

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
Асинхронный электропривод каротажной лебёдки

УДК 62-83-523:621.864

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Турматов Баходир Бахтиёр угли		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

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	Турматову Баходиру Бахтиёр угли

Тема работы:

Асинхронный электропривод каротажной лебёдки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
---------------------------------	--

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; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	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	Каракулов А.С.	к.т.н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Турматов Баходир Бахтиёр 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	Каракулов А.С.	К.Т.Н.		

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 страниц 128, таблиц 18, рисунков 49, источников 33, графических приложений 1.

Работа состоит из девяти разделов, в которых описывается технологический процесс, выполнены расчет нагрузок электропривода, выбор основных элементов электропривода, расчет электромеханических и частотных характеристик, моделирование анализ переходных процессов. Также произведены технико-экономические расчеты и анализ безопасности и экологичности данного проекта.

В выпускной квалификационной работе спроектирован регулируемый электропривод на базе асинхронного двигателя, реализующий принцип векторного управления. Построена соответствующая имитационная модель в программной среде MatLabSimulink. Произведен расчет переходных процессов в электроприводе для построенной модели. Полученные результаты соответствуют требованиям технического задания.

При оформлении дипломного проекта были использованы программы:

- Microsoft Office Word,
- Microsoft Office Excel,
- Microsoft Office Visio,
- MathLab Simulink.

Содержание	
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАРОТАЖА	12
2 ОБЩИЙ ВИД И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОДЪЕМНИКАКАРОТАЖНОЙ ЛЕБЕДКИ	13
3 РАСЧЕТ НАГРУЗОК И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ КАРОТАЖНОГО ПОДЪЕМНИКА	17
3.1 Расчет кабелеемкости барабана и нагрузок на валу двигателя.....	17
3.1.1 Кабелеемкость барабана.....	17
3.1.2 Расчет нагрузки на радиусе навивки барабана	18
3.1.3 Расчет нагрузки на валу двигателя.....	19
3.2Выбор электродвигателя	22
4 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	23
4.1 Определение дополнительных параметров двигателя.....	23
4.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя.....	24
4.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя	27
4.4 Определение области допустимой длительной работы двигателя.....	30
4.5 Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя	33
4.5.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя	33
4.5.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя.....	34
4.6 Выбор преобразователя частоты	36
4.7 Структурная схема силового канала системыпреобразователь частоты – асинхронный электродвигатель.....	42
4.7.1 Расчет параметров элементов структурной схемысилового канала электропривода.....	44
5Механическая система электропривода	45

6 ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ САУ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	50
6.1 Структурная схема линеаризованной САУ электропривода	50
6.2 Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода	54
6.2.1 Оптимизация контура тока	54
6.2.2 Оптимизация контура потокосцепления	56
6.2.3 Оптимизация контура скорости	59
7 ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕБЕДКИ КАРОТАЖНОГО ПОДЪЕМНИКА.....	62
7.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП лебедки каротажного подъемника	63
7.2 Программа имитационных исследований контура потокосцепления....	69
7.3 Задатчик интенсивности скорости	71
7.4 Имитационные исследования переходных процессов САУ РЭП каротажной лебедки.....	72
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	81
8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	82
8.1. SWOT – анализ проектируемого частотно-регулируемого электропривода каротажной лебедки	82
8.2. Организация работ технического проекта	85
8.3. Структура работ в рамках технического проектирования	85
8.4. Определение трудоемкости выполнения ТП	86
8.5. Разработка графика проведения технического проекта.....	88
8.6 Расчёт затрат на осуществление технического проекта.....	88
8.6.1. Расчет материальных затрат технического проекта.....	89
8.6.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы.....	91
8.6.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	93
8.6.4. Накладные расходы	93
8.7. Формирование сметы затрат технического проекта	93
8.8. Определение ресурсоэффективности проекта	94

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	97
9. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	98
9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	99
9.2 Производственная безопасность.....	102
9.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.	102
9.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	105
9.2.3 Правила техники безопасности при работах на бурящихся и действующих скважинах.....	107
9.3 Экологическая безопасность	112
9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
THE CONCLUSION	118
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	119

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время геофизика является одной из востребованных в области сервиса услуг нефтяной промышленности. Геофизические методы исследования скважин (каротаж) – это методы геологической и технической документации проходки скважин, основанные на изучении в них различных геофизических полей. Наиболее широкое применение геофизические методы получили при изучении нефтяных и газовых скважин в процессе их бурения, опробования и эксплуатации.

Изучение геологических разрезов скважин – самое важное направление исследования скважин геофизическими методами. В нём используются электрические, магнитные, радиоактивные, термические, акустические и другие методы. Применение их основано на изучении физических естественных и искусственных полей разной природой. Интенсивность этих излучений зависит от физических свойств горной породы.

Геофизические методы изучения скважин применяются для решения геологических и технических задач, связанных с поисками, разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых, а также с изучением гидрогеологических и других особенностей исследуемых районов.

Основным технологическим оборудованием для проведения каротажных работ является подъёмник каротажной лебёдки. От его надёжной и бесперебойной работы зависят производительность работ, безопасность обслуживающего персонала. Надёжность и безопасность эксплуатации подъёмника во многом определяется особенностями и качественными показателями электропривода механизма подъема, к которому предъявляют ряд жестких требований, важнейшими из которых являются: обеспечение высокой производительности, бесперебойности в работе, безопасности обслуживания, простота эксплуатации и ремонта.

Выполнению этих требований способствует автоматизированный электропривод, с помощью которого можно осуществить плавное и широкое регулирование скорости исполнительного механизма, т. е. обеспечить

оптимальные технологические режимы. При использовании электропривода и соответствующей системы управления легко автоматизируется технологический процесс, а бесперебойная работа электропривода повышает надежность эксплуатируемых машин и механизмов. Асинхронный двигатель в этом случае в переходном режиме может развивать существенно большие моменты, чем двигатель постоянного тока, что обеспечивает электроприводу высокое быстродействие с относительно малыми потерями энергии, а в установившемся режиме – плавное, широкое и экономичное регулирование скорости.

При больших диапазонах регулирования скорости и высоких требованиях к динамике применяется частотное векторное управление. Векторное управление с датчиком обратной связи по скорости позволяет получить диапазон регулирования не менее 100 при постоянной перегрузочной способности привода и высоких динамических показателях. Способность такого привода поддерживать момент на валу при скорости равной нулю позволяет использовать его в системах управления положением при активной нагрузке.

В состав современного частотно-регулируемого электропривода переменного тока входит электродвигатель, управляемый электрический преобразователь и программируемый микроконтроллер. Малая масса преобразователя, совершенная защита, возможность полного диагностирования состояния привода, управление от цифровых и аналоговых сигналов, простое и удобное программирование работы, возможность синхронизации совместной работы электроприводов, взаимодействующих в технологическом процессе, и ряд других пользовательских качеств обеспечили частотно-регулируемому асинхронному электроприводу превосходство в классе массового регулируемого электропривода.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАРОТАЖА

Каротажом называют работы (исследования) проводимые в скважине с целью выявления в геологическом разрезе полезных ископаемых (нефти, газа, угля, различных руд и т.д.), и решения других геологических задач. В зависимости от того, какой физический или химический параметр изучается в разрезе скважины, различают каротаж: механический, газовый, акустический, электрический, радиоактивный, потенциалов самопроизвольной поляризации, ядерно-магнитный, сейсмический.

Обычно используется комплекс, состоящий из нескольких видов каротажа. Комплекс выбирается в зависимости от вида полезного ископаемого, на которое ведется разведка, геологического строения района, технических условий бурения и т.п. Важной особенностью каротажа является возможность изучения физических свойств горных пород в условиях их естественного залегания.

Для проведения каротажа в скважину на специальном каротажном кабеле спускается измерительная установка, состоящая из каротажного зонда и скважинного прибора. На земной поверхности с помощью аппаратуры, входящей в комплект каротажной станции, регистрируется информация, поступающая с измерительной установки в процессе перемещения по стволу скважины. Каротажная диаграмма отображает непрерывное изменение изучаемого параметра по разрезу скважины в заданном масштабе параметра и глубины.

При электрических методах исследования изучаются удельное электрическое сопротивление, диффузионно-адсорбционная и искусственно вызванная электрохимическая активности горных пород. На изучении удельного электрического сопротивления основываются методы кажущегося сопротивления, включая метод микрозондов (микрокаротаж), сопротивления экранированного заземления (боковой каротаж) и индукционный. Различие в диффузионно-адсорбционной активности пород используется в методе

самопроизвольной поляризации, а способность пород поляризоваться под действием электрического тока – в методе вызванной поляризации. При магнитном методе измеряется магнитная восприимчивость горных пород. Радиоактивные (ядерные) методы основываются на измерении в скважинах естественного или искусственно вызванного радиоактивного излучения пород. В последнем случае применяются методы: нейтронный, гамма-гамма, наведённой активности и радиоактивных изотопов. Ядерно-магнитный метод исследования заключается в наблюдении за изменением ЭДС, возникающей в породе после её обработки поляризующим магнитным полем. При термических методах изучается температура в скважинах. Акустический (ультразвук) метод основывается на изучении скорости и затухания упругих волн в породах. Газовый каротаж и люминесцентно-битуминологический каротаж относятся к геохимическим методам исследования. Иногда применяется исследование скважин, основанное на изучении механических свойств (разбураиваемости) пород в процессе бурения (механический каротаж).

В задачу геофизических исследований скважин входит: корреляция (сопоставление) разрезов скважин; определение литологии и глубины залегания пройденных скважиной пород; выделение и оценка запасов полезных ископаемых; контроль за разработкой месторождений нефти и газа. Каротаж является основным способом геологической документации разрезов глубоких скважин.[1]

2 ОБЩИЙ ВИД И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОДЪЕМНИКА КАРОТАЖНОЙ ЛЕБЕДКИ

Каротажная лебедка предназначена для проведения спускоподъемных работ в нефтяных, газовых, рудных, угольных, гидрогеологических, инженерно-геологических, промысловых скважинах глубиной до 5000 метров с различным кабелем и проволокой.

Решаемые задачи: обеспечение заданных техническими требованиями скоростей и усилий в рабочих режимах спусков и подъёмов скважинной аппаратуры и оборудования; механизация и частичная автоматизация процесса работ.

Общий вид каротажного подъёмника представлен на рисунке 2.1



Рисунок 2.1 Общий вид каротажного подъёмника

Лебедка к подъёмнику каротажному ЛПК-КЭ, разработанный ООО НПК «Нефтегеофизика» (г. Уфа), состоит из:

- барабана, закреплённого на жёсткой станине;
- кабелеукладчика с собственным электроприводом;
- измерительной системы, включающей в себя:
 - датчик скорости,
 - датчик магнитных меток,
 - датчик натяжения;

– тормозной системы, состоящей из 2-х ленточных тормозов с ручным приводом.

Вращение барабана лебёдки осуществляется от мотор-редуктора через цепную передачу, соединяющую барабан лебедки с выходным валом соосно-цилиндрического мотор-редуктора. Цепь – однорядная, повышенной прочности. Номинальное передаточное число редуктора $i_1 = 17.85$. Общий вид мотор-редуктора представлен на рисунке 2.2



Рисунок 2.2 Общий вид мотор-редуктора

Кабелеукладка осуществляется с помощью двух направляющих роликов, снабженных сверху и снизу роликовыми ограничителями хода кабеля. Направляющие ролики перемещаются кареткой с помощью реверсивного ходового винта с прямоугольной резьбой. Синхронизация кабелеукладчика с барабаном лебедки осуществляется путем полуавтоматической коррекции укладки с помощью регулируемого электродвигателя. Торможение лебедки

осуществляется двумя ленточными тормозами, охватывающими полуокружности обеих реборд бочки барабана.

Упрощённая кинематическая схема механизма представлена на рисунке

2.3. На схеме приняты следующие обозначения:

1 - электродвигатель;

2 - муфта упругая;

3 - редуктор зубчатый, цилиндрический, двухступенчатый, горизонтальный;

4 - цепная передача (Z_1 – число зубьев ведущей звездочки; Z_2 – число зубьев ведомой звездочки);

5 – барабан подъемника.

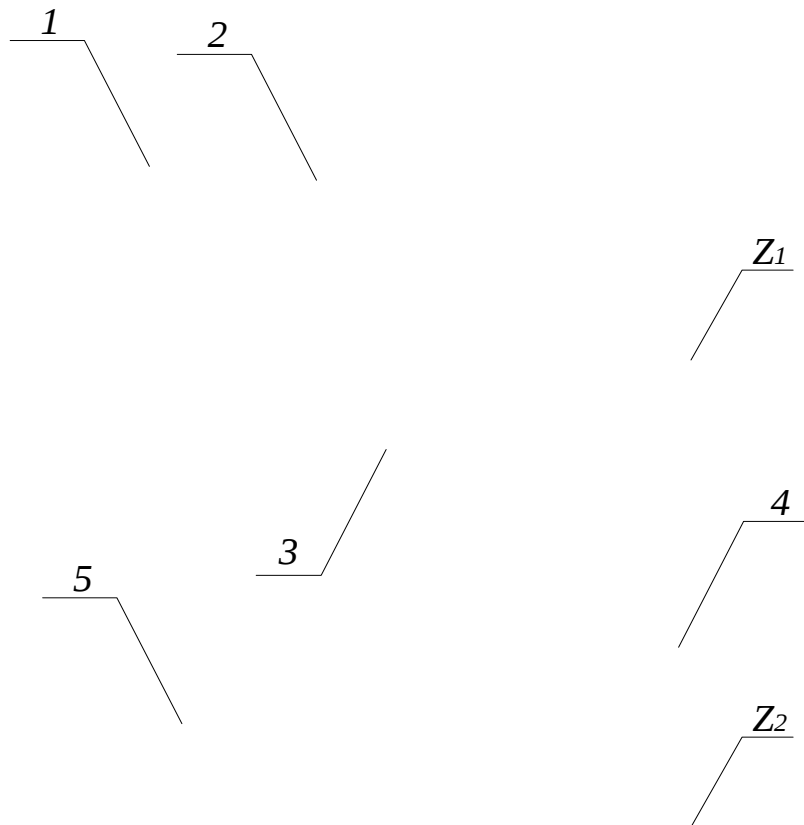


Рисунок 2.3 Упрощенная кинематическая схема механизма спуска-подъема кабеля

Управление электроприводом осуществляется с помощью частотного преобразователя, блока автоматики и блока измерения глубины и скорости. Каротажный кабель, сматываемый с барабана, на пути в скважину проходит через блок датчиков параметров движения кабеля (датчик скорости, датчик магнитных меток, датчик натяжения). Электропривод работает в двухконтурной системе управления (контур обратной связи по току статора и контур с обратной связью по скорости перемещения кабеля).

К электроприводу лебёдки предъявлены следующие требования:

- ЭП реверсивный;
- режим работы продолжительный;
- диапазон регулирования 1–100.

3 РАСЧЕТ НАГРУЗОК И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ КАРОТАЖНОГО ПОДЪЕМНИКА

3.1 Расчет кабелеемкости барабана и нагрузок на валу двигателя

3.1.1 Кабелеемкость барабана

В каротажной лебедке предполагается использовать специализированный кабель *КТ 7х0,75-75-150* со следующими параметрами:

Наружный диаметр – 12.7 мм;

Вес 1 км в воздухе – 533 (кг/км);

Вес 1 км в воде – 451 (кг/км);

Рекомендуемый диаметр изгиба, не менее – 52 см.

Барабан изготавливается из литой заготовки, либо из трубы. К трубе привариваются фланцы, к которым привинчивается днище со ступицами с запрессованным в них валом (рисунок 3.1).

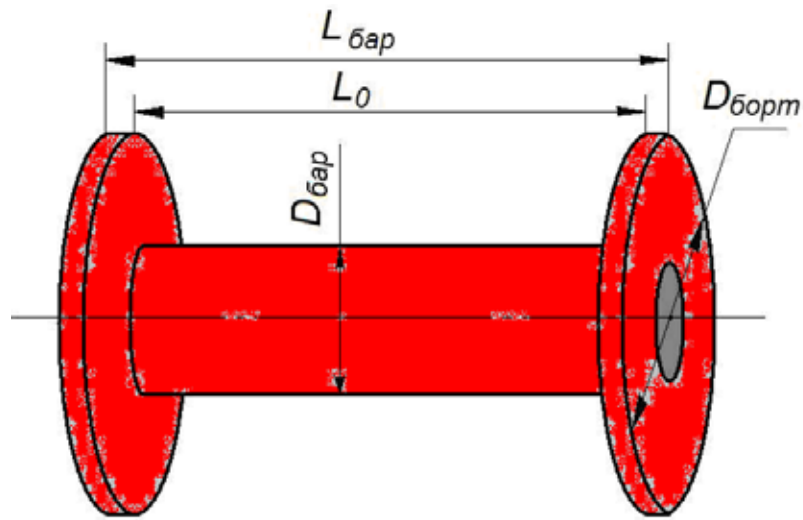


Рисунок 3.1 Барабан подъемника

Известны следующие параметры барабана:

$$D_{\text{бap}} = 530 \text{ мм};$$

$$L_0 = 600 \text{ мм};$$

$$D_{\text{борт}} = 900 \text{ мм}.$$

Отсюда получаем: число рабочих витков на гладком барабане:

$$z = \frac{L_0}{d_k} = \frac{600}{12,7} = 47,244 \text{ получается 47 витков}.$$

число слоев кабеля на барабане:

$$k = \frac{D_{\text{борт}} - D_{\text{бap}}}{2 \times d_k} = \frac{900 - 530}{2 \times 12,7} = 14,567 \text{ получается 14 слоев}.$$

Кабелеемкость барабана (с учетом изменения радиуса навивки):

$$L_k := \sum_{k=0}^{13} \frac{[p \times (D + d + 2kd) \times z]}{10^3} = 1.463 \cdot 10^3 \text{ (м)}$$

3.1.2 Расчет нагрузки на радиусе навивки барабана

В современных условиях при коротаже практически отказались от

глинистого бурового раствора, используя воду с хим. реагентами с плотностью $\rho \approx 1.05$. Таким образом, допустимо принять вес кабеля в воде $m_k = 0,451$ кг/м.

Величины нагрузок на валах барабана и двигателя зависят от многих факторов, в том числе от длины отвеса кабеля в скважине и радиуса навивки кабеля на барабане.

Статический момент сопротивления на k-том радиусе навивки кабеля с учетом момента трения в подшипниках барабана[5]

$$M_{c.ок} = M_{n.k} + M_{m.k} = F_{o.k} \cdot r_k + M_{m.k},$$

где $M_{n.k}$ и $M_{m.k}$ – моменты сопротивления, создаваемые соответственно силами тяжести кабеля и прибора и трения в подшипниках;

$F_{o.k} = (m_{k.o} + m_n) \cdot g$ – сила тяжести кабеля и прибора, находящихся в скважине в неподвижном состоянии;

r_k – радиус навивки кабеля.

Полагаем, что момент сил трения в подшипниках барабана создается силой тяжести барабана и намотанного на нем кабеля и силой тяжести груза и кабеля в скважине, причем с допустимой погрешностью обе силы можно считать взаимно перпендикулярными.

Тогда

$$M_{m.k} = F_{m.k} \cdot r_s = \mu \cdot r_s \cdot \sqrt{(m_k + m_b) \cdot g^2 + F_{o.k}^2} \cdot r_b$$

где $r_s = 0.04$ м – радиус вала барабана;

$\mu = 0.09$ – коэффициент трения стали по бронзе;

m_k – масса кабеля на барабане;

$m_b \approx 100$ кг – масса барабана и ведомой звездочки цепной передачи.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.1.

3.1.3 Расчет нагрузки на валу двигателя

В исследуемой лебедке имеется в наличии цепная передача с передаточным числом $i_0 = 39/13 = 3$, а также предварительно принят редуктор MNHL 40/2-17.85-80.7-B3 с передаточным числом $i_1 = 17.85$.

Статические моменты сопротивления на валу двигателя рассчитываются по формуле

$$M_{c.k} = \frac{M_{c.b.k}}{i_n \cdot \eta_n}$$

где $i_n = i_1 \cdot i_0 = 17,85 \cdot 3 = 53,55$ – коэффициент передачи передаточного устройства (рассчитывается как произведение передаточных чисел второй передачи редуктора и цепной передачи);

$\eta_n = \eta_p \cdot \eta_u = 0,98 \cdot 1,0 = 0,98$ – номинальный КПД передаточного устройства (определяется как произведение номинальных КПД редуктора и цепной передачи).

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.1.

Поскольку по условиям технического задания предполагается исследовать скважины до 1 км, расчеты приводятся на соответствующую длину отвеса.

Таблица 3.1 Параметры нагрузки привода каротажной лебедки (в воде)

Длина отвеса (м)	Вес кабеля с прибором (кг)	Радиус навивки (м)	Статический момент на радиусе навивки барабана (Нм)	Момент сил трения в подшипниках (Нм)	Момент сопротивления на валу двигателя (Нм)
0	30	0,398	117,10	22,37	2,66
29,91	43,49	0,398	169,74	21,84	3,65
143,79	94,85	0,386	359,06	19,93	7,22
253,93	144,52	0,373	528,66	18,30	10,42
360,32	192,50	0,36	679,63	16,99	13,27
462,95	238,79	0,348	814,95	16,03	15,83
561,83	283,39	0,335	931,02	15,45	18,04
656,97	326,29	0,322	1030,38	15,25	19,92
748,35	367,51	0,309	1113,68	15,38	21,51
835,99	407,03	0,297	1185,55	15,82	22,89
919,87	444,86	0,284	1239,02	16,49	23,92
1000	481	0,271	1278,35	17,34	24,69

В условиях сложного геологического строения, при наличии

тектонических нарушений, велика вероятность катастрофического поглощения бурового раствора, при котором происходит усушение ствола скважины и каротажные работы проводятся в сухих условиях, что ведет к увеличению забора мощности на приводе лебедки. Таким образом, целесообразно будет рассчитывать параметры нагрузки электропривода в условиях работы в воздушной среде и, соответственно, вес кабеля принимаем $m_k = 0,533$ кг/м (в воздухе), плотность и вязкость промывочной жидкости в расчетах не учитываем.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 Параметры нагрузки привода каротажной лебедки (в осушенной скважине)

Длина отвеса (м)	Вес кабеля с прибором (кг)	Радиус навивки (м)	Статический момент на радиусе навивки барабана (Нм)	Момент сил трения в подшипниках (Нм)	Момент сопротивления на валу двигателя (Нм)
0	30	0,398	117,10	22,37	2,66
29,91	45,94	0,398	179,32	21,85	3,83
143,79	106,64	0,386	403,69	20,00	8,07
253,93	165,34	0,373	604,83	18,51	11,88
360,32	222,05	0,36	783,94	17,43	15,27
462,95	276,75	0,348	944,51	16,78	18,32
561,83	329,46	0,335	1082,38	16,55	20,94
656,97	380,16	0,322	1200,50	16,73	23,19
748,35	428,87	0,309	1299,64	17,25	25,09
835,99	475,58	0,297	1385,21	18,05	26,74
919,87	520,29	0,284	1449,10	19,05	27,98
1000	563	0,271	1496,28	20,19	28,90

Графики статических моментов, приведённых к валу двигателя, при различных условиях работы приведены на рисунке 3.2.

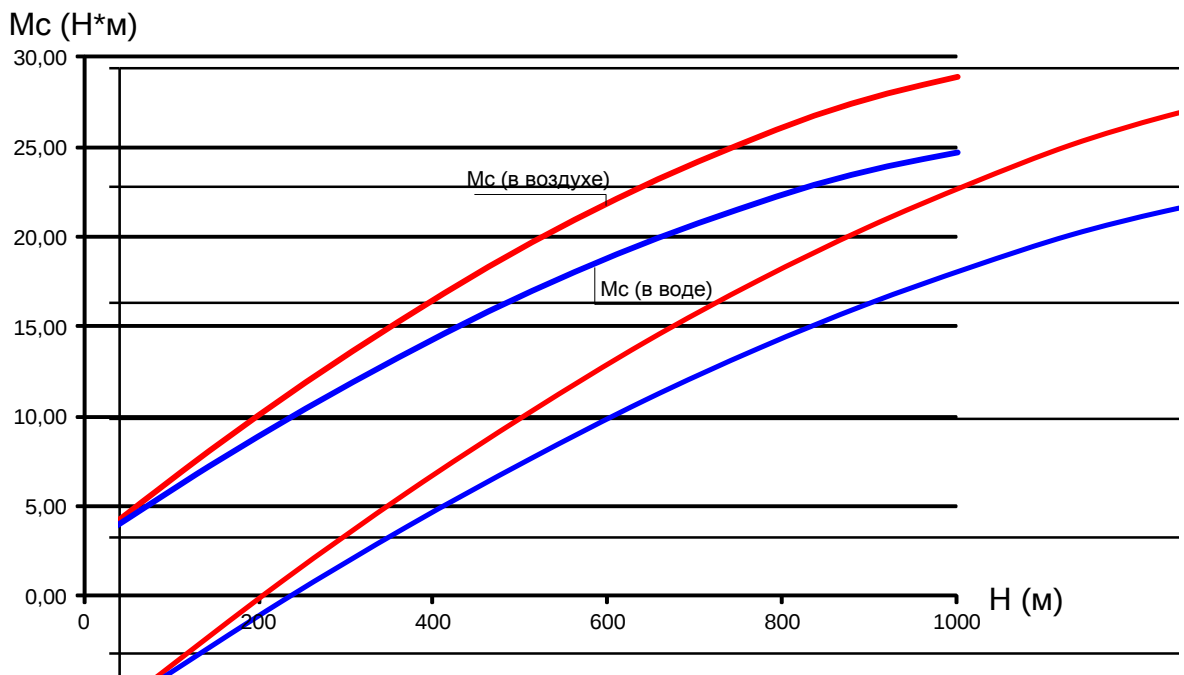


Рисунок 3.2 Статические моменты сопротивления на валу двигателя (в осушенной скважине и в скважине с промывочной жидкостью)

3.2 Выбор электродвигателя

Основным критерием выбора электродвигателя для подъемника является соответствие момента рассчитанным выше статическим нагрузкам $M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{с.макс}}$. Принимаем асинхронный электродвигатель серии АИМ-М112М-4 с номинальной мощностью 5.5 кВт. Это серия взрывозащищенных двигателей предназначенных для широкого регулирования скорости с использованием преобразователей частоты. Технические данные двигателя приведены в таблице 1.

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_H = \frac{p \times n_H}{30} = \frac{3.1415 \times 1430}{30} = 149.75 \text{ рад/с}.$$

Номинальный полезный момент на валу двигателя

$$M_H = \frac{P_H \times 10^3}{\omega_H} = \frac{5.5 \times 10^3}{149.75} = 36.73 > M_{\text{с.макс}} = 28.9 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Таблица 3.3 Технические данные двигателя АИМ-М112М-4

P_H , кВт	n_0 , об/мин	$U_{1лн}$, В	При номинальной нагрузке			
			n_H , об/мин	I_{1H} , А	η_H , %	$\cos \varphi_H$
5.5	1500	380	1430	11.6	85.5	0.84

Продолжение таблицы 3.3.

$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\frac{M_{\max}}{M_H}$	I_{Π}/I_H	J , кг·м ²
2.2	2.8	7	0.2453

4 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Определение дополнительных параметров двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{p \times n_0}{30} = \frac{3.1415 \times 1500}{30} = 157.08 \text{ рад/с}.$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0.047.$$

Номинальное фазное напряжение и фазный ток обмотки статора

$$U_{1\phi H} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В},$$

$$I_{1\phi H} = I_{1лн} = 11.6 \text{ А}$$

– при схеме соединения обмоток Y.

Максимальный пусковой ток двигателя

$$I_{1\max} = 7 \times I_{1\phi H} = 7 \times 11.6 = 81.2 \text{ А}.$$

Максимальный (критический) момент на валу двигателя на естественной характеристике

$$M_k = 2.8 \times M_{двн} = 2.8 \times 36.73 = 102,84 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент на валу двигателя

$$M_{пуск} = 2.2 \times M_{двн} = 2.2 \times 36.73 = 80.8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя

Производитель выбранного приводного двигателя серии АИМ-М112М-4 не указывает параметры схемы замещения, поэтому предварительно необходимо произвести расчет данных параметров.

Расчёт параметров схемы замещения в номинальном режиме

Расчёт параметров ведем для Т-образной схемы замещения электродвигателя.[3] Схема замещения приведена на рисунке 4.1.

