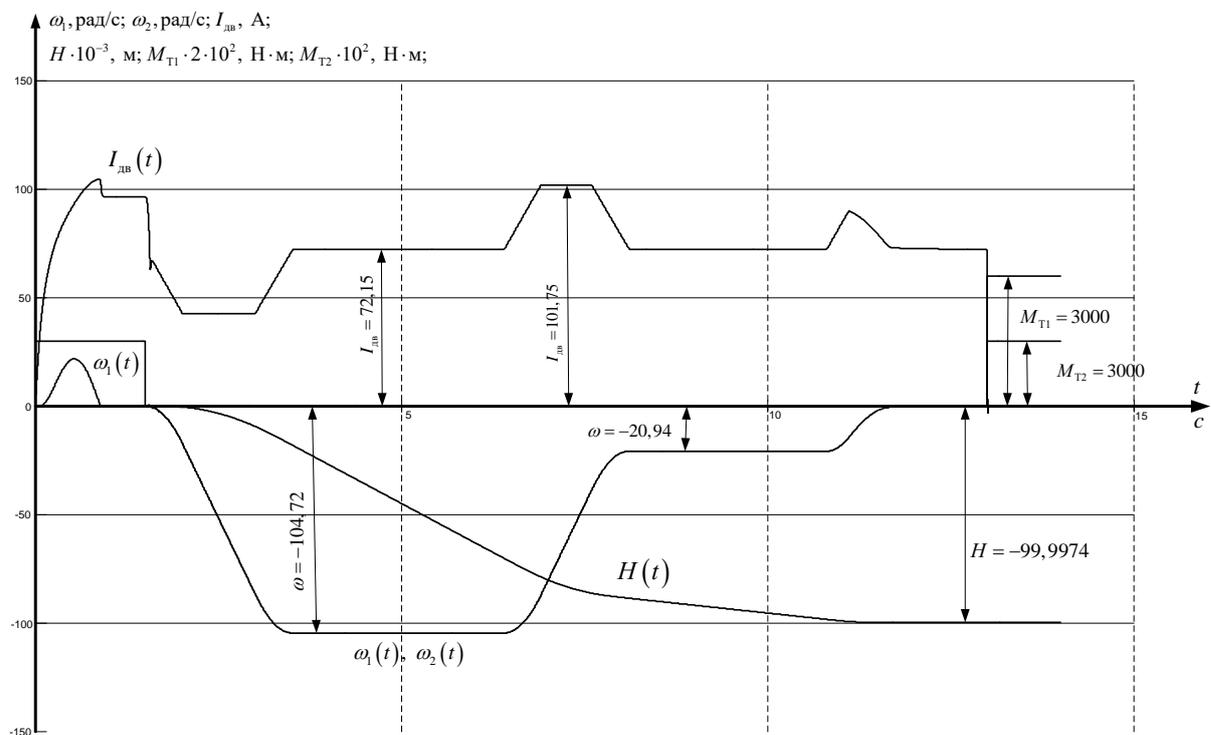


Рисунок 4.18 – Процесс спуска из верхнего положения при максимальном весе
КОЛОННЫ

Процесс спуска осуществляется аналогично процессу подъема. Как можно увидеть по графикам в начальный момент времени происходит натяжение канатов. Далее электропривод выходит на номинальную скорость, затем по мере приближения к заданному положению включается следящий контур, и скорость снижается до значения ограничения регулятора положения. Контур положения обеспечивает точную остановку в заданном положении. После остановки электропривода снимается статическое задание на ток $U_{ЗТС}$, блокируется регулятор скорости и накладываются тормоза M_{T1} и M_{T2} .

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что заданное положение отрабатывается полностью при спуско-подъемных операциях, ток якорной цепи не превышает номинальный, время разгона и торможения соответствует требованиям технологического процесса.

4.4.2. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки в режиме подачи долота при бурении

В режиме регулятора подачи долота (РПД) изменяется структура САУ дополнительного электропривода буровой лебедки. Структурная схема САУ дополнительного электропривода в режиме регулятора подачи долота приведена на рисунке 4.19.

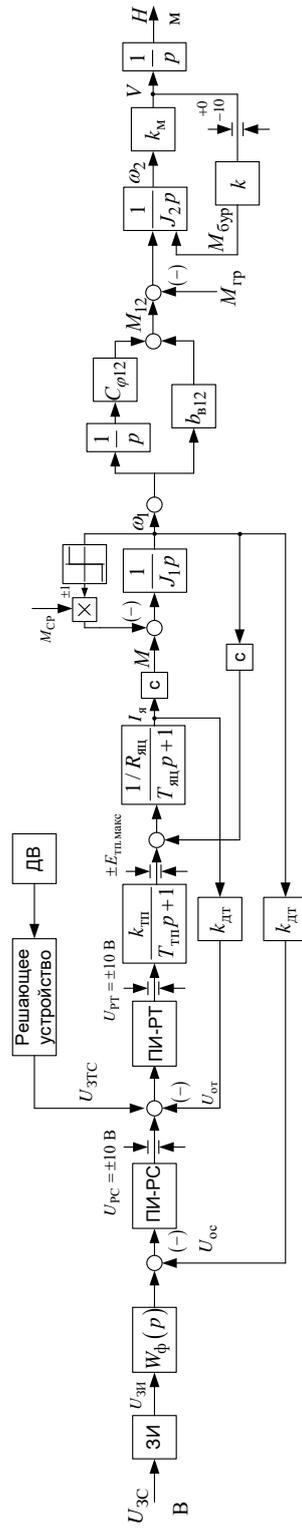


Рисунок 4.19 – Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки в режиме регулятора подачи долота

Особенности работы в режиме бурения

В процессе бурения дополнительная подъёмная лебедка осуществляет поддержание колонны труб с таким усилием, что создается давление на буровой инструмент, обеспечивающее требуемое значение скорости бурения.

