

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500

УДК 621.31:62-83:621.867:622.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Мамаджонов Адхамжон Немаджон угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин С.В.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Мамаджонову Адхамжону Немаджон угли

Тема работы:

Дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; 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	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	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин С.В.	к.т.н.		05.04.2019.
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			05.04.2019.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Мамаджонов Адхамжон Немаджон угли		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 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:	30.05.2019г.
--	--------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин С.В.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гнеушев В.В.			

СОГЛАСОВАНО:

И. о. 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 108 страниц, 50 рисунков, 17 таблиц, 22 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 SWOT-анализ дополнительного электропривода подъемной лебёдки буровой установки БУ 4500	74
5.2 Планирование технического проекта.....	78
5.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования	78
№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором студент осуществляет защиту своей работы.	79
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	79
5.2.3 Разработка графика проведения технического проектирования	80
5.3 Составление сметы технического проекта	81
5.3.1 Расчет материальных затрат	83
5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР	84
5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	85
5.3.4 Накладные расходы.....	86
5.3.5 Формирование сметы технического проекта	86
5.4 Определение ресурсоэффективности проекта	87
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	90

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	92
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	93
6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	94
6.2 Производственная безопасность.....	95
6.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	95
6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	96
6.3 Экологическая безопасность.....	100
6.4Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
Заключение	104
Conclusion.....	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	107

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 пере-

гружается, 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.

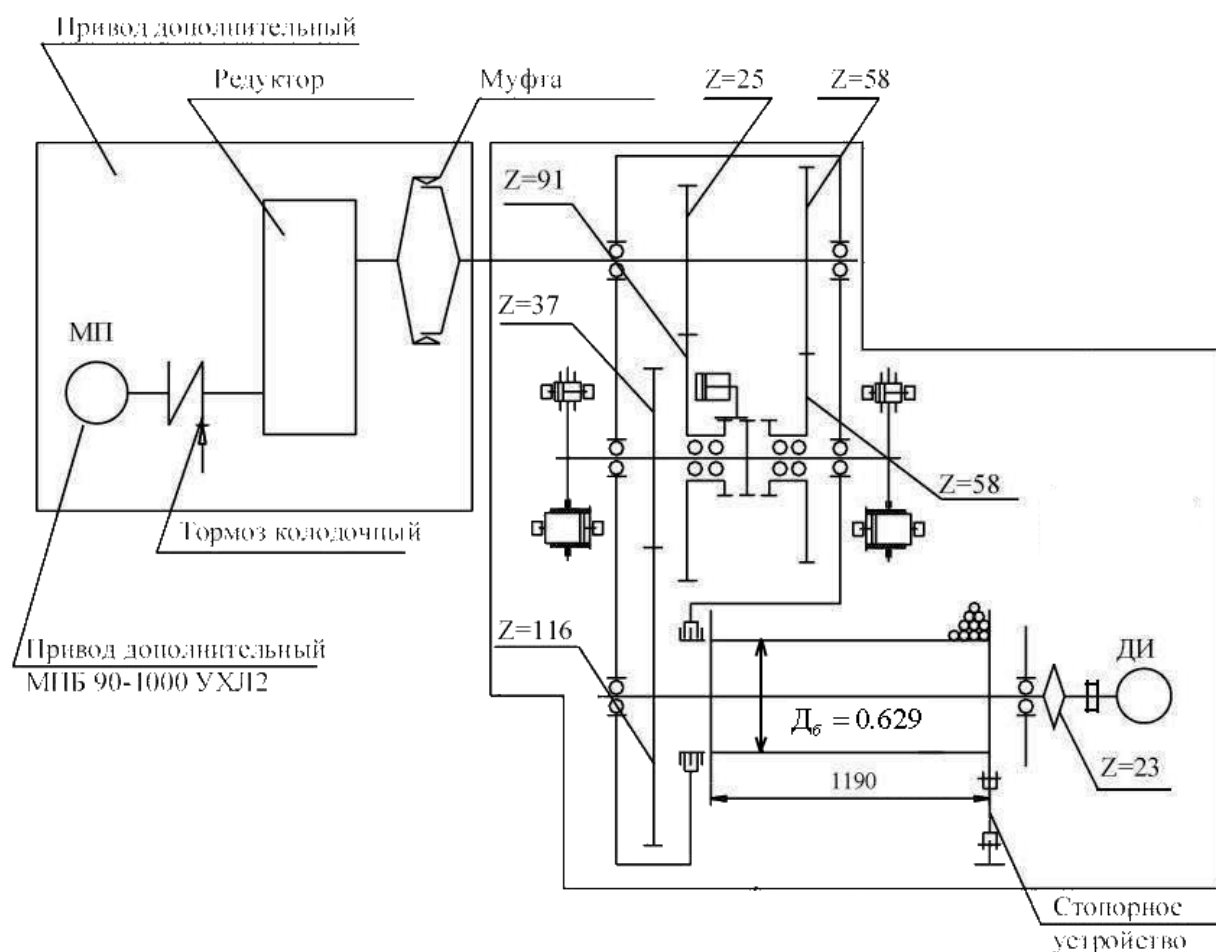


Рисунок 2.1. – Кинематическая схема лебедки ЛБУ-900ЭТ-3

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 клапан 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 (5x6)
Диаметр талевых канатов, мм	32
Диаметр подъема барабана лебедки, мм при спуско-подъемных операциях, при изменяющейся высоте ($0 \div 27,5$) м	$0,786 \div 0,629$
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.

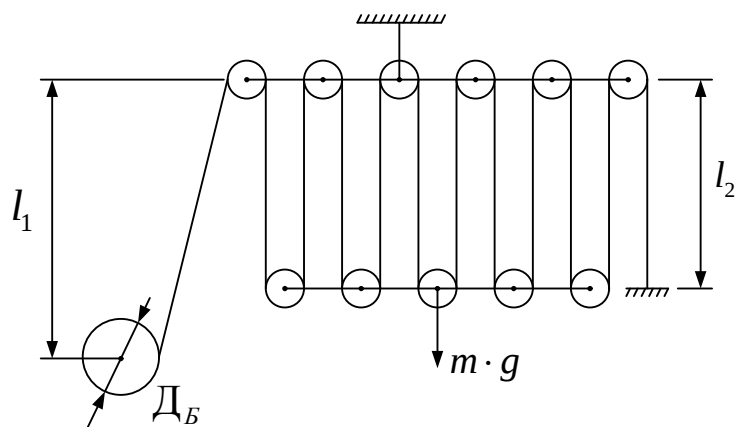


Рисунок 2.2 – Схема оснастки тросовой системы

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	$R_{\text{ов}}$	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.

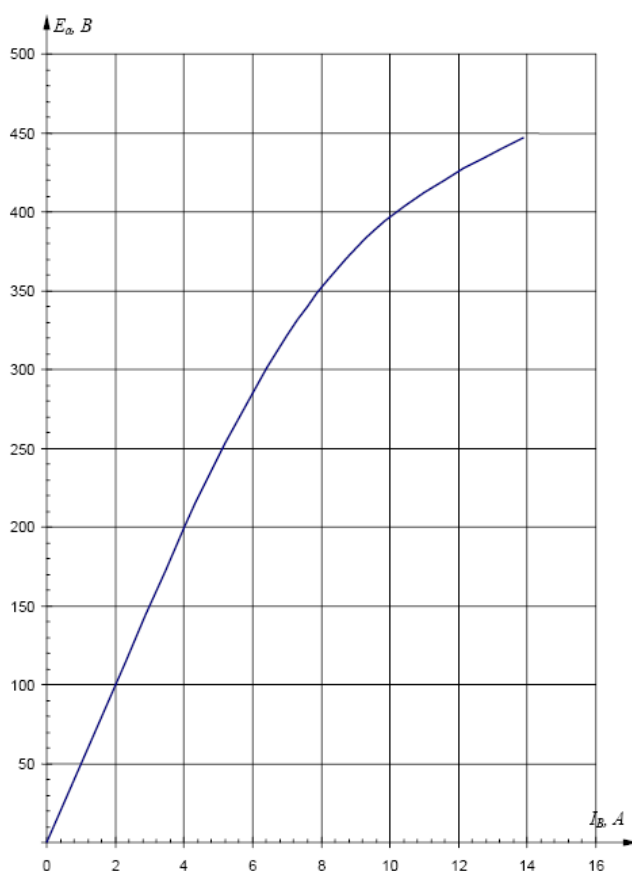


Рисунок 2.3. – Кривая намагничивания двигателя МПБ 90-1000УХЛ2

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

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

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.

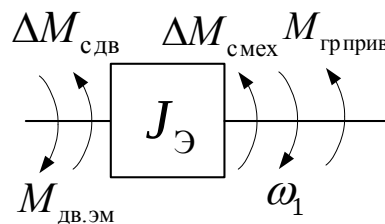


Рисунок 2.4 – Расчетная схема механической одномассовой системы дополнительного электропривода лебедки

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, $D_6 = 0,786 \text{ м}$;

$i_{\text{тп}}$ – 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 талевой оснастки $\eta_{пол} = 0,94$

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

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

$$M_{гр.прив} = \frac{m \cdot q \cdot D_6}{2i_{ред} \cdot i_{пол}} = \frac{(123,204 \div 258,204) \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,786}{2 \cdot 182,56 \cdot 10} = (260,184 \div 545,279) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент инерции на «тихой» передаче

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

Момент сопротивления реактивного характера на оси эквивалентной массы

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

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.

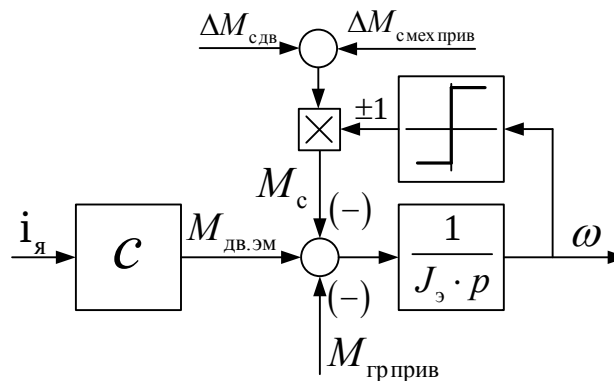


Рисунок 2.5 – Структурная схема одномассовой механической системы

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;

$M_{\text{с}}$ – 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;

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

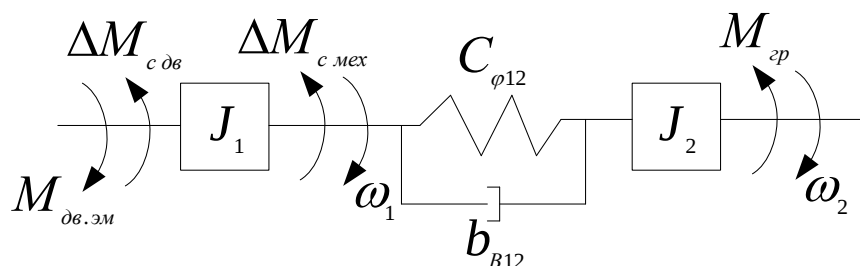


Рисунок 2.6 – Расчетная схема двухмассовой механической системы
дополнительного электропривода подъемной лебедки

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;

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

- модуль продольной упругости для стального каната, принимаем

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

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

-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:

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

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

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.

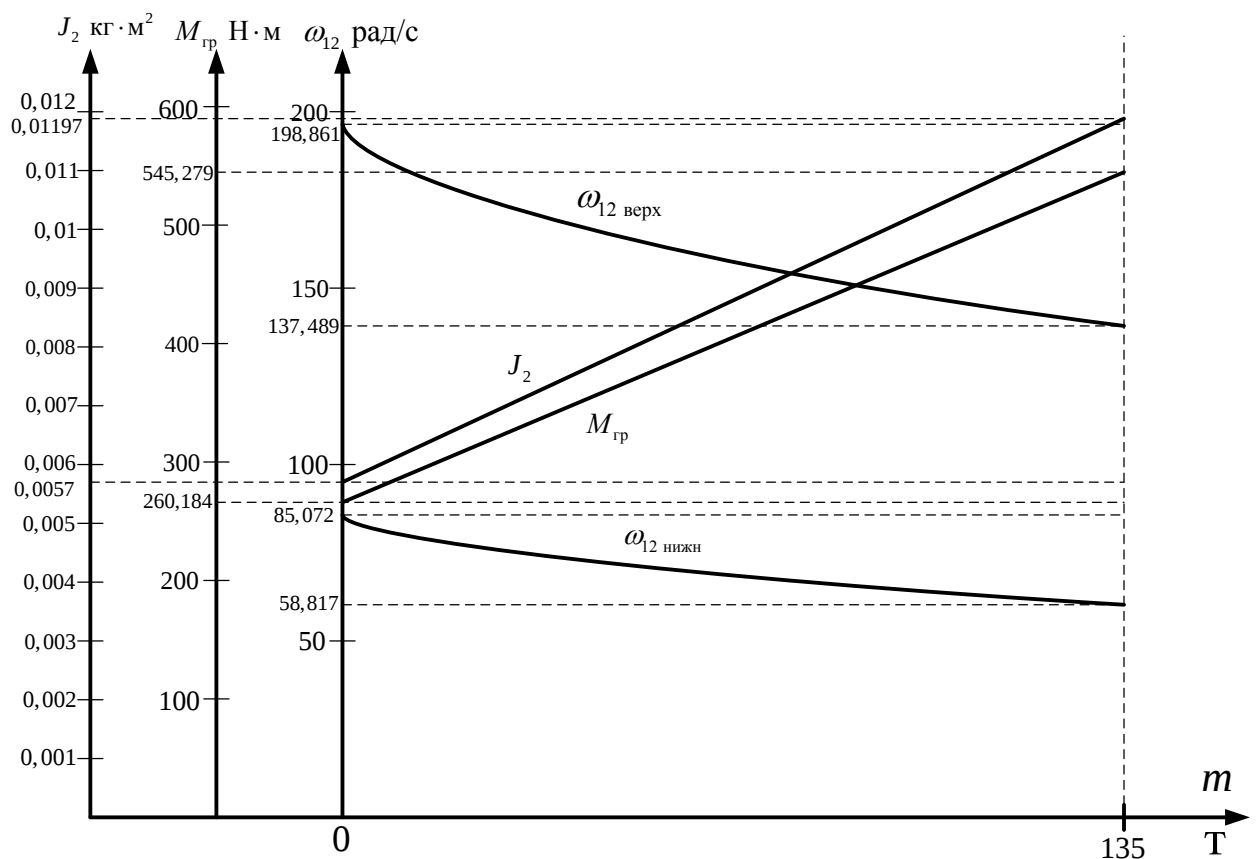


Рисунок 2.7 - Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза

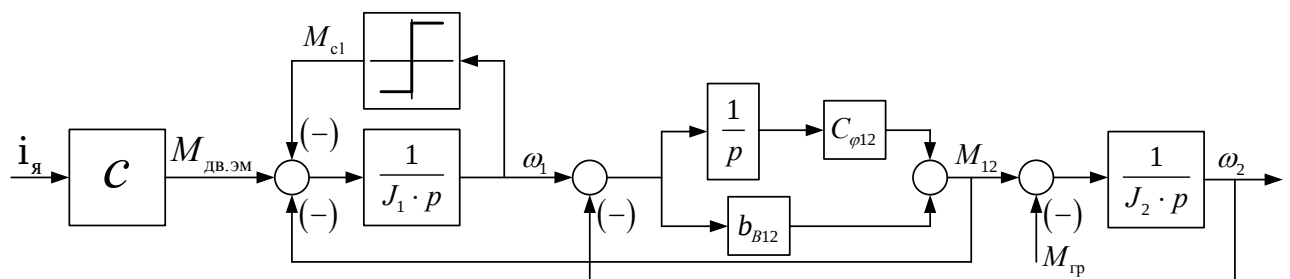


Рисунок 2.8 – Структурная схема механической системы дополнительного привода лебедки

2.4 Выбор тиристорного преобразователя, расчет параметров

Условиями выбора преобразователя являются:

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

Параметры двигателя:

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

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

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

где $I_{\text{фрасч}} = k_{i2\phi} \cdot k_i \cdot I_{\text{двн}} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot 225 = 192,543 \text{ А}$;

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

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

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

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

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

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

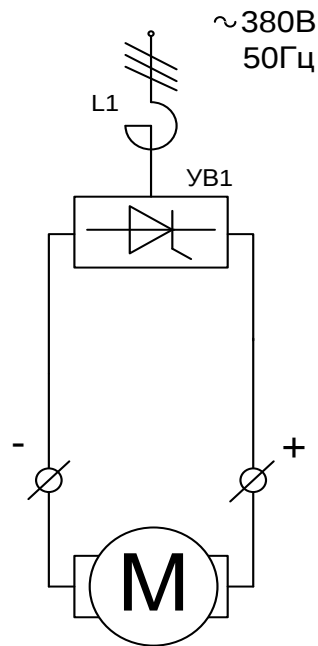


Рисунок 2.9. – Схема электрическая силовой цепи дополнительного привода лебедки

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

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

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:

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

– индуктивность преобразователя:

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

Углы управления:

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

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

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

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

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

Сопротивление 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

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

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

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos \frac{c \cdot \omega_{\text{эпмакс}} + I_{\text{двн}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ис}} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{4,018 \cdot 104,72 + 225 \cdot 0,155}{0,9 \cdot 513} =$$

$$= \arccos(0,986875) = 9,29333^\circ,$$

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

$K_{uc} = 0,9$				
$\Phi_{дв} = 0,0406 \text{ Вб}$	$I_{дв}, \text{ А}$	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
$K_{uc} = 1$				
$\Phi_{дв} = 0,0406 \text{ Вб}$	$I_{дв}, \text{ А}$	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.