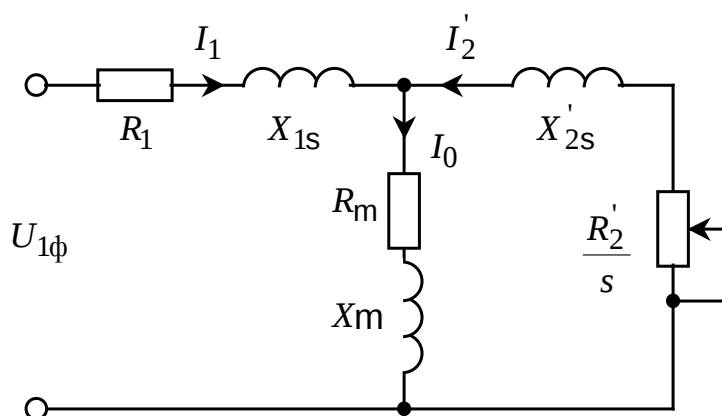


Рисунок 4.1 Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Приведённое к обмотке статора сопротивление цепи ротора в номинальном режиме

$$R'_{2н} = \frac{3 \times U_{1\phiн}^2 \times (1 - s_n)}{2 \times m_k \times P_n \times c_1^2 \times \frac{1}{s_k} + \frac{1}{0,306}} = \frac{3 \times 220^2 \times (1 - 0,047)}{2 \times 2,8 \times 5500 \times 1,029^2 \times \frac{1}{0,306} + \frac{1}{0,306}} = 0,994 \text{ Ом},$$

где

$m_k = 2.8$ – кратность максимального момента;

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times k_i \times I_{1н}} = 1 + \frac{4,669}{2 \times 7 \times 11,6} = 1,029$$

– коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_m + X_{1s}}{X_m}$;

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p^*}^2 - \frac{e p^* \times (1 - s_H)}{e 1 - p^* \times s_H} \times I_{1H} \dot{U}}{1 - \frac{e p^* \times (1 - s_H)}{e 1 - p^* \times s_H} \dot{U}}} = \sqrt{\frac{9,149^2 - \frac{e 0,75 \times (1 - 0,047)}{e 1 - 0,75 \times 0,047} \times 1,6 \dot{U}}{1 - \frac{e 0,75 \times (1 - 0,047)}{e 1 - 0,75 \times 0,047} \dot{U}}} = 4,669 \text{ A}$$

– ток холостого хода;

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \times P_H}{3 \times U_{1\phi H} \times \cos j_{p^*} \times \eta_{p^*}} = \frac{0,75 \times 5500}{3 \times 220 \times 0,799 \times 0,855} = 9,149 \text{ A}$$

– ток обмотки статора при частичной загрузке двигателя $p^* = 0.75$;

$$s_k = s_H \times \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \times s_H \times b \times (m_k - 1)]}}{1 - 2 \times s_H \times b \times (m_k - 1)} =$$

$$= 0,047 \times \frac{2,8 + \sqrt{2,8^2 - [1 - 2 \times 0,047 \times 1 \times (2,8 - 1)]}}{1 - 2 \times 0,047 \times 1 \times (2,8 - 1)} = 0,306$$

– критическое скольжение двигателя;

$b = 1$ – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора выбирается из диапазона (0,6 , 2,5).

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме работы

$$R_1 = R_2 \times b \times c_1 = 0,994 \times 1 \times 1,029 = 1,022 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме работы

$$X_{кн} = R_2 \times g \times c_1 = 0,994 \times 3,116 \times 1,029 = 3,186 \text{ Ом},$$

где

$$g = \sqrt{\frac{e 1 \ddot{o}^2}{e s_k \ddot{o}} - b^2} = \sqrt{\frac{e 1 \ddot{o}^2}{e 0,306 \ddot{o}} - 1} = 3,116$$

– коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведённого активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме работы

$$X_{1s} = 0,42 \times X_{\text{кн}} = 0,42 \times 3,186 = 1,338 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме работы

$$L_{1s} = \frac{X_{1s}}{2 \times p \times f_{1н}} = \frac{1,338}{2 \times 3,14 \times 50} = 4,26 \times 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Приведённое к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме работы

$$X_{2s}^{\text{с}} = 0,58 \times \frac{X_{\text{кн}}}{c_1} = 0,58 \times \frac{3,186}{1,029} = 1,796 \text{ Ом}.$$

Приведённая к обмотке статора индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния, в номинальном режиме работы

$$L_{2s}^{\text{с}} = \frac{X_{2s}^{\text{с}}}{2 \times p \times f_{1н}} = \frac{1,796}{2 \times 3,14 \times 50} = 5,718 \times 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{201,723}{4,669} = 43,207 \text{ Ом},$$

где

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\text{фн}} \times \cos j_{\text{н}} - I_{1н} \times R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \times \sin j_{\text{н}} - I_{1н} \times X_{1s})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \times 0,84 - 11,6 \times 1,022)^2 - (220 \times 0,543 - 11,6 \times 1,338)^2} = 201,723 \text{ В} \end{aligned}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора, в номинальном режиме;

$$\sin j_{\text{н}} = \sqrt{1 - (\cos j_{\text{н}})^2} = \sqrt{1 - 0,84^2} = 0,543.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_m = \frac{X_m}{2 \times p \times f_{1н}} = \frac{43,207}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,138 \text{ Гн}.$$

4.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя

Зная значения параметров схемы замещения и их зависимость от скольжения, можно с достаточной точностью рассчитать и построить механическую и электромеханическую характеристики двигателя.

Механическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости двигателя от электромагнитного момента на валу двигателя $w(M)$. Однако расчетные значения момента двигателя соответствуют электромагнитному моменту. Поэтому расчетные механические характеристики двигателя представляют собой зависимость скорости вращения от электромагнитного момента $\omega(M_{эм})$. Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости $I_1(\omega)$ или скольжения $I_1(s)$ от величины тока статора. Естественные характеристики строятся при частоте инвертора $f_{и} = f_{1н} = 50$ Гц.

$$M(s) = \frac{3U_{1фн}^2 \times R_2'(s)}{w_0 \times [X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)]^2 + R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} + \frac{R_1 \times R_2'(s)}{s \times X_m}}; \\ w = w_0 \times (1 - s).$$

Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя $I_1(\omega)$ с учетом эффекта вытеснения тока ротора и насыщения цепей потоков рассеяния рассчитывается по выражениям:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2I_0(s) \times I_2'(s) \times \sin j_2(s)}; \\ w = w_0 \times (1 - s),$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\frac{\sigma}{\epsilon} R_1 + \frac{R_2'(s) \ddot{\theta}^2}{s} + [X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)]^2 + \frac{\sigma R_1 \times R_2'(s) \ddot{\theta}^2}{\epsilon s \times X_m}}};$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1s}(s) + X_m)^2}};$$

$$\sin j_2(s) = \frac{X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)}{\sqrt{\frac{\sigma}{\epsilon} R_1 + \frac{R_2'(s) \ddot{\theta}^2}{s} + [X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)]^2}}.$$

Используя приложение MathCAD 15, рассчитываются и строятся естественные характеристики двигателя $\omega(M_{эм})$ и $I_1(\omega)$. В процессе расчета механической характеристики находятся расчетные значения критического скольжения s_k , электромагнитного номинального $M_{эмH} = M_{эм}(s_H)$, критического $M_{эмK}(s_k) = M_{эмK}$ моментов, соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя. При расчете электромеханической характеристики находятся расчетные значения тока холостого хода I_0 , номинального $I_H = I_{1\phi H}$ тока двигателя.

Естественные расчетные механическая и электромеханическая характеристики двигателя приведены, соответственно, на рисунках 4.2 и 4.3.

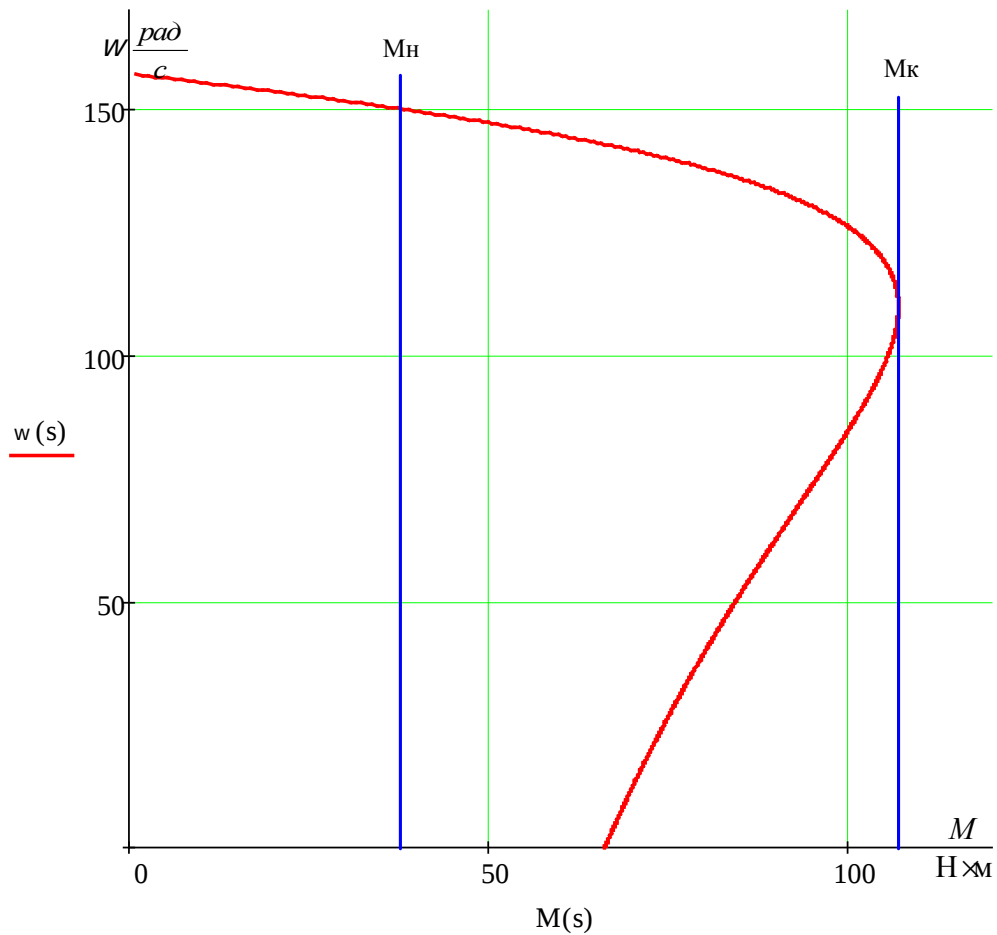


Рисунок 4.2 Естественная механическая характеристика двигателя

По результатам расчета механической характеристики найдены значения электромагнитных моментов двигателя: номинального $M_{\text{эм н}} = 38,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$; критического $M_{\text{эм к}} = 106,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при угловой скорости $\omega_{\text{к}} = 109,96 \text{ рад/с}$.

– Момент трения на валу двигателя

$$DM_{\text{с дв}} = M_{\text{эм н}} - M_{\text{дв н}} = 38,76 - 36,73 = 2,03 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{эм к}}}{M_{\text{эм н}}} = \frac{109,96}{38,76} = 2,837;$$

– критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{к}}}{\omega_0} = \frac{156,92 - 109,96}{156,92} = 0,3.$$

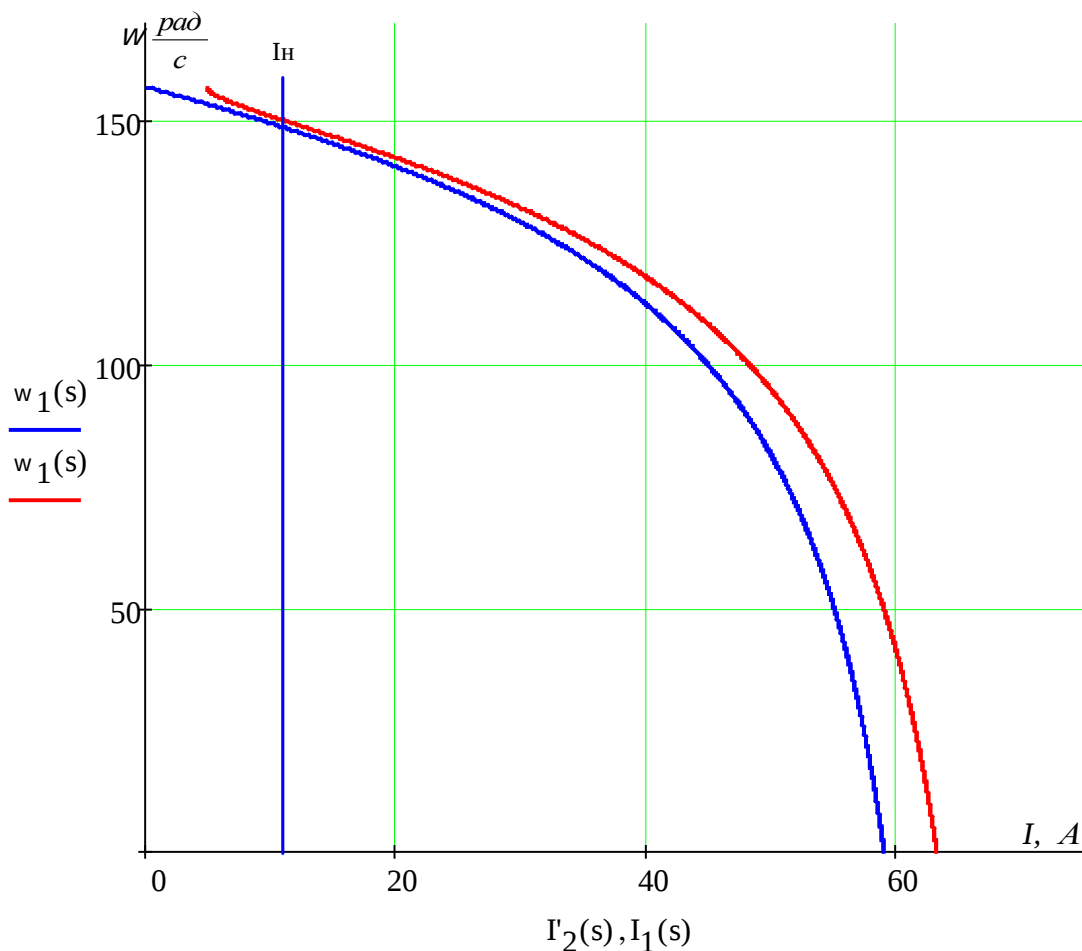


Рисунок 4.3 Естественная электромеханическая характеристика двигателя

По результатам расчета электромеханической характеристики найдены значения тока холостого хода $I_0 = 4,937 \text{ A}$, номинального тока $I_n = 11,54 \text{ A}$.

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 3.3 справочным параметрам двигателя.

4.4 Определение области допустимой длительной работы двигателя

Асинхронный двигатель питается и управляется от преобразователя частоты. При регулировании скорости будет использоваться способ векторного управления, что определяет поддержание постоянного потокосцепления двигателя при регулировании скорости ниже номинальной.

В соответствии с этим был выбран двигатель с независимой вентиляцией, что позволяет ему работать с нагрузками близкими к номинальным при низких скоростях работы электродвигателя.

Таким образом, перед выбором частотного преобразователя необходимо определить зону безопасной работы электродвигателя и задаться максимальными нагрузками.

В соответствии с техническими данными, предоставляемыми производителем, границы режима допустимой длительной работы двигателя при независимой вентиляции, можно представить в виде зависимостей:

– для тока двигателя

$$I_{\text{дв длит доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{\text{дв н}} = 11,6 \text{ А, при } \omega^3 \geq 0,5 \omega_{\text{н}}^3 \\ 0,9 \times I_{\text{дв н}} = 0,9 \times 11,6 = 10,44 \text{ А, при } \omega = 0; \end{cases}$$

– для момента (электромагнитного) двигателя

$$M_{\text{эм длит доп}}(\omega) = \begin{cases} M_{\text{эм н}} = 38,76 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega^3 \geq 0,5 \omega_{\text{н}}^3 \\ 0,9 \times M_{\text{эм н}} = 0,9 \times 38,76 = 34,88 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega = 0. \end{cases}$$

В соответствии с приведенными зависимостями на механическую и электромеханическую характеристики наносим границы зон $M_{\text{эм длит доп}}(\omega)$ и $I_{\text{дв длит доп}}(\omega)$ длительной допустимой работы двигателя. Графики зависимостей приведены на рисунках 4.4 и 4.5.

Из приведённых на рисунках характеристик следует, что длительно допустимый момент нагрузки, с которым может работать двигатель на минимальной скорости $\omega_{\text{дв мин}} = 1,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ (диапазон регулирования скорости 1, 100), составляет $M_{\text{эм длит доп}} = 34,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при длительно допустимом токе статора $I_{\text{дв длит доп}} = 10,46 \text{ А}$.

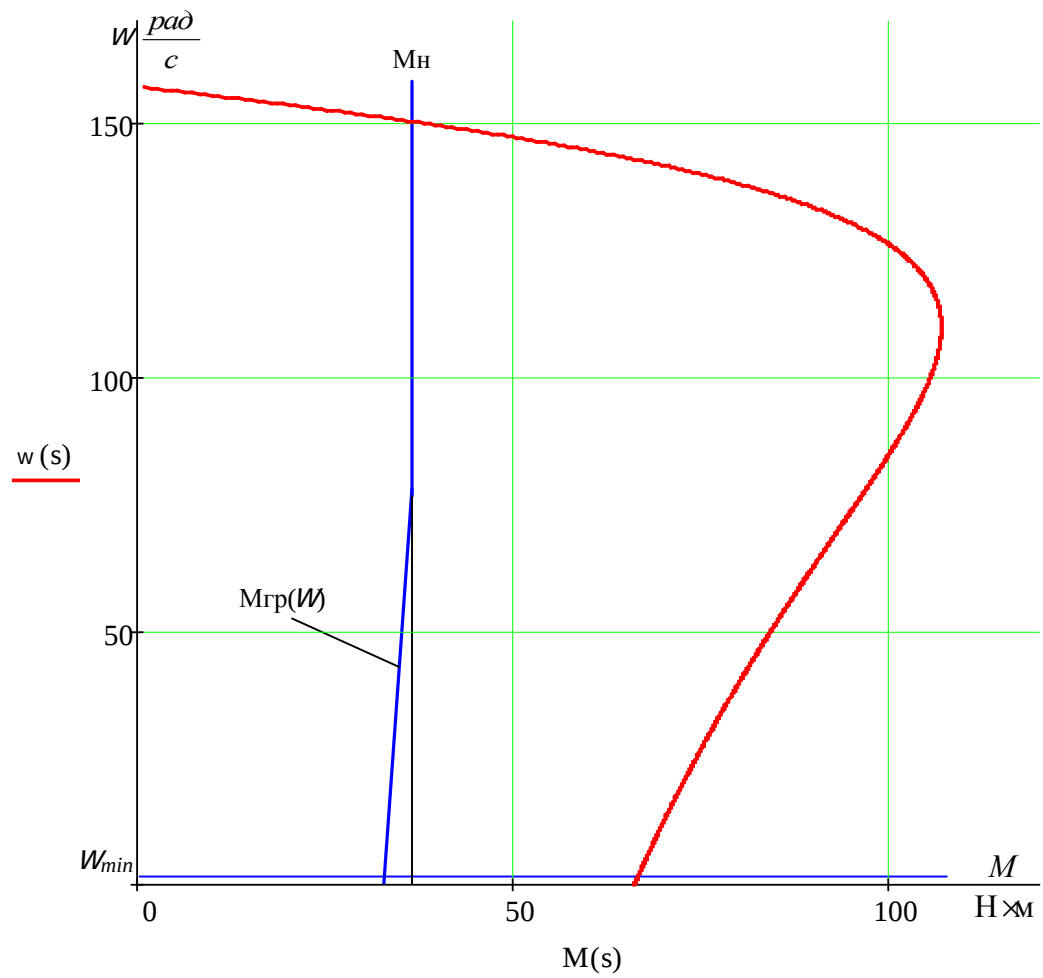


Рисунок 4.4 Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $M_{эм}$ длит доп (ω) двигателя

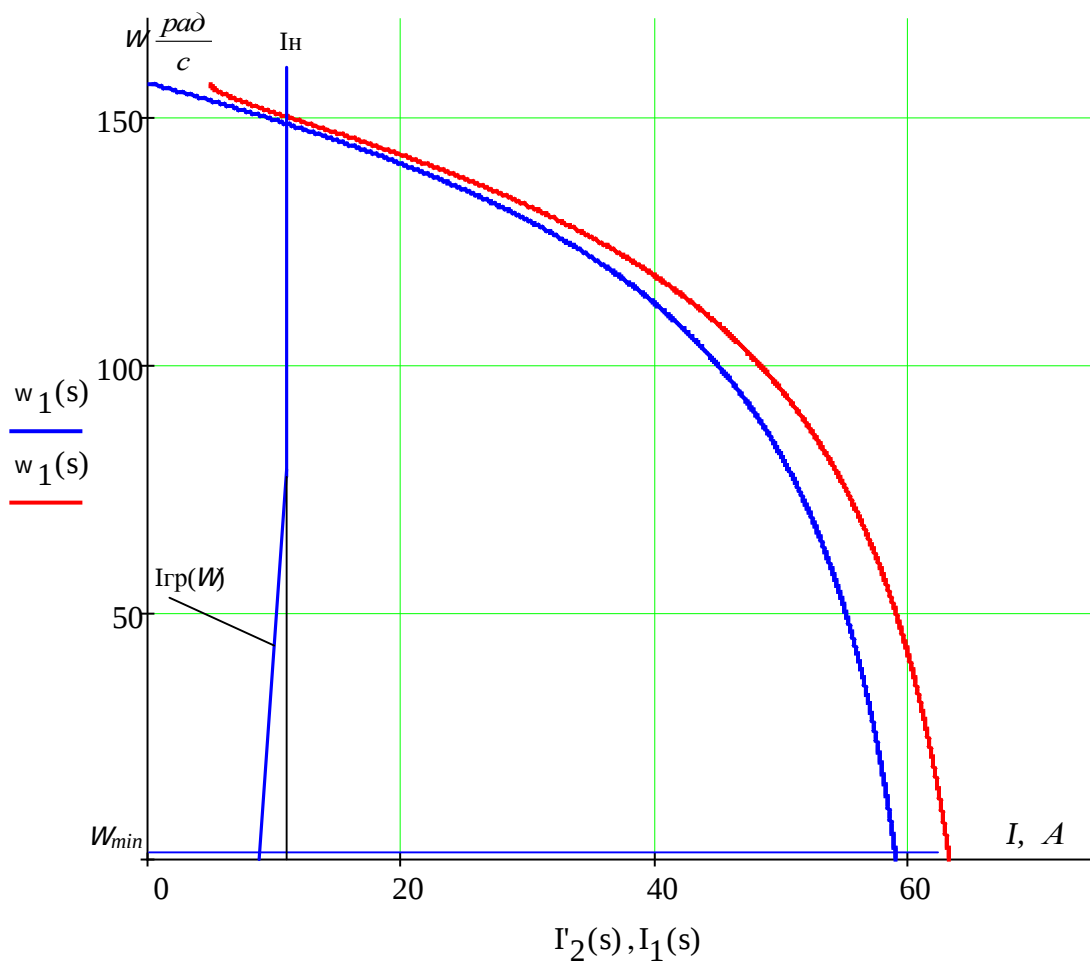


Рисунок 4.5 Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $I_{\text{дв}} \text{ длит доп } (w)$ двигателя

4.5 Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя

4.5.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя

Максимальный кратковременно допустимый момент электропривода примем из условия удвоения максимального статического момента приведённого к валу двигателя (см. табл. 3.2) моделируя «заклин» прибора в скважине. При физической невозможности высвободить прибор при приложенном усилии $M_{\text{эл.макс}}$ происходит обрыв крепления прибора к

несущему кабелю в заранее ослабленных местах, таким образом высвобождая кабель.

Максимальный статический момент, приложенный к валу двигателя

$$M_{с.макс} = 28.9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальный кратковременно допустимый момент электропривода

$$M_{эп.макс} = 2 \times M_{с.макс} + DM_{с.дв} = 2 \times 28.9 + 2.007 = 59.807 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Найденные значения моментов нанесены на плоскость механических характеристик электродвигателя (рисунок 9).

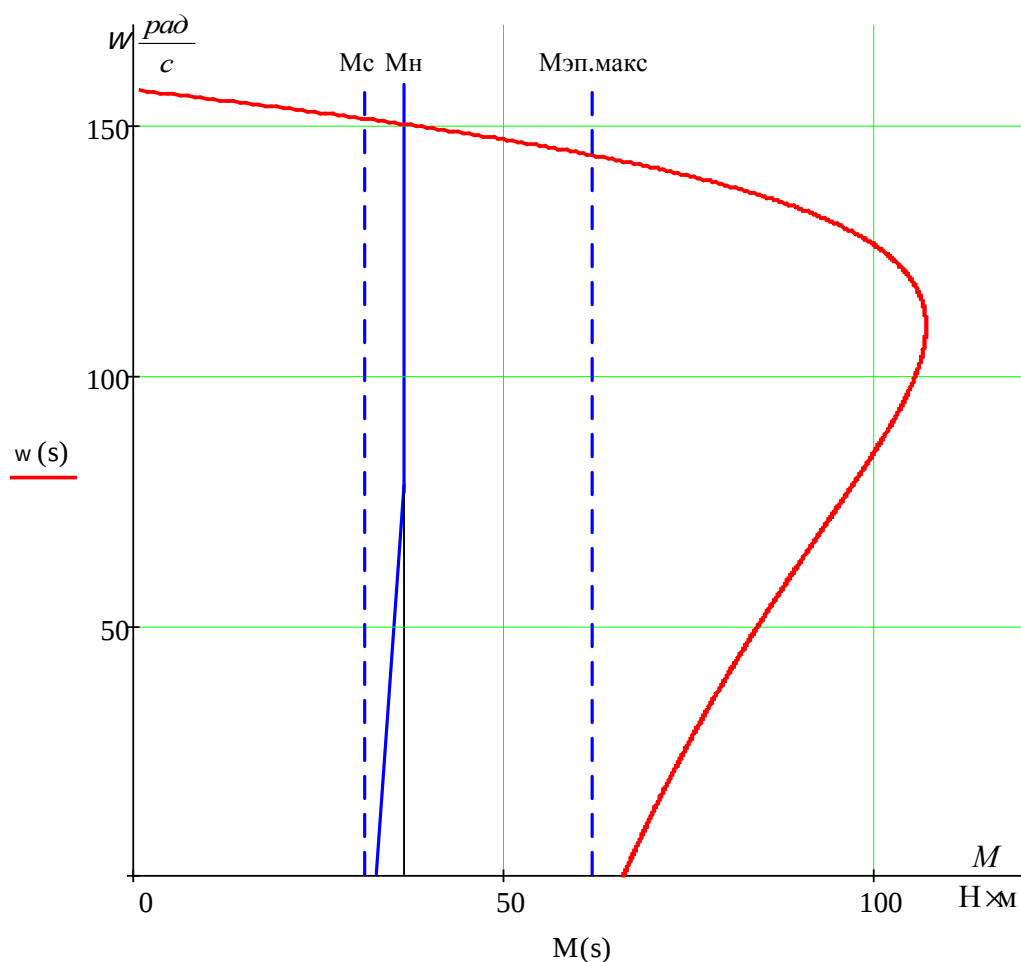


Рисунок 4.6 Области работы электропривода в плоскости механических характеристик двигателя

4.5.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

Используя полученные значения моментов, определим соответствующие им значения токов двигателя. Для этого, с помощью процедуры Given в приложении MathCAD, решая уравнение механической характеристики двигателя $M(s)$ при заданном значении момента, определяем соответствующее ему скольжение S . Подставляя полученное значение скольжения в уравнение электромеханической характеристики двигателя $I(s)$, определяем значение тока обмотки статора, соответствующее исходному значению момента.

Например, решая уравнение

$$\frac{3 \times U_{1\Phi H}^2 \times R_2(s)}{U_0 \times \left(\sqrt{\frac{R_1}{s}} + \frac{R_2(s)}{s} \right)^2 + \left[X_{1s}(s) + X_{2s}(s) \right]^2 + \frac{R_1 \times R_2(s)}{s \times X_m}} = M_c,$$

при значении $M_c = 28.9 \text{ Н}\cdot\text{м}$ находим значение скольжения $s = 0,0336$

и по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \times I_0(s) \times I_2'(s) \times \sin j_2(s)},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + \left[X_{1s}(s) + X_{2s}(s) \right]^2 + \frac{R_1 \times R_2'(s)}{s \times X_m}}};$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1s}(s) + X_m)^2}};$$

$$\sin j_2(s) = \frac{X_{1s}(s) + X_{2s}'(s)}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'(s)}{s} + \left[X_{1s}(s) + X_{2s}'(s) \right]^2}}$$

значение тока статора $I_{c \text{ макс}} = 9.094 \text{ А}$.

Поступая аналогично, находим:

– для момента $M_{\text{эп макс}} = 59.807 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – $I_{\text{эп макс}} = 17,589 \text{ А}$;

Найденные значения моментов нанесены на плоскость электромеханических характеристик электродвигателя (рисунок 10).