Возможно два режима работы вспомогательной лебедки в режиме бурения:

– задается значение момента двигателя $M_{дв}$ (давление на буровой инструмент), скорость электропривода лебедки $\omega_{дв}$ (скорость бурения $V_{бур}$) при этом будет определяться зависимостью $M_{дв доп}(\omega_{дв})$;

– задается скорость электропривода лебедки $\omega_{дв}$ (скорость бурения $V_{бур}$), если окажется, что при этом момент двигателя (давление на буровой инструмент) превышает допустимое значение, то скорость привода снижается до значения, соответствующего предельной зависимости $M_{дв доп}(\omega_{дв})$.

Программа исследований электропривода дополнительной лебедки в режиме бурения

1. Работа на подъем колонны труб. Удерживается колонна труб, производится выбор слабины канатов, натяжение канатов, создание удерживающего момента на валу второй массы в режиме заблокированного регулятора скорости.

2. Режим управления 1. Освобождается колонна труб, колонна удерживается лебедкой (канаты натянуты), при заблокированном регуляторе скорости уменьшается задание на входе контура тока до величины, обеспечивающей требуемое давление на буровой инструмент. Электропривод должен удерживать заданное давление, а скорость бурения будет зависеть от фактического сопротивления при бурении.

3. Режим управления 2. Освобождается колонна труб, колонна удерживается лебедкой (канаты натянуты), разблокируется регулятор скорости и на вход контура скорости подается задание требуемой скорости бурения (спуска колонны). Электропривод в процессе бурения должен опускать колонну с заданной скоростью или с меньшей скоростью, соответствующей предельной зависимости $M_{дв доп}(\omega_{дв})$.

4. По результатам исследований принять решение о выборе варианта управления приводом лебедки в процессе бурения и проверить его работу.

Результаты исследований

I. Регулирование статического задания на ток $U_{зтс}$

Имитационная модель данного метода приведена на рисунке 4.20.

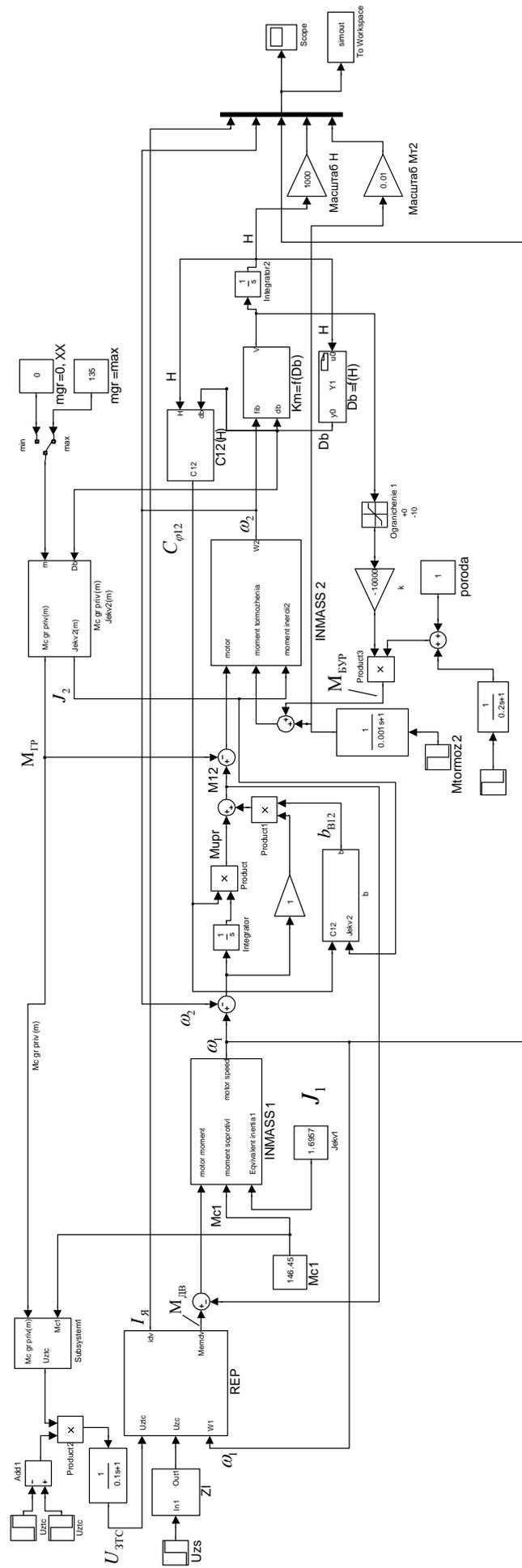


Рисунок 4.20 – Имитационная модель САУ дополнительного электропривода в режиме РПД при регулировании U_{3TC}

Результаты исследований приведены на рисунке 4.21.