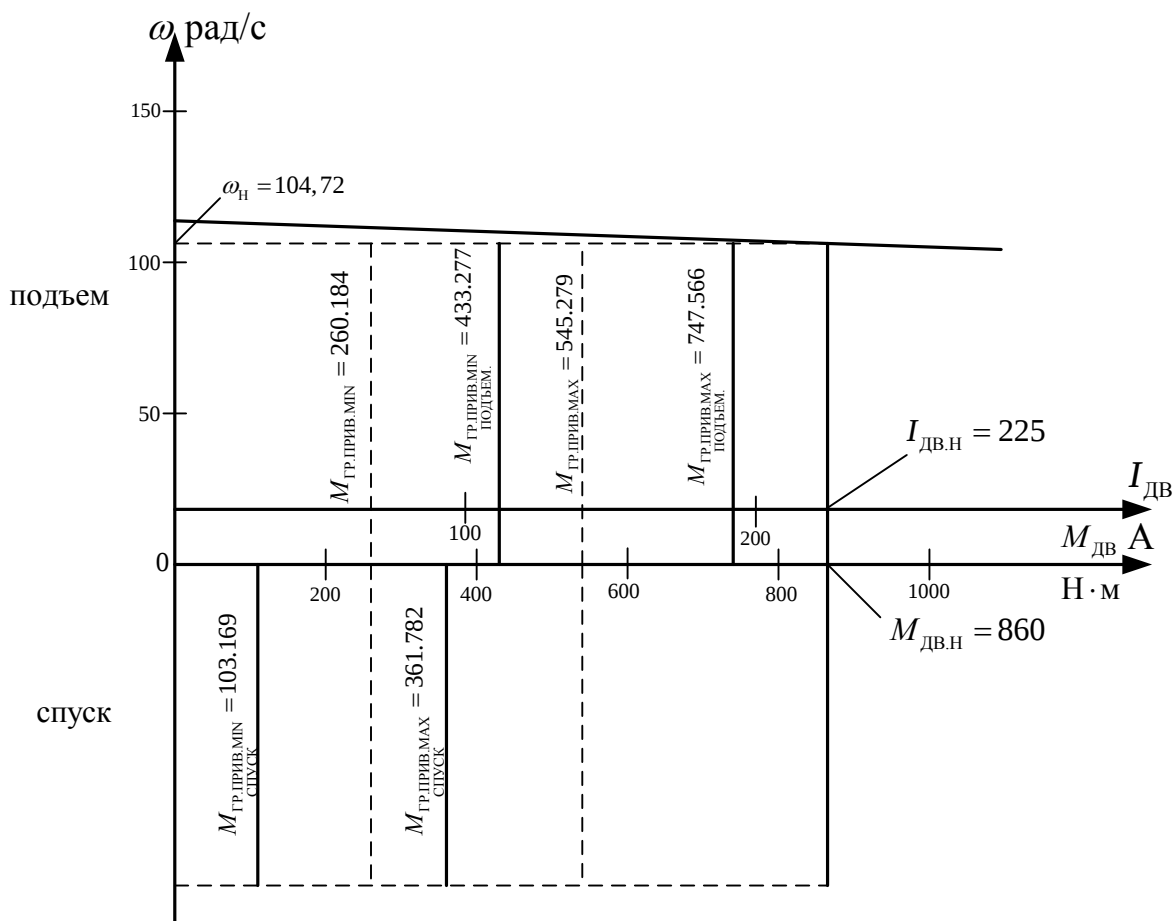


Рисунок 2.10 – Область допустимой работы дополнительного электропривода лебедки

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:

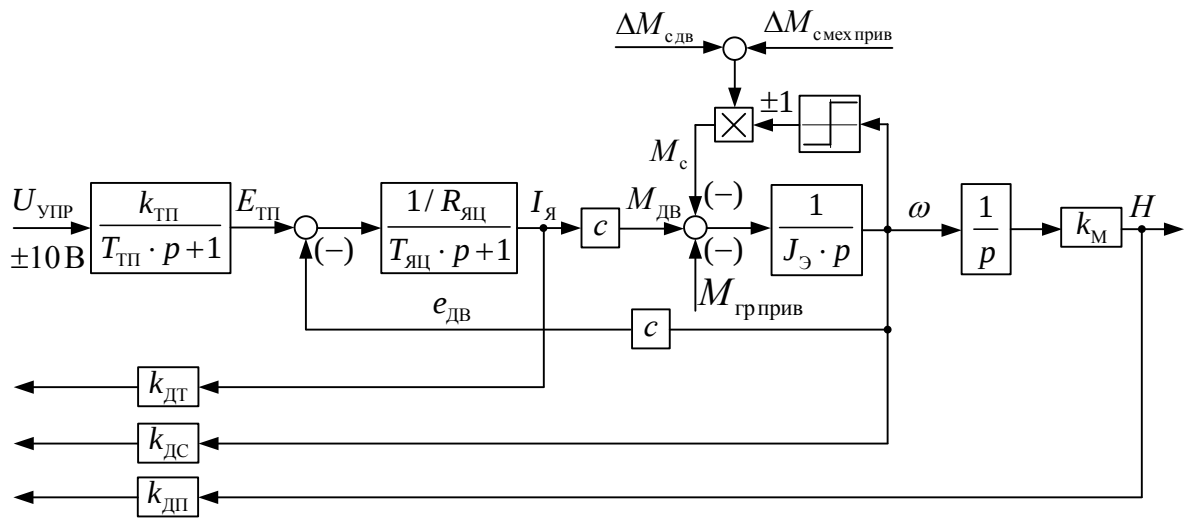


Рисунок 2.12 – Структурная схема силового канала
главного электропривода подъемной лебедки

Коэффициент передачи датчика тока якоря

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

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

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

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

Коэффициент передачи механизма

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

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

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.

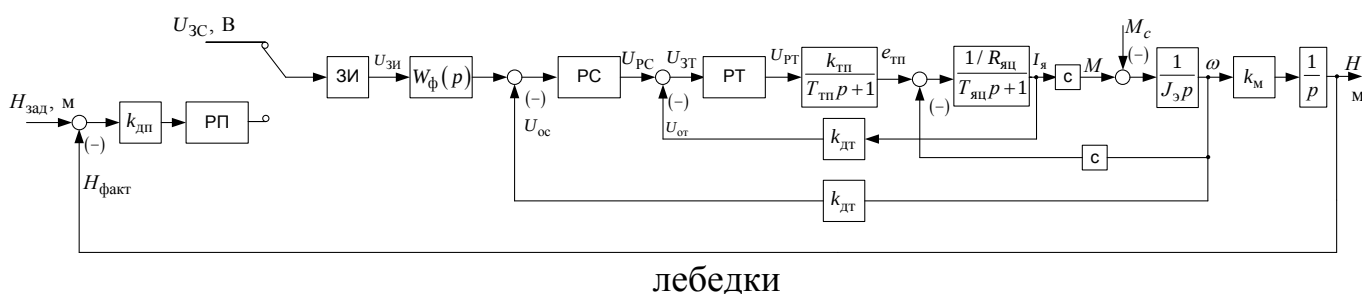
При соприкосновении долота с забоем сигнал на выходе регулятора натяжения PQ возрастет. Если сигнал с выхода регулятора натяжения PQ будет превышать сигнал с выхода регулятора скорости РС (задана малая скорость спуска), то привод будет работать с постоянством натяжения в мертвом конце каната (постоянством 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 линейризованной САУ электропривода РПД приведена на рисунке 3.2.

Рисунок 3.2 – Структурная схема САУ дополнительного привода подъемной



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.

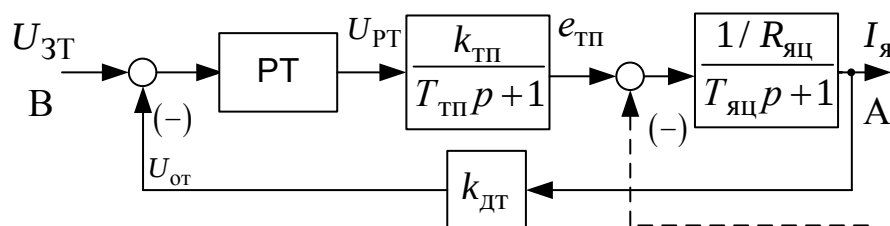


Рисунок 3.3 – Структурная схема контура тока в режиме заторможенного двигателя.

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.

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

следовательно, принимаем:

- $T_{\mu\Gamma} = T_{\text{тп}} = 0,00167 \text{ с}$ – малая постоянная времени контура;
- $T_{\text{яц}} = 0,011044 \text{ с}$ – 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 $T_{\text{рт}} = T_{\text{яц}} = 0,011044 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора.

Коэффициент обратной связи по току

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

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

Коэффициент усиления регулятора тока

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

где $a_{\text{т}} = 2$ – 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.

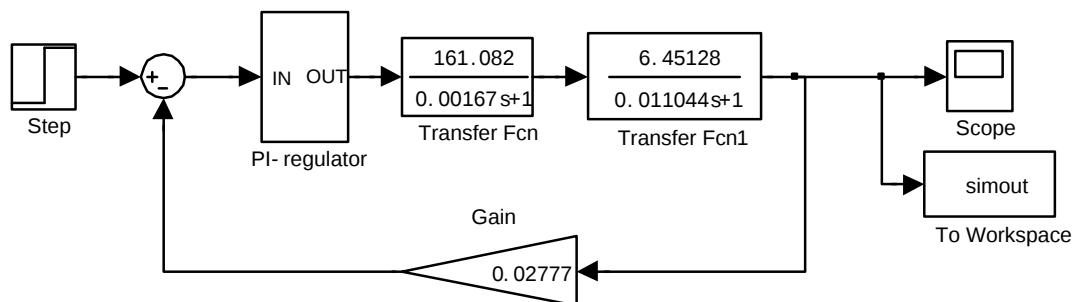


Рисунок 3.4 – Имитационная модель контура тока

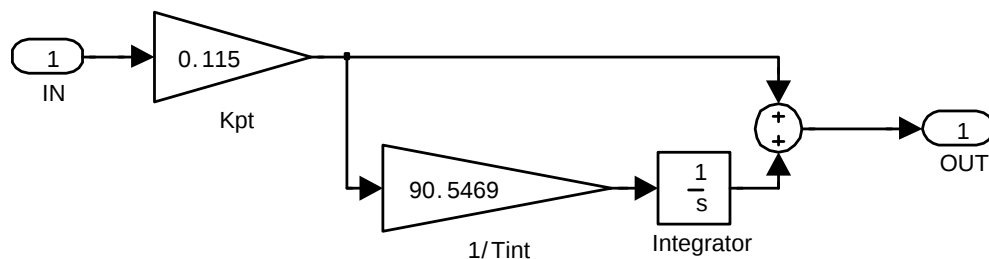


Рисунок 3.5 – Модель ПИ – регулятора в среде Matlab R2006a.

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

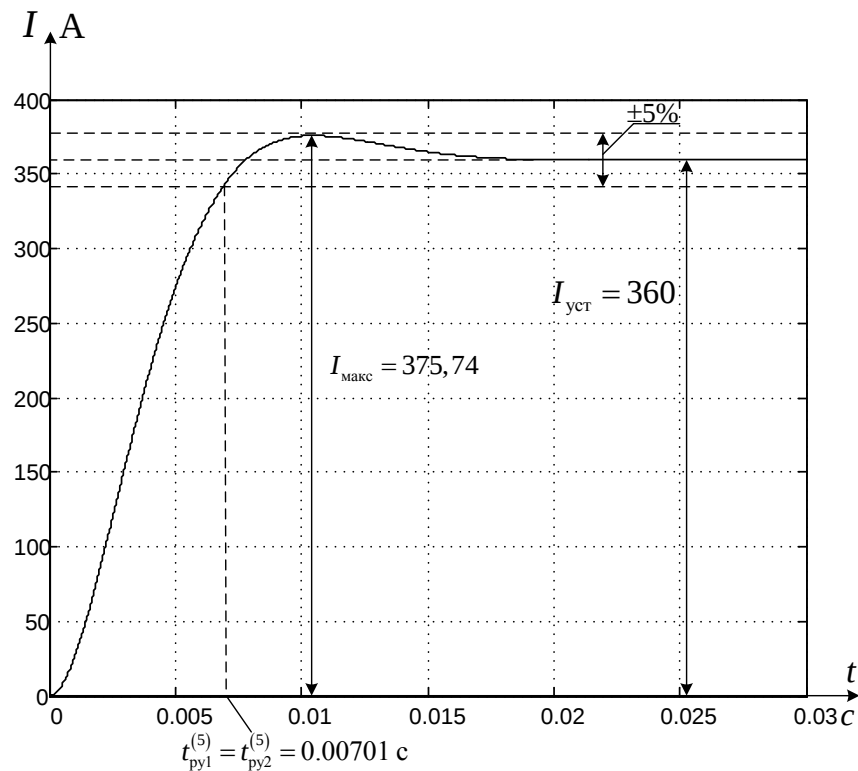


Рисунок 3.6 – Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по структурной схеме, представленной на рисунке 3.6

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

$t_{\text{пу1}}^{(5)} = 0,00701$ с – время первого согласования;

$t_{\text{пу2}}^{(5)} = 0,00701$ 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.