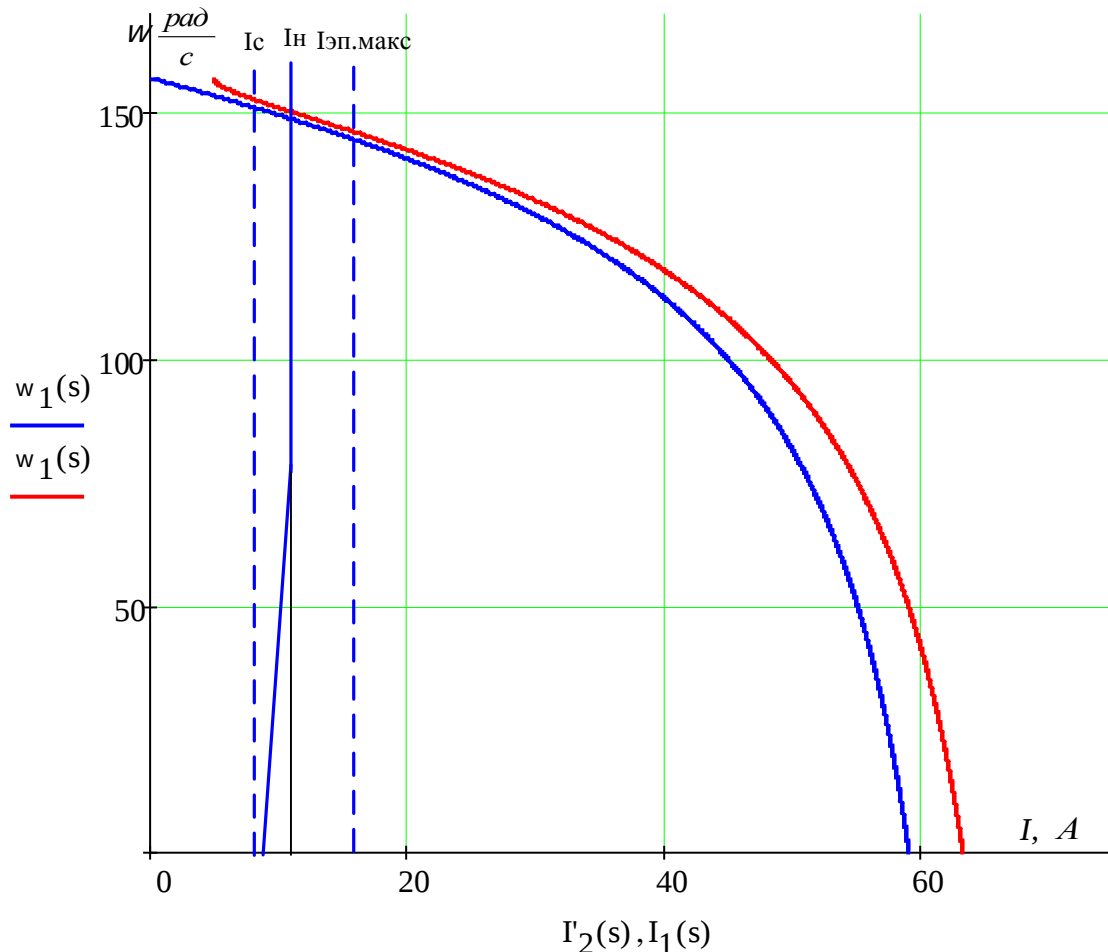


Рисунок 4.7 Области работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

4.6 Выбор преобразователя частоты

Тип преобразователя частоты в общем случае выбирается из следующих условий: длительный ток нагрузки, ток кратковременной перегрузки, напряжение питающей сети и двигателя, диапазон регулирования выходной частоты, способы и законы частотного управления, набор комплектующих устройств (дополнительных блоков, расширяющих возможности привода), условия эксплуатации. [7]

Сложность выбора преобразователя частоты для совместной работы с электродвигателем заключается в том, что номинальные режимы работы электродвигателей ($S1 - S8$), основанные на постоянной времени нагрева двигателя (десятками минут), не приемлемы для преобразователей, постоянная времени нагрева которых определяется десятками секунд.

Преобразователи частоты спроектированы для продолжительной работы с номинальным током инвертора $I_{ин}$. Если номинальный ток протекает длительное время (более 60 с), то рабочая температура блока достигает максимально допустимого значения. Выше этого значения срабатывает защита ($I^2 \mathcal{X}$), что не позволяет перегружать преобразователь по току даже кратковременно (рисунок 4.8).

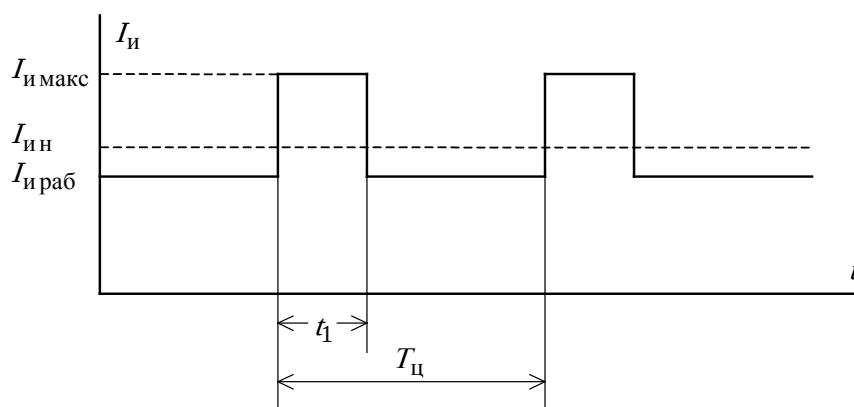


Рисунок 4.8

По этой причине преобразователи частоты в системах электропривода, имеющих кратковременные перегрузки двигателя, связанные с периодическими изменениями скорости или технологическими изменениями момента нагрузки, должны работать с эквивалентным за цикл работы током, не превышающим номинальный ток инвертора

$$I_{ин}^3 I_{иэ}.$$

Предварительно преобразователь частоты выбираем исходя из следующих условий.

Питающая сеть: 3-х фазная 380В, 50Гц;

Параметры нагрузки:

- 3-х фазная;
- максимальное выходное линейное напряжение 380В;
- максимальная частота

$$f_{\text{макс}} > 50 \times \frac{W_{\text{эп макс}}}{W_0 \times (1 - s_k)}, \text{ Гц.}$$

- номинальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{и н}} > I_{\text{с макс}} = 9.094 \text{ А};$$

- максимальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{н макс}} > I_{\text{эп макс}} = 17.889 \text{ А}.$$

Условия выбора преобразователя по току должны быть выполнены с учетом фактических значений высоты над уровнем моря и температуры окружающей среды места установки преобразователя. Длительность перегрузки двигателя не должна превышать значение допустимого времени протекания максимального тока инвертора, а длительность фактического рабочего цикла электропривода не должна быть меньше времени предельного цикла инвертора;

Исходя из перечисленных условий выбираем преобразователь частоты типа MOVITRACMC07B 055-5A3-4-00 фирмы SEWEurodrive. Внешний вид преобразователя представлен на рисунке 4.9. Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 4.10. Технические параметры преобразователя частоты приведены в таблице 4.1.



Рисунок 4.9 Внешний вид преобразователя частоты MovitracMC07B

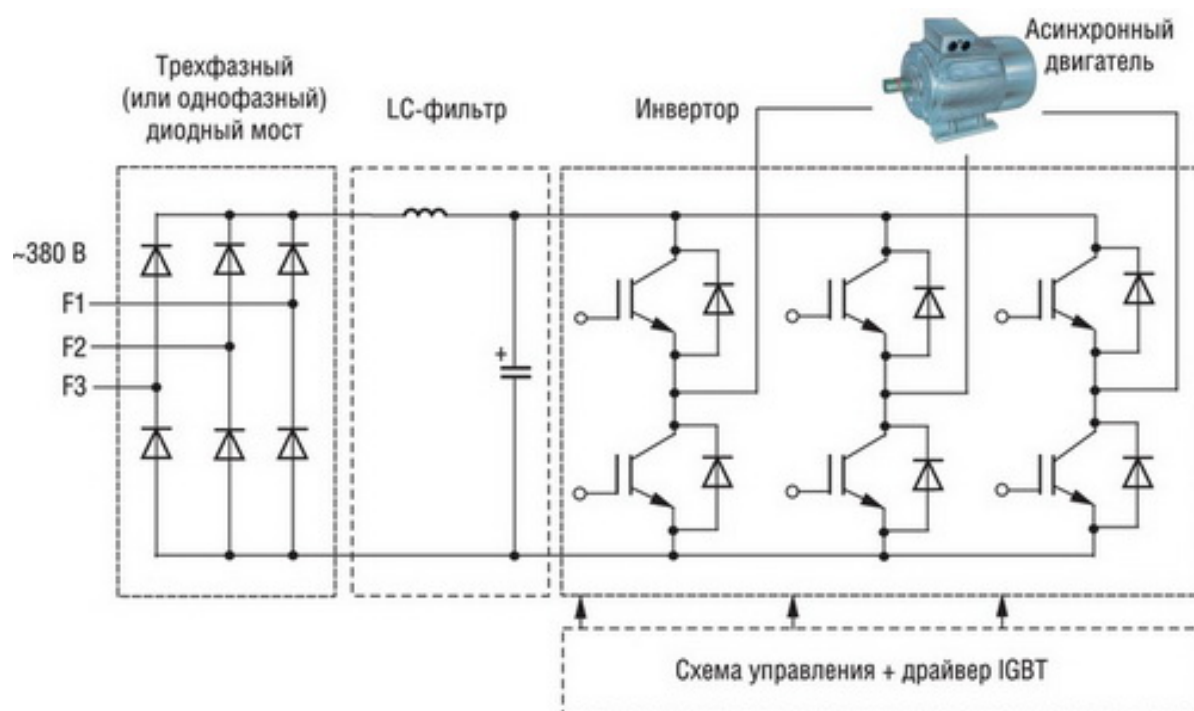


Рисунок 4.10 Функциональная схема преобразователя частоты

Таблица 4.1 Технические параметры преобразователя частоты MovitracMC07B 055-5A3-4-00

$P_{\text{пр н}}, \text{ кВт}$	$U_{\text{пр н}}, \text{ В}$	$I_{\text{пр н}}, \text{ А}$	$I_{\text{пр.длит}}, \text{ А}$	$I_{\text{пр макс}}, \text{ А (60с)}$	$I_{\text{пр макс}}, \text{ А (0.3с)}$
5.5	380	12.5	15.625	18.57	25

Функциональные особенности преобразователя:

- Векторное регулирование без датчика скорости
- Регулирование потока (FCC) для улучшения динамических характеристик и повышения качества регулирования электродвигателя
- Мгновенное ограничение тока (FCL) для работы без отключения двигателя
- Встроенное динамическое торможение постоянным током
- Комбинированное торможение для улучшения возможностей торможения
- Времена ускорения и торможения с программируемым сглаживанием
- Использование замкнутого PID регулятора с автоподстройкой
- Встроенный прерыватель тормоза
- Выбираемая интенсивность разгона и остановки
- 4-х точечная интенсивность сглаживания
- Многоточечная V/f характеристика, задаваемая пользователем
- Установленные параметры могут быть перенесены на другие устройствааналогичных процессов

Особенности защиты

- Защита от повышенного и пониженного напряжений
- Защита преобразователя от перегрева
- Защита от замыкания на землю
- Защита от короткого замыкания
- Защита от перегрева двигателя по потерям $I^2 t$
- Защита двигателя по термисторам PTC/KTY

Управление преобразователем осуществляется от выносного пульта управления, представленного на рисунке 4.11.



Рисунок 4.11Выносной пульта управления преобразователя частоты

Принципиальная схема преобразователя представлена на рисунке 4.12.

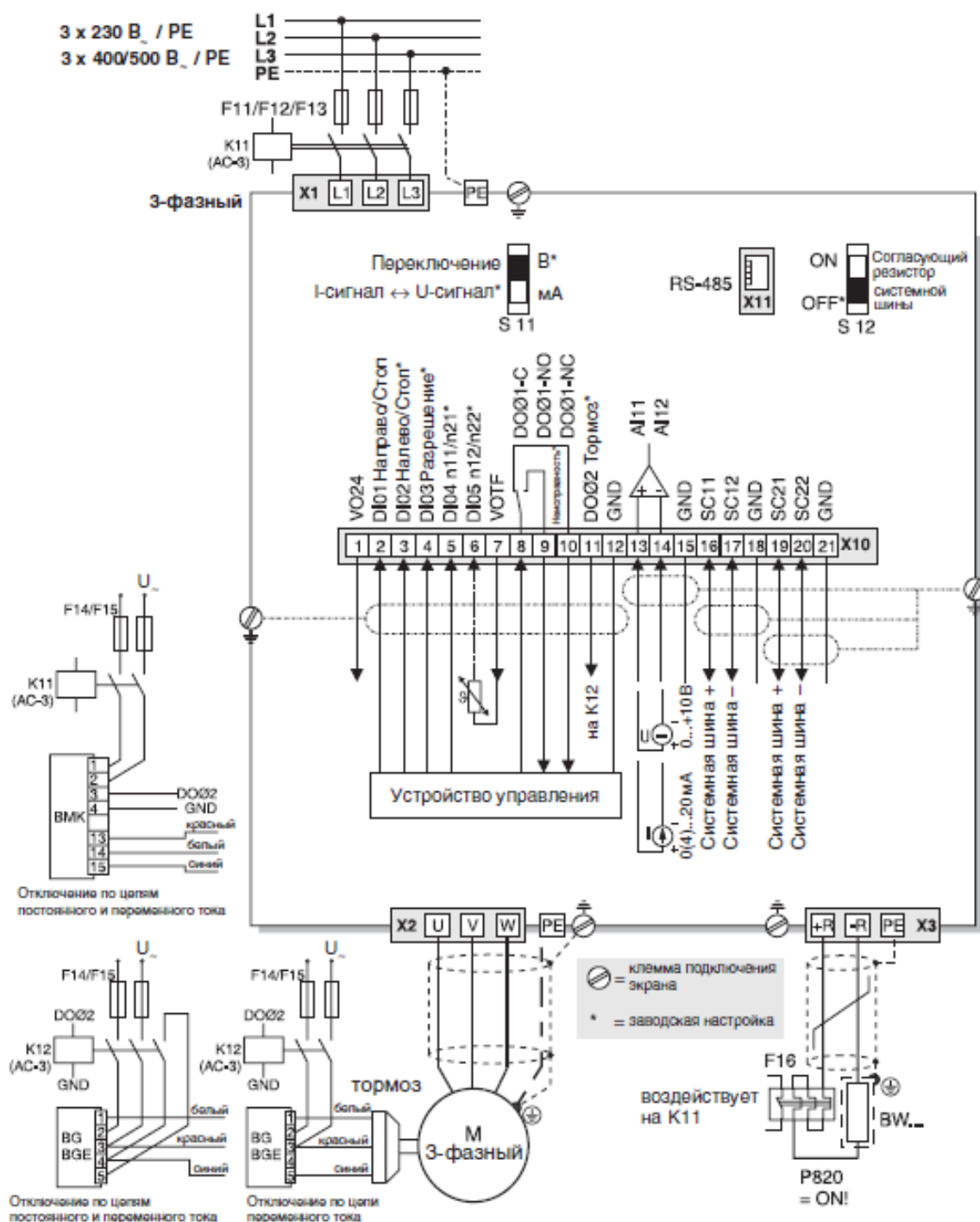


Рисунок 4.12 Принципиальная схема преобразователя.

4.7 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Структурная схема силового канала системы ПЧ – АД во вращающейся двухфазной системе координат dq , ориентированной по результирующему

вектору потокосцепления ротора, и компенсацией внутренних обратных связей представлена на рисунке 4.13.

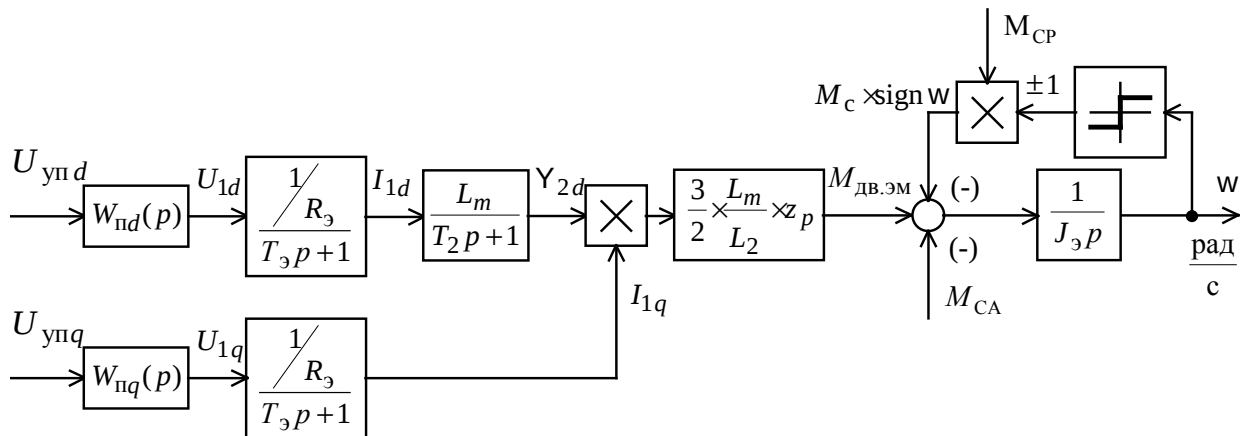


Рисунок 4.13 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора и компенсацией внутренних обратных связей

Управляющими сигналами на входе преобразователя структурной схемы силового канала являются напряжения постоянного тока. Выходные напряжения преобразователя представляют собой составляющие напряжения статора U_{1d} и U_{1q} в ортогональной системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Y_{2d} .

В системе ПЧ – АД предполагается применить частотное векторное управление с обратной связью по скорости (с датчиком или без датчика). Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепях обратных связей контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости. [7] Структурная схема силового канала асинхронного частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 4.14.



Расчёт параметров преобразователя

$$k_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2} \times U_{1\text{фн}}}{U_{\text{уп макс}}} = \frac{\sqrt{2} \times 220}{10} = 31,11,$$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{и}} = \frac{0,5}{f_{\text{шум}}} = \frac{0.5}{8 \times 10^3} = 0.0625 \times 10^{-3} \text{ с},$$

Расчет параметров двигателя

44

$$L_1 = L_{1s} + L_m = 4,26 \times 10^{-3} + 0,138 = 0,142 \text{ Гн.}$$

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора

$$L_2 = L_{2s} + L_m = 5,718 \times 10^{-3} + 0,138 = 0,143 \text{ Гн.}$$

Эквивалентное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель

$$R_3 = R_1 + R_2 \times \frac{L_m^2}{L_2^2} = 1,022 + 0,994 \times \frac{(0,138)^2}{(0,143)^2} = 1,938 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_3 = \frac{s \times L_1}{R_3} = \frac{0,069 \times 0,142}{1,938} = 5,029 \times 10^{-3} \text{ с,}$$

где

$$s = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \times L_2} = 1 - \frac{(0,138)^2}{0,142 \times 0,143} = 0,069$$

– коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,143}{0,994} = 0,144 \text{ с.}$$

5 Механическая система электропривода

Сделав допущение, что все звенья кинематической цепи реального механизма абсолютно жесткие и в передачах и сочленениях отсутствуют зазоры, механическую систему электропривода можно представить как одномассовую (рис. 5.1).

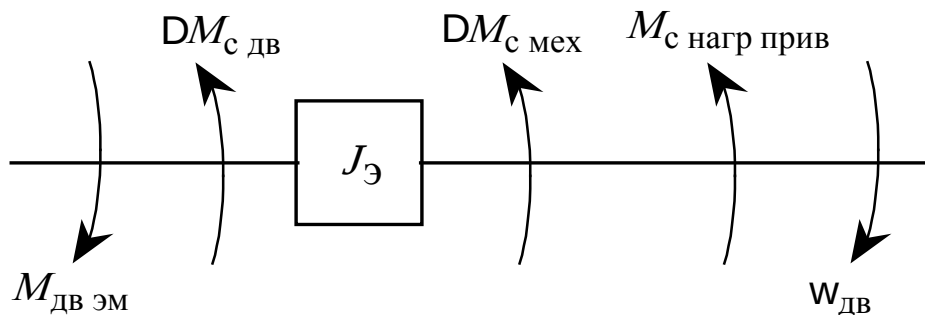


Рисунок 5.1 Расчётная схема механической системы электропривода подъемника

Конструктивной особенностью рассматриваемой электромеханической

системы является то, что практически все параметры механической системы ЭП являются переменными. При постоянной скорости перемещения прибора скорость вращения барабана и частота вращения двигателя изменяются от ряда к ряду, уменьшаясь по мере наматывания кабеля на барабан. По мере наполнения барабана подъемника изменяется его диаметр и масса, в результате чего изменяется момент инерции механизма и электропривода.

Момент инерции барабана рассчитаем, как момент инерции полого толстостенного цилиндра:

$$J_{\bar{6}}(m_{\text{каб}}, r_{\text{навив}}) = (m_{\text{бар}} + m_{\text{каб}}) \times \frac{r_{\text{внут.}\bar{6}}^2 + r_{\text{навив}}^2}{2};$$

где $m_{\text{бар}} = 100$ кг – масса пустого барабана,

$m_{\text{каб}}$ – масса кабеля на барабане,

$r_{\text{внут.}\bar{6}} = 260$ мм – внутренний радиус барабана,

$r_{\text{навив}}$ – радиус навивки кабеля.

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.1.

Эквивалентный момент инерции электропривода:

$$J_{\text{э}} = 1.1 \times J_{\text{дв}} + \frac{J_{\bar{6}}}{i_0 \times i_1}.$$

Методика расчета момента статических нагрузок на валу двигателя (в зависимости от длины отвеса кабеля) приведена в пункте 2.3. Результаты расчетов сведены в таблицу 5.1.

При неизменной линейной скорости перемещения прибора обратно пропорционально радиусу навивки изменяется угловая скорость вращения барабана и двигателя:

$$\omega_{\text{дв}} = i_0 \times i_1 \times \omega_{\text{бар}} = \frac{V_{\text{л макс}}}{r_{\text{навив}}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.1.

Структурная схема механической системы электропривода приведена на рисунке 5.2.

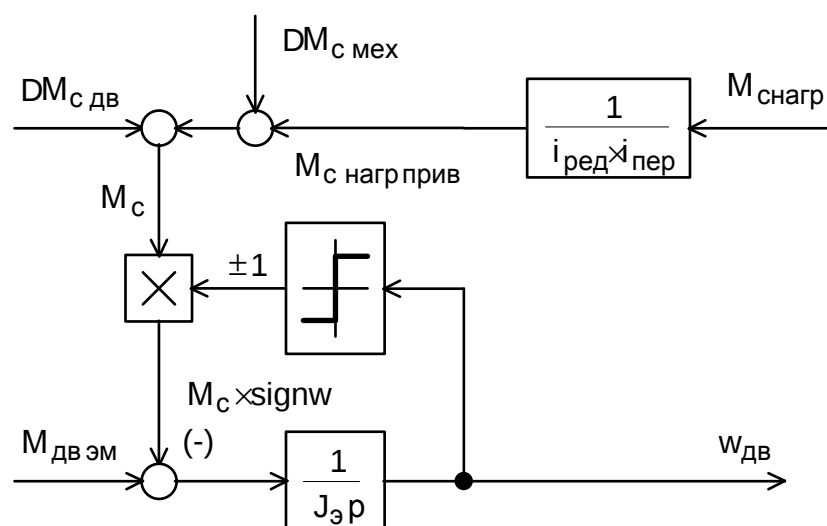


Рисунок 5.2 Структурная схема механической системы электропривода

Таблица 5.1 Расчетные параметры механической системы привода
в зависимости от длины отвеса кабеля

Длина отвеса (м)	Вес кабеля с прибором (кг)	Радиус навивки (м)	Момент инерции барабана (кг·м ²)	Статический момент на радиусе навивки барабана (Н·м)	Момент сил трения в подшипниках (Н·м)	Момент сопротивления на валу двигателя (Н·м)	Скорость вращения двигателя (рад/с)
0	30	0,398	71,53	117,10	22,37	2,66	101,987
29,91	45,94	0,398	69,73	179,32	21,85	3,83	101,987
29,91	45,94	0,386	66,83	173,91	21,85	3,73	105,158
143,79	106,64	0,386	60,25	403,69	20,00	8,07	105,158
143,79	106,64	0,373	57,51	390,10	20,00	7,81	108,823
253,93	165,34	0,373	51,44	604,83	18,51	11,88	108,823
253,93	165,34	0,36	49,07	583,75	18,51	11,48	112,753
360,32	222,05	0,36	43,48	783,94	17,43	15,27	112,753
360,32	222,05	0,348	41,60	757,81	17,43	14,77	116,641
462,95	276,75	0,348	36,44	944,51	16,78	18,32	116,641
462,95	276,75	0,335	34,73	909,23	16,78	17,65	121,167
561,83	329,46	0,335	29,99	1082,38	16,55	20,94	121,167
561,83	329,46	0,322	28,57	1040,38	16,55	20,14	126,059
656,97	380,16	0,322	24,22	1200,50	16,73	23,19	126,059
656,97	380,16	0,309	23,06	1152,03	16,73	22,27	131,362
748,35	428,87	0,309	19,09	1299,64	17,25	25,09	131,362
748,35	428,87	0,297	18,24	1249,17	17,25	24,13	136,670
835,99	475,58	0,297	14,60	1385,21	18,05	26,74	136,670
835,99	475,58	0,284	13,89	1324,58	18,05	25,58	142,926
919,87	520,29	0,284	10,58	1449,10	19,05	27,98	142,926
919,87	520,29	0,271	10,06	1382,77	19,05	26,71	149,782
1000	563	0,271	7,05	1496,28	20,19	28,90	149,782

Для удобства графического отображения переведем параметры механической системы, приведённые в таблиц 5.1 в относительные единицы (момент сопротивления на валу двигателя и скорость вращения приведем к номинальным значениям двигателя, а момент инерции барабана к его максимальному значению). Полученные значения сведем в таблицу 5.2
Графики параметров механической системы отображены на рисунке 5.3

Таблица 5.2 Параметры механической системы привода в зависимости от длины отвеса
кабеля в относительных единицах

Длина отвеса (м)	Момент инерции барабана (о.е.)	Момент сопротивления на валу двигателя (о.е.)	Скорость вращения двигателя (о.е.)
0	1,00	0,07	0,681
29,91	0,97	0,10	0,681
29,91	0,93	0,10	0,702
143,79	0,84	0,22	0,702
143,79	0,80	0,21	0,727
253,93	0,72	0,32	0,727
253,93	0,69	0,31	0,753
360,32	0,61	0,42	0,753
360,32	0,58	0,40	0,779
462,95	0,51	0,50	0,779
462,95	0,49	0,48	0,809
561,83	0,42	0,57	0,809
561,83	0,40	0,55	0,842
656,97	0,34	0,63	0,842
656,97	0,32	0,61	0,877
748,35	0,27	0,68	0,877
748,35	0,25	0,66	0,912
835,99	0,20	0,73	0,912
835,99	0,19	0,70	0,954
919,87	0,15	0,76	0,954
919,87	0,14	0,73	1,000
1000	0,10	0,79	1,000

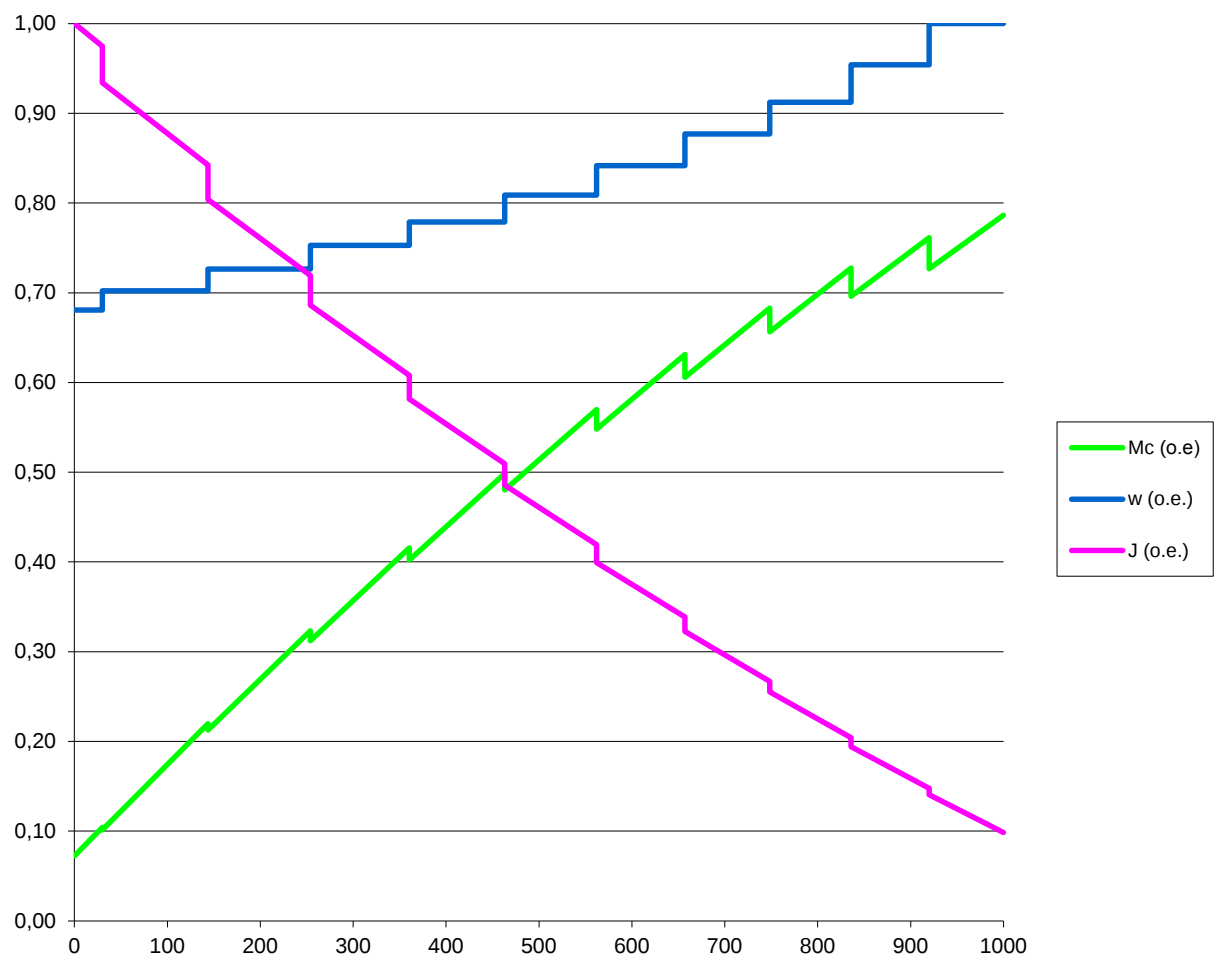


Рисунок 5.3 Расчетные параметры механической системы привода
в зависимости от длины отвеса кабеля

6 ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ САУ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

6.1 Структурная схема линеаризованной САУ электропривода

Регулирование скорости электропривода производится в первой зоне регулирования скорости приводных двигателей с номинальным значением потокосцеплений. При частотном векторном управлении асинхронным электродвигателем потокосцепление двигателя может поддерживаться постоянным равным по значению номинальному. Это позволяет обеспечить постоянную жесткость рабочего участка механических характеристик двигателя и сохранить его перегрузочную способность.

Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 6.1.

На рисунке 6.1 приняты следующие обозначения:

$W(p)_{\text{рт}}$, $W(p)_{\text{р}\gamma}$, $W(p)_{\text{рс}}$ - соответственно передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

$k_{\text{т}}$ - коэффициент обратной связи по току;

k_{γ} - коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$k_{\text{с}}$ - коэффициент обратной связи по скорости;

$T_{m\text{тo}}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по току;

$T_{m\gamma \text{ o}}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению;

$T_{m\omega \text{ o}}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости.

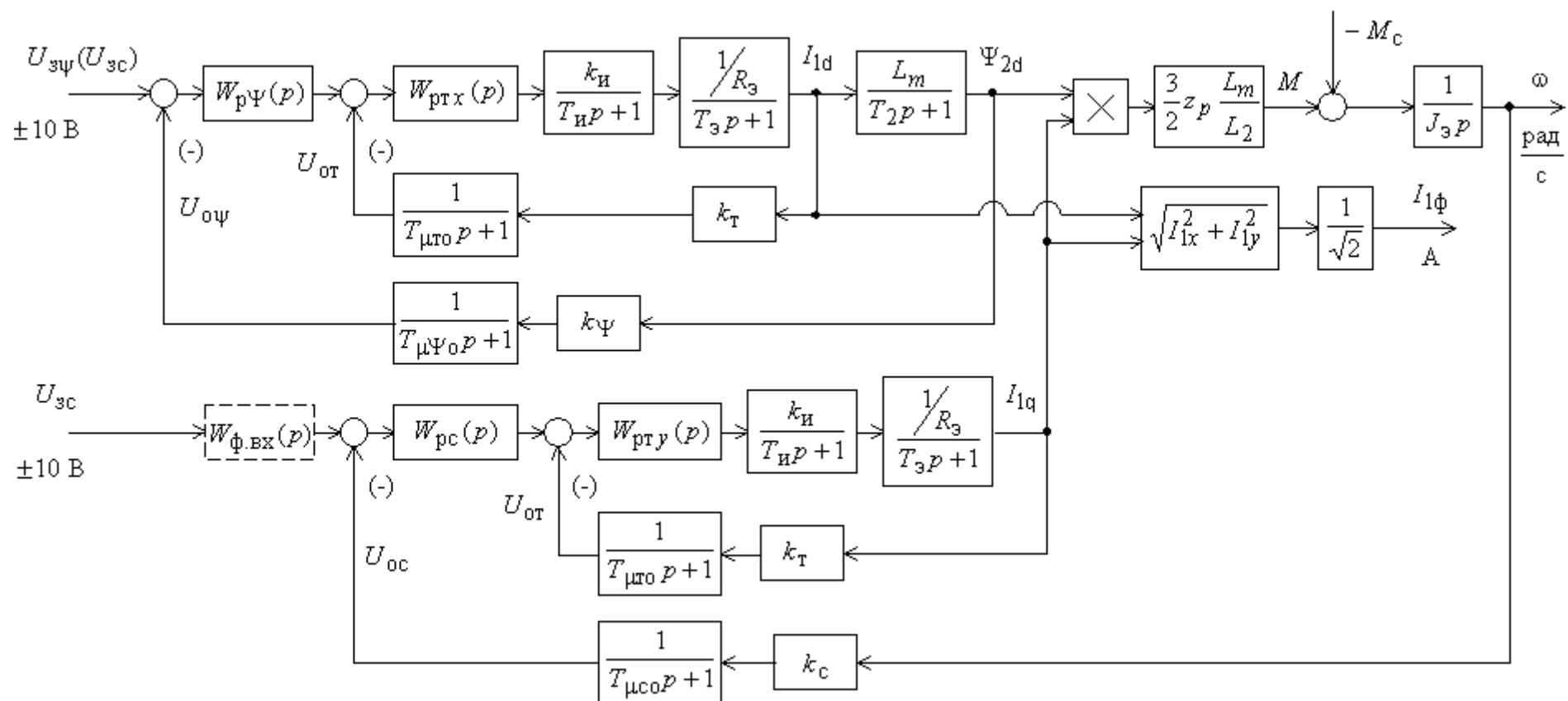


Рисунок 6.1 Структурная схема линейризованной САУ электропривода

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току.

$$T_{m\tau o} = \frac{T_{\text{ст}}}{3} = \frac{0,001}{3} = 0,000333 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{ст}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} \times n_{\tau} = \frac{1}{8 \times 10^3} \times 8 = 0,001 \text{ с}$$

– период сглаживания результатов измерения тока;

$n_{\tau} = 8$ – количество периодов модуляции для измерения тока.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{m\gamma o} = \frac{T_{\text{сγ}}}{3} = \frac{0,008}{3} = 0,002667 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{сγ}} = 16 \times \frac{1}{f_{\text{шим}}} \times n_{\gamma} = 16 \times \frac{1}{8 \times 10^3} \times 4 = 0,008 \text{ с}$$

– период расчёта потокосцепления;

$n_{\gamma} = 4$ – количество периодов модуляции для измерения потокосцепления.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{m\omega o} = \frac{T_{\text{сс}}}{3} = \frac{0,01}{3} = 0,00333 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{сс}} = 16 \times \frac{1}{f_{\text{шим}}} \times n_{\omega} = 16 \times \frac{1}{8 \times 10^3} \times 5 = 0,01 \text{ с}$$

– период расчёта потокосцепления;

$$n_{\omega} = 5$$

– количество периодов модуляции для измерения скорости.

Обеспечим адекватность параметров модели, справочных и полученных расчетных параметров электродвигателя. Параметры двигателя, соответствующие справочным данным: $I_{\text{дв н}} = I_{1\text{ф н}} = 11,6 \text{ А}$; $M_{\text{дв н}} = 36,73 \text{ Н} \times \text{м}$.

Параметры двигателя расчетные: $I_0 = 4.937 \text{ A}$; $I_n = I_1(s_n) = 11.533 \text{ A}$;
 $M_{\text{эм н}} = 38.735 \text{ Н} \cdot \text{м}$. За основные параметры электродвигателя примем значения
номинального тока $I_{1\phi \text{ н}} = 11.6 \text{ A}$ и номинального электромагнитного момента
 $M_{\text{эм н}} = 38.735 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Решив совместно систему уравнений

$$Y_{2\text{н}} = \frac{M_{\text{эм н}}}{\frac{3}{2} \times z_p \times \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1\phi \text{ н}}^2 - I_0^2}} = \frac{38.735}{\frac{3}{2} \times 2 \times \frac{0.138}{0.143} \times \sqrt{2} \times \sqrt{11.6^2 - I_0^2}},$$

$$Y_{2\text{н}} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 0.138 \times I_0$$

относительно тока I_0 , определим значение тока намагничивания
 $I_0^* = 4.589 \text{ A}$, соответствующее параметрам структурной схемы. Значение
последнего существенно не отличается от значения расчетного тока
намагничивания I_0 . Рассчитываем параметры структурной схемы,
необходимые для оптимизации контуров регулирования:

– значение номинального потокосцепления двигателя, Вб

$$Y_{2d\text{н}}^* = Y_{2\text{н}}^* = \sqrt{2} \times L_m \times I_0^* = \sqrt{2} \times 0.138 \times 4.589 = 0.893 \text{ Вб};$$

– значение номинального тока I_{1d} , А

$$I_{1d\text{н}}^* = \sqrt{2} \times I_0^* = \sqrt{2} \times 4.589 = 6.49 \text{ A}$$

– значение номинального тока I_{1q} , А

$$I_{1q\text{н}}^* = \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1\phi \text{ н}}^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{11.6^2 - 4.589^2} = 15.07 \text{ A};$$

– максимально допустимое значение тока I_{1q}

$$I_{1q\text{ макс}}^* = \frac{M_{\text{эп макс}}}{\frac{3}{2} \times z_p \times \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \times Y_{2\text{н}}^*} = \frac{59.807}{\frac{3}{2} \times 2 \times \frac{0.138}{0.143} \times 0.893} = 23.263 \text{ A},$$

где $M_{\text{эп макс}} = 59.807 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – максимальный момент электропривода.

6.2 Оптимизация контуров регулирования САР электропривода

Основным воздействием на электропривод подъемника является управляющее воздействие. Оптимизация контуров регулирования электропривода по управляющему воздействию выполнена по методике, изложенной в учебном пособии [7].

6.2.1 Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 6.2. Контуров токов I_{1d} и I_{1q} идентичны.

Контур тока характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_{\gamma} = 0.005029$ с и двумя малыми постоянными времени в прямом канале $T_{мп} = T_{и} = 0.0000625$ с и в цепи обратной связи $T_{мо} = 0.000333$ с.

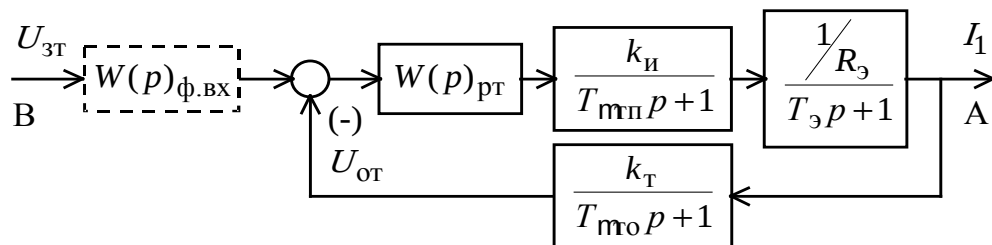


Рисунок 6.2 Структурная схема контура тока

В качестве регулятора тока принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

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

и настраиваем контур тока на модульный оптимум (МО):

$$k_{рт} = \frac{T_{\gamma} \times R_{\gamma}}{k_{и} \times k_{т} \times a_{т} \times T_{мэ}} = \frac{0.005029 \times 1,938}{31.11 \times 0.445 \times 2 \times 0.0003958} = 0.89$$

– коэффициент усиления регулятора тока,

где

$$T_{мэ} = T_{мп} + T_{мо} = 0.0000625 + 0.000333 = 0.0003958 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$k_T = \frac{U_{3T \text{ макс}}}{I_{1q \text{ макс}}} = \frac{10}{23,263} = 0.43 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

– коэффициент обратной связи по току;

$U_{3T \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания

на входе контура тока;

$a_T = 2$ – коэффициент оптимизации контура тока.

$T_{pt} = T_{\gamma} = 0.005029 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора тока

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет следующий вид

$$\begin{aligned} W(p)_{T \text{ зам}} &= \frac{\frac{1}{k_T} \times (T_{мо} \times p + 1)}{a_T T_{мп} T_{мо} T_{мэ} p^3 + a_T T_{мэ}^2 p^2 + a_T T_{мэ} p + 1} \gg \\ &\gg \frac{\frac{1}{k_T} \times (T_{мо} \times p + 1)}{a_T \times T_{мэ}^2 \times p^2 + a_T \times T_{мэ} \times p + 1} = \frac{\frac{1}{0.43} \times (0.000333 \times p + 1)}{3,1337 \times 10^{-7} \times p^2 + 7,9167 \times 10^{-4} \times p + 1}. \end{aligned}$$

Настройка контура тока близка к настройке на МО системы 2-го порядка.

Однако показатели качества работы оптимизированного контура тока по управлению зависят от отношения малых постоянных времени $T_{мп}$ и $T_{мо}$.

Поскольку контур тока является внутренним контуром, то для уменьшения перерегулирования в нем на входе контура устанавливаем сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(p)_{\Phi \text{ вх}} = \frac{1}{T_{\Phi \text{ вх}} \times p + 1},$$

постоянную времени которого выбираем из условия

$$T_{\Phi \text{ вх}} = T_{\Phi \text{ вх т}} = T_{мо} = 0.000333 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока с фильтром на входе имеет следующий вид:

$$W(p)_{\text{Т зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{Т}}}}{a_{\text{Т}} \times T_{\text{м\pi}} \times T_{\text{м\sigma}} \times T_{\text{м\epsilon}} \times p^3 + a_{\text{Т}} \times T_{\text{м\epsilon}}^2 \times p^2 + a_{\text{Т}} \times T_{\text{м\epsilon}} \times p + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_{\text{Т}}}}{a_{\text{Т}} \times T_{\text{м\epsilon}}^2 \times p^2 + a_{\text{Т}} \times T_{\text{м\epsilon}} \times p + 1} = \frac{\frac{1}{0.43}}{3,1337 \times 10^{-7} \times p^2 + 7,9167 \times 10^{-4} \times p + 1}.$$

Контур является астатической системой 1-го порядка по управлению и имеет следующие ожидаемые показатели качества работы по управлению:

– статическая ошибка, А,

$$DI_{\text{уст}} = 0;$$

– полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{\text{п}}^{(\phi)} = \omega_{\text{п}}^{(\text{м})} \gg \frac{0.71}{T_{\text{м\epsilon}}} = \frac{0.71}{0.0003958} = 1794,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

или

$$f_{\text{п}}^{(\phi)} = f_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{\omega_{\text{п}}^{(\phi)}}{2\pi} \gg \frac{1794.0}{2 \times 3.1415} = 285,47 \text{ Гц};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5% зону установившегося значения тока при отработке ступенчатого задания

$$s \gg 4.3\%,$$

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = t_{\text{пу2}}^{(5)} \gg 4.1 \times T_{\text{м\epsilon}} = 4.1 \times 0.0003958 = 0.001623 \text{ с}.$$

6.2.2 Оптимизация контура потокосцепления

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представим усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \gg \frac{\frac{1}{k_{\text{Т}}}}{T_{\text{Т}} \times p + 1},$$

где

$$T_T = a_T \times T_{m\gamma} = 2 \times 0.0003958 = 0.0007917 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 6.3.

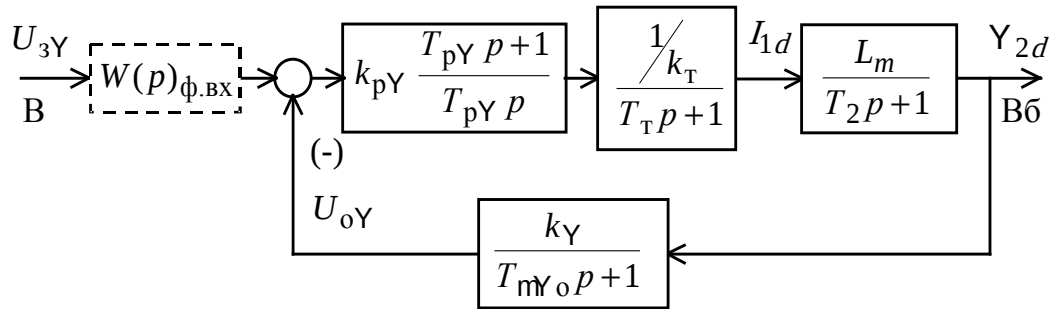


Рисунок 6.3 Структурная схема контура потокосцепления

Контур потокосцепления характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_2 = 0.144 \text{ с}$ и малыми постоянными времени в прямом канале $T_T = 0.0007917 \text{ с}$ и в цепи обратной связи $T_{m\gamma o} = 0.002667 \text{ с}$.

В качестве регулятора потокосцепления принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

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

и настраиваем контур потокосцепления на модульный оптимум:

$$T_{py} = T_2 = 0.144 \text{ с}$$

– постоянная времени регулятора потокосцепления;

$$k_{py} = \frac{T_2 \times k_T}{L_m \times k_Y} \times \frac{1}{a_Y \times T_{\mu Y \gamma}} = \frac{0.144 \times 0.43}{0.138 \times 1.203} \times \frac{1}{2 \times 0.003458} = 5.814$$

– коэффициент усиления регулятора потокосцепления,

где

$$T_{\mu Y \gamma} = T_T + T_{m\gamma o} = 0.0007917 + 0.002667 = 0.003458 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_Y = \frac{U_{3Y \text{ макс}}}{Y_{2H}} = \frac{10}{0.893} = 11.203 \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$$

– коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$U_{зу \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура потокосцепления;

$a_Y = 2$ – коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Передаточная функция замкнутого контура потокосцепления по управлению имеет следующий вид

$$W(p)_{Y \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_Y} \times (T_{m\gamma_0} \times p + 1)}{a_Y \times T_r \times T_{m\gamma_0} \times T_{m\gamma_3} \times p^3 + a_Y \times T_{m\gamma_3}^2 \times p^2 + a_Y \times T_{m\gamma_3} \times p + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_Y} \times (T_{m\gamma_0} \times p + 1)}{a_Y \times T_{m\gamma_3}^2 \times p^2 + a_Y \times T_{m\gamma_3} \times p + 1} = \frac{\frac{1}{11,203} \times (0,002667 \times p + 1)}{2,392 \times 10^{-5} \times p^2 + 0,0069167 \times p + 1},$$

Настройка контура близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур является астатической системой регулирования 1-го порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку, Вб

$$D Y_{\text{уст}} = 0.$$

В зависимости от соотношения малых постоянных времени в прямом канале $T_{m\gamma_{\Pi}}$ и в цепи обратной связи $T_{m\gamma_0}$ контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,71, 0,9)}{T_{\mu Y_3}} = \frac{(0,71, 0,9)}{0,003458} = (205,3, 260,241) \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

или

$$f_{\Pi}^{(M)} = \frac{\omega_{\Pi}^{(M)}}{2\pi} \gg \frac{(205,3, 260,241)}{2 \times 3,1415} = (32,675, 41,419) \text{ Гц};$$

– перерегулирование и время первого вхождения в 5 % зону установившегося значения потокосцепления при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$s = (4,3, 6,7) \%,$$

$$t_{\text{pyl}}^{(5)} = (4,1, 2,75) \times T_{m\gamma_3} = (4,1, 2,75) \times 0,003458 = (0,014, 0,00951) \text{ с}.$$

При полученных значениях перерегулирования в контуре потокосцепления установка на входе контура фильтра нецелесообразна.

6.2.3 Оптимизация контура скорости

При оптимизации контура скорости внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представим усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \gg \frac{1}{T_{\text{Т}} \times p + 1},$$

где

$$T_{\text{Т}} = a_{\text{Т}} \times T_{\text{мэ}} = 2 \times 0.0003958 = 0.0007917 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 6.4.

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{\text{рс}} = k_{\text{рс}} \times \frac{T_{\text{рс}} p + 1}{T_{\text{рс}} \times p}.$$

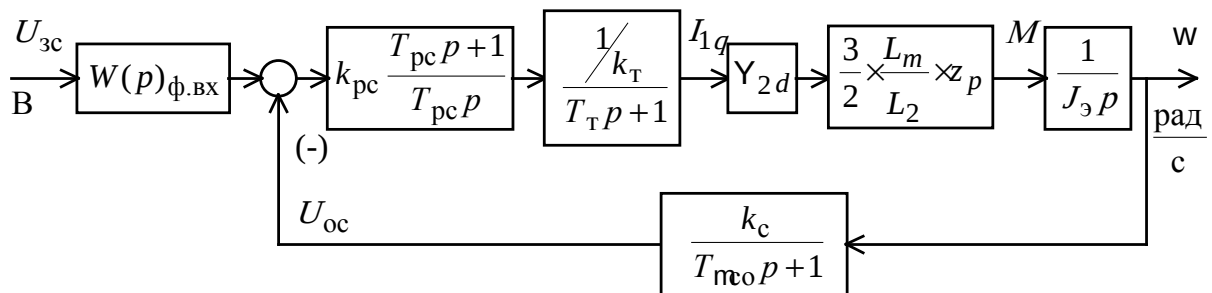


Рисунок 6.4 Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{pc} = \frac{(J_{э \text{ мин}} , J_{э \text{ макс}}) \times k_T}{Y_{2н} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times z_p \times k_c} \times \frac{1}{a_c \times T_{мэ}} =$$

$$= \frac{(0.377 , 1.581) \times 0.43}{0.893 \times \frac{3}{2} \times \frac{0.138}{0.143} \times 2 \times 0.067} \times \frac{1}{2 \times 0.004125} = 114.416 , 479.849 ;$$

$$T_{pc} = b_c \times a_c \times T_{мэ} = 2 \times 2 \times 0.004125 = 0.017 \text{ с} ,$$

где

$$T_{мэ} = T_T + T_{мзо} = 0.0007917 + 0.00333 = 0.004125 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_c = \frac{U_{зс \text{ макс}}}{W_{эп \text{ макс}}} = \frac{10}{149.749} = 0.067 \frac{\text{В} \times}{\text{рад}}$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$W_{эп \text{ макс}} = W_{дв.н} = 149.749 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – принятое максимальное значение скорости}$$

электропривода;

$U_{зс \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура скорости;

$b_c = a_c = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости.

На вход контура скорости устанавливаем два сглаживающий фильтра с передаточными функциями вида:

$$W(p)_{ф.вх} = \frac{1}{T_{ф.вх} \times p + 1}$$

и постоянными времени, соответственно, равными:

$$T_{ф.вх} = T_{ф.вх1} = b_c \times a_c \times T_{мсэ} = 2 \times 2 \times 0.004125 = 0.017 \text{ с} ,$$

$$T_{ф.вх} = T_{ф.вх2} = T_{мзо} = 0.00333 \text{ с} ,$$

Контур скорости с адаптивным ПИ-регулятором ($k_{pc} = f(J_э)$) имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{с раз}} = \frac{b_c \times a_c \times T_{\text{мэ}} \times p + 1}{b_c \times a_c^2 \times T_{\text{т}} \times T_{\text{мэ}} \times T_{\text{мэ}}^2 \times p^4 + b_c \times a_c^2 \times T_{\text{мэ}}^3 \times p^3 + b_c \times a_c^2 \times T_{\text{мэ}}^2 \times p^2} =$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{с зам}} = \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c a_c^2 T_{\text{т}} T_{\text{мэ}} T_{\text{мэ}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэ}} p + 1} \gg \frac{\frac{1}{k_c}}{b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэ}} p + 1} = \frac{14.975}{5.61516 \times 10^{-7} \times p^3 + 1.36125 \times 10^{-4} \times p^2 + 0.0165 \times p + 1}.$$

Настройка контура скорости с двумя фильтрами на входе близка к точной настройке на МО системы 3-го порядка. Контур скорости представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению и обеспечивает точную отработку заданного значения скорости. Показатели качества работы оптимизированного контура скорости по управлению мало зависят от соотношения малых постоянных времени $T_{\text{мп}} = T_{\text{т}}$ и $T_{\text{мэ}}$. Предварительно принимаем следующие значения качественных показателей работы контура скорости:

– статическая ошибка при постоянном значении задающего сигнала $U_{\text{зс}}$, рад/с,

$$Dw_{\text{уст}} = 0;$$

– скоростная ошибка при линейно изменяющемся входном сигнале $U_{\text{зс}}(t)$

$$Dw_{\text{ск}} = \frac{b_c a_c T_{\text{мэ}}}{k_c} \times \frac{dU_{\text{зс}}}{dt} \div \ddot{\varnothing} = b_c a_c T_{\text{мэ}} \times \frac{dw}{dt} \div \ddot{\varnothing}_{\text{зад}} = 0.0165 \times \frac{dw}{dt} \div \ddot{\varnothing}_{\text{зад}};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$w_{\text{п}}^{(\text{м})} \gg \frac{0.5}{T_{\text{мэ}}} = \frac{0.5}{0.004125} = 121.212, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{w_{\text{п}}^{(\text{м})}}{2\pi} \gg \frac{121.212}{2 \times 3.1415} = 19.292 \text{ Гц},$$

$$w_n^{(\phi)} \gg \frac{0.36}{T_{\text{мэ}}} = \frac{0.36}{0.004125} = 87.273, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_n^{(\phi)} = \frac{w_n^{(\phi)}}{2\pi} \gg \frac{87.273}{2 \times 3.1415} = 13.89 \text{ Гц};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону установившегося значения скорости при отработке скачка задания

$$s \gg 8.1\%;$$

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} \gg 7.0 \times T_{\text{мэ}} = 7 \times 0.004125 = 0.029 \text{ с};$$

$$t_{\text{пу2}}^{(5)} \gg 12.0 \times T_{\text{мэ}} = 12 \times 0.0041252 = 0.05 \text{ с}.$$

ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕБЕДКИ КАРОТАЖНОГО ПОДЪЕМНИКА

Электропривод каротажной лебёдки работает с постоянным потокосцеплением, равным номинальному значению $\Psi_{2н}$, в длительном режиме с переменной нагрузкой, регулированием скорости и режимами пуска и торможения. Электропривод каротажной лебёдки требует обеспечения плавности переходных процессов в электроприводе. Для ограничения ускорения (замедления) и рывка на входе регулируемого электропривода предусматриваем установку S-образного задатчика скорости.

С учетом отмеченных особенностей работы электропривода наметим следующие задачи имитационных исследований контуров регулируемого электропривода:

– в контуре потокосцепления статическая ошибка по управлению равна нулю, поэтому оценим только характер переходного процесса и время переходного процесса при отработке ступенчатого задания номинального значения потокосцепления и;

– в контуре скорости с ПИ-регулятором статические ошибки по управлению и возмущению равны нулю. Поэтому в процессе имитационных исследований

произведем выбор параметров настройки регулятора скорости и оценим работу электропривода в режиме регулирования скорости и в пусковых и тормозных режимах.

7.1 Структурная схеманелинейной САУ РЭП лебедки каротажного подъемника

Учтем следующие основные нелинейности элементов структурной схемы.

- насыщение регулятора скорости, принимаем $U_{рс\ макс} = 10\ В$;
- насыщение регулятора тока, принимаем $U_{рт\ макс} = 10\ В$;
- ограничение напряжения на выходе инвертора $E_{и\ макс} = 201.7\ В$;
- реактивный характер момента трения $DM_c(w) = DM_c \times sign\ w$.
- насыщение регулятора потокосцепления, принимаем $U_{р\psi\ макс} = 10\ В$;

Структурная схема приведена на рисунке 7.1. Параметры элементов структурной схемы сведены в таблице 7.1.

По структурной схеме в программной среде MatLab набирается имитационная модель, представленная на рисунке 7.2.

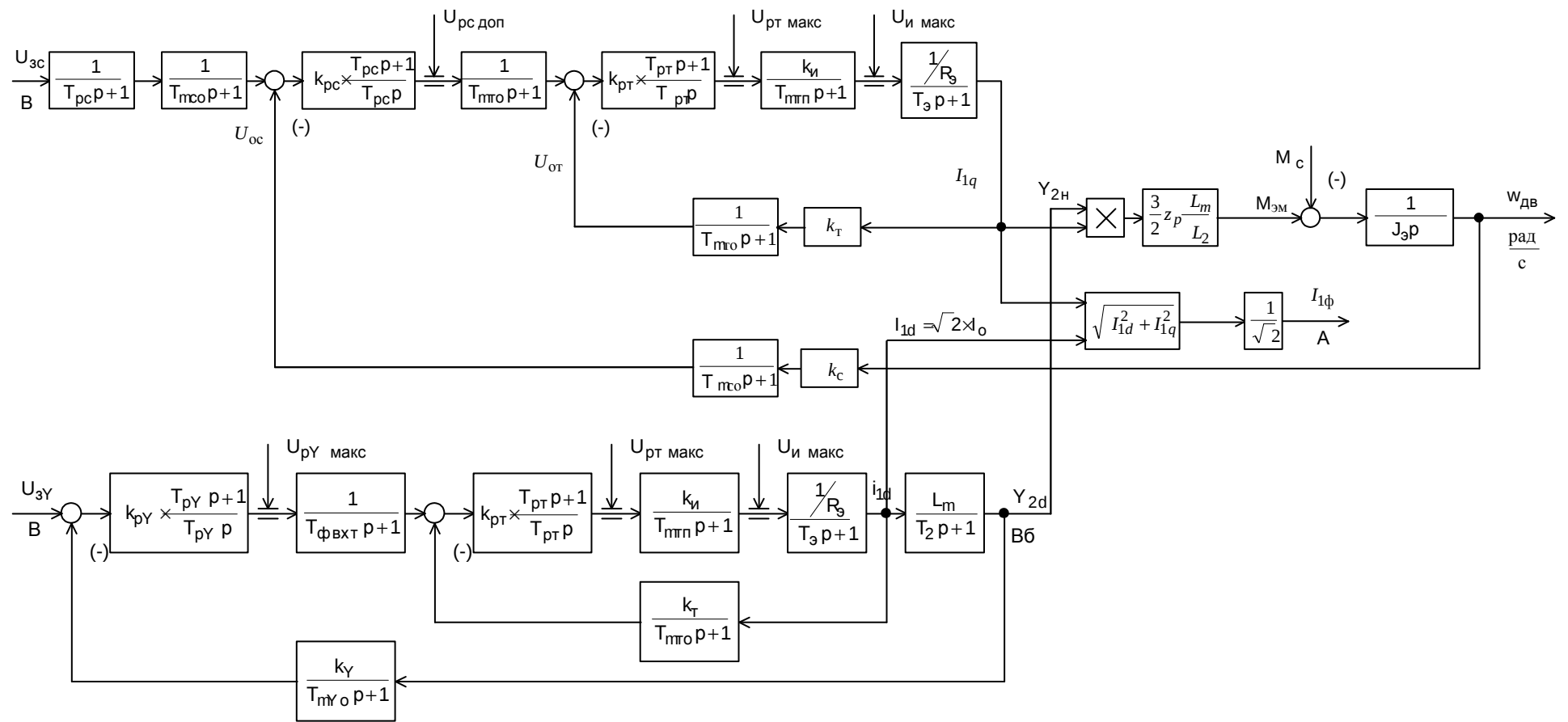


Рисунок 7.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП подъемника каротажной лебедки.