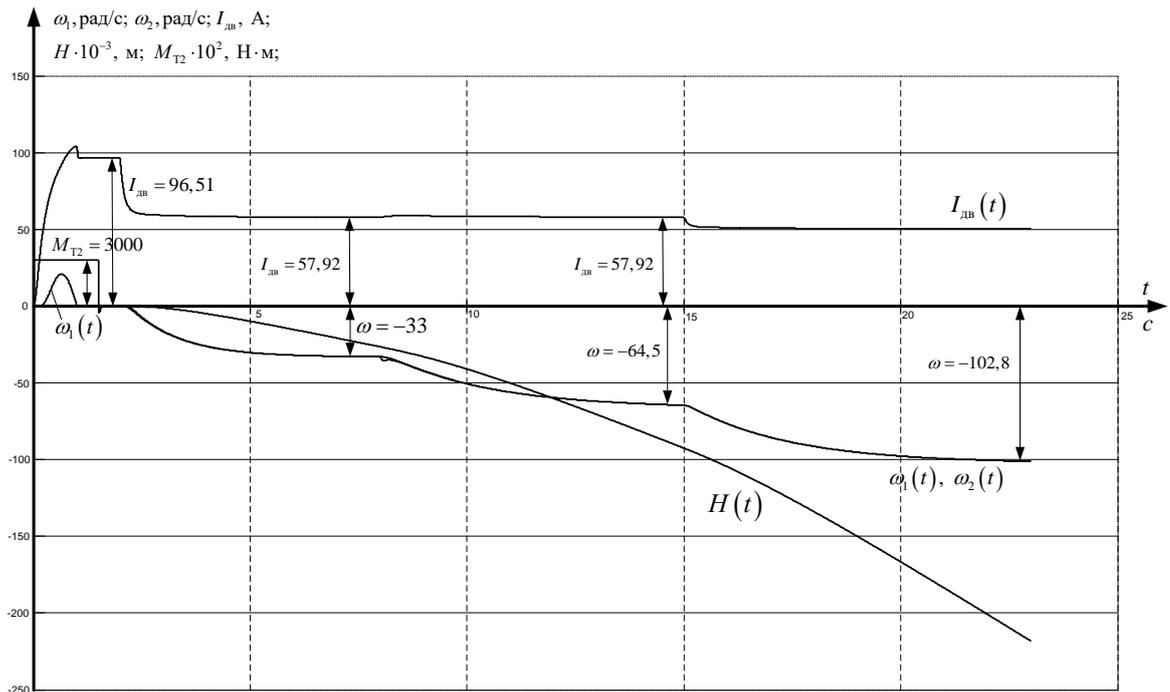


Рисунок 4.21 – Процесс бурения при регулировании $U_{ЗТС}$

На протяжении всего процесса бурения ПИ-регулятор скорости заблокирован. На участке от 0 до 1,5 с происходит натяжение канатов (первая скорость нарастает), т.к. вторая масса заторможена и подается статическое задание на ток $U_{ЗТС}$. В момент времени $t=1,5$ с сбрасывается тормоз со второй массы. Далее в момент времени $t=2$ с снижается статическое задание на ток $0,6U_{ЗТС}$, вследствие этого колона начинает опускаться на забой и осуществляется процесс бурения, скорость устанавливается -33 рад/с. В момент времени $t=8$ с состав породы меняется с твердой на более рыхлую и за счет этого происходит увеличение скорости до $-64,5$ рад/с. В момент времени $t=15$ с т.к. порода рыхлая есть возможность бурения на более высокой скорости, поэтому статическое задание на ток увеличивает и скорость возрастает до $-102,8$ рад/с

Недостатком такого метода является то, что нельзя получить желаемой скорости бурения. Скорость бурения зависит от величины статического задания на ток $U_{ЗТС}$.

II. Регулирование задания на скорость $U_{ЗС}$

Имитационная модель данного метода приведена на рисунке 4.22.

Этот метод реализован с ПИ-регулятором с управляемым ограничением, которое зависит от статического задания на ток $U_{ЗТС}$ ($U_{PCmax} = U_{ЗТС}$).

Результаты исследований приведены на рисунке 4.23.

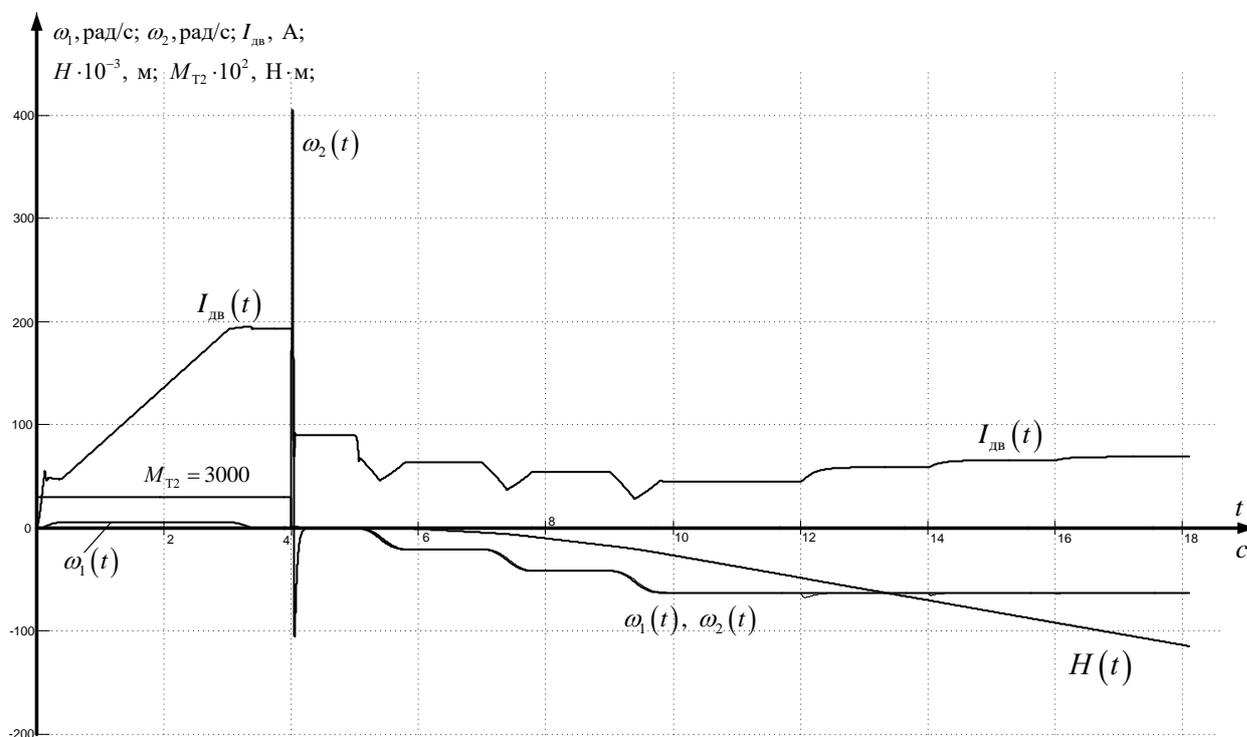


Рисунок 4.23 – Процесс бурения при регулировании $U_{ЗС}$

На протяжении всего процесса ПИ-регулятор скорости заблокирован, В начальный момент наложен тормоз на вторую массу M_{T2} и подано статическое задание на ток $U_{ЗТС}$. Происходит натяжение канатов. В момент времени $t=4$ с сбрасывается тормоз со второй массы, в результате чего происходит скачкообразное изменение второй скорости из-за существующего момента трения. Далее в момент времени $t=5$ с подается задание на скорость $U_{ЗС}$ равное 2В, в результате чего колонна начинает движение и скорость устанавливается соответствующая заданию $U_{ЗС}$. В последующем дважды увеличивается задание на скорость и скорость устанавливается соответствующая этим заданиям. В момент времени $t=10$ с состав породы меняется, но это не приводит к изменению скорости и процесс бурения продолжает протекать с постоянной скоростью.