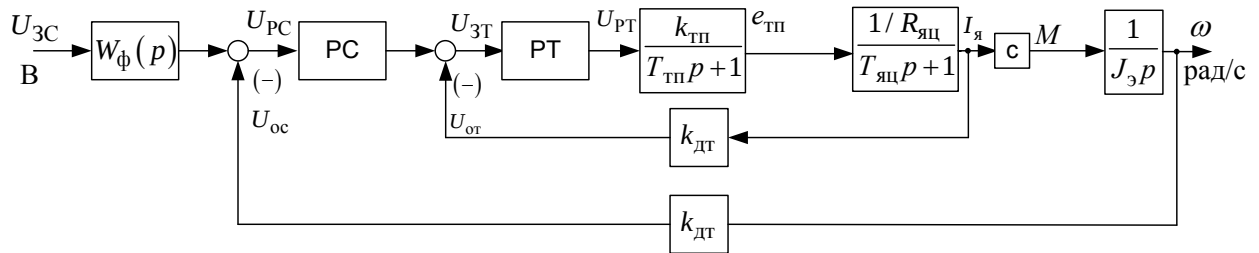


Рисунок 3.7 – Структурная схема контура скорости

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

$$k_c = \frac{U_{3c.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{10}{104.72} = 0.0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где $U_{3c.макс} = 10 \text{ В}$ – максимальное напряжение задания на скорость.

Коэффициент усиления регулятора скорости

$$k_{pc} = \frac{J_{я} \cdot k_t}{c \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_t \cdot T_{\mu t}} = \frac{1,7 \cdot 0,02777}{4,018 \cdot 0.0955} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 18,418.$$

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

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

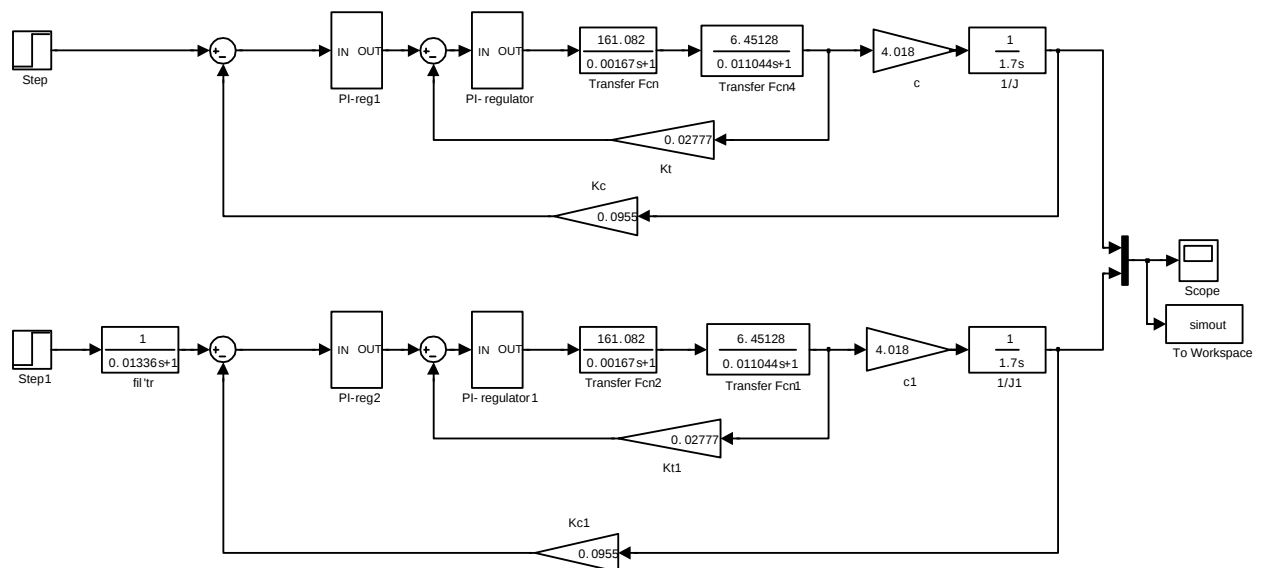
Передаточная функция замкнутого контура скорости без фильтра на входе

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

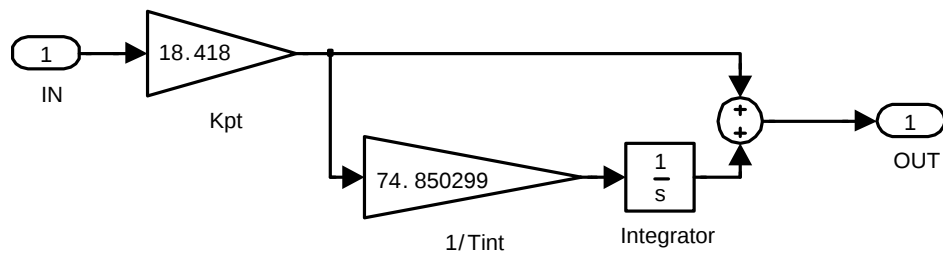
Передаточная функция замкнутого контура скорости с фильтром на входе

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

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 отработке ступенчатого входного воздействия приведены в виде переходных характеристик на рисунке 3.9 .

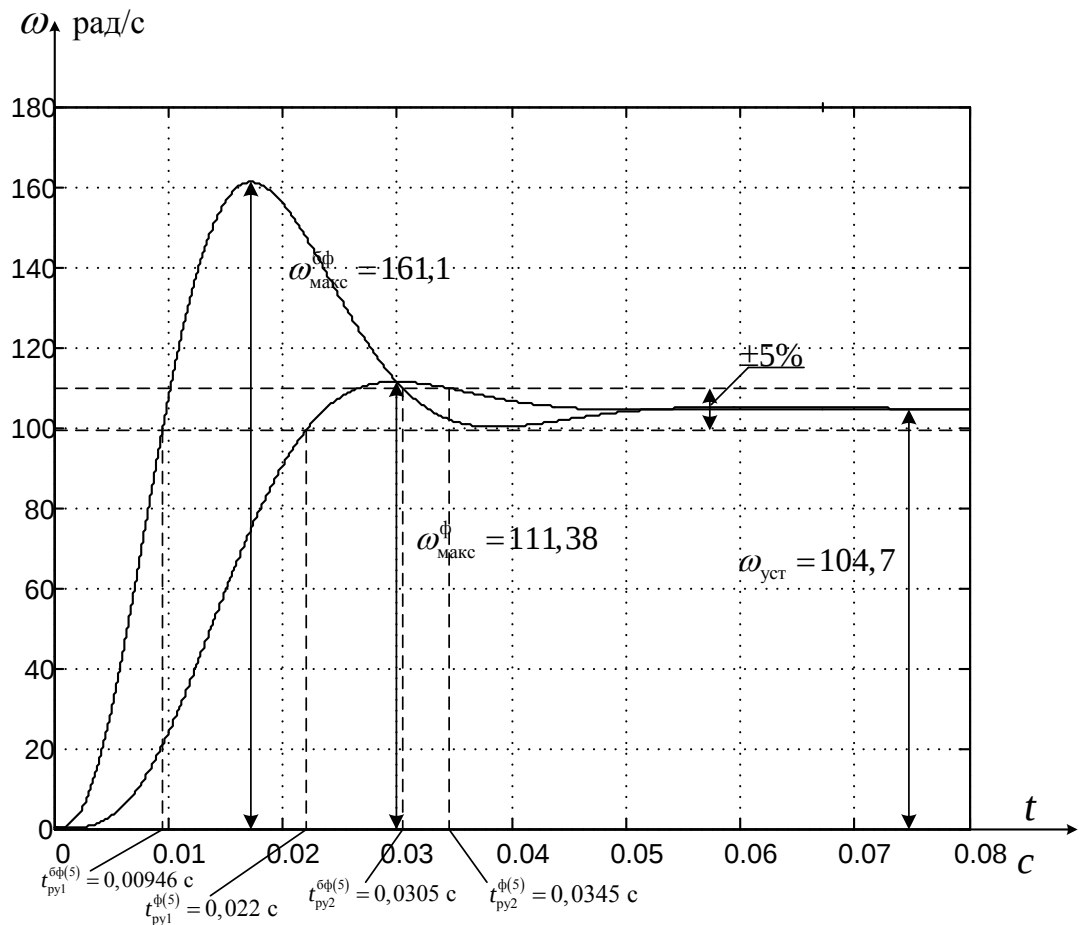


Рисунок 3.9 – Переходные характеристики $\omega(t)$ контура скорости

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

– 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 $\Delta\omega_{\text{у.уст}}=0$, 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.

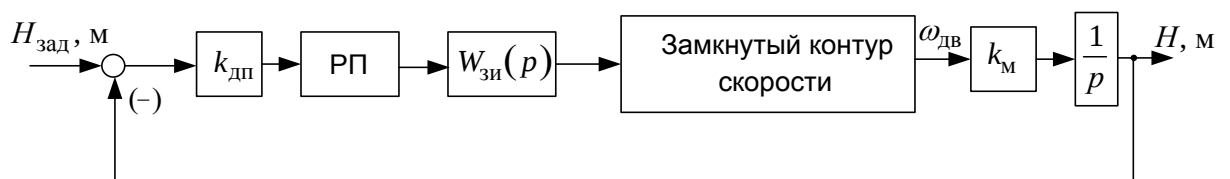


Рисунок 3.10 – Структурная схема контура положения.

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;

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

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

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:

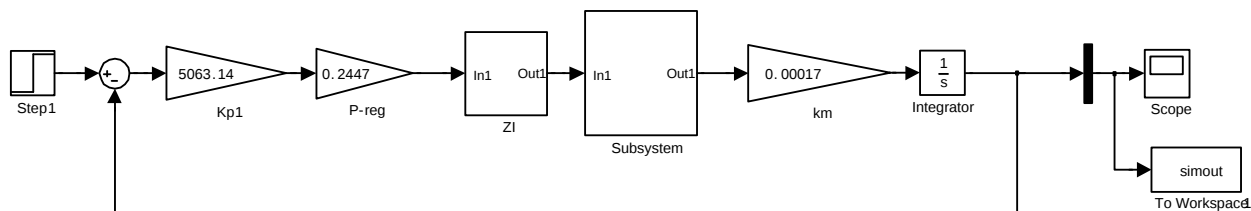
– разомкнутого контура с задатчиком скорости

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

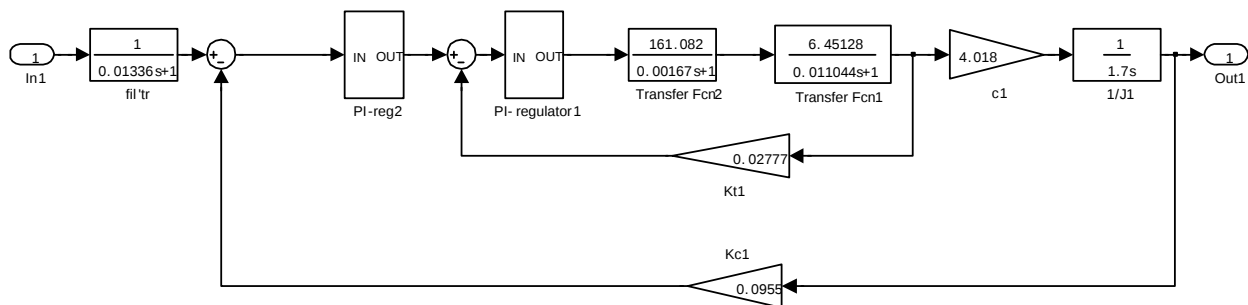
– замкнутого контура с задатчиком скорости по управлению

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

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 отработке ступенчатого задания.

4.ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

4.1 Основные нелинейности САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

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

$$U_{рс.макс} = 10 \text{ В};$$

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

$$U_{pc} \leq U_{pc\text{доп}},$$

где $U_{pc\text{доп}} = k_T \cdot I_{\text{эпмакс}} = 0.02777 \cdot 360 = 9.9972 \text{ В};$

примем $U_{pc\text{доп}} = 10 \text{ В}$

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

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

- 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.

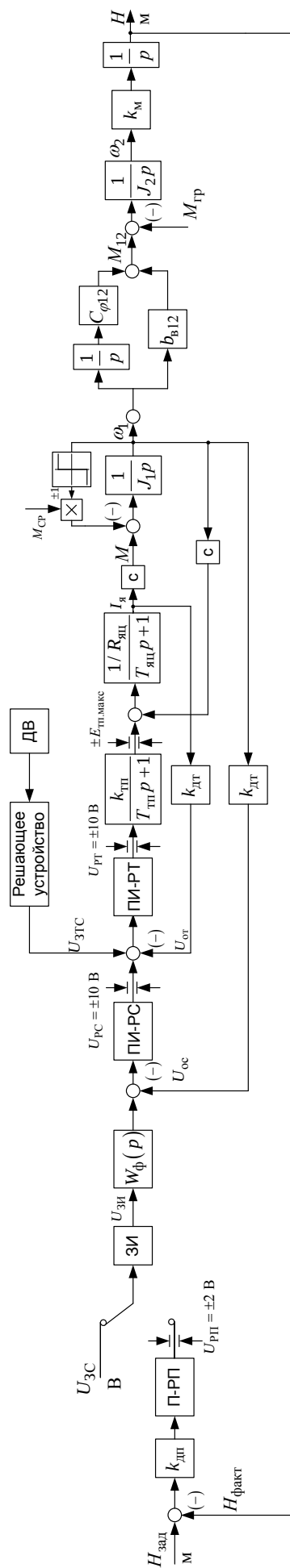


Рисунок 4.1 – Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

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:

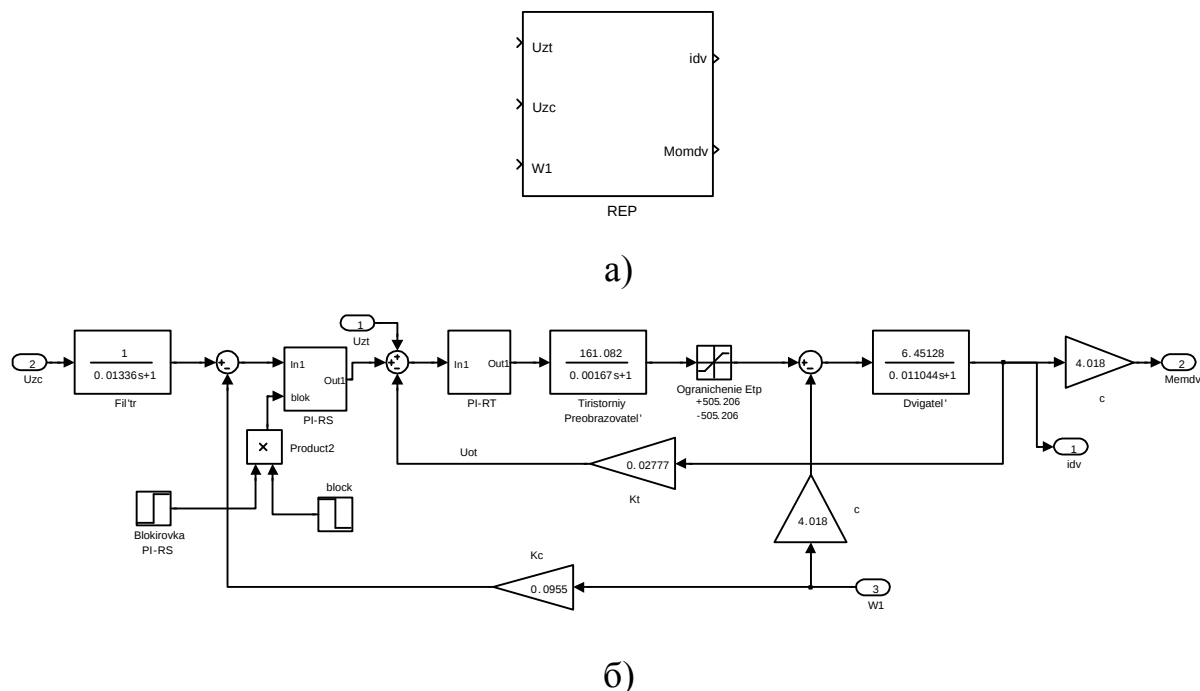
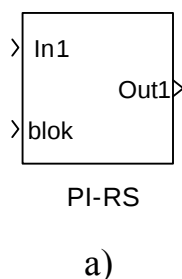