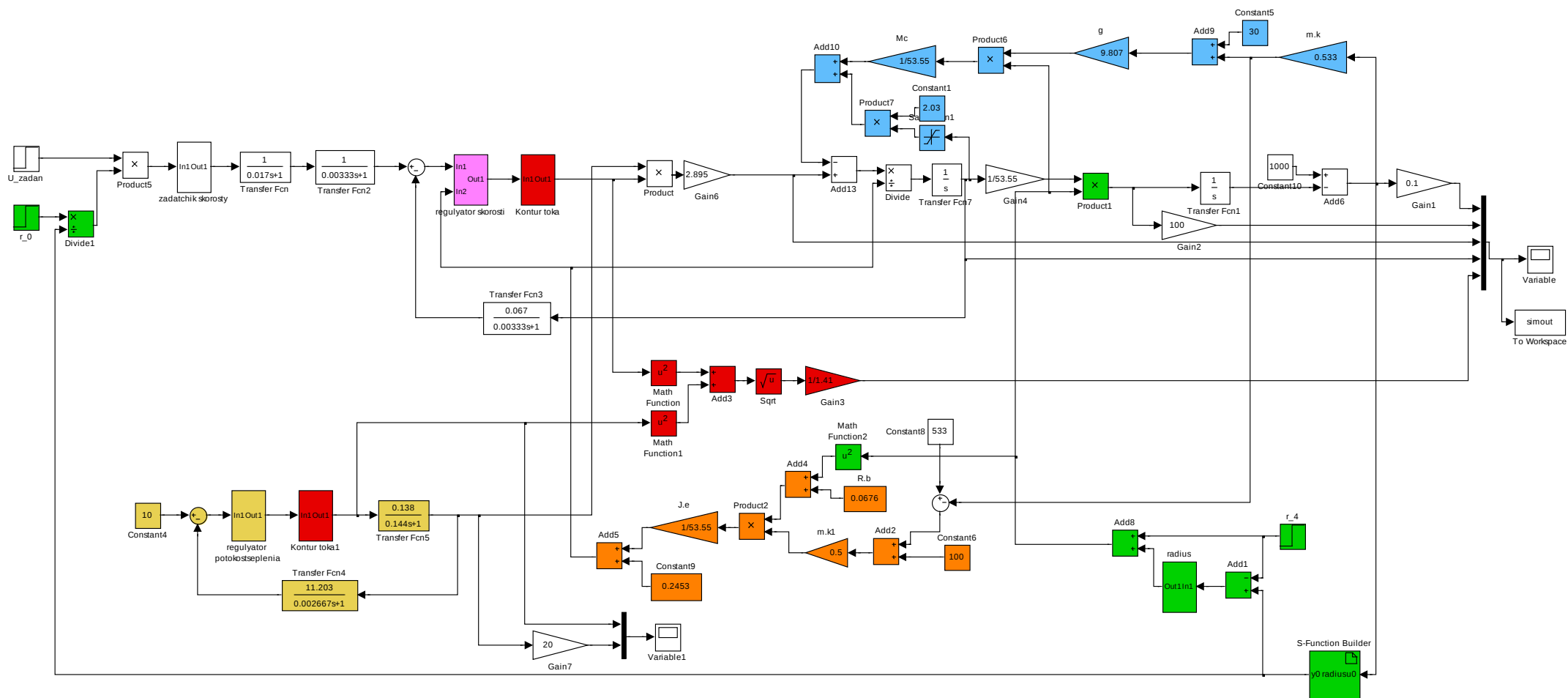


Рисунок 7.2 Схема набора имитационной модели РЭП подъемника каротажной лебедки.

В состав имитационной модели рисунке 7.2 входят суперблоки:

- контура тока (рисунок 7.3);
- регулятора тока (рисунок 7.4);
- адаптивного регулятора скорости (рисунок 7.5);
- регулятора потокосцепления (рисунок 7.6).

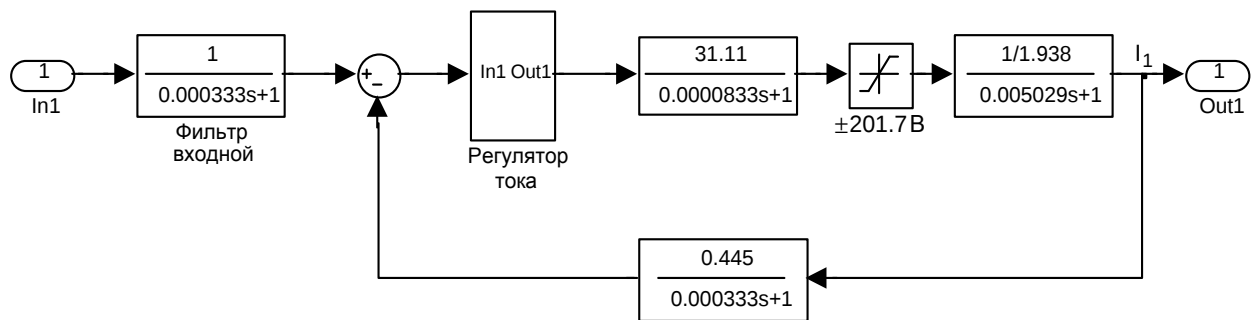


Рисунок 7.3 Схема набора имитационной модели контура тока

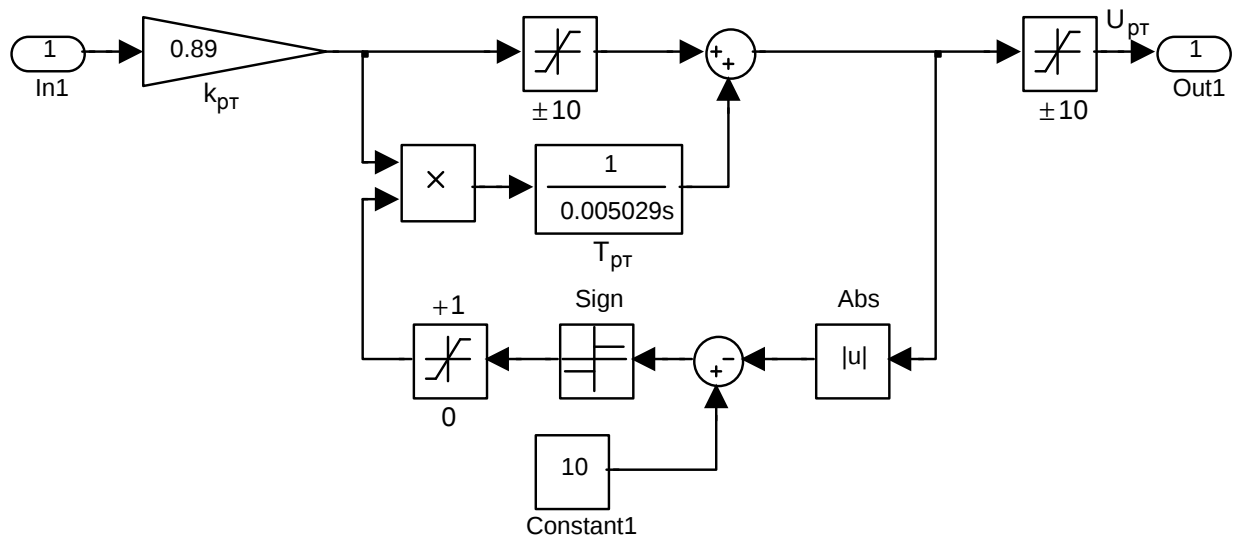


Рисунок 7.4 Схема набора имитационной модели регулятора тока

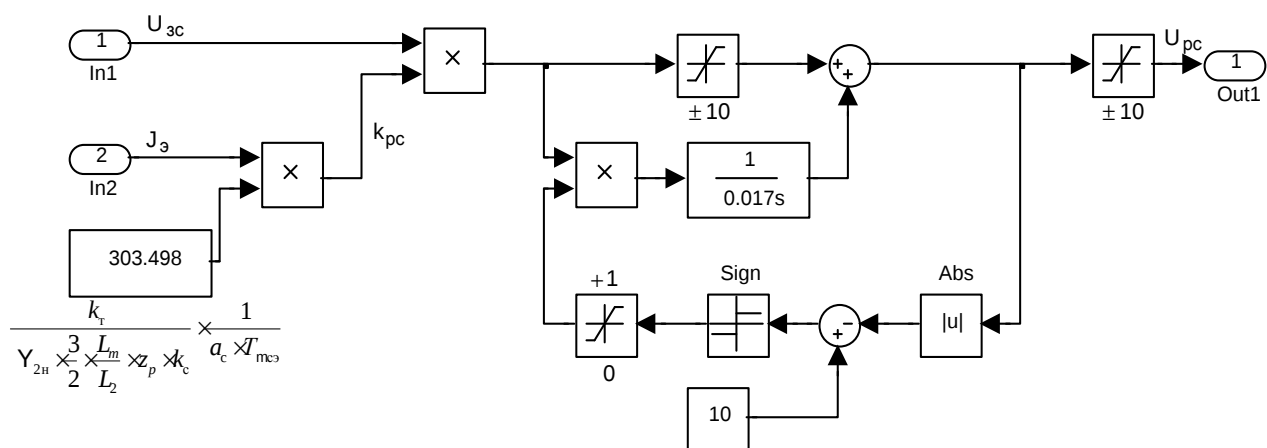


Рисунок 7.5 Схема набора имитационной модели адаптивного регулятора скорости

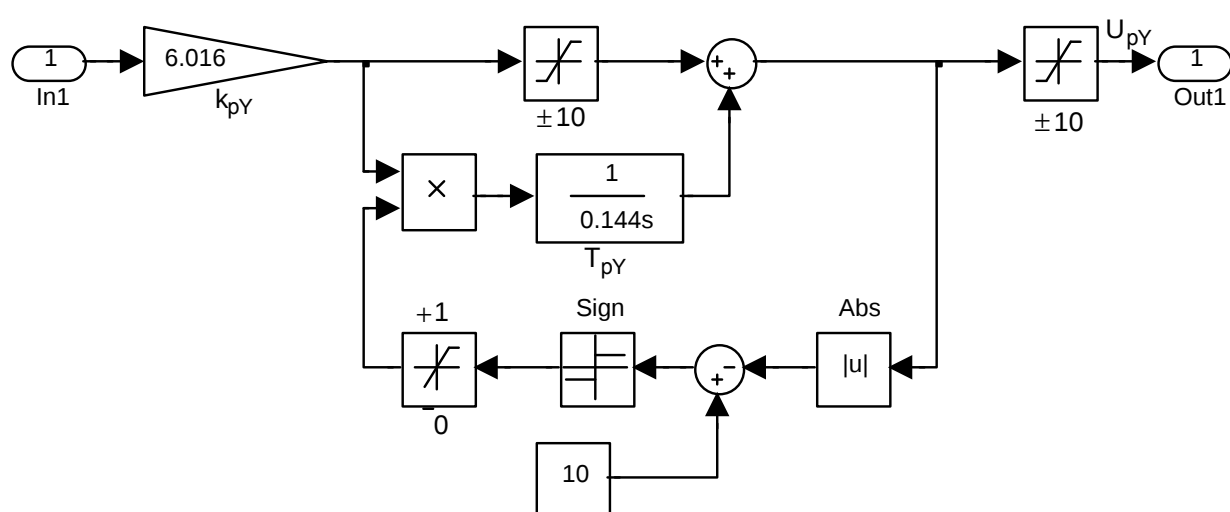


Рисунок 7.6 Схема набора имитационной модели регулятора потокосцепления

Таблица 7.1 Параметры элементов структурной схемы

$T_{\phi \text{ ВХ1}},$ с	$T_{\phi \text{ ВХ2}},$ с	$k_{\text{рс}}^*$	$T_{\text{рс}},$ с	$k_{\text{с}}, \frac{\text{В} \times \text{с}}{\text{рад}}$	$T_{\text{м0}},$ с	$T_{\phi \text{ ВХ3}},$ с	$k_{\text{рт}}$	$T_{\text{рт}},$ с	$k_{\text{т}}, \frac{\text{В}}{\text{А}}$	$T_{\text{м0}},$ с	$k_{\text{и}}$
0.017	0.00333	114.42–479.85	0.017	0.067	0.003333	0.000333	0.921	0.005029	0.43	0.0003333	31.11

Продолжение таблицы 7.1

$T_{\text{мп}},$ с	$R_{\text{э}},$ Ом	$T_{\text{э}},$ с	$\gamma_{2dH},$ Вб	$L_m,$ Гн	$L_2,$ Гн	z_p	$J_{\text{э}}^*,$ кг $\times$ м ²	$\omega_{\text{макс}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$I_{1q\text{макс}},$ А	$U_{\text{рег.макс}},$ В	$U_{\text{и макс}},$ В
0.0000625	0.938	0.005029	0.893	0.138	0.143	2	0.377–1.581	149.749	23.263	± 10	± 201.723

Продолжение таблицы 7.1

$U_{3Y},$ В	k_{pY}	$T_{pY},$ с	$k_Y, \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$	$T_{mY0},$ с	$T_2,$ с	$\gamma_{2dH},$ Вб	$U_{pY \text{ макс}},$ В	$U_{\text{рт макс}},$ В
10	5.814	0.144	11.203	0.002667	0.144	0.893	± 10	± 10

7.2 Программа имитационных исследований контура потокосцепления

Программа имитационных исследований контура потокоцепления включает в себя оценку процесса формирования номинального значения потокоцепления двигателя. Структурная схема контура потокоцепления приведена на рисунке 7.7.

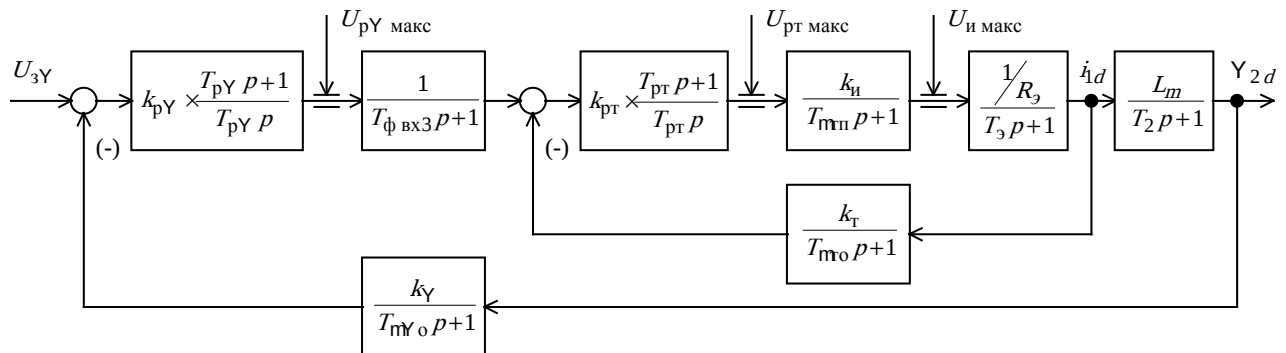


Рисунок 7.7 Структурная схема контура регулирования потокосцепления

По структурной схеме (рисунок 7.7) набирается имитационная модель контура потокоscепления, приведенная на рисунке 7.8. В состав имитационной модели входят суперблоки:

- контура тока (рисунок 7.3);
- регулятора тока (рисунок 7.4);
- регулятора потокосцепления (рисунок 7.6).

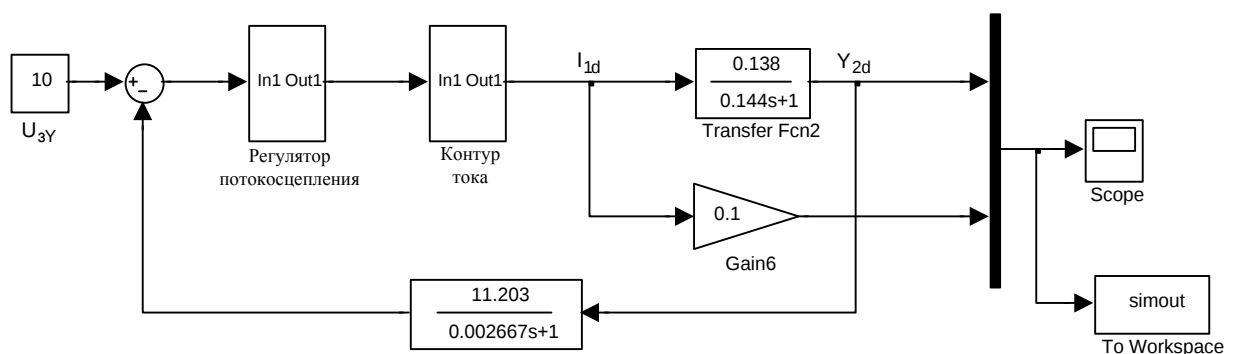


Рисунок 7.8 Схема набора имитационной модели контура потокосцепления

На рисунке 7.9 приведены временные диаграммы изменения тока намагничивания $I_{1d}(t)$ и потокосцепления $Y_{2d}(t)$ при ступенчатом задании управления на входе контура $U_{3Y} = 10 \text{ В}$.

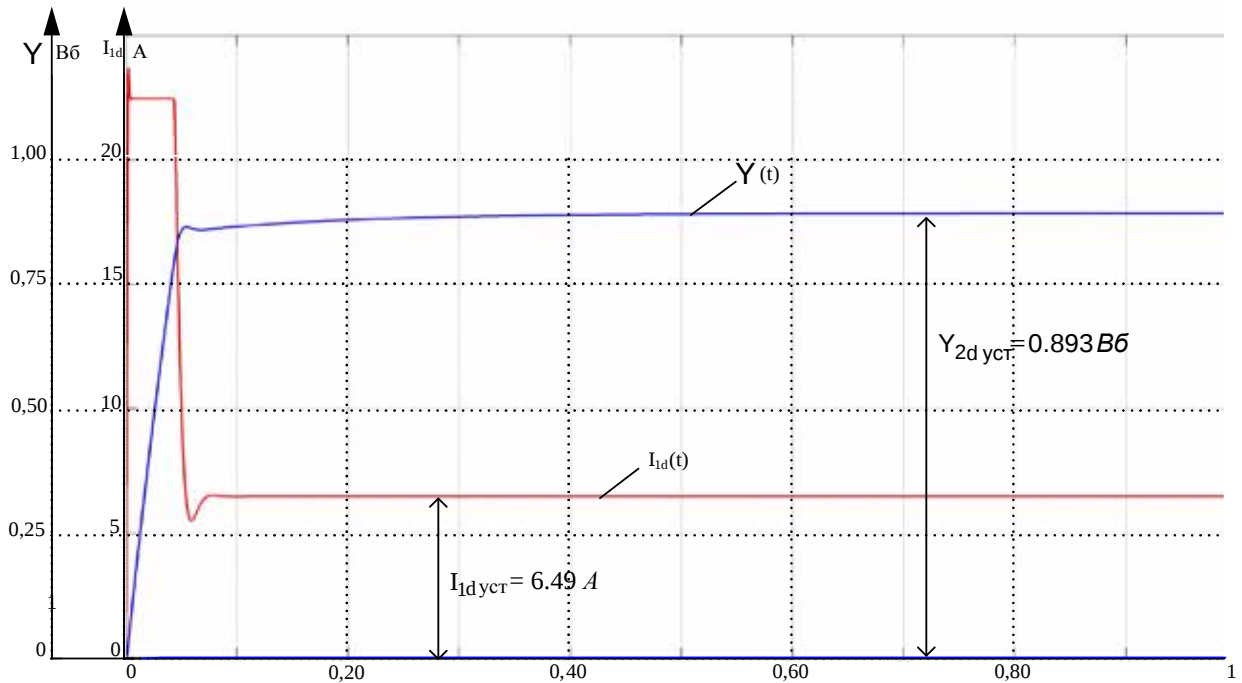


Рисунок 7.9 Переходные процессы в контуре потокосцепления при $U_{3Y} = 10 \text{ В}$

Процесс формирования потокосцепления двигателя характеризуется следующими количественными показателями:

- установившееся значение потокосцепления $Y_{2d} = Y_{2н} = 0.893 \text{ Вб}$;
- статическая ошибка отработки заданного значения потокосцепления $DY_{уст} = 0$;
- время достижения значения $0.95 \times Y_{2d \text{ уст}} t_1^{(5)} = 0.048 \text{ с}$.

Внутренний контур тока обеспечивает ограничение максимального значения тока на уровне $I_{1d \text{ макс}} = I_{1q \text{ макс}} = 23.263 \text{ А}$ и установившееся значение тока равно $I_{1d \text{ уст}} = \sqrt{2} \times I_0 = \sqrt{2} \times 4.589 = 6.49 \text{ А}$.

7.3 Задатчик интенсивности скорости

Для обеспечения требуемой повышенной плавности движения с ограниченными значениями ускорения и рывка (второй производной скорости). С этой целью на входе регулируемого электропривода установлен S-образный задатчик скорости, формирующий на входе контура скорости управляющие сигналы с ограниченными значениями первой и второй производными. [7] Форма выходного сигнала задатчика скорости представлена на рисунке 7.10. Схема набора имитационной модели S-образного задатчика скорости приведена на рисунке 7.11.

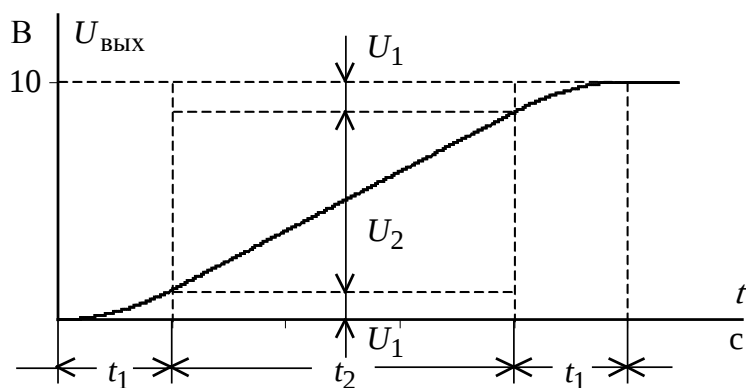


Рисунок 7.10 Временная характеристика S-образного задатчика скорости

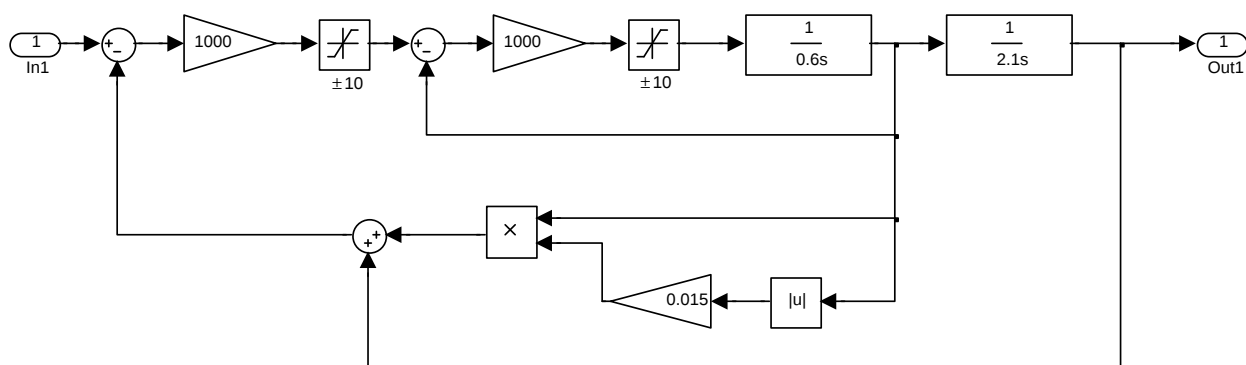


Рисунок 7.11 Схема набора имитационной модели задатчика скорости

Настройка задатчика интенсивности скорости осуществлена из условия времени пуска привода на максимальную скорость, соответствующую максимальной скорости $V_{\text{макс}} = 0.75 \text{ м/с}$,

$$t_2 + 2t_1 = 3.3 \text{ с.}$$

Интервалы времени сглаживания (t_1) приняты равными 0.6 секунды, тогда $t_2 = 2.1 \text{ с.}$

Параметры настройки задатчика интенсивности скорости:

$$T_{\text{н1}} = t_1 = 0.6 \text{ с}; \quad T_{\text{н2}} = t_2 + t_1 = 2.1 + 0.6 = 2.7 \text{ с};$$

$$k = 0.05 \times \frac{t_1}{t_2 + t_1} = 0.05 \times \frac{0.6}{2.1 + 0.6} = 0.015.$$

7.4 Имитационные исследования переходных процессов САУ РЭП каротажной лебедки

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

Исследования сводились к проверке работы САУ РЭП в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях сигнала управления;
- реверс на максимальной скорости;
- изменение радиуса навивки при переходе кабеля на барабане с витка на виток;
- наброс нагрузки, имитирующий заклинивание прибора в скважине;
- остановка электропривода.

Результаты исследований на имитационной модели приведены на рисунках 7.12 – 7.23.