Поскольку в первом методе мы не можем получить желаемой скорости бурения, а во втором методе после снятия тормоза происходит скачкообразное

изменение скорости, то есть необходимость использования комбинированного метода. Он заключается в том, что в начальный момент времени ПИ-регулятор скорости заблокирован, а в момент после снятия тормоза со второй массы работает он с управляемым ограничением, которое зависит от статического задания на ток $U_{ЗТС}$ ($U_{РСмакс} = U_{ЗТС}$).

Результаты исследований приведены на рисунке 4.24.

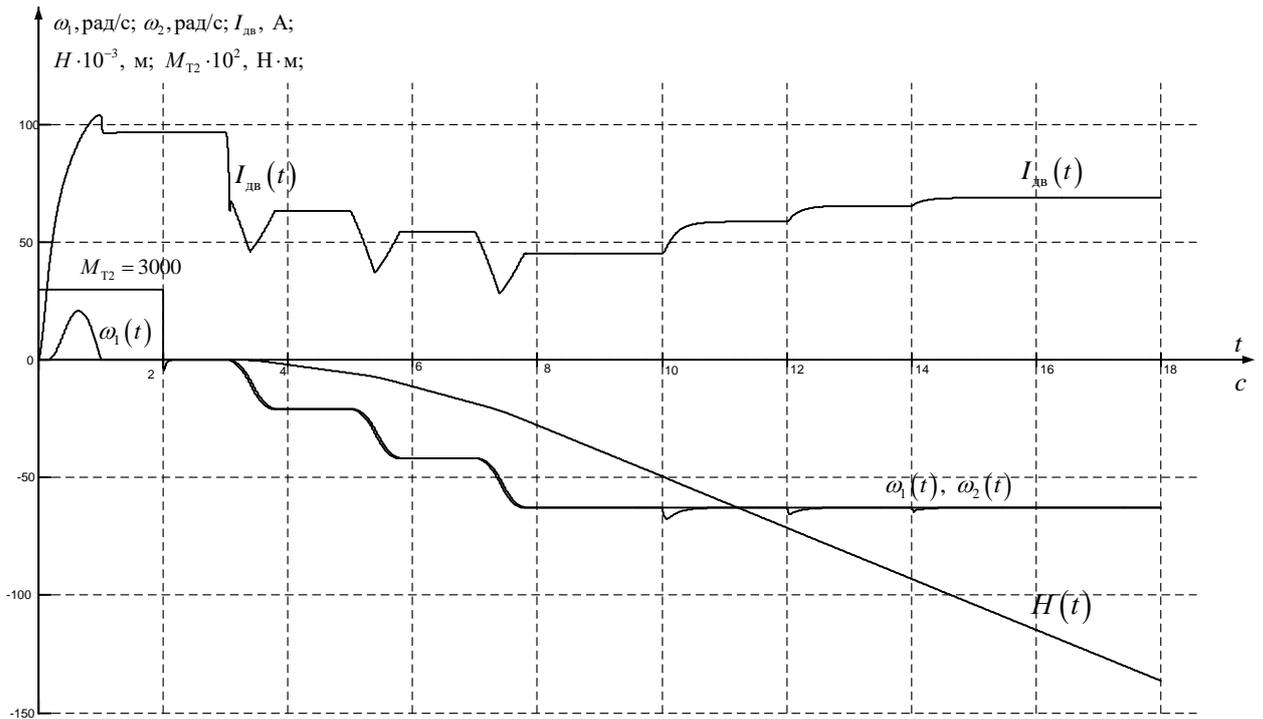


Рисунок 4.24 – Комбинированный метод

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что комбинированный метод осуществляет процесс бурения с возможностью получения желаемой скорости бурения, и так же не происходит скачкообразного изменения второй скорости, что соответствует требованиям технологического процесса.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Эргашев Азиз Беркинович

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов исследовательской работы (ИР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (ИР)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (ИР)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИР)	Расчет: Расчет бюджетной стоимости ИР по разработке электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности (ИР)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет ИР
5. Основные показатели эффективности ИР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Эргашев Азиз Беркинович		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ИП. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

Целью работы является исследование электропривода буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ на базе нереверсивного тиристорного преобразователя предназначен для управления подъемной лебедки в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В). В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ПК с последующим анализом полученных результатов.

5.1 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного устройства:

Вариант 1 – Электропривод буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ;

Вариант 2 – Дизельный привод буровой установки;

Вариант 3 – Дизель-электрический привод буровой установки.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 5.1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
Удобство в эксплуатации	0,06	4	3	2	0,24	0,18	0,12
Стабильность срабатывания	0,09	3	2	4	0,27	0,18	0,36
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
Компактность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
Безопасность	0,2	5	5	4	1	1	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	3	2	0,45	0,27	0,18
Затраты на ремонт	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
Итого	1	42	34	31	4,48	3,63	3,39