Рисунок 4.2 – Имитационная модель РЭП:

а) – суперблок; б)– схема набора модели

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



а)

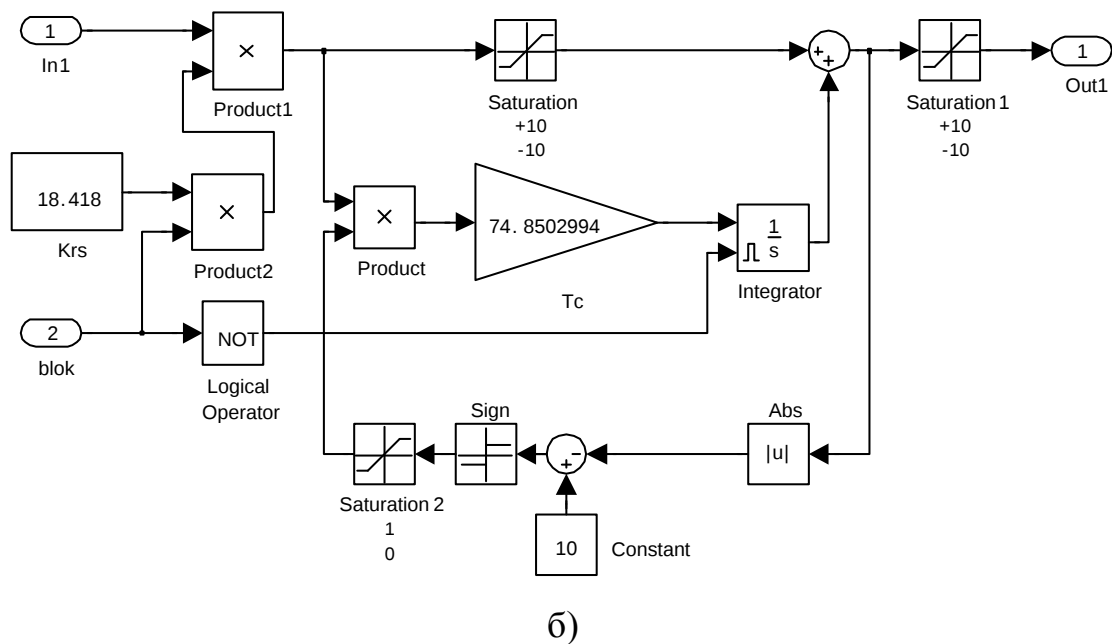
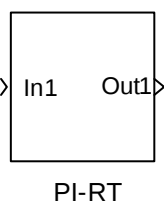
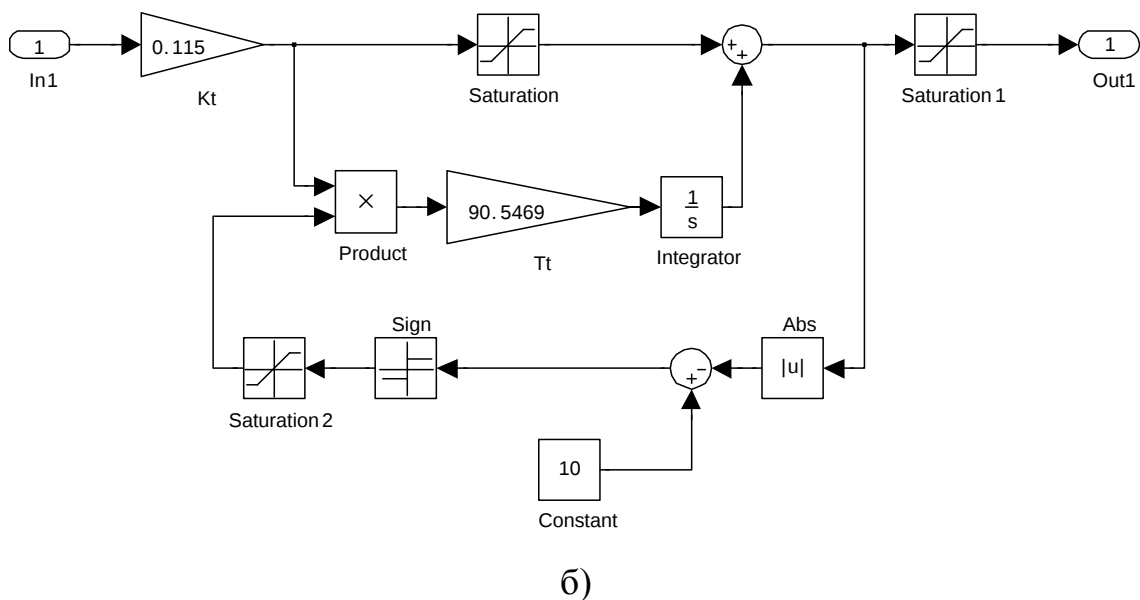


Рисунок 4.31 – Имитационная модель ПИ–регулятора скорости с постоянным ограничением: а) – суперблок; б)– схема набора модели



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 задатчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода. Простейшим задатчиком скорости является линейный задатчик. Фактически установка линейного задатчика 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. Задатчик 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 задатчика интенсивности с S-образной характеристикой принята аналоговой с максимальными значениями входного и выходного напряжения 10 В (рисунок 4.5). Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой представлена на рисунке 4.6. Приняты следующие параметры:

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

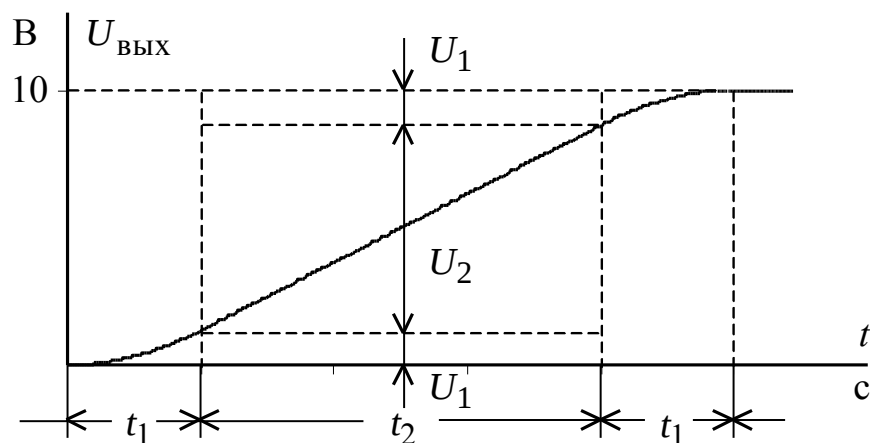


Рисунок 4.5 – Временная характеристика S-образного задатчика интенсивности

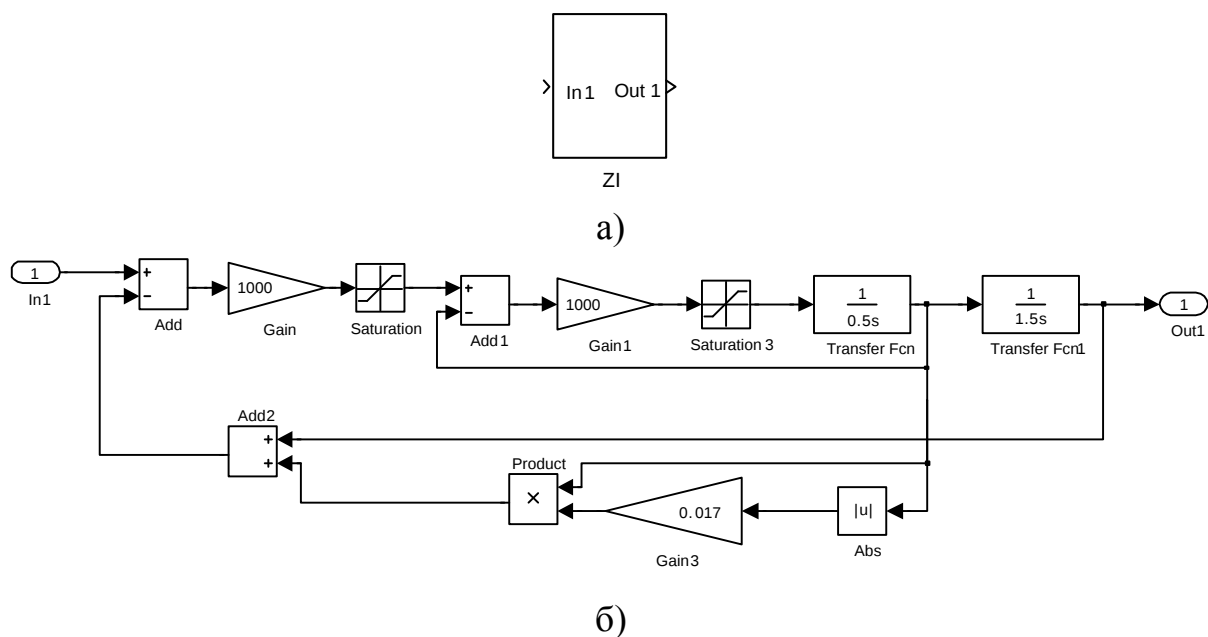


Рисунок 4.6 – Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой: а) – суперблок; б)– схема набора модели

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

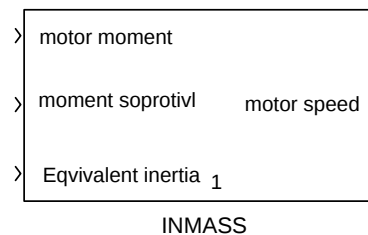
- блок Lookup Table1

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

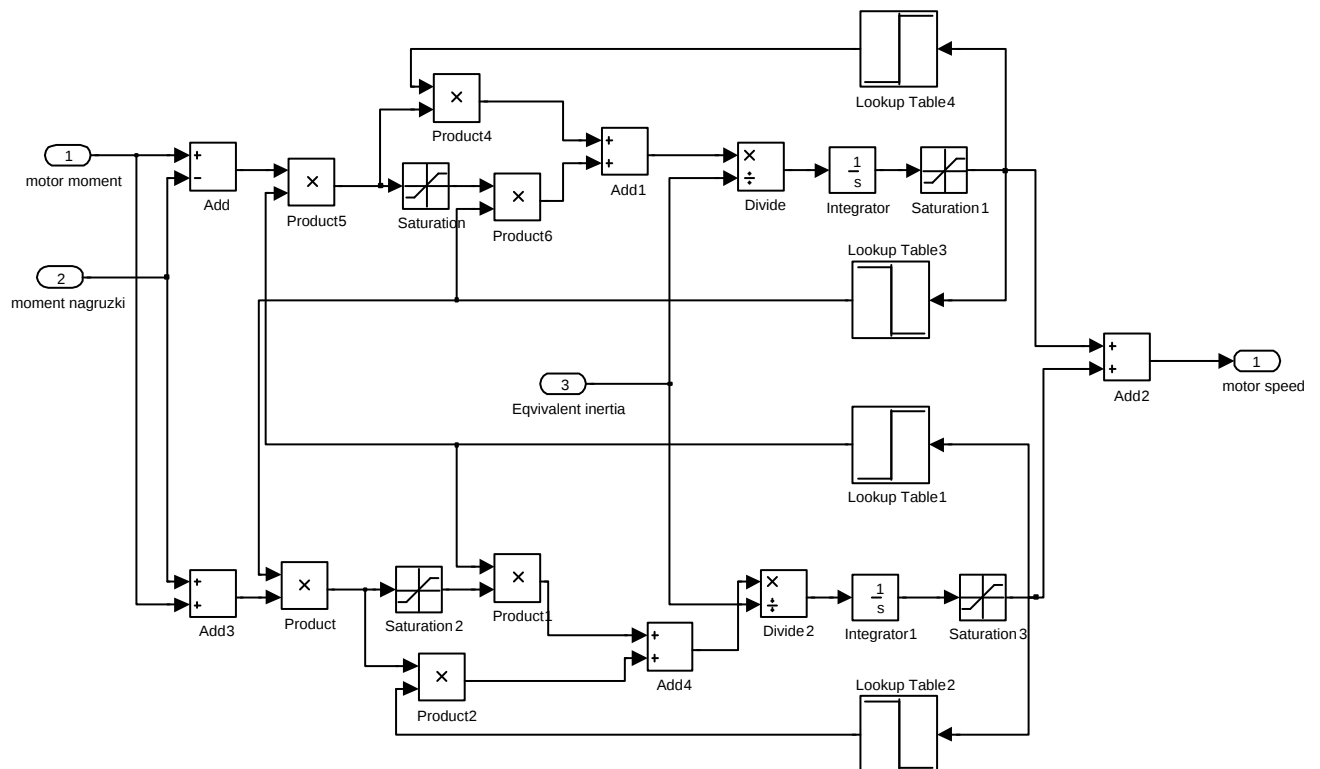
- блок Lookup Table2

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.



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:

$u0[0]$ – отработанная высота;

$y0[0]$ – диаметр барабана.

if ($u0[0] \geq 0$) if ($u0[0] \leq 6.517$) $y0[0] = 0.629$;
 if ($u0[0] > 6.517$) if ($u0[0] \leq 14.22$) $y0[0] = 0.681$;
 if ($u0[0] > 14.22$) if ($u0[0] \leq 22.52$) $y0[0] = 0.734$;
 if ($u0[0] > 22.52$) if ($u0[0] \leq 25$) $y0[0] = 0.786$;

Функционального преобразователя $M_{с гр прив} = f(D_6, m_{гр})$ и $J_{эkv2} = f(D_6, m_{гр})$.

Приведенный момент сопротивления груза на крюке и эквивалентный момент инерции второй массы переменны в зависимости от диаметра барабана лебедки D_6 и массы груза на крюке $m_{гр}$.

Имитационная модель функционального преобразователя

$M_{с гр прив} = f(D_6, m_{гр})$ и $J_{эkv2} = f(D_6, m_{гр})$ представлена на рисунке 4.8.