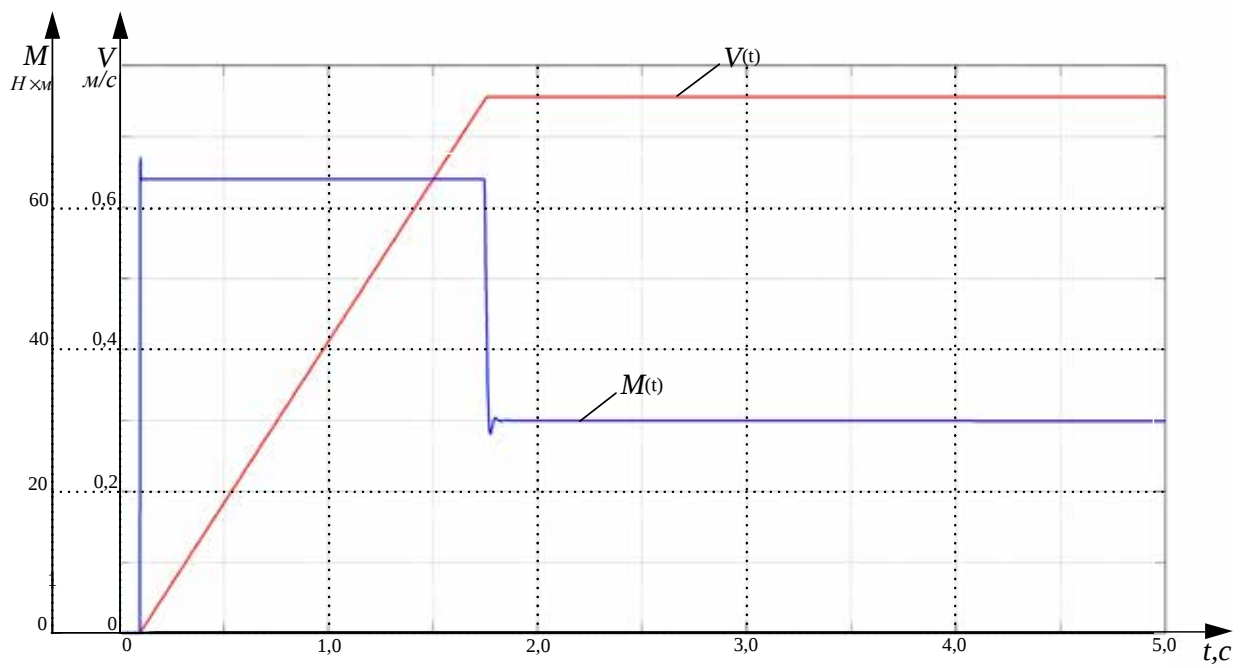


Рисунок 7.12 Пуск на максимальную скорость без задатчика интенсивности

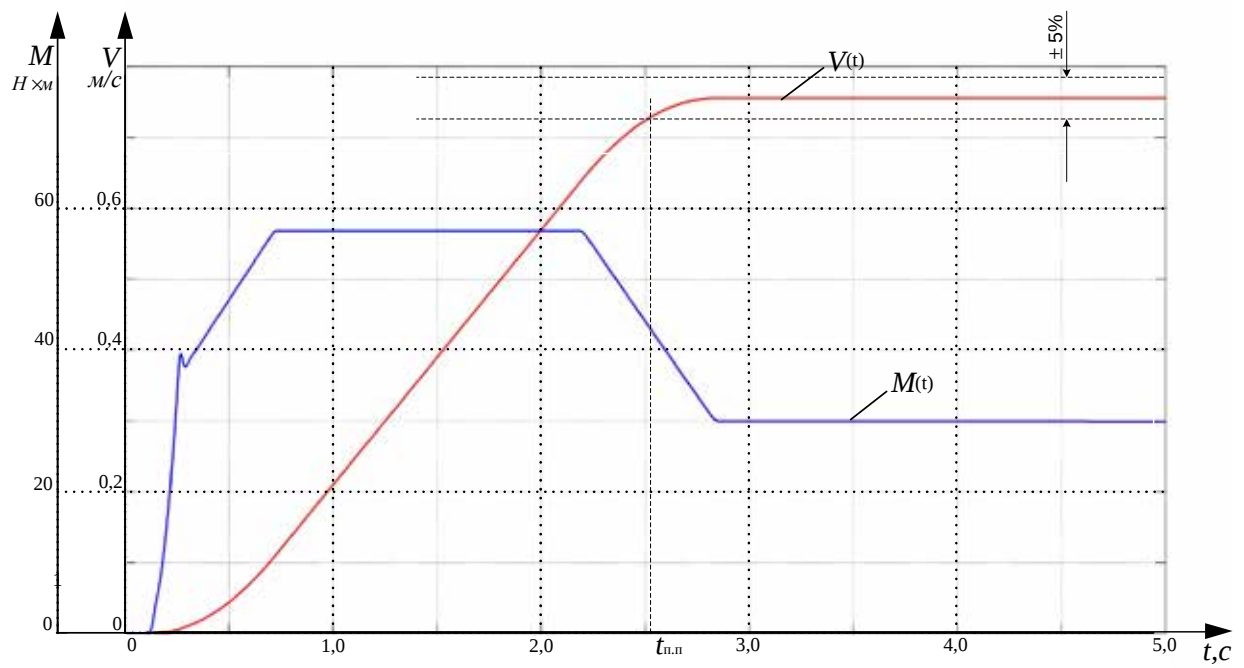


Рисунок 7.13 Пуск на максимальную скорость с задатчиком интенсивности

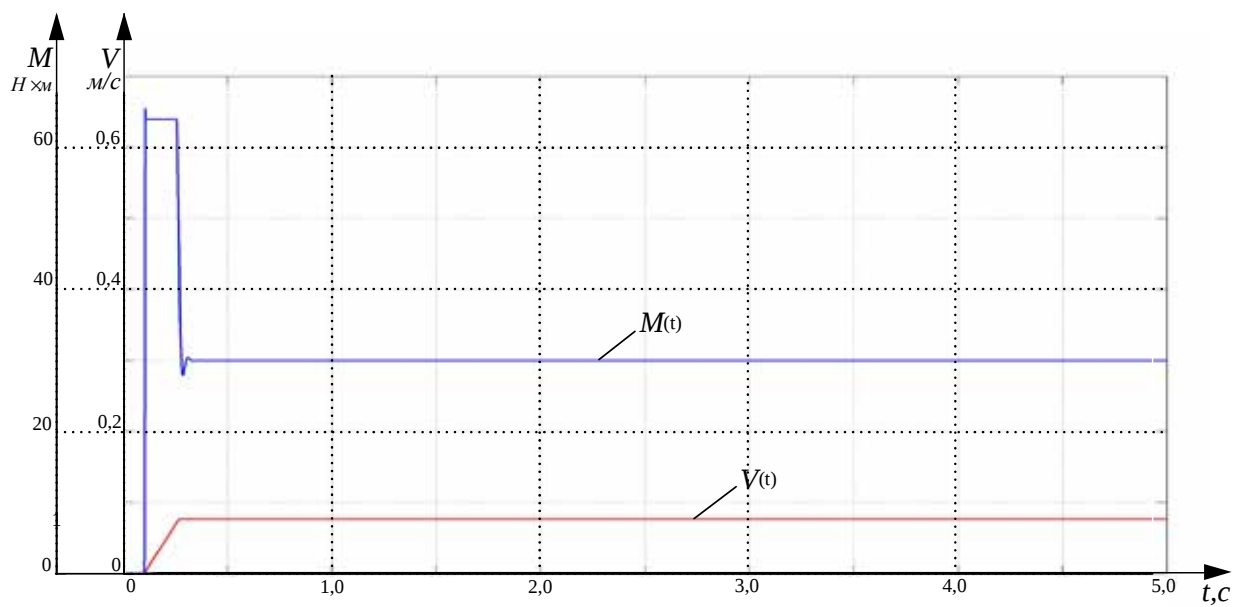


Рисунок 7.14 Пуск на скорость $0.1 \cdot V_{max}$ без задатчика интенсивности

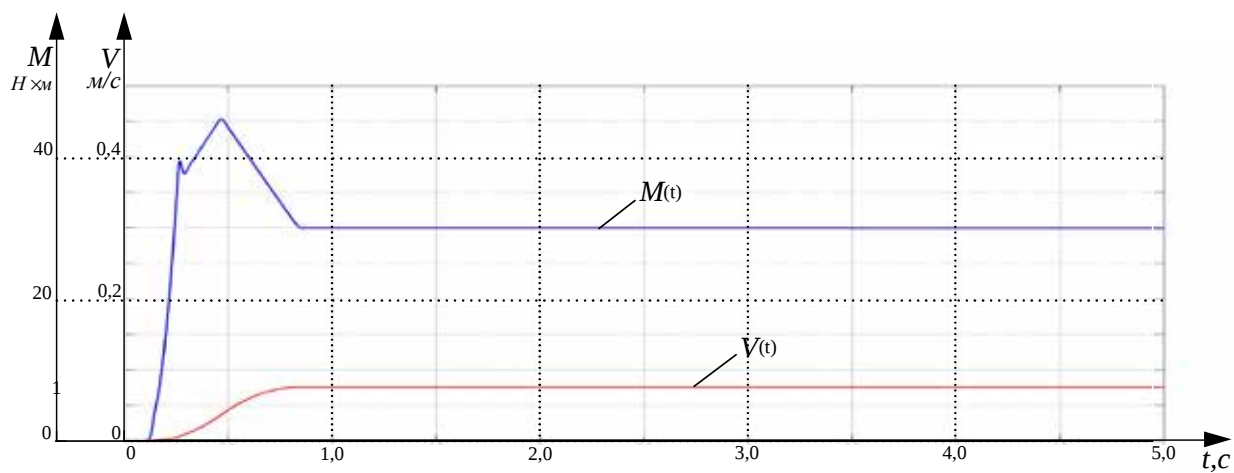


Рисунок 7.15 Пуск на скорость $0.1 \cdot V_{max}$ с задатчиком интенсивности

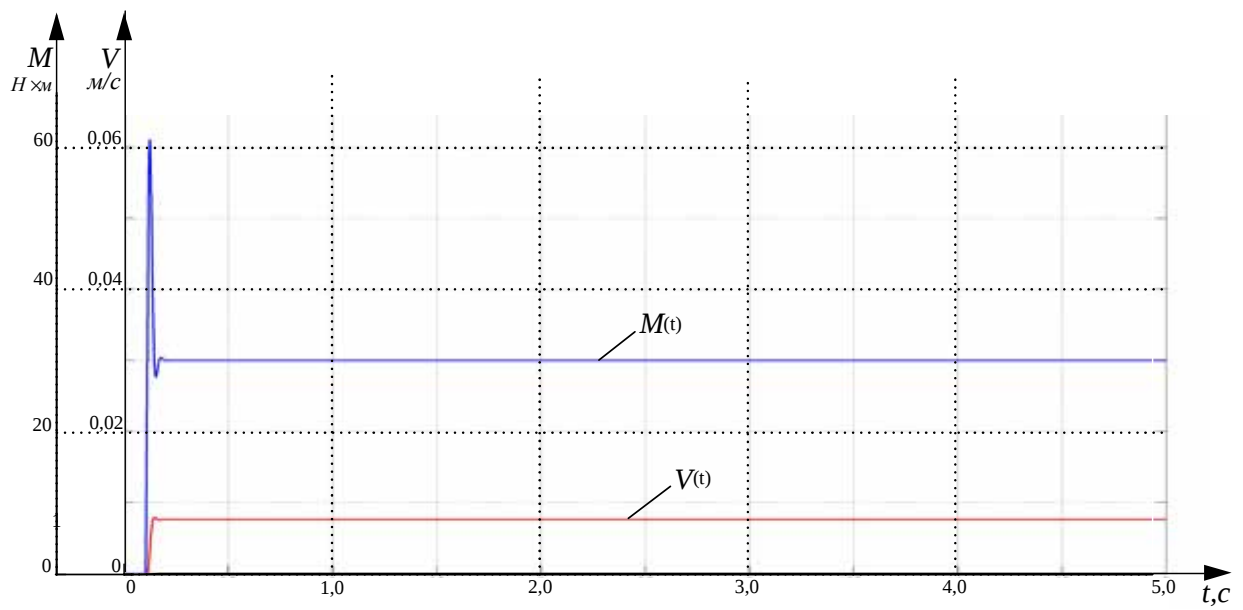


Рисунок 7.16 Пуск на минимальную скорость ($0.01 \cdot V_{max}$) без задатчика интенсивности

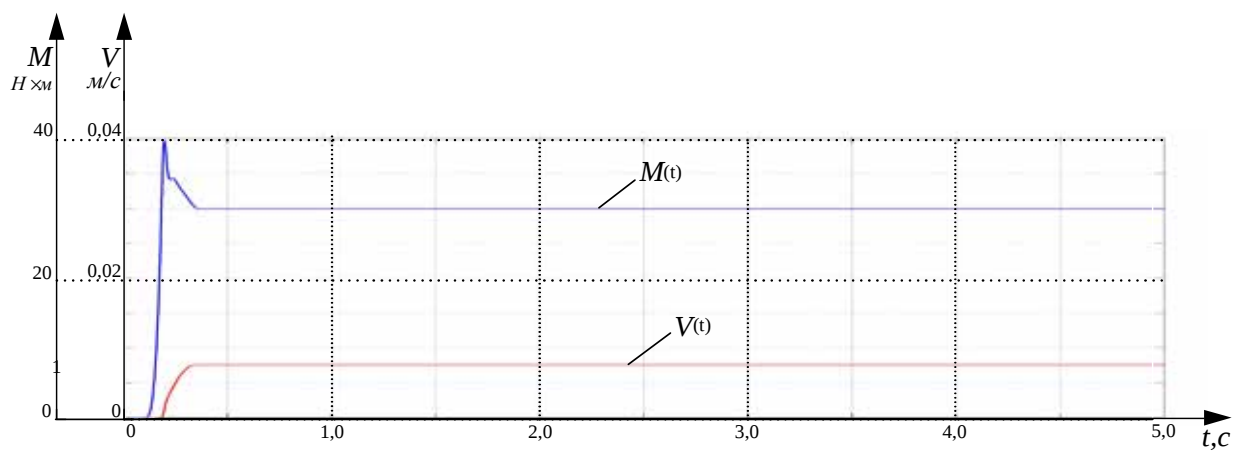


Рисунок 7.17 Пуск на минимальную скорость ($0.01 \cdot V_{max}$) с задатчиком интенсивности

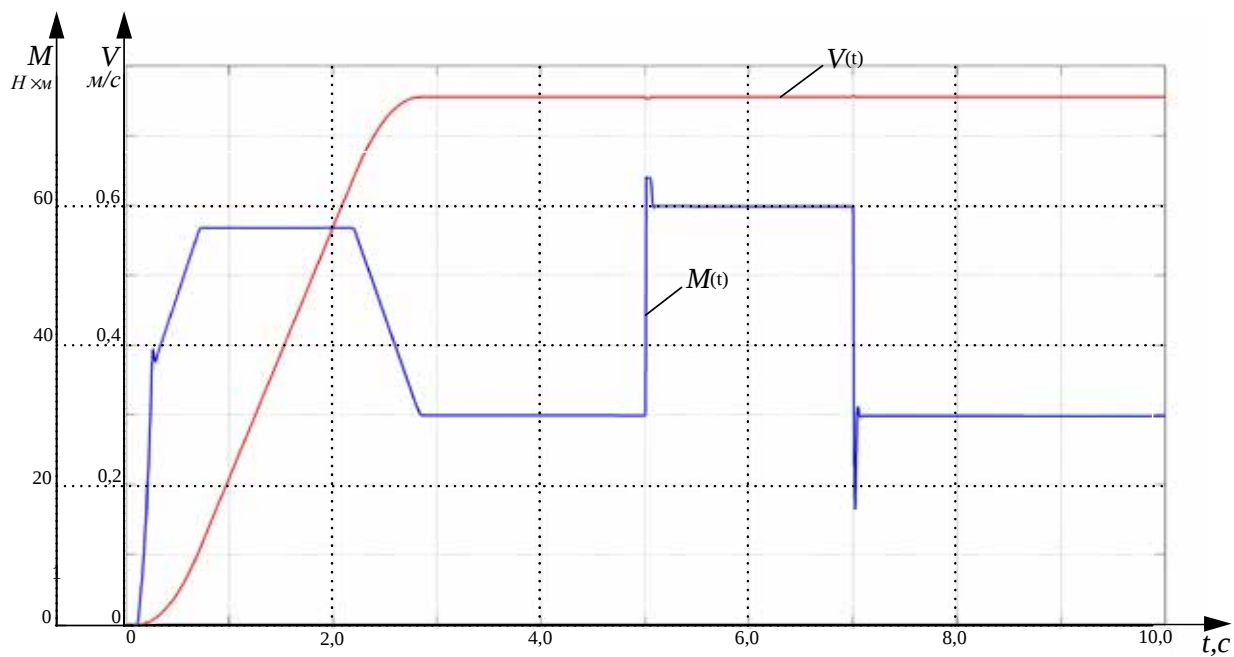


Рисунок 7.18 Наброс нагрузки ($2 \cdot M_{с.макс}$ имитация "подклина" прибора) на максимальной скорости с задатчиком интенсивности

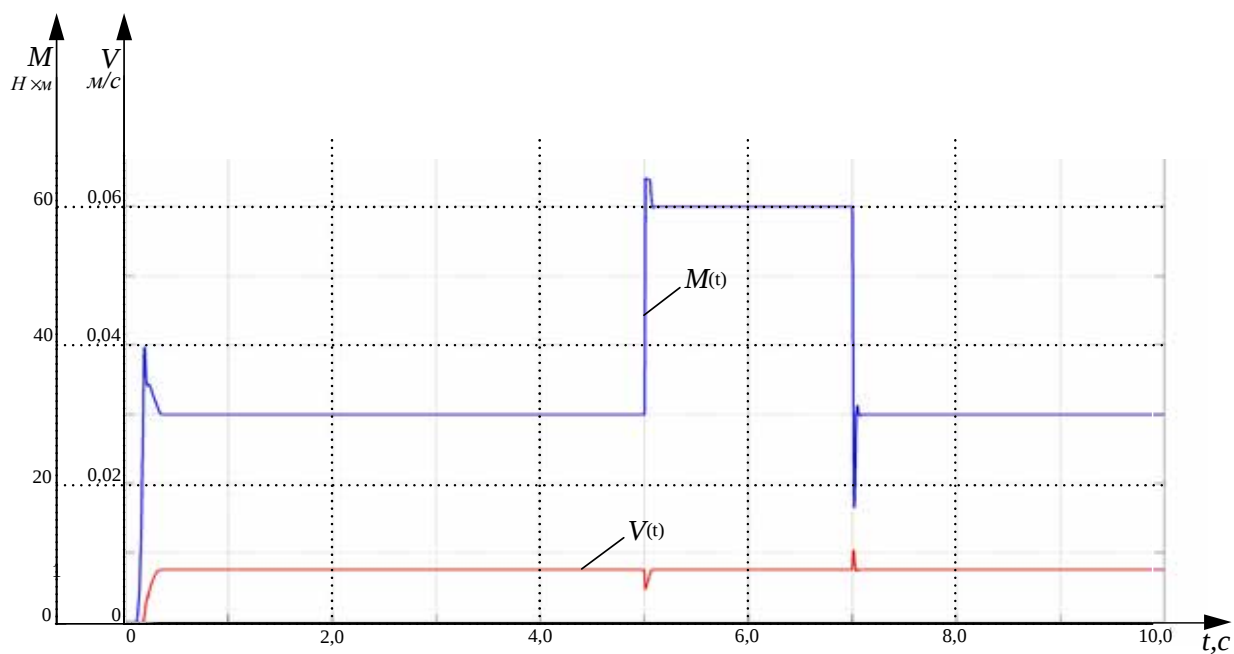


Рисунок 7.19 Наброс нагрузки ($2 \cdot M_{с.макс}$ имитация "подклина" прибора) на минимальной скорости с задатчиком интенсивности

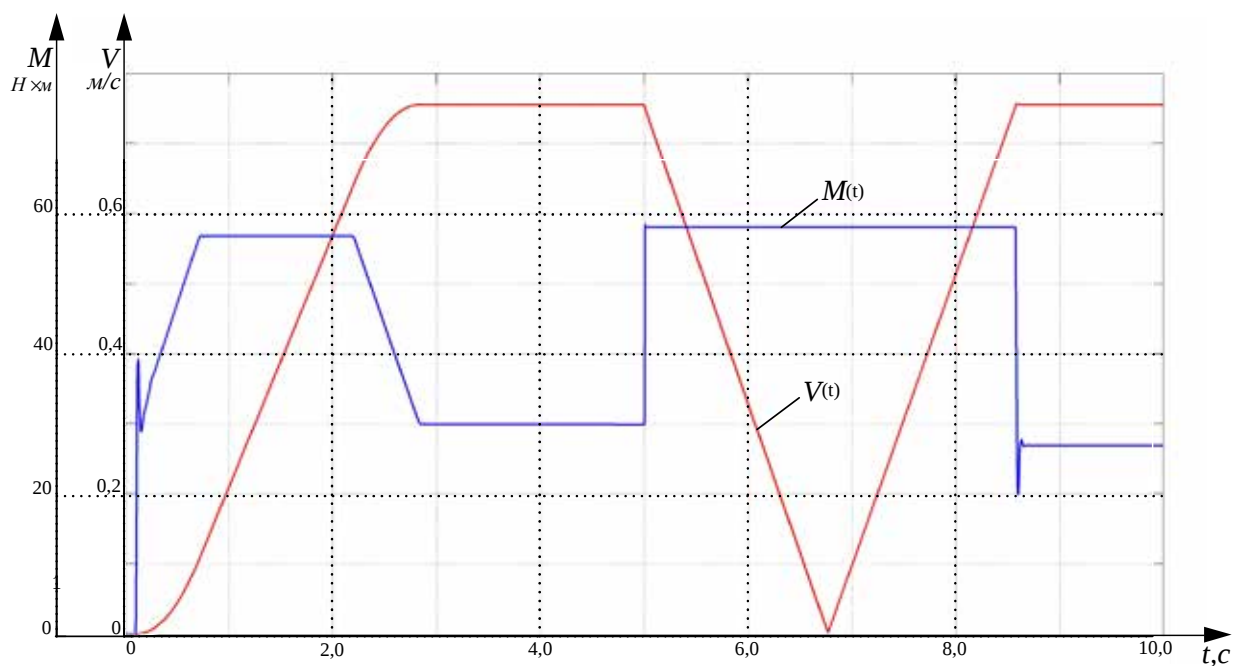


Рисунок 7.20 Наброс нагрузки ($3 \cdot M_{с.макс}$ имитация "подклина" прибора и обрыва кабеля) на максимальной скорости с задатчиком интенсивности

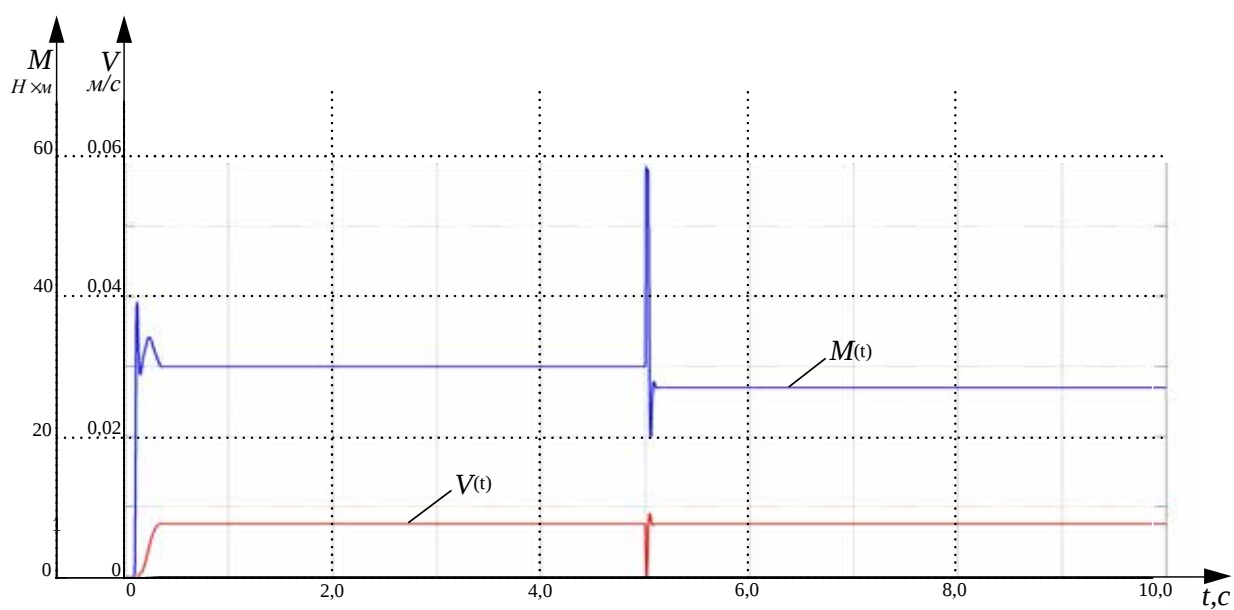


Рисунок 7.21 Наброс нагрузки ($3 \cdot M_{с.макс}$ имитация "подклина" прибора и обрыва кабеля) на минимальной скорости с задатчиком интенсивности

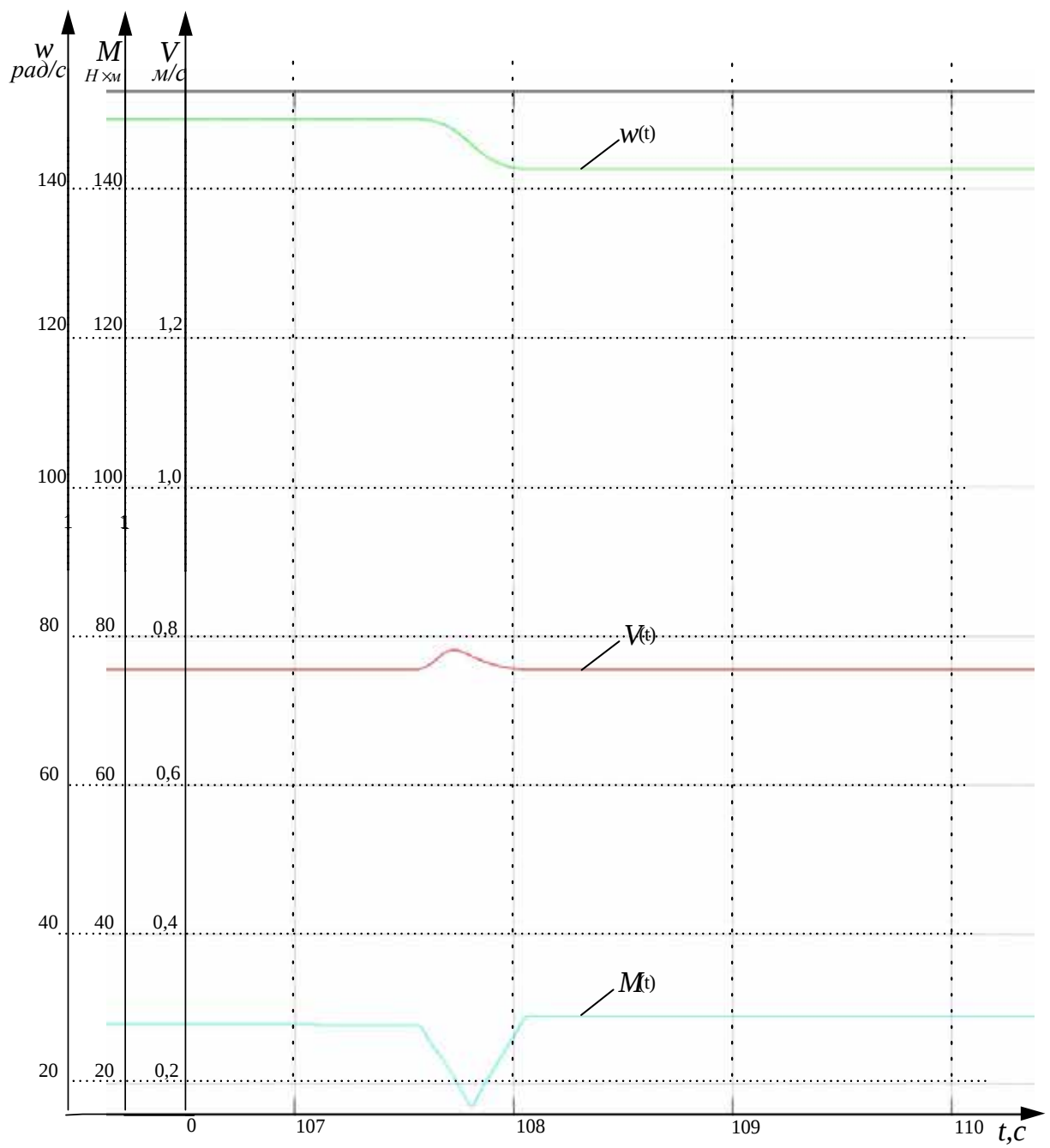


Рисунок 7.22 Переходные процессы при переходе с витка на виток на максимальной скорости с задатчиком интенсивности

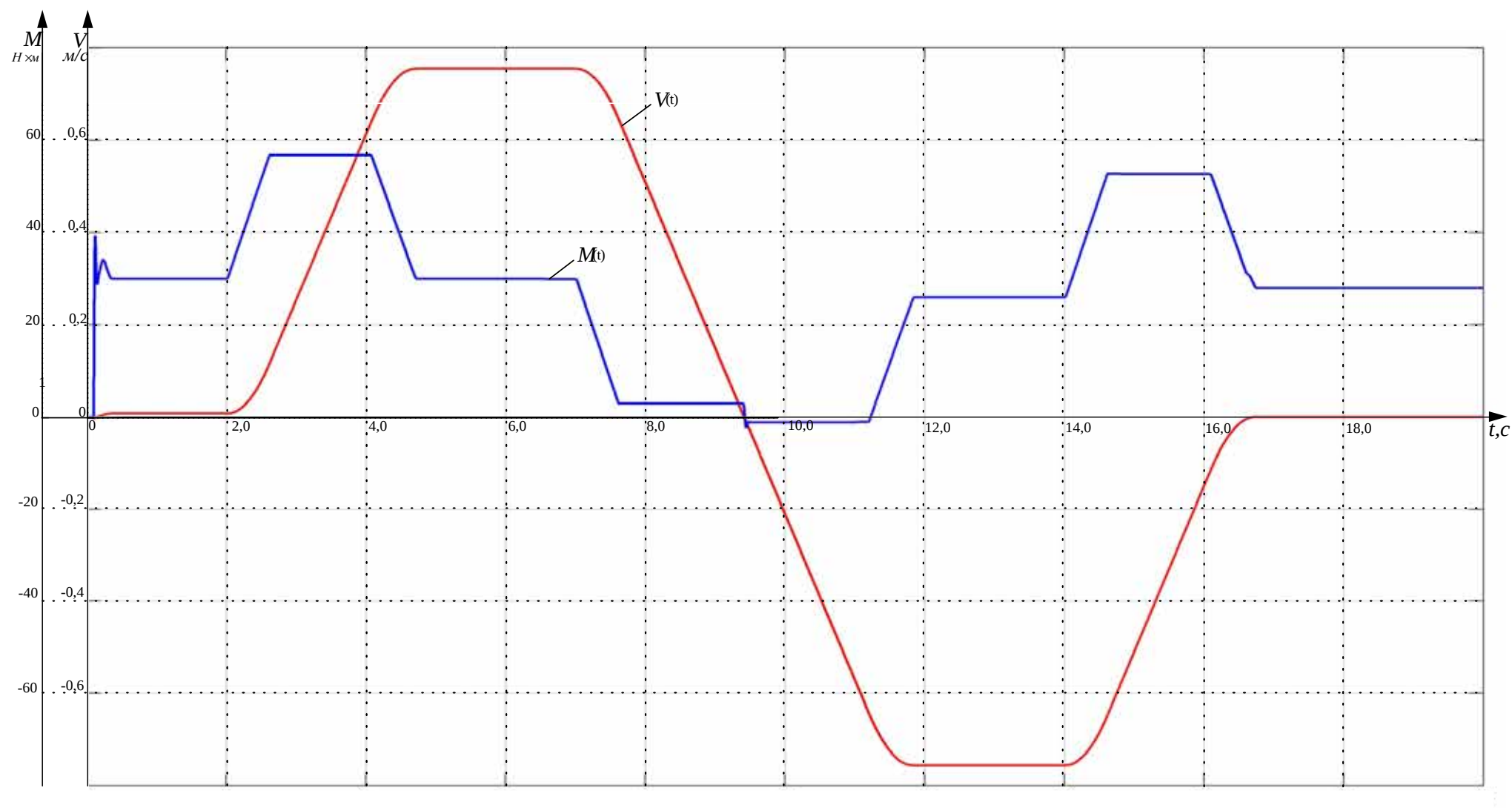


Рисунок 7.23 Пуск на минимальную скорость разгон до максимальной, реверс, торможение.

Выводы:

Динамические показатели качества работы РЭП во всём диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

Для ограничения ускорения (замедления) и рывка на входе регулируемого электропривода предусмотрена установка S-образного задатчика скорости.

Время пуска электропривода до максимальной рабочей скорости 2.75с. Перерегулирование скорости практически отсутствует.

Динамический провал (всплеск) скорости при набросе (сбросе) нагрузки на минимальной скорости составляет 21,6%, время отработки возмущающего воздействия составляет 0,08с.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Турматову Баходиру Бахтиёр угли

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

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	"Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 100 рабочих дня.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и 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. Составление 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	20.02.19.
--	-----------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Турматову Баходиру Бахтиёр угли		

8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель данного раздела обосновать целесообразность использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, используя планово-временные и материальные показатели процесса разработки.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа проектируемого частотно-регулируемого электропривода каротажной лебедки;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсоэффективности проекта.