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №1 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	<p>S1. Техническая простота конструкции;</p> <p>S2. Возможность передачи энергии на расстояние без больших потерь;</p> <p>S3. Возможность регулирования параметров оборудования;</p> <p>S4. Низкая стоимость потребляемой энергии;</p> <p>S5. Широкая применимость привода;</p> <p>S6. Высокая чувствительность метода;</p> <p>S7. Возможность внедрения привода в производство.</p>	<p>W1. Большое количество комплектующих.</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок</p> <p>W4. Нельзя применять в пожароопасных условиях.</p>
<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Модернизация существующего электрического привода.</p> <p>O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ.</p> <p>O3. Требования к повышению качества работы электрического привода.</p> <p>O4. Увеличение грузоподъемности .</p>	<p>Повышение технологических параметров – скорости, мощности, грузоподъемности.</p>	<p>Трудозатратный, дорогостоящий электрический привод.</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность покупателей.</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных спонсоров проекта.</p> <p>T3. Узкоспециализированное направление.</p>	<p>Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями электрического привода..</p>	<p>Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.</p>

Таблица 5.3 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	+	+	+	+	+
O2	-	-	-	+	-	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 5.4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	+	+	+

Таблица 5.5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	-	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	+	+	+	+	-	+	+

Таблица 5.6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	+	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

На основании проведенного исследования конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант привода №1 является более предпочтительным, выгодным и эффективным типом привода относительно вариантов №2 и №3. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность внедрения привода в производство. Среди слабых сторон - Большое количество комплектующих.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проектирования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов проектирования.

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 5.7.

Таблица 5.7 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
			Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
	6	Разработка испытательного стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
			Инженер

Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

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

где $t_{мини}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; $t_{макси}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 5.8.

5.2.3 Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где $k_{кап}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кап}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ож i} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 8}{5} = 7,4 \text{ чел. -дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{ч} = \frac{7,4}{1} = 7,4 \text{ раб. дн.},$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 7,4 \cdot 1,56 = 11,54 \approx 12 \text{ кал. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 7,4 \cdot 1,28 = 9,472 \text{ кал. дн.} \approx 10 \text{ кал. дн}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Временные показатели проектирования

Номер выполняемой работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	7	-	8	-	7,4	-	7,4	-	10	-
2	5	3	7	5	5,8	4,2	2,9	2,1	4	3
3	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4

4	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
5	-	12	-	14	-	12,8	-	12,8	-	19
6	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
7	5	3	7	5	5,8	4,2	5,8	2,1	8	3
8	4	1	6	5	4,8	2,6	2,4	1,3	4	2
9	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8
10	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	11

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

Таблица 5.9 - Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	10	■														
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	7		■	■												
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4			■												
4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель	8				■											
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	19					■										
6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	Инженер	8							■								
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	11								■	■						
8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель, Инженер	6										■	■				
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер	8												■			

необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 5.12.

5.2.6 Расчет амортизации

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 5.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Двигатель постоянного тока, 90 кВт	1	10	32500	325000
2	Токоограничивающий реактор	1	10	67850	67850
3	Автоматический выключатель	1	5	1200	1200
Итого:	394,05 тыс. руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t,$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для двигателя постоянного тока, 90 кВт, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Двигатель постоянного тока:

$$A = \frac{0,1 \cdot 325000}{12} \cdot 4 = 10833 \text{ руб.}$$

Токоограничивающий реактор:

$$A = \frac{0,1 \cdot 67850}{12} \cdot 4 = 2261,6 \text{ руб.}$$

Автоматический выключатель:

$$A = \frac{0,2 \cdot 1200}{12} \cdot 4 = 80 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 10833 + 2261,6 + 80 = 13174,6 \text{ руб.}$$

5.2.7 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Сменный картридж	1 шт.	600	600
Бумага для принтера А4 (500 листов)	1 шт	200	200
Карандаш чертежный	3 шт.	22	66
Ручка шариковая	5 шт	30	150
Система защиты и сигнализации (комплект)	1 шт	5000	5000
Блок защиты и сигнализации (комплект)	1 шт.	10000	10000
Итого:	16016 руб.		

5.2.8 Специальное оборудование для исследовательских (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 5.14 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Импульсный датчик	1 шт.	9500	9500
2.Тиристорный преобразователь	1 шт	231700	231700
3.Потенциометрический командоаппарат	1 шт.	6400	6400
Итого	247600		

Итого, общие затраты на опытный образец составили 276790 руб.

5.2.9 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{48750 \cdot 11,2}{233} = 2343,4 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл.15); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11,2}{270} = 1294 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 25000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 48750 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.}$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 5.15 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	56/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	233	270

Таблица 5.16 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	25000	0,3	0,2	1,3	48750	2343,4	26	60928
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1294	35	45290
Итого:								106218

5.2.10 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 60928 = 9139,2 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 45290 = 6793,5 \text{ руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

5.2.11 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (60928 + 9139,2) = 21020 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (45920 + 6793,5) = 15814 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

5.2.12 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= (13174,6 + 16016 + 247600 + 106218 + 15932,7 + 36834) \cdot 0,2 =$$

$$= 52220 \text{ руб}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 5.17 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
13174,6	16016	247600	106218	15932,7	36834	435775,3	87155	522930

5.3 Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший

интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Дизельный привод;
2. Дизель-электрический привод;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{522930}{560000} = 0,93$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{500000}{560000} = 0,89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{540000}{560000} = 0,96$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффетивности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 5.18.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка Дизель-Электрический	Бальная оценка Дизельный
1. Безопасность при использовании установки	0,3	5	5	4
2. Стабильность работы	0,3	4	3	5
3. Технические характеристики	0,1	5	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,5$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,9$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}} = \frac{4,5}{0,93} = 4,84$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 5.19). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{4,38}{4,87} = 0,89$$

Таблица 5.19 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	0,89	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,87	4,38	4,27
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,87

Вывод

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации привода, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 89 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 56 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 33;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 522930 руб;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,93, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
 - Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 3,9 и 4,1;
 - Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,87, по сравнению с 4,38 и 4,27, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Эргашев Азиз Беркинович

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02.Электротехника и Электроэнергетика