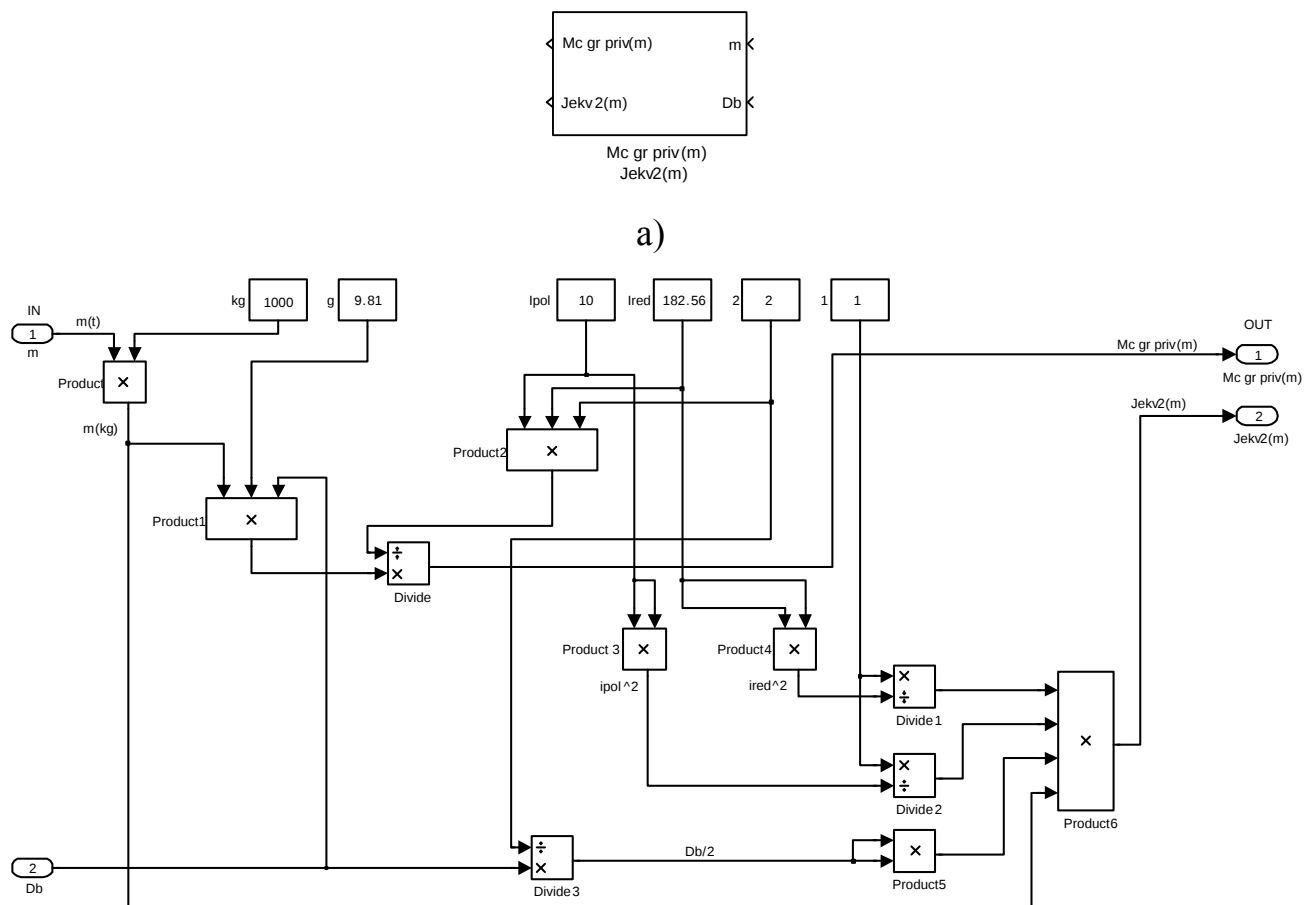


Рисунок 4.8 – Имитационная модель функционального преобразователя

$$M_{с гр прив} = f(D_6, m_{гр}) \text{ и } J_{эkv2} = f(D_6, m_{гр}):$$

а – суперблок; б – схема набора модели

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

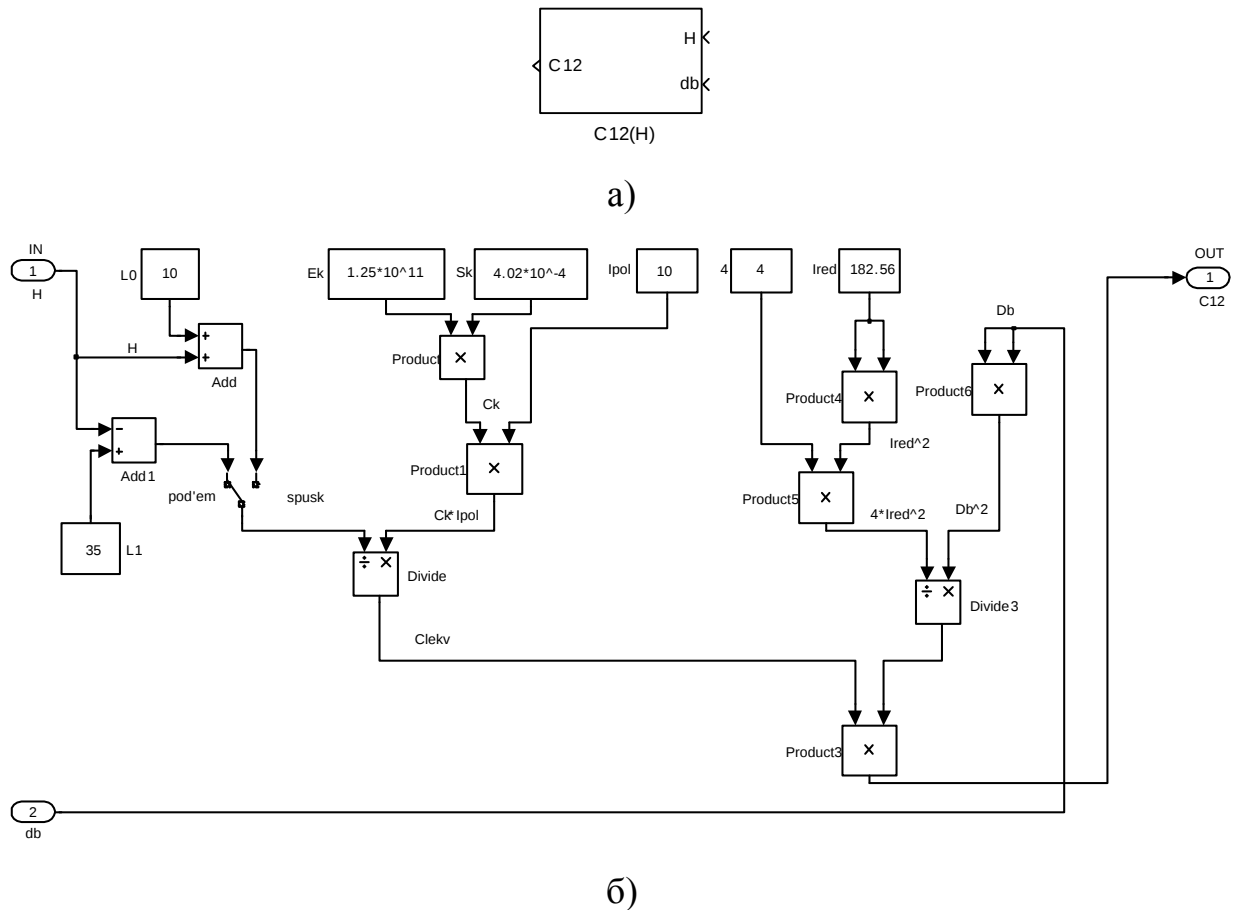


Рисунок 4.9 – Схема функционального преобразователя
а – суперблок; б – схема набора модели

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 $J_{\text{эKB}2}$. Имитационная модель функционального преобразователя $b_{B12} = f(C_{\phi 12}, J_{\text{эKB}2})$ представлена на рисунке 4.10.

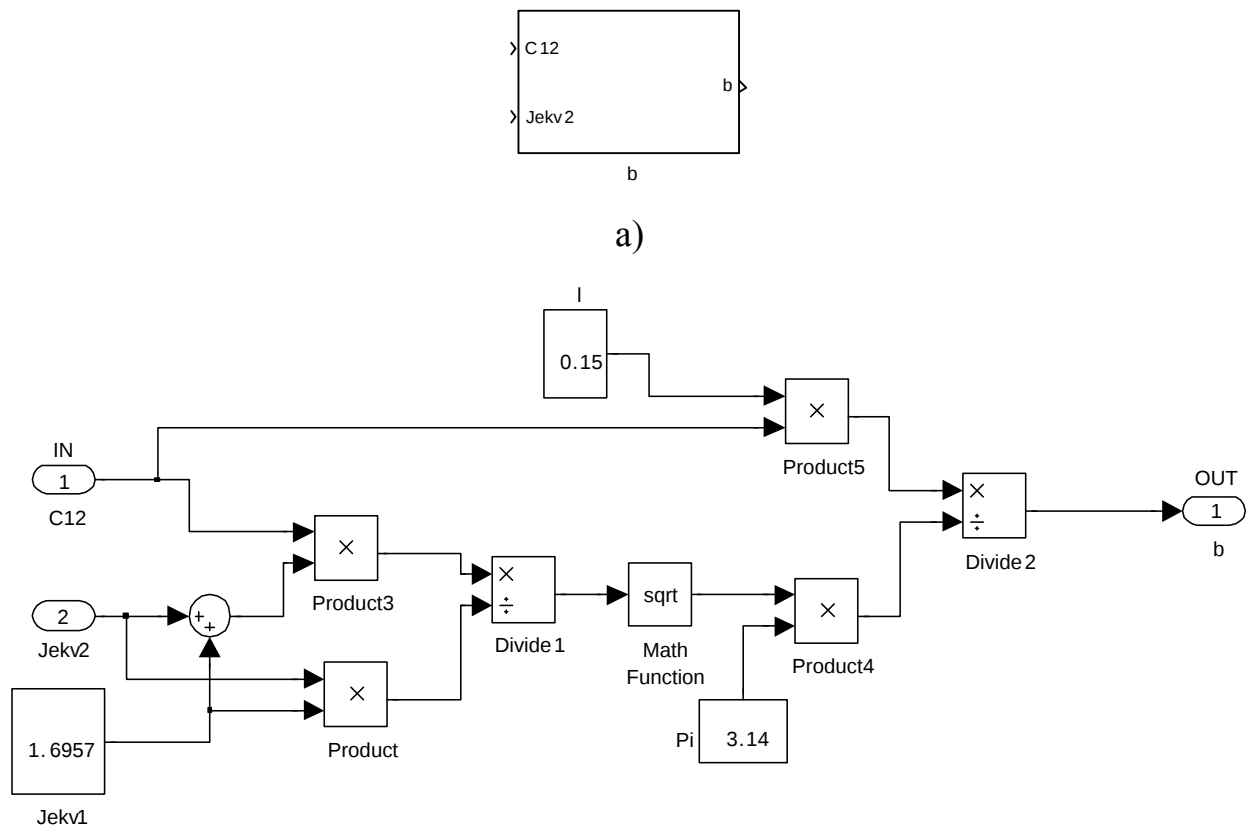


Рисунок 4.10 – Имитационная модель функционального преобразователя

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

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.

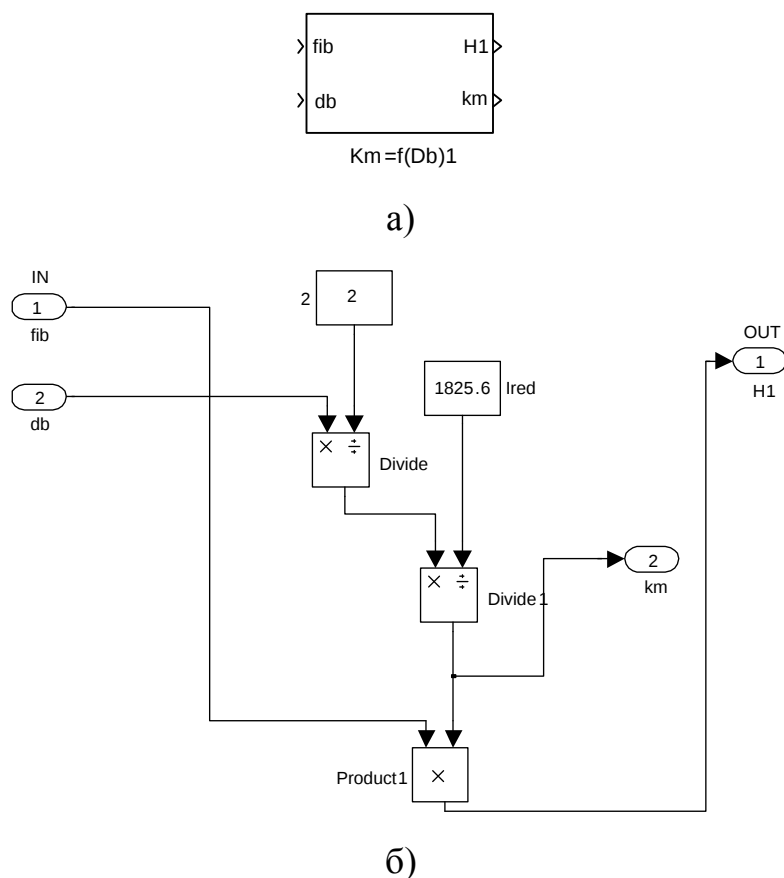


Рисунок 4.11 – Имитационная модель функционального преобразователя : а – суперблок; б – схема набора модели

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

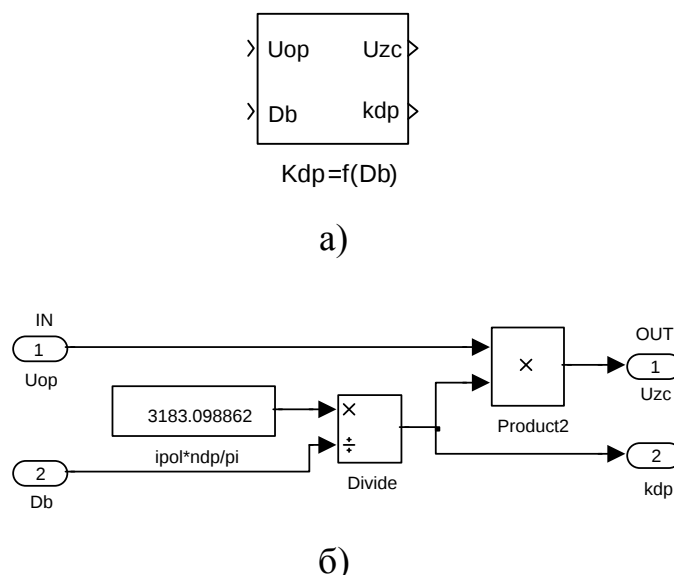


Рисунок 4.12 – Имитационная модель функционального преобразователя

$K_{дп} = f(D_б)$: 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 $K_{пп} = f(K_m, K_{дп})$ представлена на рисунке 4.13.

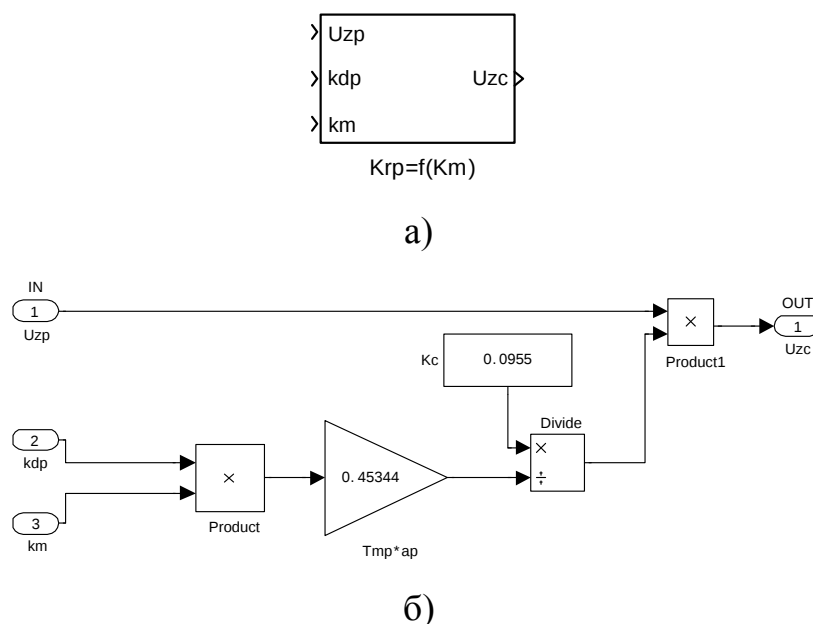


Рисунок 4.13 – Имитационная модель функционального преобразователя

$K_{пп} = f(K_m, K_{дп})$: 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.