8.1. SWOT – анализ проектируемого частотно-регулируемого электропривода каротажной лебедки

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов. [9]

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 8.1.

Таблица 8.1. Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Отсутствие щеточно-коллекторного узла С2. Низкие массогабаритные показатели С3. Высокий КПД С4. Простое техническое обслуживание С5. Низкие вибро-шумовые характеристики	Слабые стороны проекта: Сл1. Большой срок выхода результата проекта на рынок Сл2. Себестоимость продукции Сл3. Необходимость нахождения источника переменного тока рядом с местом работы
Возможности: В1. Повышения качества продукции В2. Автоматизация технологического процесса В3. Снижение затрат на транспортировку готовой продукции В4. Снижение затрат на техническом обслуживании	В1С2С3С5; В2С1С4; В3С2С3; В4С1С4.	В3Сл2; В4Сл1Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Ограничения на экспорт технологии У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Угрозы выхода из строя сложного рабочего органа	У1С5; У3С2С3; У4С2С4.	У1Сл1Сл2Сл3; У2Сл1; У3Сл1Сл3; У4Сл1Сл3.

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [9]. Результаты второго этапа SWOT анализа представлены в табл. 8.2 -8.3.

Таблица 8.2. Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 5.3. Интерактивная матрица угроз

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

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

Также не стоит исключать случай, когда какая-либо из слабых сторон окажет наиболее сильное негативное воздействие, влияющее на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл2-“Себестоимость продукции”.

К примеру, при любом проектировании электрооборудования простой конструкции требуется использование дорогостоящих составляющих в силу их предварительной проектировки. Но за счет появления новых возможностей, закупка такого оборудования становится целесообразной, так как их преимущества минимизируют влияние слабых сторон.

8.2. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- ¾ определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- ¾ определение участников каждой работы;
- ¾ установление продолжительности работ;
- ¾ построение графика проведения проектирования частотно-регулируемого привода каротажной лебедки.

8.3. Структура работ в рамках технического проектирования

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

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 5.4:

№ 1 – Составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Выбор электродвигателя – расчет электрических характеристик, требуемых для технологического процесса, и выбор из каталога необходимого двигателя;

№ 4 – Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя;

№ 5 – Расчет силовой части преобразователя частоты;

№ 6 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 7 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 8 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем – в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов инженером;

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

8.4. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{\text{ож}i}$ используется следующая формула [5]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (9.1)$$

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

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

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

В таблице 8.4. приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 8.4 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, раб. дн.					
		Минимально возможная трудоемкость		Максимально возможная трудоемкость		Ожидаемая трудоемкость	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	5	-	3
3	Расчет и выбор двигателя	-	22	-	27	-	25
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	1	23	1	28	1	25
5	Расчет силовой части преобразователя частоты;	1	27	1	32	1	29
6	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1	7	1	5
7	Составление пояснительной записки	-	7	-	14	-	10
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	1	1	1	1	1
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	2	2	2	2	2

Примечание: минимальное t_{min} и максимальное время t_{max} получены на основе экспертных оценок.

8.5. Разработка графика проведения технического проекта

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

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

На основе таблицы 8.4 строим план-график проведения работ, таблица 8.5, с разбивкой по месяцам и декадам за период подготовки ВКР.

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня.

Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 100 дней. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ инженера;

10 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя;

8.6 Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

материальные затраты;

полная заработная плата исполнителей технического проекта;

отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

накладные расходы.

8.6.1. Расчет материальных затрат технического проекта

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

где m – количество видов материальных ресурсов;

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

Таблица 8.5 – *Диаграмма Ганта*

№	Вид работ	Исп-ли	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	3	■												
3	Расчет и выбор двигателя	Инженер	25	■	■	■										
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	Инженер	25				■	■	■							
		Руководитель	1						■							
5	Расчет силовой части преобразователя частоты	Инженер	29						■	■	■	■				
		Руководитель	1									■				
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	5									■	■			
		Руководитель	1										■			
7	Составление пояснительной записки	Инженер	10										■	■		
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель	1												■	
		Инженер	1												■	
9	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2													■
		Инженер	2												■	

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

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

Таблица 8.6 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, руб.
Упаковка бумаги	1	300	300
Ручка	2	63	130
Папка	1	55	55
Калькулятор	1	275	275
Переплет	1	40	40
Блокнот	1	200	200
Печать	100	2	200
Линейка	1	100	100
Флеш-карта	1	300	300
Итого			1600

8.6.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p ,$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

$З_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.7.

Таблица 8.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Районная доплата, руб	Среднемеся чная заработная плата, руб	Среднедневна я заработная плата работника	Продолжит ельность работ, дн.	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11781
Инженер	12300	3690	15990	615	100	61500
Итого $З_{\text{осн}}$, руб.						73281

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 8.8.

Таблица 8.8 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	11781	1719	13500
Инженер	0,12	61500	7500	69000
Итого $З_{\text{осн}}$, руб.		73281	9219	82500

8.6.3. 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) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times З_{полн}$$

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

Размер страховых взносов равен 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \times 82,5 = 25,0 \text{ тыс. руб.}$$

8.6.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

8.7. Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 8.9.

Таблица 8.9 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,6	1,2
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	82,5	63,5
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,0	19,3
4. Накладные расходы	20,9	16,0
5. Итого	130,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 100 раб. дней для инженера и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 130 тыс.руб, из которых основная часть (63,5 %) приходится на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

8.8. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле: [9]

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i \quad (8.3)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к электрооборудованию:

1. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического.
2. Удобство эксплуатации: массогабаритные показатели, возможность транспортировки, простота монтажа.
3. Помехоустойчивость: устойчивость ПЧ к внешним электрическим сигналам.
4. Энергосбережение: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня производительности в технологических процессах.
5. Надежность: бесперебойная работоспособность рабочего органа в пределах допустимых показателей его производительности и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.
6. Материалоёмкость: использование меньшего количество активных материалов при изготовлении.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 8.10.

Таблица 8.10 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,15	4
2. Удобство эксплуатации	0,10	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,20	5
5. Надежность	0,20	5
6. Материалоёмкость	0,20	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-исп1} = 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 = 4,75$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования

технического проекта. Высокие баллы надежности и производительности позволяют судить об эффективности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех 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 (4,75 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность технологического процесса спуско-подъема в газовых и нефтяных скважинах глубиной до 5000 м путем улучшения качества и экономичности при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Турматов Баходир Бахтиёр 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 электропривод каротажной лебедки. Используется для детального исследования строения разреза скважины с помощью спуска-подъёма в ней геофизического зонда

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

-Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.
-Организация и охрана труда.

2. Производственная безопасность

2.1. Анализ потенциально возможных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Вредными факторами являются:

1. Неудовлетворительные метеоусловия
2. Повышение уровней шума
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны (в ночное время суток)

2.2. Анализ потенциально возможных опасных факторов проектируемой производственной среды.

Опасными факторами являются:

1. Электроопасность
2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

3. Экологическая безопасность:

- Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

-Возможные ЧС
-Пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Турматов Баходир Бахтиёр угли		

9. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данном разделе проекта описан анализ вредных и опасных факторов при наладке и эксплуатации электропривода подъемника каротажной лебедки, мероприятия по устранению вредных и опасных факторов, анализ мероприятий по предотвращению пожаров и возгораний.

Каротажная лаборатория представляет собой модифицированный кузов автомобиля КамАЗ с габаритными размерами (ДхШхВ), мм: 5590х2300х2320. Кузов разделен на два отделения (управления и лебедочное) размерами соответственно: 2140х2300х1900 мм и 3450х2300х1900 мм.

Каротаж представляет собой детальное исследование строения разреза скважины с помощью спуска-подъёма в ней геофизического зонда. Метод имеет небольшой радиус исследования вокруг скважины (от нескольких сантиметров до нескольких метров), но обладает высокой детальностью, позволяющей не только определить с точностью до сантиметров глубину залегания пласта, но даже характер изменения самого пласта на всей его небольшой мощности.

В рассматриваемом случае электропривод расположен в лебедочном отделении, а оператор – в отделении управления. Геофизические работы имеют ряд специфических особенностей, связанные с особенностями методики измерений (ненормированный рабочий день, тяжелые погодные условия проведения работ, переезды и т.д.), конструктивными особенностями исследовательской аппаратуры (работа с электрическим током, радиоактивными веществами, негабаритными и тяжёлыми механическими приборами, спускоподъемными и погрузочно-разгрузочными работами). Это требует разработки специальных мероприятий по технике безопасности и противопожарной защите.

Потенциальными потребителями этого исследования являются предприятия нефтегазовой промышленности, проводящие глубинные исследования скважин. Данный проект выполняется по заказу ООО

«Нефтегазгеофизика», основными требованиями заказчика является надежность и безопасность в эксплуатации, бесперебойность в работе, энергоэффективность и качественные показатели подъемника.

9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Трудовые отношения работников ООО «Нефтегазгеофизика» регулируются трудовым кодексом РФ, коллективным договором, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

Обслуживающий персонал геофизических партий работает на открытом воздухе, вахтовым методом, нередко при неблагоприятных метеорологических условиях. Работы вахтовым методом проводятся согласно ТК РФ глава 47.

К работам, выполняемым вахтовым методом, не могут привлекаться работники в возрасте до восемнадцати лет, беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, а также лица, имеющие противопоказания к выполнению работ вахтовым методом в соответствии с медицинским заключением, выданным в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха.

Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. В исключительных случаях на отдельных объектах продолжительность вахты может быть увеличена работодателем до трех месяцев с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372 настоящего Кодекса для принятия локальных нормативных актов.

Для обеспечения нормального проведения работ проводятся организационные и технические мероприятия по обеспечению безопасности.

При проведении монтажных и ремонтных работ должны соблюдаться следующие требования:

1. Размещение элементов, узлов и агрегатов в подъемнике должно быть удобным для осмотра, ремонта и настройки.

2. Электромонтажные работы должны выполняться в соответствии с действующими «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ)» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ)», для взрывоопасных зон в соответствии с инструкциями по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон ВСН 332-74.

2. Пульты управления должны быть установлены в местах, удобных для управления механизмами и наблюдения за ходом технологического процесса.

3. Щит управления должен быть, по возможности, установлен недалеко от технологического оборудования с целью экономии кабельной продукции.

4. Монтаж и маркировку внешних электрических цепей вести в строгом соответствии со схемами подключения.

5. В щите управления для снижения действия помех необходимо при прокладке слаботочных цепей управления систем автоматического регулирования осуществлять попарную скрутку проводов с шагом 10...20 мм, прокладывая их отдельно от остального монтажа.

6. Слаботочные цепи управления внешних соединений вести специальным кабелем со скруткой жил или скрученными проводами с шагом 10...20 мм, удаленными на расстояние не менее 70 см от силовых цепей.

7. Подключение проводов связи к измерительному шунту тока нагрузки следует производить таким образом, чтобы они совместно с шунтом образовывали виток с минимальной площадью.

Также при осуществлении монтажа и настройки электропривода необходимо соблюдать следующие указания мер безопасности:

1. При ведении наладочных и ремонтных работ в шкафах электропривода без снятия напряжения бригада должна состоять не менее чем из двух лиц, включая производителя работ.

2. Работа в шкафах ЭП без снятия напряжения должна производиться в диэлектрических перчатках и на диэлектрических ковриках или в ботах. Защитные средства должны быть проверены по нормам и в сроки, указанные в ПТЭ и ПТБ.

3. Производить обслуживание ЭП можно только специально обученным электротехническим персоналом, достигшим 18-летнего возраста, прошедшим проверку знаний ТБ и допущенным к работе в электроустановках до 1000 В.

4. Следует запирать шкаф ЭП специальным ключом после окончания работ.

5. Выдвигать и вставлять ячейки, устройства, заменять вышедшие из строя детали, выполнять все перепайки и подключения на панелях и клеммниках следует только при отключенных переключателях напряжения собственных нужд и главных цепей.

6. Иметь в виду, что при отключении автоматов силовых цепей и цепей собственных нужд, под напряжением остаются вводы этих цепей и цепи питания розеток и освещения.

7. Пожаробезопасность ЭП обеспечивается применением пожаробезопасных материалов, наличием защит, предотвращающих перегрев элементов изделия.

8. Каждый шкаф ЭП при номинальном токе до 200 А включительно должен быть заземлен через один заземляющий зажим, при токе 320 А и выше — через два зажима.

Каждые три месяца для работников, обслуживающих электроустановки, производится общий инструктаж по технике безопасности, каждый год — проверка знаний «Правила ПТЭ и ПТБ электроустановок» с соответствующей записью в журнале проверки знаний ПТЭ и ПТБ и выдачей специального удостоверения.

9.2 Производственная безопасность

9.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Вредные производственные факторы - факторы, воздействие которых на работающих в определенных условиях людей может привести к заболеванию, снижению работоспособности и отрицательному влиянию на потомство.

Объектом исследования является электропривод каротажной лебетки. Используется для детального исследования строения разреза скважины с помощью спуска-подъема в ней геофизического зонда.

1. Неудовлетворительные метеоусловия

Метеоусловия - это состояние воздушной среды, определяемое совокупностью ее параметров: температуры, влажности, скорости движения воздуха, а также атмосферного давления, теплового излучения.

Влияние метеоусловий на организм человека достаточно сложно и многообразно. При благоприятном сочетании метеопараметров сохраняется нормальное функциональное состояние организма, и создаются предпосылки для плодотворного труда. Неблагоприятные условия снижают работоспособность, могут вызвать изменение частоты пульса, дыхания, артериального давления, напряжение нервной системы, перегрев организма и т.д.

Обслуживающий персонал геофизических партий работает на открытом воздухе, нередко при неблагоприятных метеорологических условиях. Зима продолжительная, снежная, суровая. Средняя температура в зимний период составляет -20 - 25 °С, иногда до -40 - 50°С. Зимний период продолжается в среднем 180-185 дней (с ноября по апрель). Толщина снежного покрова достигает 0,48 - 0,6 м, промерзаемость грунта 1,0-1,2 м. Самыми холодными месяцами считаются декабрь, январь, февраль.

Указанные обстоятельства значительно осложняют осуществление обслуживания скважин, создают дополнительные трудности в обеспечении безопасности этого процесса. В ТК РФ статья 109 сказано, что: На отдельных видах работ предусматривается предоставление работникам в течение рабочего времени специальных перерывов, обусловленных технологией и организацией производства и труда. Виды этих работ, продолжительность и порядок предоставления таких перерывов устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка.

(в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ)

Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам в необходимых случаях предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время. Работодатель обязан обеспечить оборудование помещений для обогрева и отдыха работников

ГИС запрещается проводить во время грозы, пурги, буранов, сильных туманов, сильного дождя, и при сильных морозах, т.к. при таких условиях с большой долей вероятности могут возникнуть аварийные ситуации, устранение которых будет осложнено метеоусловиями. В качестве средств индивидуальной защиты при работе на открытом воздухе в сильные морозы применяется: теплая спецодежда, утепленные прорезиненные рукавицы, валенки на резиновом ходу, шапка - ушанка. В пасмурную дождливую погоду используются резиновые плащи и сапоги, а также резиновые верхонки.

2. Превышение уровня шума

Основными источниками шума при работе являются: дизельный генератор, обеспечивающий работу механизмов буровой установки и двигатель каротажной станции, обеспечивающий работу лебедки.

Шумом является всякий неприятный для восприятия звук. Как физическое явление представляет собой совокупность звуков, слышимых в диапазоне от 16 до 20 тысяч Гц. Шум является не только причиной несчастных

случаев, но и заболеваний. Шум снижает слуховую чувствительность, нарушает ритм дыхания, деятельность сердца и нервной системы.

Шум нормируется согласно ГОСТу 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 . В указанных нормативных документах предусмотрены два метода нормирования шума: по предельному спектру шума и по интегральному показателю - эквивалентному уровню шума в дБА.

Выбор метода нормирования в первую очередь зависит от временных характеристик шума. По этим характеристикам все шумы подразделяются на постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБА, и непостоянные, аналогичная характеристика которых изменяется за рабочий день более чем на 5 дБА. Нормирование по предельному спектру шума является основным для постоянных шумов.

Второй метод нормирования - по эквивалентному уровню шума - основан на измерении шума по шкале А шумомера. Эта шкала имитирует чувствительность человеческого уха. Уровень шума, измеренный по шкале Ашумомера, обозначается в дБА. Постоянные шумы характеризуются по предельному спектру шума, а непостоянные только в дБА.

Основные мероприятия по борьбе с шумом:

виброизоляция оборудования с использованием пружинных, резиновых и полимерных материалов;

экранирование шума преградами;

звукоизоляция кожухами;

использование звукопоглощающих материалов;

использование средств индивидуальной защиты (наушники, беруши, шлем и т. п.).

3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

При проведении ГИС в ночное время суток рабочая зона (лебедка подъемника, мостки) во избежание травматизма и аварийных ситуаций, должна искусственно освещаться. Необходимые нормы освещенности рабочей зоны нормируются СНиП 23-05-95 в

зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой фона. Рабочее освещение должно создавать равномерную освещенность и яркость рабочей поверхности, исключать возможность образования резких теней, обеспечивать правильную цветопередачу, быть экономным, надежным и удобным в эксплуатации.

9.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

1. Электроопасность, замыкание которой может произойти через тело человека.

Опасность поражения током при проведении полевых работ заключается в возможности поражения от токонесущих элементов каротажной станции (подъёмника, лаборатории, скважинных приборов) из-за несоблюдения правил эксплуатации приборов, нарушения правил и инструкций, по техническим причинам таким, как ухудшение электроизоляции, дефектов монтажа; поэтому требования безопасности сводятся, в основном, к мерам электробезопасности.

При работе с электрическим током нужно соблюдать электробезопасность (ГОСТ 12.1.030-81 , ГОСТ 12.1.019-79 , ГОСТ 12.1.038-82).

При проведении работ электрическими методами геофизическая станция должна быть надежно заземлена во избежание поражения персонала электрическим током. Соединительные провода, применяющиеся для сборки электрических схем, не должны иметь обнаженных жил, неисправную изоляцию, концы их должны быть снабжены изолирующими вилками, муфтами или колодками. Сборку и разборку электрических схем, ремонт проводов, а также проверку исправности цепей следует выполнять при выключенном источнике тока. Подобные работы должны производить не менее двух исполнителей, имеющих соответственный допуск по электробезопасности. Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- устройством электроустановок таким образом, чтобы обеспечивалась недоступность прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением;

- устройством защитного заземления;
- защитой от перехода высокого напряжения в сеть низкого напряжения;
- применением защитных средств при обслуживании электроустановок;
- проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний устройством зануления;
- применением специальных схем защитного отключения;
- электрооборудования, аппаратов, сетей, находящихся в эксплуатации;
- организационными и техническими мероприятиями по обеспечению безопасности при проведении переключений и ремонтных работ;
- специальным обучением лиц, обслуживающих электроустановки.

Во время работы установки и пробного ее пуска запрещается прикасаться к кабелю. Не допускается проведение каких-либо работ на кабеле при спускоподъемных операциях. Защитой от прикосновения к токоведущим частям является изоляция проводов, ограждения, блокировки и защитные средства. Электрозащитные средства предназначены для защиты людей от поражения электрическим током. Средства защиты подразделяются на основные и дополнительные. К основным до 1000 В относятся: изолирующие клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с изолированными рукоятками. Дополнительные до 1000 В диэлектрические калоши, коврики и подставки.

2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Возможность получить различного вида травму, возникает на всех этапах полевых работ, но возрастание риска подвергнуться механическому воздействию, а в следствии, получить травму можно при погрузочно-разгрузочных, монтажно-демонтажных работах на скважине и др.

Геофизическое оборудование и их эксплуатация должны соответствовать нормативным документам (ГОСТ 12.2.062-81 , ГОСТ 12.4.125-83 , ГОСТ 12.2.003-91).

Управление геофизической аппаратурой должно производиться лицами, имеющими на это право, подтвержденное соответствующими документами. Лица, ответственные за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования назначаются приказом начальника партии. Оборудование, аппаратура и инструмент должны содержаться в исправности и чистоте, соответствовать техническим условиям завода - изготовителя и эксплуатироваться в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Запрещается применять не по назначению, а также использовать неисправные оборудование, аппаратуру, приспособления и средства индивидуальной защиты (рукавицы, спецобувь, спецодежда). Ремонт оборудования должен производиться в соответствии с положением. Ручной инструмент (кувалды, молотки, ключи, лопаты и т.п.) содержится в исправности. Инструменты с режущими кромками и лезвиями следует переносить и перевозить в защитных чехлах и сумках. Рабочие и инженерно - технические работники, находящиеся на рабочих местах, обязаны предупреждать всех проходящих об опасности и запрещать им подходить к аппаратуре, проводам и заземлениям.

9.2.3 Правила техники безопасности при работах на бурящихся и действующих скважинах

1. При проведении геофизических исследований, связанных с использованием радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений, обязательно соблюдение «Санитарных правил работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений» и «Норм радиационной безопасности», а также «Санитарных правил размещения и эксплуатации генераторов нейтронов» и «Санитарных правил

работы с закрытыми источниками излучения при радиометрических исследованиях разрезов буровых скважин».

2. Геофизические исследования разрешается производить только в специально подготовленных скважинах, ствол которых обеспечивает беспрепятственное прохождение скважинных приборов до интервала измерения или до забоя.

3. Запрещается проводить ГИС при неисправном спуско-подъемном оборудовании буровой установки или каротажного подъемника (станции) и при выполнении на буровой работ, не связанных с геофизическими исследованиями.

4. При работе на скважине каротажные автомашины следует устанавливать так, чтобы были обеспечены хорошая видимость и сигнализационная связь между подъемником, лабораторией и устьем скважины. Каротажный подъемник (станция) нужно надежно закреплять с помощью специальных упоров или растяжек.

5. Направляющий блок необходимо надежно закреплять на основании буровой. Прочность узла крепления должна не менее чем в 2,5 раза превышать вес кабеля, с которым будут вести ГИС. Длина кабеля равна проектной глубине скважины. В случае отсутствия узла крепления скважина считается не подготовленной к геофизическим исследованиям.

6. Подвесной блок нужно надежно закреплять на талевой системе буровой установки и после подсоединения к нему кабелей от смоточного устройства он должен быть поднят над устьем скважины не менее чем на 15 м и укреплен растяжками.

7. Блок-баланс следует прочно укреплять над устьем скважины так, чтобы беговая дорожка ролика была направлена на середину барабана каротажного подъемника (станции) и на устье скважины.

8. Необходимо обеспечить, чтобы выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания не попадали в кабины и кузова автомашин, что

достигается соответствующим расположением выхлопных труб (удлинителями).

9. Между каротажным подъемником (станцией) и устьем скважины не должны находиться предметы, препятствующие движению кабеля, а пол буровой установки и мостков должен быть очищен от промывочной жидкости и грязи.

10. При работах на буровой запрещается пользоваться силовой сетью напряжением выше 380 В. Подключать кабель к источнику питания разрешается только по окончании сборки всех коммуникаций каротажной установки. Подключение производится лицом, имеющим на это право. Кабель, соединяющий оборудование самоходных каротажных подъемников (станций) с электросетью, подвешивается на высоте не менее 2 м и располагается в стороне от проходов к рабочим местам и дорог к буровой. Запрещается пользоваться соединительными проводами, кабелями, выключателями и т. д. с обнаженными и незащищенными выводами.

11. Корпуса всех агрегатов каротажного подъемника (станции, лаборатории) при работе необходимо надежно заземлять. При работах на буровой для этих целей следует пользоваться заземлением буровой установки. Лебедчик каротажного подъемника (станции), имеющего привод от электродвигателя, должен работать в резиновых перчатках.

12. В темное время суток ГИС нужно производить при достаточном искусственном освещении рабочих мест и проходов к ним.

13. Грузы, скважинные приборы (зонды), блоки и прочее оборудование следует выгружать из каротажного подъемника (станции) и погружать на него (нее) под наблюдением ответственного лица каротажной партии, при этом предельный груз для каждого рабочего не должен превышать: 10 кг — для подростков женского пола от 16 до 18 лет; 16 кг — для подростков мужского пола от 16 до 18 лет; 20 кг — для женщин старше 18 лет; 50 кг — для мужчин старше 18 лет.

14. Перед спуском прибора в скважину необходимо проверить исправность механизмов каротажного подъемника, ограждение вращающихся частей, работоспособность тормозной системы от основного и дублирующего приводов, надежность крепления скважинного прибора (зонда) и груза к кабелю, надежность крепления блоков устьевого каротажного оборудования. Не реже одного раза в месяц должен производиться профилактический осмотр всех узлов спуско-подъемного механизма каротажного подъемника (станции).

15. Во избежание затаскивания груза на блок следует устанавливать хорошо видимую метку на кабеле на расстоянии не более 10 м от барабана каротажного подъемника в момент, когда верхний конец скважинного прибора погружен в скважину не менее чем на 30 м от устья.

16. Грузы и скважинные приборы массой более 40 кг или длиной более 2 м любого веса нужно поднимать из скважины и опускать в нее с помощью подъемных механизмов. При использовании подъемного оборудования буровой установки к работе привлекается буровая бригада.

17. О начале спуско-подъемных операций необходимо предупреждать окружающих звуковым сигналом.

18. Во время спуска кабеля в скважину и подъема из нее запрещается наклоняться над кабелем, переходить через него, братья руками за движущийся кабель, останавливать его движение руками при отказе тормозной системы. На барабан каротажного подъемника (станции) кабель следует направлять и укладывать кабелеукладчиком с механическим или гидравлическим приводом. Запрещается при ГИС поправлять и устанавливать наружные метки на кабеле, откусывать торчащие из него проволоки и заправлять их концы, производить ремонт движущихся частей оборудования, а также находиться рядом с кабелем между лебедкой и устьем скважины.

19. При наличии на устье скважины давления спуск кабеля должен производиться через специальный сальник с лубрикатором. Перед началом

спуска нужно проверить герметичность сальника. В процессе соединения кабеля с прибором и разъединения их, а также разрядки лубрикатора скважинный прибор необходимо установить на полностью закрытую буферную задвижку. При заметной вибрации арматуры под влиянием давления газа лубрикатор должен крепиться специальными оттяжками.

20. При освобождении прихваченного в скважине геофизического прибора (груза) с помощью лебедки каротажного подъемника или буровой установки все люди, кроме непосредственно занятых этой операцией, должны быть удалены на безопасное расстояние.

21. Перевозка людей на самоходных каротажных подъемниках (станциях, лабораториях) разрешается в кабинах водителя и лебедчика (оператора) при условии оборудования их сидениями и ручками. Перевозка людей в лебедочных отделениях каротажных подъемников (станций) запрещается. Из числа перевозимых людей должен

быть выделен старший. Между водителем и находящимися в кузове людьми необходима надежная связь. Запрещается перевозить без разрешения администрации лиц, не имеющих отношения к выполняемой работе. Администрация должна отмечать в путевом листе фамилии и должности лиц, направляемых на работы.

22. Проведение ГИС и прострелочно-взрывных работ в открытом море допускается только с индивидуальных морских оснований. Выполнение этих работ с плавсредств запрещается. На морском основании должна быть выделена свободная площадь для установки каротажного подъемника и лаборатории, которые крепятся к основанию. Оборудование и аппаратура для морских геофизических работ, а также горючие, смазочные и взрывчатые материалы следует размещать в специально отведенных местах в соответствии с документацией, согласованной с органами надзора. Готовность судна каротажной партии к выходу в море для проведения работ подтверждается актом готовности, оформляемым комиссией и капитаном судна и утверждаемым главным инженером вышестоящей организации. Для

удобного и безопасного въезда каротажных автомашин на плавсредства и съезда с них последние необходимо устанавливать вплотную к пристани на одном уровне с нею. Автомашины должны надежно закрепляться на плавсредствах. При подъеме и спуске геофизических приборов и аппаратуры с использованием судовых механизмов запрещается находиться под грузовой стрелой крана и в зоне ее действия, находиться в трюме в просвете люка, спускаться в трюм или подниматься из него.

23. При транспортировании каротажного подъемника (станции, лаборатории) с помощью вертолета работники геофизической службы обязаны выполнять все указания командира экипажа. При взлете и посадке вертолета запрещается нахождение и передвижение людей и транспортных средств на расстоянии ближе 50 м от места взлета (посадки).

9.3 Экологическая безопасность

Влияние проектируемого объекта на окружающую среду оценивается как незначительное. Однако имеет место быть прогноз локального воздействия на ОС, выраженный в следующих аспектах по этапам реализации:

- незначительное воздействие на атмосферный воздух при выбросе загрязняющих веществ при работе передвижных источников, выбросов от автозаправочных резервуаров складов ГСМ;

- незначительное воздействие при размещении отходов производства и потребления в результате действия временных лагерей при полевых работах;

- незначительное воздействие на поверхностные воды при хозяйственно-бытовых стоков, поступление загрязняющих веществ при буровых работах в поверхностные и подземные водные объекты.

- незначительное воздействие при размещении отходов производства и потребления в результате действия временных лагерей при полевых работах;

- воздействие на растительный мир заключается в лесочистке площадок для бурения и проведения горнопроходческих работ, а также нарушении почвенного покрова автотранспортом;

- воздействие на животный мир заключается в причинении беспокойства за счет шума и возможного нарушения мест обитания;

- воздействие на недра происходит при планировках буровых площадок и в процессе бурения скважин, а также при проведении горных работ;

- воздействие на подземные воды заключается в кратковременных изменениях условий питания и разгрузки водоносных подразделений, вызванных кратковременными деформациями гидродинамического потока. Изменение условий питания за счет нарушений покрова также ничтожно.