Тема ВКР: Электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ, предназначенный для подъема обсадных труб и колон, и бурения.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организованные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны)	- ГОСТ 12.0.003-2015 - СанПиН 2.2.4.548–96 - СанПин 2.2.4.3359-16 - ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ - ГОСТ 12.1.012 – 2004 - СП 52.13330.2016 - ГОСТ 12.2.108 – 85 - <u>ГОСТ 12.2.064-81</u> - ГОСТ 12.2.032 – 78 - ГОСТ 12.4.011-89 - ГОСТ Р 22.0.02 - 2016
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	- Отклонения показателей микроклимата - Превышение уровня шума - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - Повышенный уровень вибрации
3. Экологическая безопасность:	- Выбросы химических веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: Взрыв, Пожар Типичная ЧС: Опасное поражение местности и атмосферы ядовитыми сильнодействующими веществами

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Эргашев Азиз Беркинович		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В ходе дипломной работы был разработан электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ и проведены необходимые расчеты с помощью специального программного обеспечения. Исходя из этого определяются условия эксплуатации на данном оборудовании, обнаружение и изучение физических и биологических факторов, отрицательно влияющих на здоровье человека и окружающую среду. В данном разделе изложен комплекс мероприятий минимизирующих неблагоприятные последствия эксплуатации разработки. Все рекомендуемые меры согласуются с существующими стандартами техники безопасности, эргономики, нормами санитарии, экологической и пожарной безопасности

В данной работе рассмотрен электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ. Целью работы является разработка электропривода буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ на базе нереверсивного тиристорного преобразователя предназначен для управления подъемной лебедки в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В).

Основным методом исследования является имитационное моделирование на ПК с последующим анализом полученных результатов.

При эксплуатации электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ можно столкнуться со множеством опасных работ, с риском получения вреда здоровью человека. Рассмотрим подробнее возможные опасности.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Для работы на буровой установке допускаются мужчины не моложе 18 лет, прошедшие соответствующую подготовку по специальности, имеющие удостоверение по профессии «машинист буровой установки» соответствующего разряда;

В соответствии с ч. 1 ст. 213 ТК РФ к работе на буровой установке могут приступить только рабочие, прошедшие медицинские осмотры (обследования): предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности):

1) 1 раз в 2 года (по факторам: производственный шум, общая вибрации, работа на высоте, геологические работы, пониженная температура и физические перегрузки);

2) на базе центра профпатологии - 1 раз в 5 лет и признанные годными к выполнению работ.

В связи с невозможностью осуществления ежедневного возвращения машинистов буровых установок к месту постоянного проживания из-за значительного удаления участков работ - установлен вахтовый метод работы:

1) круглосуточная работа с продолжительностью рабочей смены 12 часов и отдыхом – 12 часов.

В соответствии со ст. 109 ТК РФ перерывы для приема пищи, отдыха и обогрева общей продолжительностью один час, которые входят в рабочее время. Внутрисменный перерыв для отдыха: первая пауза -10 мин., через 2 часа после начала работ; вторая пауза -20 мин., через 4 часа работы; третья пауза -10 мин., через 6 часов работы; четвертая пауза – 20 мин., через 8 часов работы; пятая пауза -12 мин., за 2 часа до окончания работы; продолжительность вахты – 7 дней, междувахтовый отдых – 7 дней.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В соответствии с ГОСТ 12.2.108 – 85 [1], для подъема на к месту работы бурильщика, находящиеся на высоте более 0,75 м, должны быть предусмотрены маршевые лестницы с перилами, а на высоте до 0,75 м - трапы или ступени.

Сигнализатор переподъема при срабатывании должен включать звуковой или световой сигнал, причем последний должен быть расположен на пульте управления буровым станком (лебедкой) или в другом удобном для наблюдения месте.

Ширина проходов в буровых установках должна быть не менее: 0,6 м - для доступа к оборудованию; 1,0 м - для наблюдения и технического обслуживания, переноса технологического инструмента в стационарных установках, 0,7 м - в передвижных и самоходных установках. Высота проходов в буровых установках должна быть не менее 2,1 м. Допускается устанавливать оборудование и механизмы вплотную к стенам бурового укрытия (кузова), если это не затрудняет их обслуживание и текущий ремонт.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032 – 78 (Да, относится) [2], в кабине машиниста буровой установки дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм с учетом уплотнения. Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении, в том числе за счет профилирования спинки и сиденья, а также обеспечивать условия для отдыха.

Таблица 6.1- Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

ширина поверхности сиденья, не менее	400
глубина поверхности сиденья	400-420
высота спинки, не менее	500
ширина опорной поверхности спинки, не менее	400

регулируемая высота поверхности сиденья от уровня установки ног	360-450
горизонтальное (продольное) регулирование, не менее	100
высота подлокотников, мм	200-240
ширина подлокотников, не менее, мм	50
длина подлокотников, мм	250-300

Требования к органам управления должны соответствовать ГОСТ 12.2.064-81 - пункт 1.5. [3]:

Рычаг управления тормоза спуска лебедки бурового станка должен иметь фиксирующее устройство, обеспечивающее удержание максимально допустимого груза в любом положении.

Вращающиеся элементы оборудования буровой установки: зажимные патроны, шкивы, муфты, цепные, карданные, ременные и другие передачи, барабаны лебедки – должны быть ограждены.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что условия для проведения работ машинистом буровой установки можно считать удовлетворительными.

6.2 Производственная безопасность

В этом пункте необходимо оценить влияние вредных и опасных факторов, возникающих при эксплуатации разрабатываемого электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [4].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы 6.2.

Таблица 6.2 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [5]
2. Превышение уровня шума		+	+	СанПин 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [6].
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [7] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность.
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	Общие требования и номенклатура видов защиты. [8] ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. [9]
5. Повышенный уровень вибрации		+	+	

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

1. Отклонение показателей микроклимата

Буровые установки, предназначенные для круглогодичной эксплуатации, должны иметь укрытия, укомплектованные приборами отопления и снабженные теплоизоляцией, обеспечивающими условия микроклимата по СанПиН 2.2.4.548–96 [5], за исключением времени проведения спуско-подъемных операций.

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости воздуха способствует усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 6.3, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года. Работа на буровой установке относится к Па и Пб категориям работ по уровню энергозатрат, Вт.