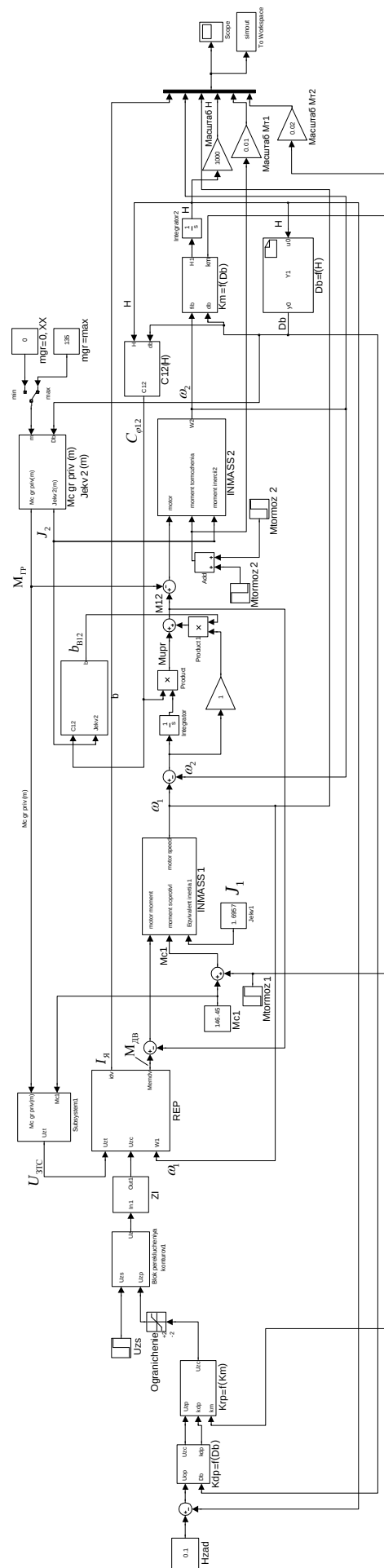


Рисунок 4.14 - Имитационная модель САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

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 слабину 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.

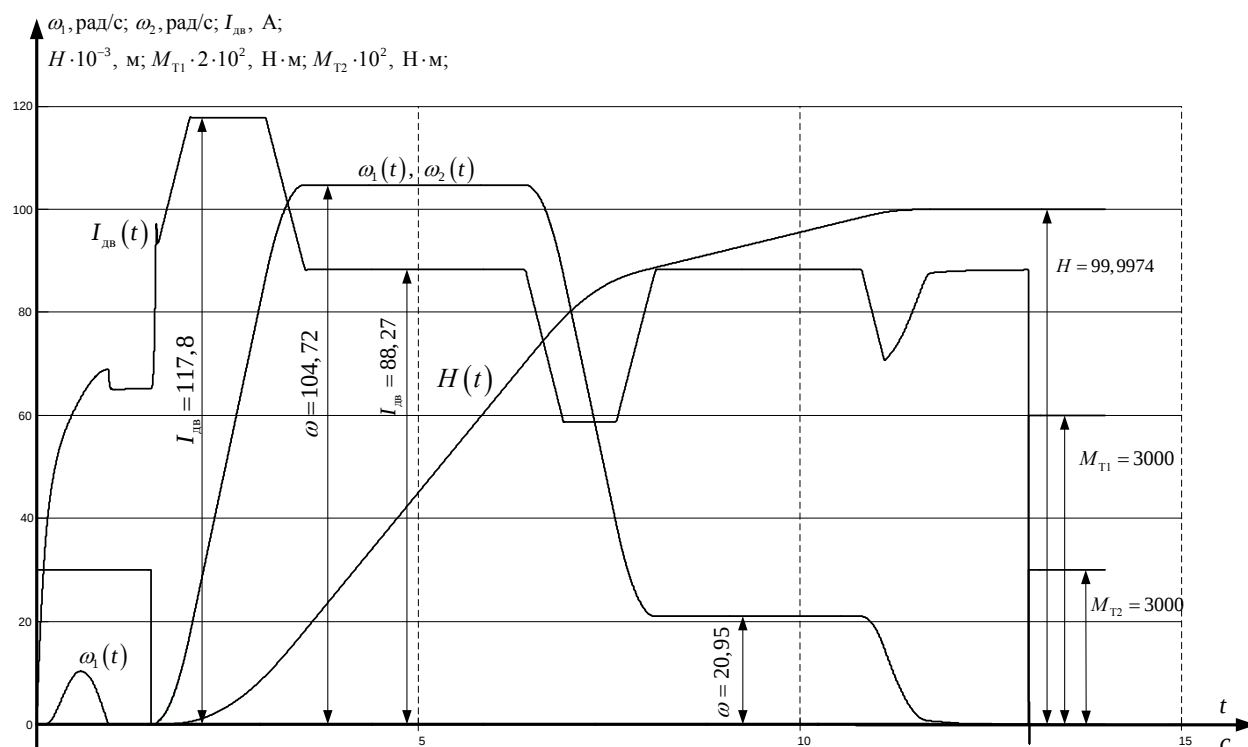


Рисунок 4.15 – Процесс подъема из нижнего положения без колонны

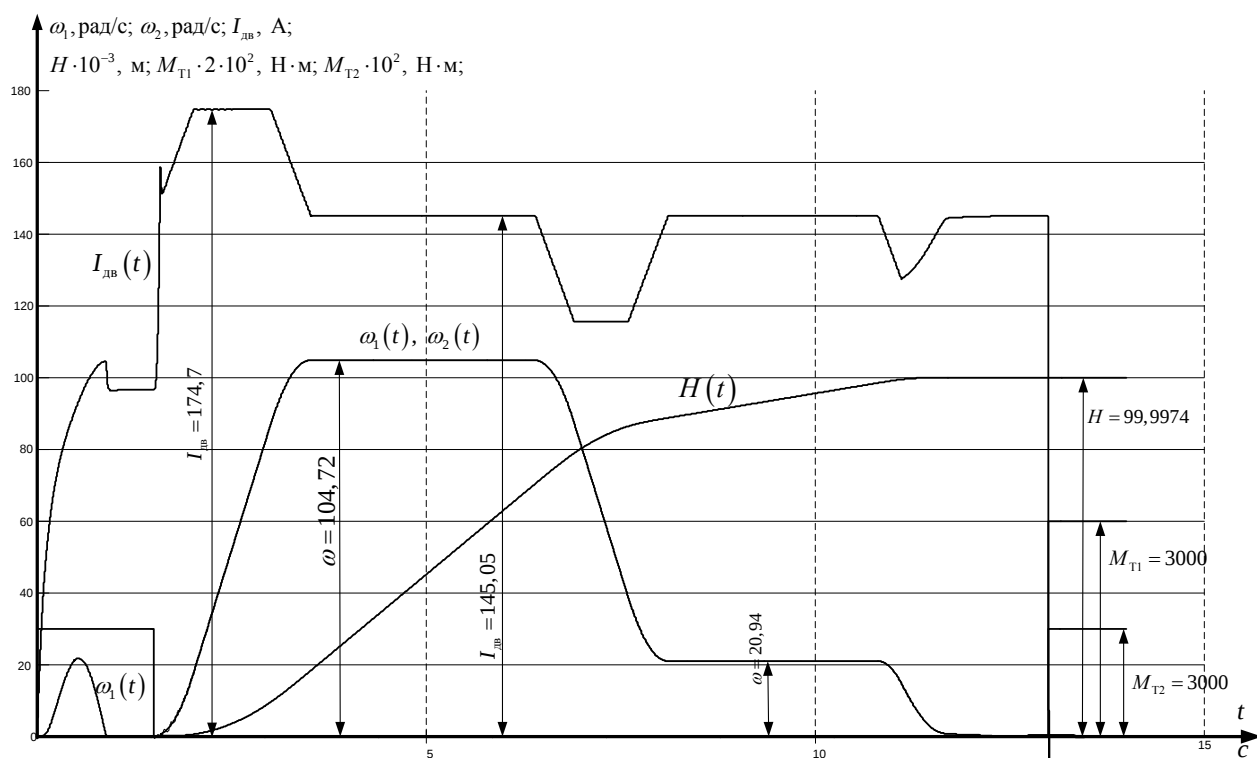


Рисунок 4.16 – Процесс подъема из нижнего положения при максимальном весе колонны

На период времени c 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 $t=1,5c$ 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.

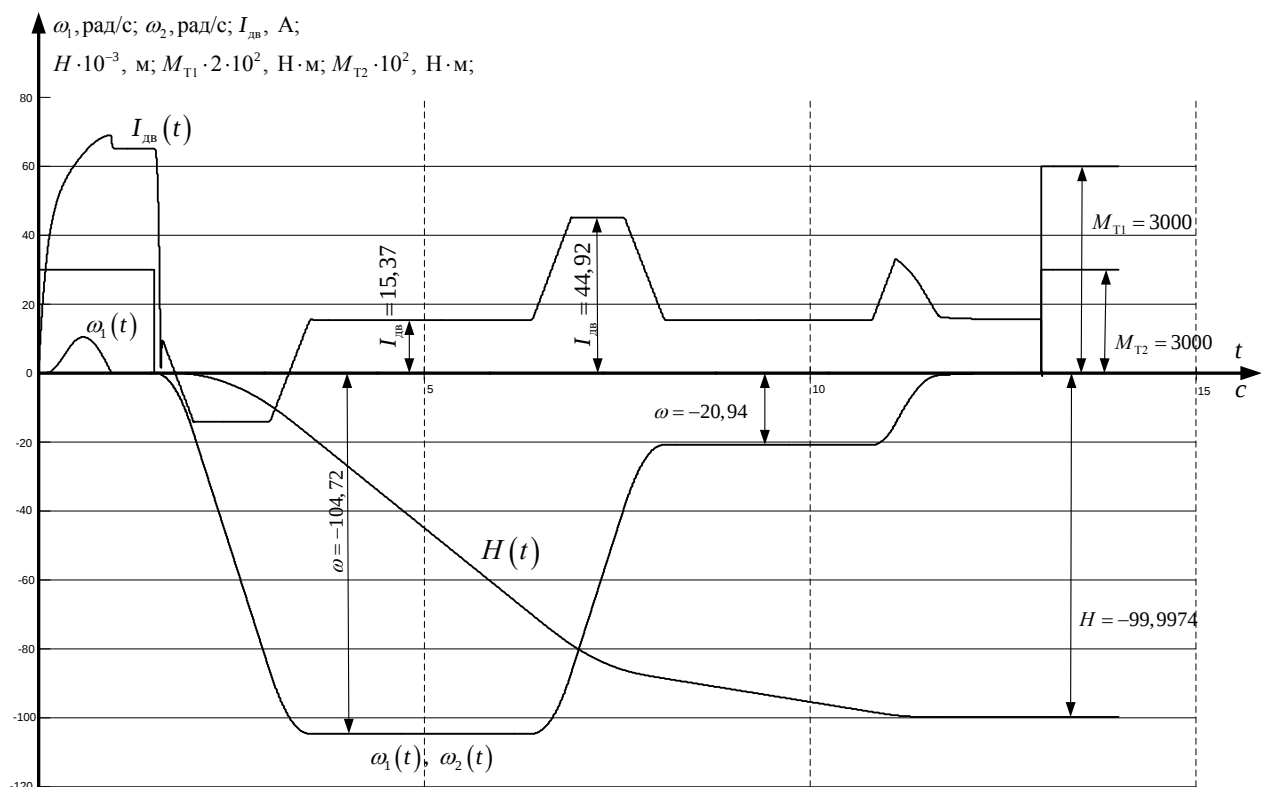


Рисунок 4.17 – Процесс спуска из верхнего положения без колонны

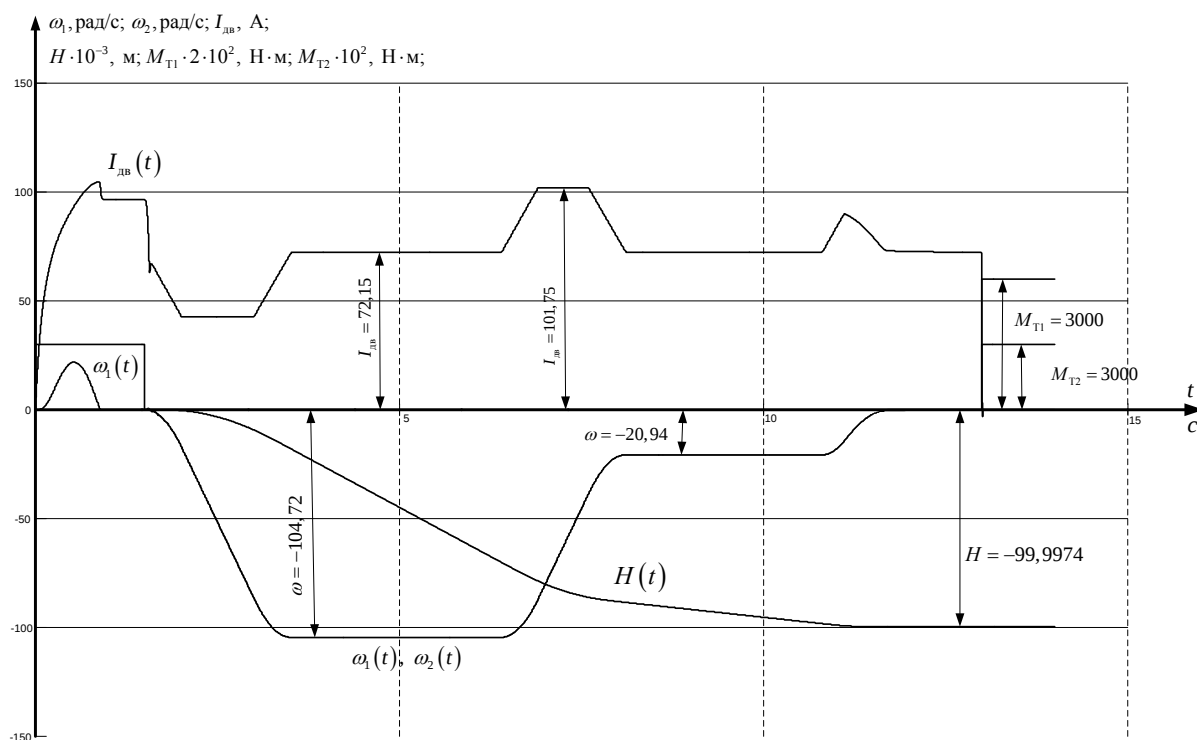


Рисунок 4.18 – Процесс спуска из верхнего положения при максимальном весе колонны

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.

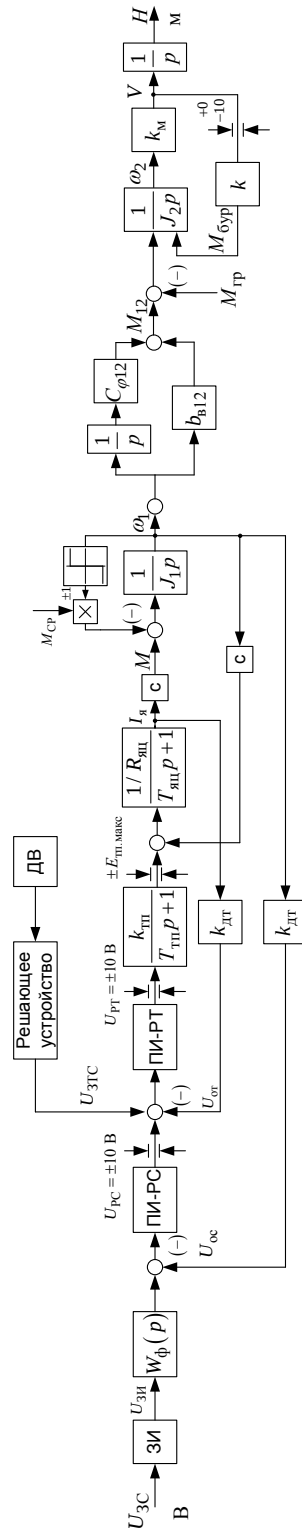


Рисунок 4.19 – Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки в режиме регулятора подачи долота

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

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

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 $M_{\text{дв доп}}(\omega_{\text{дв}})$.