В силу специфики проектируемых работ, вероятное влияние на окружающую среду может быть вызвано загрязнением поверхности при разливе ГСМ, а также бытовыми и производственными отходами. В целях охраны окружающей среды проектом предусматривается комплекс организационно-технических мероприятий:

- строительство обваловки буровых площадок для ограждения стоков;
- обваловка склада ГСМ;
- оборудование емкостей для хранения нефтепродуктов лотками – маслосборниками;
- строительство водонепроницаемых выгребных ям для сбора отходов, содержащих нефтепродукты;
- максимальное вторичное использование в рекультивационных процессах малоопасных отходов;
- вывоз отходов с участков проведения работ;
- объекты проведения работ расположить максимально удаленно от водоохраных зон;
- строительство отстойников для технической воды (промывочной жидкости);
- обустройство мест временного сбора (хранения) производственных отходов;
- для исключения загрязнения грунтовых вод предусматривается тампонаж скважин;

- технологический процесс бурения организован без применения буровых растворов с добавлением химических реагентов;
- заправка транспорта будет осуществляться на заправочных станциях, к месту ГРП топливо доставляется бензозаправщиком, все это практически исключает загрязнение мест работы проливами нефтепродуктов;
- проектируемые работы будут выполняться со строгим соблюдением правил пожарной безопасности.

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Основным источником возгорания взрывоопасной смеси на бурящихся и действующих скважинах являются неисправность электрооборудования, а также естественные коммутационные процессы. Поэтому любое электрооборудование, находящееся непосредственно возле скважины, выполнено во взрывозащищенном исполнении. Однако так как все основные части каротажного подъемника находятся внутри каротажной лаборатории (исключение составляет тахогенератор в цепи обратной связи по скорости перемещения кабеля, находящийся в непосредственной близости к скважине), для предотвращения возможного возгорания оболочки электрических аппаратов, приборов, шкафов, сборок выполнены со степенью защиты IP44.

Помещение каротажной лаборатории относится к категории Д.

Противопожарную защиту на буровых обеспечивают следующие меры:

- а) максимально возможное применение негорючих и трудногорючих веществ и материалов вместо пожароопасных;
- б) ограничение количества горючих веществ и их надлежащее размещение;
- в) изоляция горючей среды;
- г) предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- д) применение средств пожаротушения;
- е) применение конструкций объектов с регламентированным пределом огнестойкости и горючестью;

- ж) эвакуация людей;
- з) применение средств коллективной и индивидуальной защиты;
- и) применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- к) организация пожарной охраны объекта [20].

Режимными мероприятиями являются ограничение или запрещение в пожароопасных местах применения открытого огня, курения, производства газо- и электросварных работ.

Из средств пожаротушения применяются установки автоматического воздушно-пенного огнетушения, а также ручные огнетушители типа ОХП-10 и ОВП-10.

Для случаев пожара, взрыва, стихийного бедствия на всех буровых вывешены планы действия обслуживающего персонала для ликвидации аварийных ситуаций, а также планы эвакуации персонала.

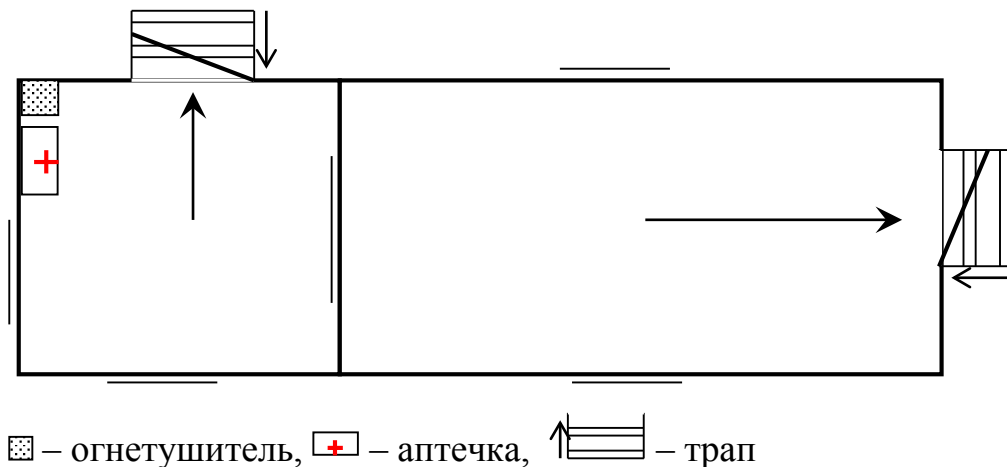


Рисунок 9.1 План эвакуации из каротажной лаборатории при пожаре

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе спроектирован частотно-регулируемый электропривод лебедки каротажного подъемника, на базе асинхронного двигателя, реализующий принцип векторного управления. Были выполнены расчет нагрузок электропривода, выбор основных элементов силовой цепи, расчет механических и электромеханических характеристик, учтены конструктивные особенности рассматриваемой электромеханической системы: переменный характер параметров механической системы электропривода (по мере наполнения барабана подъемника изменяется его диаметр и масса, в результате чего изменяется момент инерции механизма) ступенчатая форма задания на скорость, изменяющаяся от ряда к ряду, уменьшаясь по мере наматывания кабеля на барабан.

Построена соответствующая имитационная модель в программной среде MatLabSimulink. Произведено моделирование и анализ переходных процессов в электроприводе для построенной модели. Полученные результаты полностью удовлетворяют требованиям технологического процесса. Разгон плавный и определяется установкой задатчика интенсивности, перерегулирование выходной координаты практически отсутствует. На всём интервале работы поддерживается постоянная скорость перемещения прибора, отрабатывающая изменения радиуса намотки кабеля и статических нагрузок на валу двигателя. При имитации режима подклина, связанном с увеличением плотности среды на определённом интервале, система ведёт себя, как астатическая.

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 и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех 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 (4,75 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность технологического процесса спуско-подъема в газовых и нефтяных скважинах глубиной до 5000 м путем улучшения качества и экономичности при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

THE CONCLUSION

In final qualification work the frequency and adjustable electric drive of the winch of the logging elevator, on the basis of the asynchronous engine, the realizing principle of vector management is designed. Calculation of loadings of the electric drive, choice of basic elements of a power chain, calculation of mechanical and electromechanical characteristics were executed, design features of considered electromechanical system are considered: variable character of parameters of mechanical system of the electric drive (in process of filling of a drum of the elevator its diameter and weight therefore the moment of inertia of the mechanism changes changes) a step form of a task for the speed, changing from a row to a row, decreasing in process of cable winding by a drum.

The corresponding imitating model in the program MatLab Simulink environment is constructed. Modeling and the analysis of transients in the electric drive are made for the constructed model. The received results completely meets requirements of technological process. Dispersal smooth also is defined by installation of a zadatchik of intensity, reregulation coordinate day off practically is absent. On all an interval of work the constant speed of movement of the device, fulfilling changes of radius of a navivka of a cable and static loadings on an engine shaft is supported. At imitation of a mode of the subwedge, connected with increase in density of the environment on a certain interval, the system behaves, as astatic.

As technical and economic indicators of the project, its environmental friendliness and safety were considered.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельченко В.В. Геофизические исследования скважин. Учебник для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 551 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
3. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод. Учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 224 с.
4. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем Часть 2. Оптимизация контура регулирования. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
5. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6 Механическая система электропривода. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 148 с.
6. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 7 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.
7. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
8. Королева Н.И., Трофимова М.Н. Техничко-экономические показатели при проектировании электроприводов. Методическое пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2001. – 67 с.
9. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
10. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
11. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
12. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
13. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – СПб.: ДЕАН, 1999. – 320 с.

- 15] Правила устройства электроустановок. 7-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 2002. – 123 с.
- 16 Безопасность жизнедеятельности. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 2002. – 357с.
- 17 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. 2014г.
- 18 Основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.
- 19 Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.
- 20 ГОСТ 12.2.003-91 – 92. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
- 21 ГОСТ 12.1.009-76 – 77 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования. 8] ГОСТ 12.4.026-76 – 78. Света сигнальные и знаки безопасности. Общие требования безопасности.
- 22 ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 23 СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
- 24 ГОСТ 12.2.062-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Ограждения защитные
- 25 ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 26 ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 27 ГОСТ 12.4.125-83 Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты работающих от воздействий механических факторов. Классификация.
- 28 СНиП 3.05.06-85 – 88. Электротехнические устройства.
- 29 ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
- 30 СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
- 31 ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
- 32 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 33 "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)

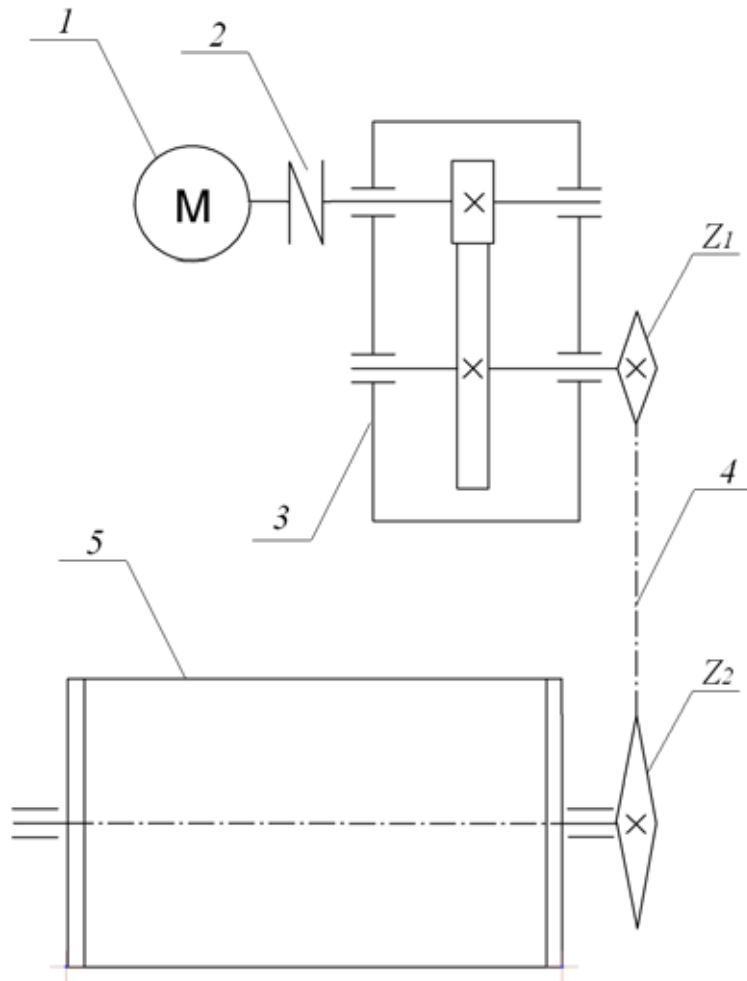
ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Графический материал.

Общий вид подъемника каратажной лебедки



Кинематическая схема механизма



На схеме приняты следующие обозначения:

1 - электродвигатель;

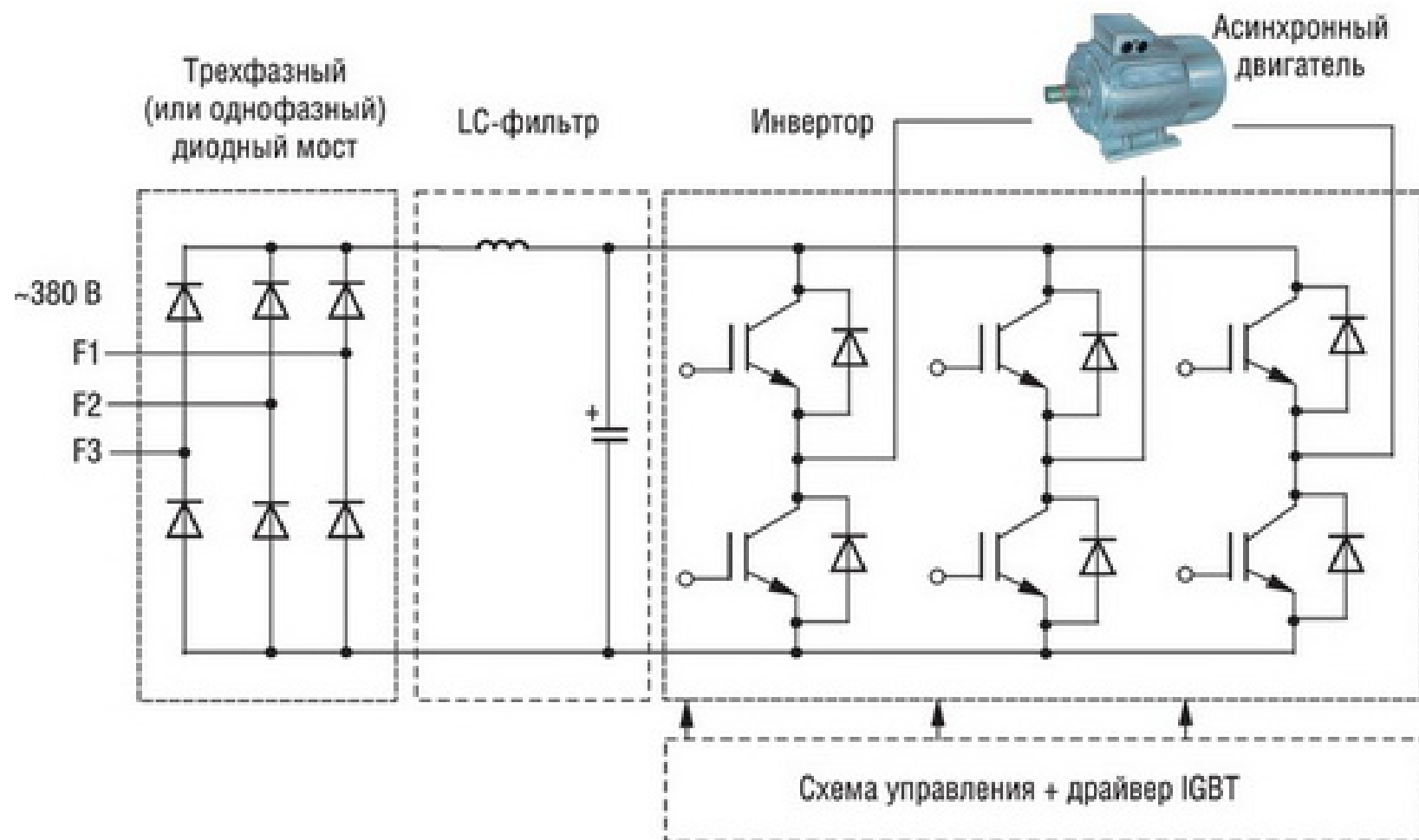
2 - муфта упругая;

3 - редуктор зубчатый, цилиндрический, двухступенчатый, горизонтальный;

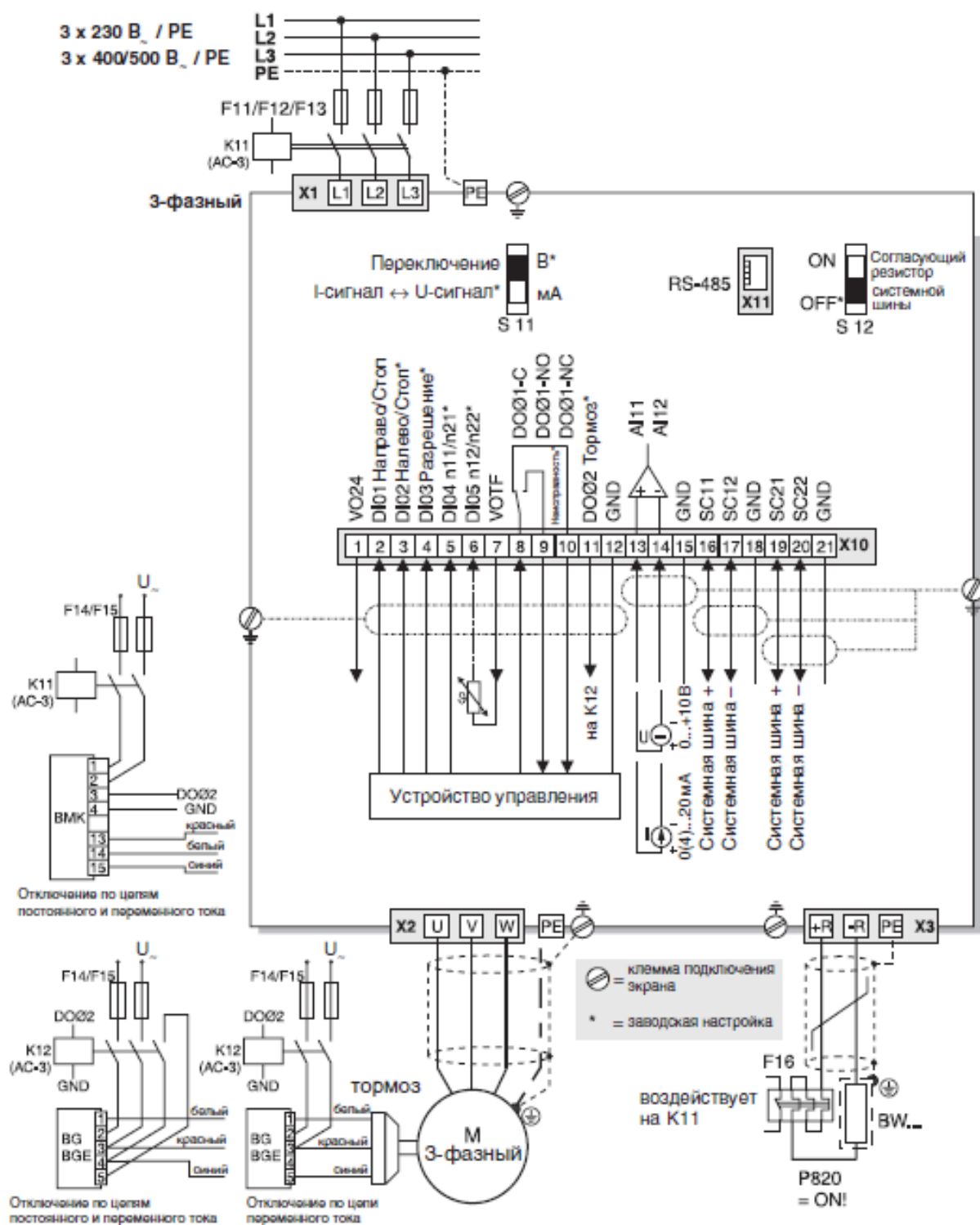
4 - цепная передача (Z_1 – число зубьев ведущей звездочки; Z_2 – число зубьев ведомой звездочки);

5 – барабан подъемника.

Функциональная схема преобразователя частоты



Принципиальная схема преобразователя частоты



Структурная схема нелинейной САУ РЭП подъемника каротажной лебедки

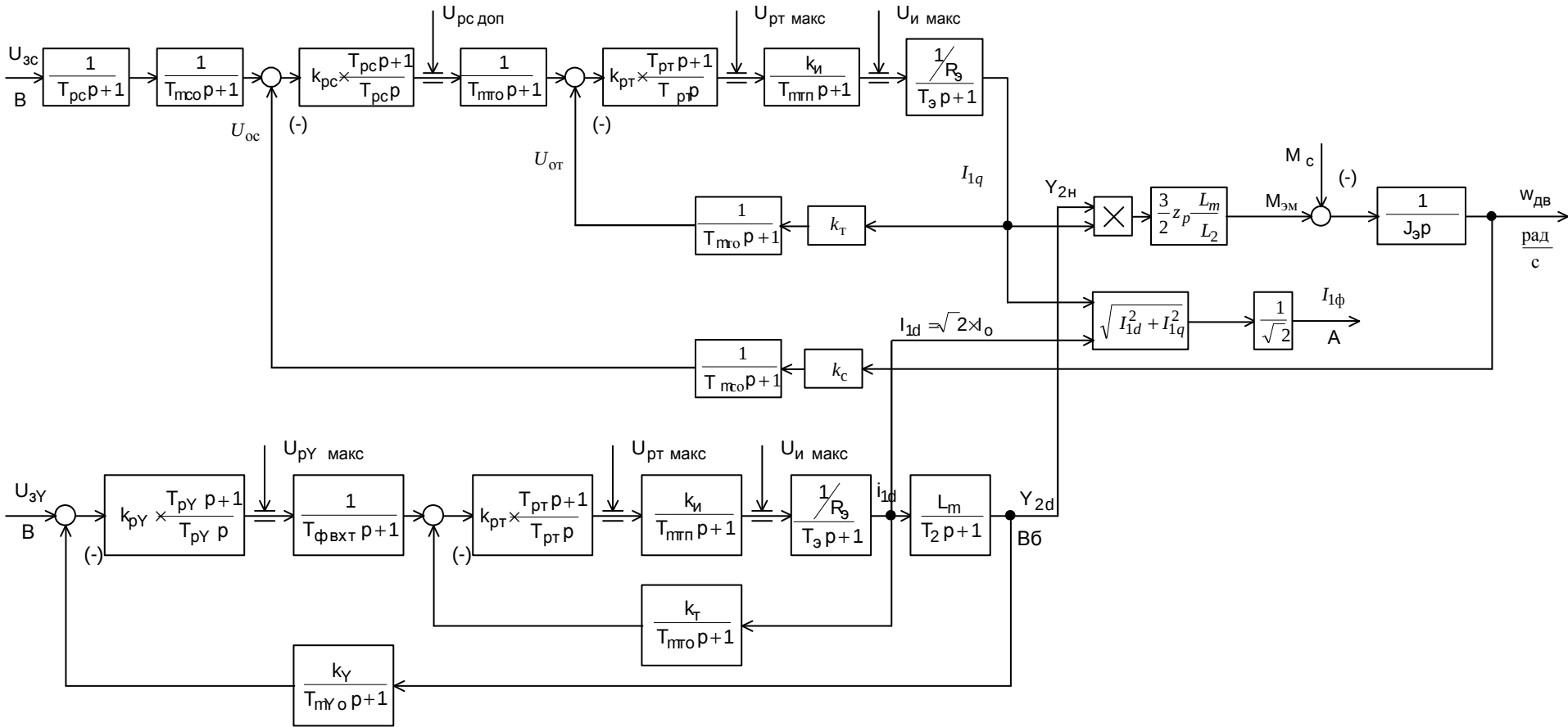
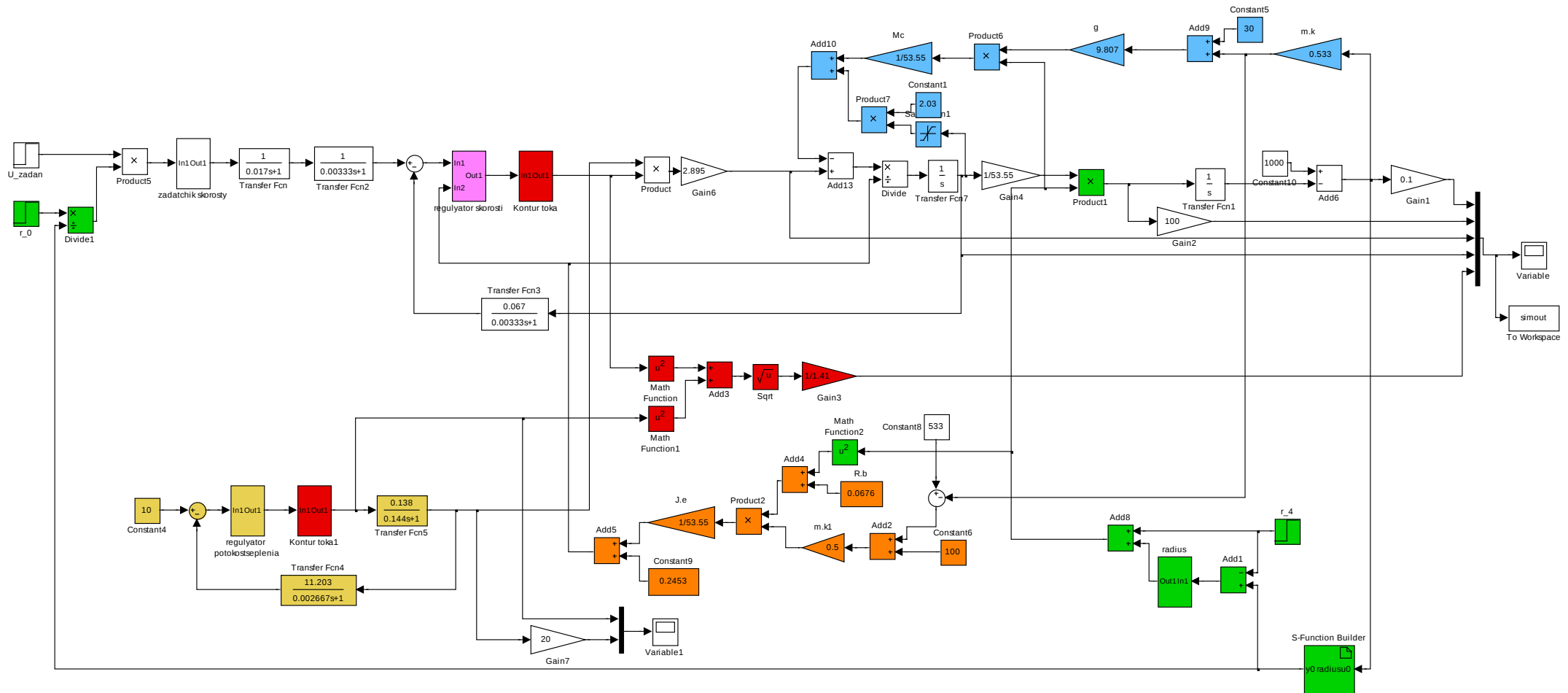
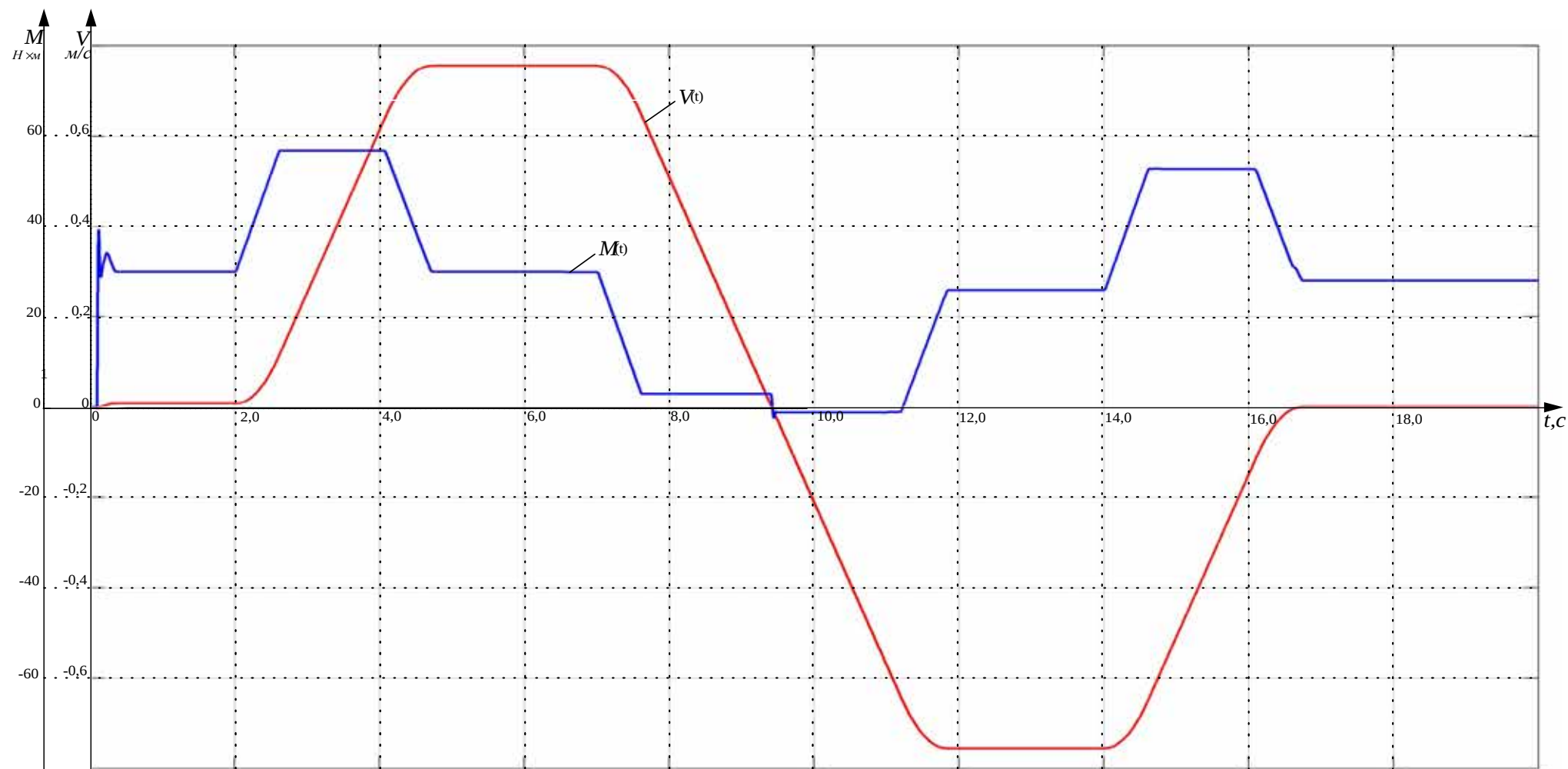


Схема набора в среде Matlab



Демонстрационный лист



Пуск на минимальную скорость разгон до максимальной, реверс, торможение.