Таблица 6.3 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	Пб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый	Па (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	Пб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2

Согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [5] необходимые микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового

комфорта в течение 8-часового рабочего дня при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительным на рабочих местах.

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

2. Повышенный уровень шума

Эквивалентный уровень звука на рабочем месте машиниста буровой установки не должен превышать значений, указанных в СанПин 2.2.4.3359-16 [6]. В соответствии с СанПин 2.2.4.3359-16 [6], главные санитарные нормы уровня шума на рабочих местах следующие – это 80 дБА. – пункт 3.2.2 (Там есть такие данные)

В случае если на рабочем месте машиниста буровой установки превышен уровень шума следует применять специальные меры защиты от шума. К ним относятся средства индивидуальной защиты органов слуха работающих установлены ГОСТ 12.4.011-89 [10]; это противозумные шлемофоны (шлемы), наушники, заглушки, вкладыши. Они эффективно защищают организм от раздражающего действия шума, предупреждая возникновение различных функциональных нарушений и расстройств, если правильно подобраны и систематически используются.

3. Неправильная освещенность рабочей зоны

В соответствии с СП 52.13330.2016 [7] неправильную освещенность рабочей зоны можно отнести к вредным факторам, при этом организм рабочего может утомляться и это может повлиять на качество работы. Утомляемость

человека может возникать из-за чрезмерной или недостаточной освещенности, а также из-за неправильного направления света.

Освещенность органов управления буровой установки: насоса, двигателя, труборазворота, а также пультов управления, рабочего стола и шкал приборов при использовании искусственных источников света должна быть от ламп накаливания не менее 100 лк, от люминесцентных ламп - не менее 150 лк. в соответствии с ГОСТ 12.2.108-85 пункт 1.7.5 (ГОСТ действует) [1]. Светильники следует устанавливать так, чтобы исключалось их слепящее действие. Аварийное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 10 % указанной.

4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Так как электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ работает от электродвигателя электробезопасность одна из приоритетных задач. При несоблюдении техники безопасности оператором при работе на установке, а также рабочим при монтаже возможно получение удара электрическим током. Удар током может привести к летальному исходу. Требования по безопасности оборудования согласно ГОСТ 12.1.019 – 2017 [8]. Во время штатного режима работы, вероятность получения удара электрическим током очень мала, однако исключать чрезвычайные ситуации никак нельзя.

Перед эксплуатацией все условия по сборке и подготовке оборудования к работе должны быть выполнены согласно конструкторской документации.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [8] рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключаящее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;

- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

5. Повышенный уровень вибрации

Источником вибрации при работе является электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

Внутренние органы можно рассматривать как колебательные системы с упругими связями. Их собственные частоты лежат в диапазоне 3–6 Гц. При воздействии на человека внешних колебаний таких частот происходит возникновение резонансных явлений во внутренних органах, способных вызвать травмы, разрыв артерий, летальный исход. Собственные частоты колебаний тела в положении лежа составляют 3–6 Гц, стоя — 5–12 Гц, грудной клетки — 5–8 Гц. Воздействие на человека вибраций таких частот угнетает центральную нервную систему, вызывая чувство тревоги и страха.

Для осуществления безопасной деятельности машиниста буровой установки необходимо, чтобы уровень вибрации не превышал значений, приведенных в табл. 6.4 по ГОСТ 12.1.012 – 2004 - ССБТ [9].

Таблица 6.4 - Допустимые скорректированные значения виброускорения

Вид вибрации	Допустимые скорректированные значения виброускорения, м/с
Общая категория: на сиденье машиниста в направлении*	0,27
Локальная: на рукоятках управления в направлении движения руки	2,0

К мероприятиям по защите от вредного воздействия вибрации относят установку демпфированных подвесок кабин управления или кресла рабочего.

6.3 Экологическая безопасность

В настоящее время, одной из важных задач человечества является защита окружающей среды. Промышленные отходы, которые предприятия выбрасывают в атмосферу, водоемы и недра земли, на данный момент, превышают допустимые санитарные нормы. Для уменьшения количества выбросов в атмосферу следует отказаться от старых методов производства в пользу методов, обеспечивающих безотходность.

В процессе работы разработанный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ воздействует на атмосферу. Вредные химические вещества в процессе эксплуатации электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ попадают в воздух и наносят вред живым организмам. Чрезвычайная опасность их состоит в том, что, накапливаясь в жировых тканях организма, они не выводятся из него, и подавляют репродуктивную функцию всего живого.

Чтобы защитить окружающую среду от разлива нефтепродуктов, а также от испарения различных масел, необходимо устанавливать специальные герметические конструкции, позволяющие снизить распространение загрязнения. Следовательно, все химические процессы будут происходить внутри.

На литосферу работающий электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ оказывает химическое воздействие. На рассматриваемой буровой используется обваловка каждого кустаскважины добычи нефти. При аварийной ситуации, при попадании в почву нефти используются установки для очистки почвы от нефтяных примесей. Контроль за состоянием природной среды организуется службами (отделами, ответственными за охрану окружающей среды инженерами) предприятием и его подразделениями, осуществляется контроль методом приборных измерений лабораториями подразделений.

Живые организмы в процессе химического воздействия так же получают негативное воздействие, что может заставлять животных покидать места привычного обитания на период эксплуатации электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ. Но, после завершения эксплуатации в случае сохранения прежней экологической среды животные, возможно, вернуться в места обитания, сохраняя при этом равновесие природной зоны.