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 $U_{\text{ЗТС}}$

Имитационная модель данного метода приведена на рисунке 4.20.

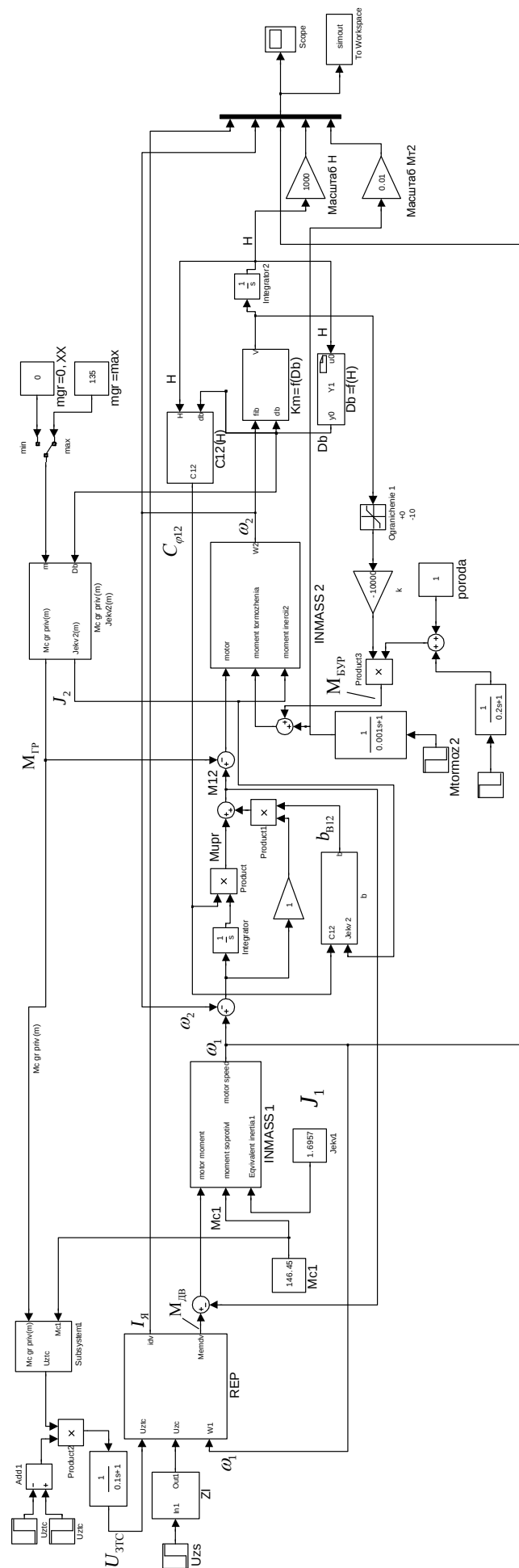


Рисунок 4.20 – Имитационная модель САУ дополнительного электропривода в режиме РПД при регулировании U_{3TC}

Результаты исследований приведены на рисунке 4.21.

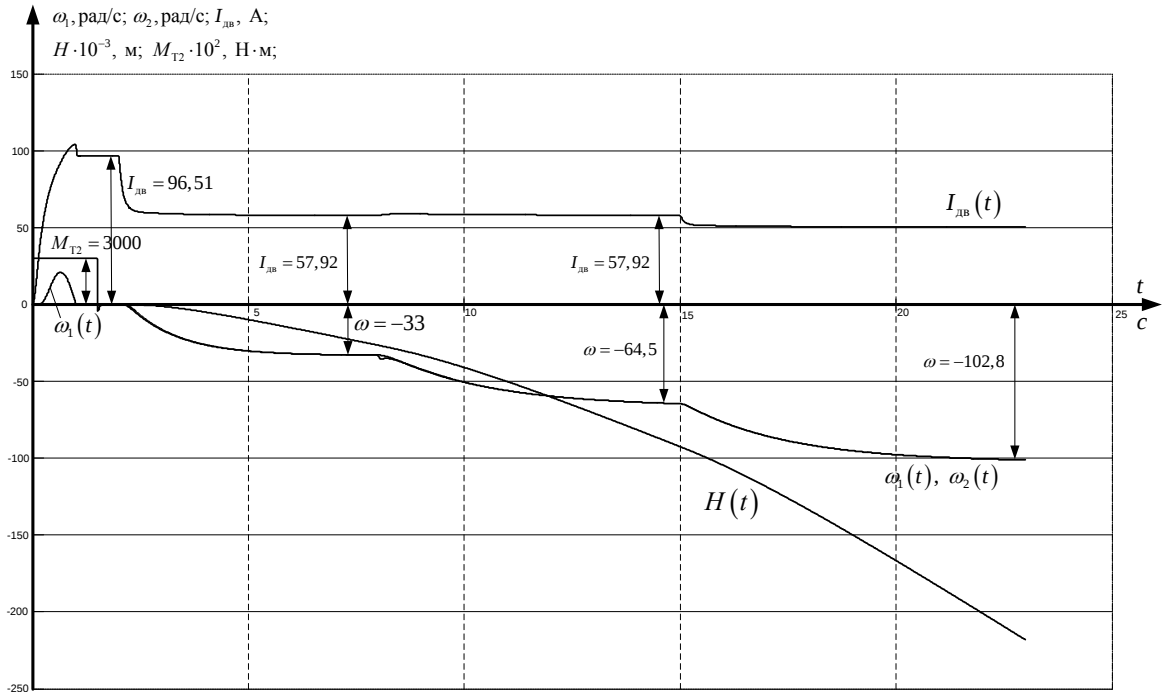


Рисунок 4.21 – Процесс бурения при регулировании $U_{ЗТС}$

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.

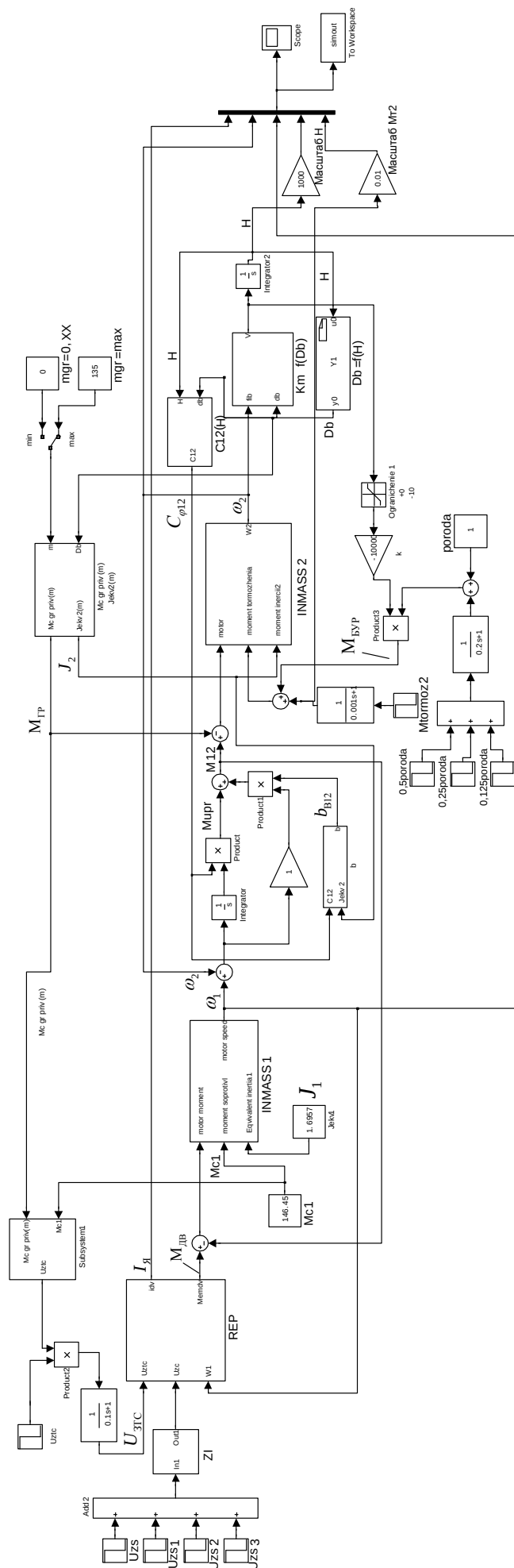


Рисунок 4.22 – Имитационная модель САУ дополнительного электропривода в режиме РПД при регулировании U_{3TC}

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

Результаты исследований приведены на рисунке 4.23.

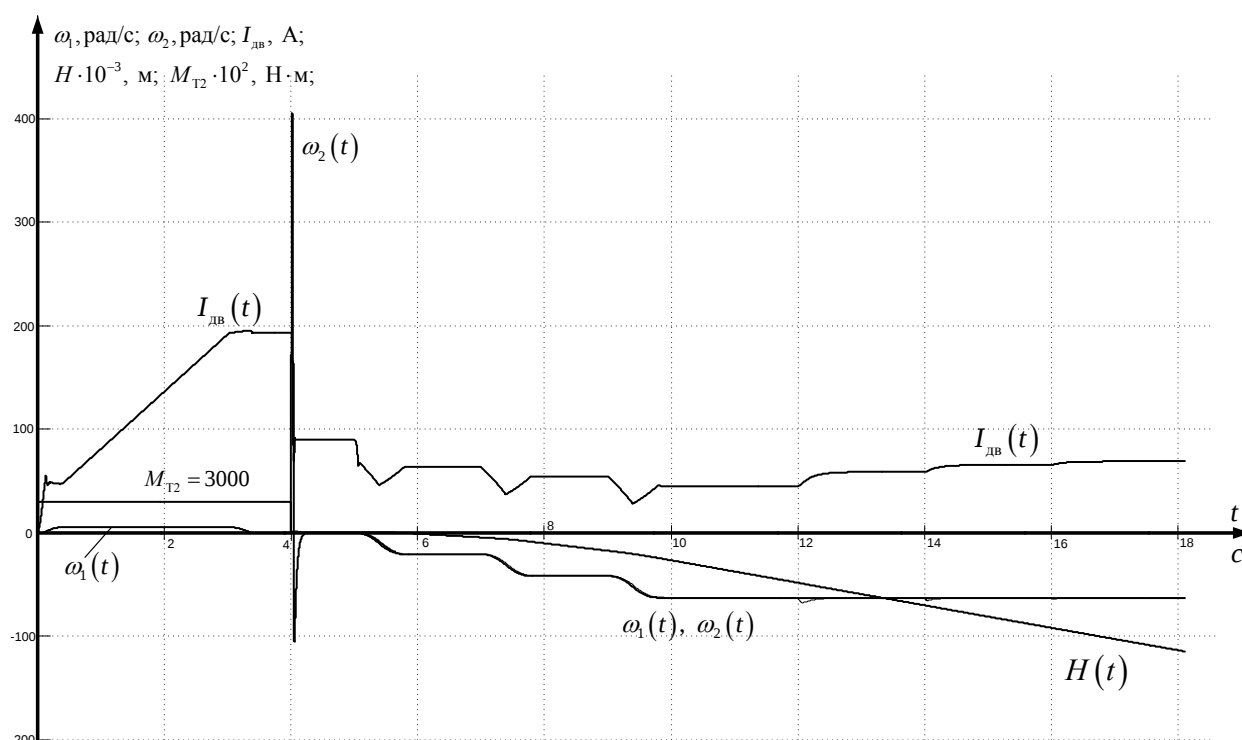


Рисунок 4.23 – Процесс бурения при регулировании $U_{ЗС}$

На протяжении всего процесса ПИ-регулятор скорости заблокирован. В начальный момент наложен тормоз на вторую массу $M_{Т2}$ 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.

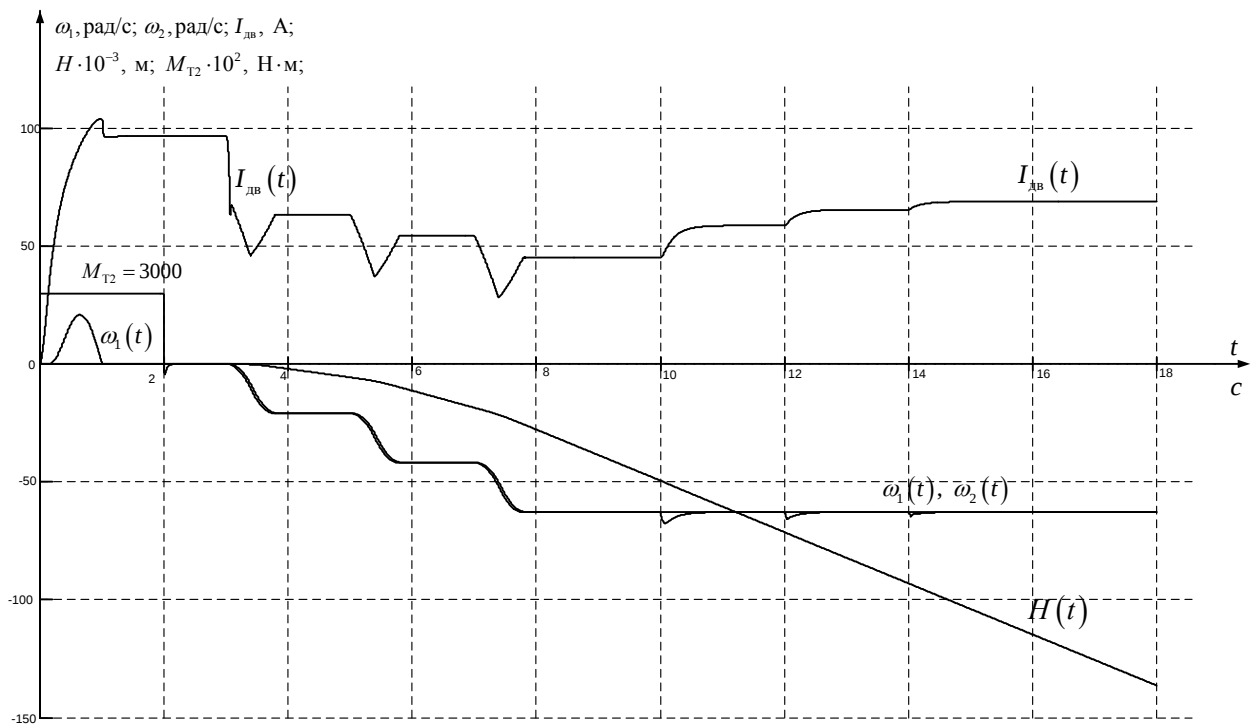


Рисунок 4.24 – Комбинированный метод

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
3-5Г4Б2	Мамаджонов Адхамжон Немаджон угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): материально-технических, информационных и человеческих	«Положению об оплате труда». Приказ 25.05.2016 №5994
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала, перспективности и альтернатив проведения ТП с позиции ресурсоэффективности	Потенциали перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Планирование и формирование сметы ТП	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2019 г.

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Мамаджонов Адхамжон Немаджон угли		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования [6].

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы дополнительного электропривода подъемной лебёдки буровой установки БУ 4500;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

5.1 SWOT-анализ дополнительного электропривода подъемной лебёдки буровой установки БУ 4500

SWOT– анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой техническое проектирование [20].

Применительно к проектируемому дополнительному электроприводу подъемной лебёдки буровой установки БУ 4500, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокий КПД. С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации. С3. Широкий диапазон регулирования. С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования.	Сл1. Повышенный уровень шума. Сл2. Аварийные ситуации. Сл3. Значительная стоимость оборудования.
Возможности:		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования тиристорного преобразователя.	B1 C1C2C3C4	B1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	B2 C2C3C4	B2 Сл1Сл2
В3. Резервное питание электропривода.	B3 C1C2C3C4	B3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	B4 C1C3C4	
Угрозы:		
У1. Развитая конкуренция технологии производства.	У1 С4	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки Оборудования.	У2 С4	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору.	У3 С4	У3 Сл2

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

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

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 5.2 и 5.3

Таблица 5.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокий КПД.	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации.	С3. Широкий диапазон регулирования.	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования.
В1. Экономия электроэнергии за счет использования тиристорного преобразователя.	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	-	+	+	+
В3. Резервное питание электропривода механизма буровой установки.	+	+	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	+	-	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта			
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
В1. Экономия электроэнергии за счет использования тиристорного преобразователя.	-	+	+	
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	+	+	-	
В3. Резервное питание электропривода механизма арматурной заслонки.	-	+	+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	-	-	-	

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
	С1.Высокий КПД	С2.Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Широкий диапазон регулирования	С4.Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1. Развитая конкуренции технологии производства	+	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	+
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	-	-	+	-
Угрозы	Слабые стороны проекта			
	Сл1 Повышенный уровень шума	Сл2 Аварийные ситуации	Сл3.Значительная стоимость оборудования	
У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+	
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	+	-	-	

По результатам интерактивных матриц, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так

как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

5.2 Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение трудоемкости выполнения работ;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

5.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

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

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

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

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

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

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

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного двигателя постоянного тока (ДПТ), тиристорного преобразователя.

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

№8 – расчёт и проверка модели ДПТ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических $\omega(M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик двигателя постоянного тока при изменении частоты вращения в среде MATLAB;

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

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором студент осуществляет защиту своей работы.

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости i тож используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

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

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

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

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 5.4.

5.2.3 Разработка графика проведения технического проектирования

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 5.4. строим план-график проведения работа (таблица 5.5). Продолжительность выполнения технического проекта заняла 10 декад, начиная с первой декады марта и заканчивая первой декадой июня.

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 73 дня, 3 дня праздничных и 14 выходных дней. Общее количество 97 дней.

Таблица 5.4 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	3	2
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	14	9
3	Сбор исходных данных	Дипломник	9	16	12
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	5	10	7
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели ДПТ	Дипломник	7	14	10
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка ДПТ-ТП	Дипломник	7	14	10
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	10	7
10	Сдача проекта	Дипломник	1	3	2
		Руководитель	1	3	2

5.3 Составление сметы технического проекта

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

- Расчет материальных затрат;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы;
- Формирование сметы технического проекта.

Таблица 5.5 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	T_{pi} раб. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2											
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	9											
3	Сбор исходных данных	Дипломник	12											
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	7											
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13											
		Руководитель	1											
6	Выбор оборудования	Дипломник	3											
7	Расчёт и проверка модели ДПТ	Дипломник	10											
		Руководитель	1											
8	Расчёт и проверка ДПТ-ТП	Дипломник	10											
		Руководитель	1											
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	7											
10	Сдача проекта	Дипломник	2											
		Руководитель	2											

5.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

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

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

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

Привлечение сторонней организации «netSAFE» для типографических работ.

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы руб.
Бумага	1	300	300
Ручка	1	32	32
Брошюровка	1	25	25
USB накопитель	1	450	450
Калькулятор	1	350	350
Линейка	1	40	40
Распечатка текста	200	2	400
Итого			1597

5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} + Т_p,$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d},$$

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

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

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.7.

Таблица 5.7– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	24 960	10 099	35 059	1348	7	9 439
Дипломник	12300	3 690	15 990	615	73	44 895
Итого:					80	54 334

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной. Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 5.8.

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 5.8 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	9 439	1 416	10 855
Дипломник	0,12	44 895	5 387	50 282
Итого:		54 334	6 803	61 137

5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где: $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды,

$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 61\,137 = 18\,463 \text{ руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: оплата услуг телефонной связи, интернет и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение затрат на технический проект приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Смета технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты ТП	1,6	1,6
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	61,1	63,4
Отчисления во внебюджетные фонды	18,4	19,0
Накладные расходы	15,4	16,0
Итого	96,5	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 5.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 96 тыс.руб. Большая часть (63%) составляют затраты на заработную плату исполнителей.

5.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [20]:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию дополнительного электропривода буровой установки БУ 4500 рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность дополнительного электропривода буровой установки БУ 4500 – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажностью). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе

Энергосбережение дополнительного электропривода буровой установки БУ 4500 – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость дополнительного электропривода буровой установки БУ 4500 – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Производительность механизма дополнительного электропривода подъемной лебёдки буровой установки БУ 4500 – должна обеспечивать спуско-подъемных операций при смене инструмента, спуске обсадных колонн, удержания инструмента на весу, ручного и автоматического регулирования подачи долота при бурении и других операций.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, в данной конструкции используются мультиконтактные силовые разъёмы.

Уровень шума – бурового станка подразумевает снижение скорости вращения деталей, интенсивности соударений в результате повышения точности изготовления сопрягаемых элементов, нагрузки на узлы; своевременный ремонт и замену изношенных узлов; применение малошумных деталей, материалов с высоким декрементом затухания.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

№	Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1	Надежность	0,25	5
2	Энергосбережение	0,20	5
3	Материалоемкость	0,15	4
4	Производительность	0,15	4
5	Удобство	0,15	5
6	Уровень шума	0,10	4
Итого:		1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,10 = 4,6$$

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

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

Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 96 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Мамаджонов Адхамжон Немаджон угли

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ, предназначена для производства спуско-подъемных операций при смене инструмента, спуске обсадных колонн и других операций.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке и эксплуатации проектируемой производственной среды; Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов. - Повышенный уровень шума; - Повышенный уровень вибрации; - Неудовлетворительные метеорологические условия; - Неудовлетворительное освещение; - Поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); - решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. - Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Мамаджонов Адхамжон Немаджон угли		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Исследуемый в проекте электропривод 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).

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

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

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

Для оперативного проведения ремонта вышедшего из строя оборудования, в условиях непрерывного производства, обслуживающему персоналу необходимо иметь четкие знания и соблюдать правила безопасности.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

Согласно ТК РФ, Статья 219. Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- дополнительное профессиональное образование за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения требований охраны труда;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место - часть производственного пространства со всем расположенным на нем основным и вспомогательным технологическим оборудованием, оснасткой, инвентарем, инструментом, рабочей мебелью и специальными приспособлениями, необходимыми для производства определенного вида работ.

Недопускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

На подстанциях имеется комплект предупредительных плакатов.

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

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

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

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

Рабочее место персонала буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ соответствует требованиям ГОСТ 16293-89.

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Буровые установки являются объектами повышенной взрыво-пожароопасности: при проведении технологических процессов применяются горючие жидкости (дизельное топливо, нефть и др.). Во время проходки продуктивных горизонтов возможно наличие природного газа под полом буровой и в насосной. Одновременно многие части оборудования (коммутационные электрические аппараты, коллекторы электродвигателей, бурильные трубы, тормозные колодки), атмосферное (разряды молнии) и статическое электричество (возникающее, например, при движении горючих жидкостей или пара по трубопроводам) могут явиться источником воспламенения горючих смесей.

Возможные опасные факторы при ведении буровых работ:

- а) опасность поражения электрическим током;
- б) выполнение спускоподъемных операций (СПО);
- в) наличие вращающихся агрегатов.

Возможные вредные факторы при ведении буровых работ:

- а) неблагоприятные климатические условия;
- б) шум и вибрации;

в) работа ведется круглосуточно и поэтому освещенность рабочих мест не всегда удовлетворительна.

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

В соответствии с классификацией помещений по электробезопасности, помещения буровой относятся к особо опасным помещениям. Проектируемый привод является электроустановкой до 1000 В, а работы, связанные с ремонтом и обслуживанием этого электропривода, не исключают как возможности поражения электрическим током персонала, так и возможности получения механической травмы. Поэтому соблюдение правил техники безопасности является важнейшей обязанностью как самого обслуживающего персонала, так и лиц, организующих эти работы. Основными мерами защиты при эксплуатации электроустановок являются:

- привитие работающим навыков безопасной эксплуатации электрооборудования;
- применение малых напряжений (12-36-42 В);
- использование высоких частот;
- контроль и профилактика повреждений изоляции;
- обеспечение недоступности токоведущих частей;
- использование защитного заземления и зануления;
- использование защитного отключения;
- применение средств защиты и предохранительных приспособлений.

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

Конструктивные недостатки отдельных элементов бурового оборудования отчасти устраняются заводами-изготовителями в современных установках.

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.

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

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

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

Производственные помещения должны оборудоваться естественной механической или смешанной вентиляцией, создающей требуемые условия воздушной среды в соответствии с СНиП2.04.05-86, ВНТП 3-85.

Допустимые уровни шума на постоянных рабочих местах приводятся [9] в зависимости от частоты, характера шума и категории рабочего места (кабины наблюдений, помещения управления, постоянные рабочие места и т. д.). В таблице 6.2 приведены допустимые уровни шума.

Таблица 6.2 - Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октановых полосах со средне-метрическими частотами , Гц								Эквивалентный уровень звука, дБА
	3	25	50	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных посещениях	99	92	86	83	80	78	76	74	85

В непосредственной близости от рабочего места могут находиться насосы и двигателя, которые создают уровень звука, не превышающий допустимый согласно государственному стандарту(ГОСТ)12.1.003-83 (1999). Норма для помещения управления составляет 80 дБА, а значение уровня звука на рабочем месте составляет 60-65 дБА.

В процессе бурения, рабочие подвергаются воздействию повышенного уровня шума и вибрации. Согласно ГОСТ 12.1.003-01

Согласно [3] предусмотрено несколько мероприятий для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

В процессе монтажа и эксплуатации оборудования особое внимание необходимо обратить на его балансировку, крепление и устройство фундаментов. Эффективность различных мероприятий по борьбе с шумом приведена в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Мероприятия по борьбе с шумом

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

Различают следующие методы борьбы с вибрациями:

- подавление в источнике возникновения;
- отстройка от режима резонанса изменением массы и жесткости вибрирующих конструкций или установлением нового рабочего режима;
- вибродемпфирование, т.е. превращение энергии механических колебаний в другие виды энергии при помощи материалов с большим внутренним трением (пластмасс, резины, дерева);
- виброгашение;
- виброизоляция - в виде пружинных или резиновых опор.

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

Индивидуальными средствами защиты от вибраций являются рукавицы с вкладышами из пенопласта, поролона, обувь с прокладками из виброизолирующих материалов.

Современные нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях составлены в зависимости от точности зрительной работы, наименьшего размера объекта различия, контраста объекта

различения с фоном и характеристики фона. Чем меньше объект (деталь, риска, трещина), который приходится различать в процессе работы, чем меньше контраст (т.е. разница в светлоте тонов) между объектом и фоном, и чем темнее фон, на котором находится данный объект, тем выше норма освещенности рабочей поверхности.

Согласно [6] освещение на объекте БУ 4500/270 имеет не менее 200-300 лк, что соответствует нормам СНИП 23-05-95.

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

6.3 Экологическая безопасность

Сырая нефть и природный газ являются экологически опасными веществами; попадая в воздух, воду, почву они наносят огромный ущерб всему живому. Действие на организм паров сырой нефти непостоянно и зависит от её состава. Пары сырой нефти малотоксичны. Большее воздействие оказывает соприкосновение с жидкой нефтью кожи человека, вследствие чего могут возникать дерматиты и экземы.

Один из продуктов переработки нефти - трансформаторное масло - является опасным, токсичным, канцерогенным веществом - это полихлорированный бифенил. Опасный сам по себе, он, в определенных условиях, становится источником одних из самых опасных современных токсичных биоаккумулированных веществ длительного действия (полупериод распада - 10 лет) - диоксинов. По поражающей силе один из диоксинов мало

уступает современным боевым отравляющим веществам, являясь часто их эквивалентом. Чрезвычайная опасность их состоит в том, что, накапливаясь в жировых тканях организма, они не выводятся из него, и подавляют репродуктивную функцию всего живого, тем самым, являясь генетическим оружием.

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

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

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

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

видов отходов и технологических жидкостей в шламовый амбар запрещен и считается экологическим правонарушением, за которое на виновника налагается административный штраф, рассчитывается ущерб и сверхлимитные платежи. Для сбора нефти с загрязненных мест имеется различное нефтесборное оборудование, начиная с откачивающих агрегатов до зарубежной техники - нефтесборщики различных принципов действия. Для утилизации существуют установки по переработке нефтешламов, нефтезагрязненных грунтов в НГДУ и СУХТП.

6.4Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Буровые установки относятся к категории А [3]. Категория производства по степени опасности поражения молнией - II. Класс взрывопожароопасной зоны по ПУЭ - В-Iг (наружные установки, где возможно образование паро- и газовоздушных взрывоопасных смесей при неисправностях и авариях).

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

Пребывание в горящем здании людей не принимающих непосредственного участия в тушении пожара и лишенных средств защиты, становится опасным уже при температуре окружающей среды выше 60°C, при задымленности, затрудняющей ориентирование в пространстве, снижении содержания кислорода в помещении до 17 - 18%, поэтому люди должны иметь

возможность эвакуироваться из здания. Ниже на рисунке 6.1 представлен предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

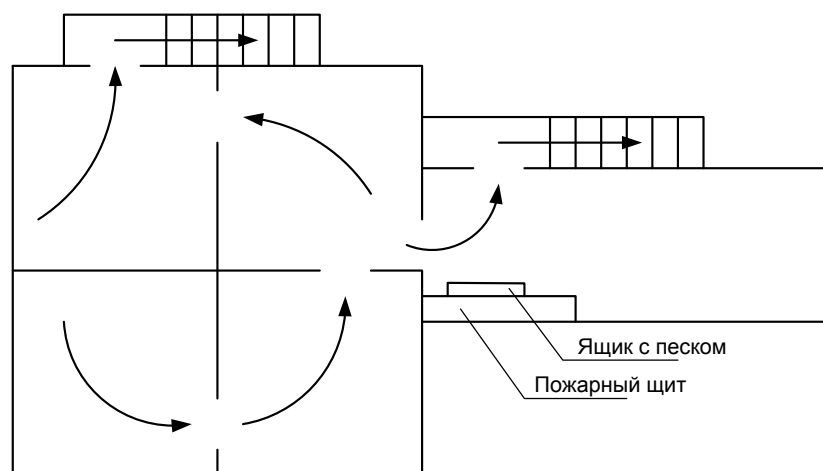


Рисунок 6.1 – Предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки

На буровом объекте, согласно [3], имеется огнетушители пенные ОП-10 (4 шт.), углекислотные ОУ-5 (2 шт.) ломы, топоры и багры (по 2 шт.), лопаты и ведра (по 4 шт.), 4 ящика для песка объемом по 0,5 м³ каждый. В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличен

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.

В работе рассмотрены вопросы охраны труда и промышленной безопасности. Рассчитаны технико-экономические показатели монтажно-наладочных работ.

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.