Чтобы существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду необходимо максимально снизить время проводимых работ, усилить меры по предотвращению выброса химических веществ в окружающую среду.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При эксплуатации буровой установки возможны различные чрезвычайные ситуации: аварии с выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ) , аварии с выбросом угрозой выброса АХОВ при их производстве, переработке или хранении в том числе захоронении; аварии на транспорте с выбросом АХОВ; образование и распространение АХОВ в процессе химических реакций, начавшихся в результате аварии; аварии с боевыми отравляющими веществами; обнаружение (утрата) АХОВ; внезапные выбросы метана, углекислого газа и других ядовитых веществ и газов; выбросы на нефтяных и газовых месторождениях (открытые фонтаны нефти и газа);

Наиболее вероятная ЧС при работе данного оборудования – пожар, вызванный коротким замыканием. Несоблюдение техники безопасности чревато возникновением пожара и уничтожением установки. Для исключения возможности возникновения пожара, рекомендуется:

Проводить организационные мероприятия:

- Проводить техосмотр;
- Соединять рабочие органы проводами необходимого сечения и соответствующего материала

Для исключения возможности возникновения пожара, рекомендуется проводить пожарно-профилактические мероприятия:

- Организационные мероприятия:
 1. Размещение инструкций по предотвращению и борьбе с пожаром.
- Эксплуатационные мероприятия:
 1. Соблюдение техники безопасности при работе оборудования;
 2. Соблюдение норм эксплуатации оборудования;
 3. Обеспечение свободного прохода;
 4. Содержание оборудования в исправном состоянии.

Опасное поражение местности и атмосферы ядовитыми сильнодействующими веществами возникает в процессе бурения.

Для предотвращения чрезвычайных ситуаций, экологических проблем и обеспечение безопасности жизнедеятельности сотрудников предприятия ведется работа по трем направлениям

1) разработка и внедрение эффективных мероприятий, обеспечивающих безопасность технических систем и технологических процессов;

2) обеспечение надежной защиты работников и инженерно-технического комплекса предприятия в чрезвычайных ситуациях;

3) проведение комплекса мероприятий по обеспечению экологической безопасности в районе деятельности предприятия. Выполнением задач по этим направлениям занимается отдел охраны труда и промышленной безопасности,

отдел по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям и отдел охраны природы и окружающей среды.

Выводы по разделу

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ, а также во время его разработки, были выявлены возможные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Результаты исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях разработки, изготовления и эксплуатации электропривода подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

Заключение

В выпускной квалификационной работе спроектирован и исследован электропривод регулятор подачи долота подъемной лебедки буровой установки БУ-4500/270 ЭК-БМ. Выбраны элементы и рассчитаны параметры силовой цепи, выполнен синтез и оптимизация контуров регулирования, определены параметры настройки электропривода. С помощью программы MatLab проведены имитационные исследования основных режимов работы привода. Анализ полученных результатов подтвердил соответствие показателей качества ожидаемым. Кроме того в работе проанализировано влияние основных нелинейностей системы на динамику электропривода.

На основании приведённых исследований и расчетов показано, что спроектированный электропривод удовлетворяет требованиям технического задания и может быть использован в качестве электропривода регулятора подачи долота подъемной лебедки буровой установки.

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.

Conclusion

In the graduation work was projected and researched the controller of hoisting drawworks' bit feeding for the drilling rig DR 4500/270 EK-BM; were chosen elements and calculated parameters of powered chain; were made synthesis and optimization of control loops; were defined adjustment parameters of the electric drive. The imitative research of the essential regimes for the drive's work was carried out with the help of the program MatLab. The analysis of all the results confirmed the correspondence of quality and expected parameters. Besides there is the analysis of influence on the essential system's non-linearity on the electric drive.

In accordance with represented researches and calculations the projected electric drive fits with technical tasks' demands and can be used as controller of hoisting drawworks' bit feeding for the drilling rig.

The economic part of this work is devoted to the analysis of starting-up and adjustment works implemented by a brigade for controlled electric drive of drawworks. In this part the structure and phases of starting-up and adjustment works are determined; the composition and quantity of the brigade were chosen; the budget value of starting-up and adjustment works was also calculated.

Ecological, safety, electrical safety issues, problems of industrial sanitary and fire safety during the amounting, adjustment and maintaining were also explored in this graduation work.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Документация по обслуживанию электропривода лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ
2. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х.Евзеров и др.; под ред. В.М.Перельмутора. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.
3. Тарабин Б.В., Лунин Л.Ф., Смирнов Ю.Н. Интегральные микросхемы: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1985. - 528 с.
4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. - Оптимизация контура регулирования. - Томск: Изд.ТПУ,2000.-144с.
5. Броун С.И., Хоботько В.И. Программированное руководство по безопасному ведению буровых работ. - М.: Недра, 1978.
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Издательство Томского политехнического университета 2014, 36 стр.
7. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. Изд.2. - М.: Недра, 1975.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). - М.: Атомиздат, 1972.
9. Техника безопасности в нефтяной промышленности. - Труды ВНИИТБ, вып. XIX - XXVII, 1970 - 1977.
10. Система стандартов безопасности труда. Сборники ГОСТов. 4 тома. - М.: издательство стандартов, 1971.
11. Охрана труда в машиностроении. Под редакцией Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1983.
12. Противопожарные требования. Основные положения проектирования СНИП /П-А.5-70.-М.:1971.
13. Методическое пособие для расчета вибрации. - Т.: ТПУ Д989.

14. Панов Г. Е., Броун С. И. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988.

15. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 152 с.

16. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 152 с.

17. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 144 с.

18. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.6. Механическая система электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 144 с.

19. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

20. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.-36с

21.Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 648 с.

22. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1996.

23.ГОСТ 12.2.108 – 85 ССБТ - Установки для бурения геологоразведочных

и гидрогеологических скважин.

24.ГОСТ 12.2.032 – 78 ССБТ - Рабочее место при выполнении работ сидя.

25 [.ГОСТ 12.2.064 - 81](#) - Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности.

26.ГОСТ 12.0.003 - 2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

27.СанПиН 2.2.4.548 – 96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

28. СанПин 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

29.СП 52.13330.2016 - Естественное и искусственное освещение.

30.ГОСТ 12.1.019 - 2017 ССБТ. - Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

31.ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ. - Вибрационная болезнь. Общие требования.

32.ГОСТ 12.4.011 - 89 - Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

33.ГОСТ 22.0.02 - 2016 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях.