

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
Электрооборудование и электропривод механизма подъема экскаватора ЭКГ-15
УДК 621.31-83:621.879-237

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Эшбаев Алишер Таджибаевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	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	Эшбаеву Алишеру Таджибаевичу

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод механизма подъема экскаватора ЭКГ-15

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Экскаватор одноковшовый ЭКГ – 15 режим работы – циклический.

Требования к механизму подъема: диапазон регулирования D=1:5, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и современное состояние электрооборудования экскаваторов, постановка задачи; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; исследование работы электропривода механизма подъема экскаватора ЭКГ 15 с помощью имитационной модели.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода подъема экскаватора ЭКГ 15 Графики переходных процессов подъема</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Мелик-Гайказян Мария Вигеновна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>05.04.2019г..</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Ляпунов Д.Ю.</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>05.04.2019г.</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-5Г4Б2</p>	<p>Эшбаев Алишер Таджибаевич</p>		<p>05.04.2019г.</p>

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:	31.05.2019г.
--	--------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать электропривод механизма подъема одноковшового экскаватора ЭКГ – 15 удовлетворяющий следующим техническим условиям и требованиям:

Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока 380 В от общего трансформатора цепей управления;

Частота питающей сети 50 Гц;

Допустимые отклонения питающей сети от номинального значения + 10% - 15%;

Характер нагрузки – переменный;

Работа в повторно-кратковременном режиме с переменной нагрузкой;

Время реверсирования не более 5 с;

Максимальная линейная скорость рукоятки ковша;

Экскаваторная характеристика;

Характеристика удержания в 0-м положении командоконтроллера;

Управление от сельсинногокоманд контроллера без фиксированных положений;

Диапазон регулирования не менее 5:1;

Допустимая перегрузка двигателя в переходных режимах по току

$2.5 \times I_{\text{дв.ном}}$, отключающая $2.75 \times I_{\text{дв.ном}}$. Электропривод должен иметь систему сигнализации, блокировок и защиты, обеспечивающую надежную безаварийную и безопасную эксплуатацию оборудования.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 116 страниц, 27 рисунков, 19 таблиц, 28 использованных источника, 4 приложения,

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ,ОДНОКОВШОВЫЙ ЭКСКАВАТОР,ПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЁМА,РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.

Объектом исследования является привод механизма подъёма экскаватора.

Цель работы – исследование электропривода механизма подъёма экскаватора в соответствии с требованиями технического задания и исследования его работы методом моделирования на ЭВМ.

В данной выпускной квалификационной работе был произведен расчёт и выбор силового оборудования для электропривода механизма подъёма экскаватора карьерного гусеничного ЭКГ – 15.

В ходе работы был разработан электропривод, обеспечивающий следующие показатели качества:

- плавность пуска;
- точность регулирования;
- надежность электропривода;

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord, графическом редакторе MicrosoftVisio, статическом редакторе MicrosoftExcel. Расчеты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 13 Professional. Моделирование произведено в программной среде MATLAB. Презентация в программной среде MicrosoftPowerPoint. В работе рассмотрены вопросы техники безопасности и экологичности проекта, проведено технико-экономическое обоснование выполненного проекта.

Содержание

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	6
ВЕДЕНИЕ	11
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ.....	13
1.1 Техническая характеристика одноковшового экскаватора ЭКГ – 15.....	13
1.2 Электроснабжение экскаватора	22
1.3 Кинематическая схема механизма подъема	23
1.4 Технологический процесс	26
1.5 Требования к электроприводу механизма	28
1.6 Обоснование и выбор рода тока	32
1.7 Схема электрическая принципиальная	34
2 ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ЭКГ–15.....	38
2.1 Электрические машины привода подъема	38
2.1.1 Электродвигатель механизма подъема типа МПЭ450-900-1	39
2.1.2 Расчетные параметры электродвигателя	40
2.1.3 Генератор механизма подъема типа 4ГПЭМ1250 –1/1	41
2.1.4 Расчётные параметры якорной цепи генератора	42
2.1.5 Расчётные параметры обмотки возбуждения генератора.....	42
2.2 Якорная цепь электропривода	44
2.2.1 Параметры якорной цепи	45
2.2.2 Электромеханические характеристики разомкнутой системы Г-Д.....	46
2.3 Цепь обмотки возбуждения генератора.....	47
2.3.1 Выбор соединения секций обмоток возбуждения генератора	47
2.3.2 Выбор тиристорного возбудителя генератора	48
2.3.3 Расчет параметров трансформатора возбудителя генератора.....	49
2.3.4 Расчетные параметры тиристорного возбудителя.....	50
2.3.5 Расчёт параметров цепи возбуждения генератора.....	51
2.4 Механическая система электропривода подъема экскаватора.....	52
2.4.1 Определение дополнительных параметров механизма подъема	53
2.4.2 Расчетная схема механической системы привода подъема.....	53
2.4.3 Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода.....	55
2.4.4 Параметры канатной передачи	57
2.4.5 Резонансная частота двух массовой механической системы привода подъема.....	58

2.5 Система автоматического электропривода подъёма.....	62
2.5.1 Структурная схема силового канала электропривода.....	62
2.5.2 Структурнаясхемалинеаризированной САУ электропривода	63
2.5.3 Оптимизация контура тока.....	61
2.5.4 Оптимизация контура напряжения	65
2.5.5 Структурная схема нелинейной САУ электропривода.....	68
2.5.6 Настройка САУ электропривода подъема на имитационной модели	72
2.5.7 Исследование электропривода подъема на имитационной модели	72
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	75
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
3.1. SWOT анализ проектировочной работы электрооборудования и электропривода механизма подъема экскаватора ЭКГ-15	76
3.2. Организация работ технического проекта.....	79
3.3. Структура работ в рамках технического проектирования.....	79
3.4. Определение трудоемкости выполнения ТП	80
3.5. Разработка графика проведения технического проекта.....	82
3.6 Составление сметы затрат на разработку ТП	82
3.6.1. Расчет материальных затрат	82
3.6.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы.....	84
3.6.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	86
3.6.4. Накладные расходы.....	86
3.7. Формирование сметы затрат технического проекта	86
3.8. Определение ресурсоэффективности проекта	87
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	91
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	93
4.1 Правовые и организационные вопросы.....	93
4.2 Производственная безопасность ЭКГ-15	94
4.3 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	95
4.4 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	99
4.5 Экологическая безопасность.	100
4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	102

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ В	110
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	111

ВЕДЕНИЕ

Землеройные работы – одни из самых трудоемких и самых необходимых во все времена. Машины, снабженные специальным рабочим органом для копания – ковшом и предназначенные для выемки и перемещения грунта и/или полезных ископаемых, известны с глубокой древности; их конструировал еще Архимед. Римляне называли их экскаваторами, от *excauo* – долбить, делать полость, углубление.

Первый экскаватор с механическим – паровым – двигателем изготовил американский инженер Джеймс Отис (James Otis) в 1843 г. Экскаватор Отиса был мощностью в 15 л.с., давал производительность в 40-50 куб. м в час (что весьма и весьма неплохо для такой мощности и по современным представлениям) и заменял 50 опытных сильных землекопов. Один из первых экскаваторов сохранился, в довольно-таки поврежденном состоянии, и выставлен в музее.

Первые паровые экскаваторы тут же нашли применение на тогдашних стройках века: Суэцком канале и Николаевской железной дороге в России. Впрочем, казенные подрядчики оказались не в восторге от них: крепостные работники и колодники-арестанты обходились дешевле. Все 4 машины в 1848 г. были проданы на Урал Демидовым, где тут же показали высокую эффективность на вскрышных работах. Именно появление на Урале экскаваторов Отиса дало толчок развитию там тяжелого машиностроения.

Сейчас экскаватор – самый распространенный, самый продаваемый и самый окупаемый вид спецтехники. Экскаваторы выполняют самые разнообразные работы в самых различных условиях. Все виды экскаваторов вряд ли известны даже опытному инженеру-механику: специальных экскаваторы для снятия верхнего плодородного слоя грунта; подземных экскаваторы; подводные донные экскаваторы и др.

Экскаваторы разделяют на типы по разным критериям, и следует учесть, что каждая конкретная машина присутствует в нескольких из них:

1. по назначению:

- универсальные – у многих экскаваторов с рабочим гидроприводом можно вместо ковша навешивать гидромолот, гидроперфоратор, ножницы, бур, вилы, зажим/захват, рыхлители, зуб-долото и т.д.;

- экскаваторы-погрузчики – с опрокидывающимся ковшом-коробом, с ковшом-лопатой цельным и с откидным днищем, с грейфером, с транспортером и бункером-дозатором. Экскаваторы-погрузчики отличаются от прочих тем, что высыпают отмеренную по весу или объему порцию грунта, не превышающую грузоподъемности средств вывоза;

- карьерные – вскрышные и добывающие;

- специальные – железнодорожные, болотные, спасательные, экскаваторы-разрушители, подземные, подводные и т.д.

2. по типу ходовой части:

- навесные – на колесные и гусеничные, тракторные и автомобильные шасси;

- пневмоколесные;

- гусеничные;

- рельсовые: железнодорожные, портовые краны-экскаваторы и карьерные;

- шагающие;

- катковые и передвижные лыжные (в настоящее время не применяются);

- плавающие – ковшовые, грейферные, рыхлящие и эрлифтовые драги;

- Подземные – шахтные машины, перегружающие добытую проходческим щитом породу. При разработке мощных пластов щит с экскаватором объединяют в одно, и получается проходческий комплекс (комбайн).

3. по приводу рабочего органа:

- механические – уже почти в прошлом;
- гидравлические – самые распространенные;
- дизель-электрические – тяжелые и особо тяжелые автономные;
- электрические – сверхтяжелые с питанием от ЛЭП.

4. по рабочему циклу:

- непрерывного действия – роторные многоковшовые, с дисковой или цилиндрической (фронтальной) фрезой, с зубчатой цепью (траншейные);
- циклического действия (одноковшовые).

5. По номеру размерной группы:

- 0 – особо легкая: до 3 т, 10-40 л.с., ковш до 0,1 куб.м.;
- 1 – легкая-1: 5-6 т, 30-50 л.с., 0,15-0,4 куб.м.;
- 2 – легкая-2: 8-9 т, 40-60 л.с., 0,25-0,6 куб.м.;
- 3 – средняя-1: 10-12 т, 50-80 л.с., 0,3-1,0 куб.м.;
- 4 – средняя-2: 19-30 т, 80-130 л.с., 0,65-1,6 куб.м.;
- 5 – тяжелая-1: 30-40 т, 100-200 л.с., 1,2-2,5 куб.м.;
- 6 – тяжелая-2: 55-60 т, 200-350 л.с. 1,6-4,0 куб.м.;
- 7 – особо тяжелая-1: 80-100 т, 300-500 л.с., 2,5-6,3 куб.м.;
- 8 – особо тяжелая-2: 100-160 т, 400-800 л.с., 5-10 куб.м.

Экскаваторы тяжелее 8 группы считаются сверхтяжелыми и проектируются по индивидуальным ТУ.

6. по типу несущей ковш конструкции:

- качающаяся мачта – жесткая ажурная конструкция. Чаще всего к мачте на тросах подвешивают волочащийся ковш. Опрокидывание ковша осуществляется тоже тросами. Такая конструкция называется драглайном. Применяется в карьерных шагающих экскаваторах, вскрышных и добывающих. Но грейфер плавучего экскаватора или экскаватора-погрузчика тоже может быть подвешен на мачте;

- телескопическая стрела устроена аналогично стреле автокрана. В экскаваторах применяется редко, там, где нужна повышенная жесткость стрелы при однообразном характере работы;

- шарнирная стрела. Тяжела, но прочна и подвижна. Применяется в тяжелых и особо тяжелых машинах;

- ломающаяся стрела. В сочетании в гидроприводе используется в большинстве универсальных экскаваторов.

7. по типу рабочего органа:

- ковш;

- ковш с откидным днищем;

- ковш – прямая лопата;

- ковш – обратная лопата;

- грейфер;

- перегрузочный ковш (короб).

В настоящее время открытый способ добычи полезных ископаемых является наиболее перспективным и экономичным, при котором производительность труда в несколько раз выше, а себестоимость ниже, чем при подземной разработке месторождений.

Основным средством механизации добычи ископаемых на карьерах и

угольных разрезах являются одноковшовые экскаваторы, как максимально удовлетворяющие требованиям работы в самых тяжелых горно-геологических условиях. Наиболее трудоемким и сложным процессом при открытом способе разработки полезных ископаемых являются вскрышные работы, поэтому их механизации уделяется особое внимание.

Экскаваторы ЭКГ - электрические одноковшовые карьерные гусеничные полноповоротные экскаваторы на малоопорном гусеничном ходу, предназначены для разработки открытым способом полезных ископаемых или пород вскрыши с последующей погрузкой их в транспортные средства. Экскаваторы могут быть использованы также для размещения пород вскрыши в отвал. Карьерные экскаваторы работают в очень тяжелых условиях с резко переменной нагрузкой, тряской всего оборудования, при значительных изменениях температуры окружающей среды и влажности, большой запыленности. Поэтому к их механическому и электрическому оборудованию предъявляются жесткие требования по вибростойкости, допустимому числу включений, гарантийному сроку безотказной работы.

Для решения задач по улучшению технических характеристик машин и повышению их надежности необходимо использовать более совершенные способы расчета и исследования. Внедрение в практику расчета машин вычислительной техники позволяет в настоящее время проводить исследования в области статики и динамики методами численного моделирования, и более точно определять действующие на узлы машин статические и динамические нагрузки. Кроме того, имитационное численное моделирование позволяет учесть ряд нелинейностей, которыми обладает реальная система. Все это способствует созданию автоматизированной системы регулируемого электропривода главных механизмов одноковшового экскаватора с наиболее оптимальными параметрами.

Производительность экскаватора в значительной степени зависит от удобства управления им. При управлении контролерами (когда машинист производит включение и выключение механизмов экскаватора непосредственно воздей-

ствием на рычаги) производительность экскаватора удерживается на максимальном уровне в течении двух часов от начала работы. Затем, вследствие утомляемости машиниста она падает на 15-20% и к концу смены составляет не более 40% производительности в начале работы. Поэтому к системе управления экскаватором предъявляются требования простоты включения и удобства расположения рычагов и педалей, а также быстроты, с которой движение рычага вызывает соответствующее рабочее движение механизмов экскаватора.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Техническая характеристика одноковшового экскаватора ЭКГ – 15

Экскаватор (от лат. *excavo* — «долблю, вынимаю») — основной тип землеройных машин, оснащённых ковшом. Основным назначением является разработка грунтов (горных пород, полезных ископаемых) и погрузка сыпучих материалов.

Главным отличием одноковшового экскаватора от других землеройных машин является то, что экскавация (выемка) грунта (материала из штабеля) производится подвижным рабочим органом при неподвижном шасси. Поворот ковша на разгрузку также производится при стоящей машине.

Одноковшовые экскаваторы копают малосвязанные, или черпают разрушенные крепкие породы. Рабочий цикл экскаватора складывается из четырёх основных операций, осуществляемых его исполнительными органами: черпания, перемещения к пункту разгрузки, разгрузки и возвращения к забою. Основными механизмами одноковшовых экскаваторов являются механизмы: подъёма, напора и поворота.

Одноковшовые экскаваторы классифицируются:

- по назначению – для землеройных работ: карьерный, применяется для открытых горных работ;
- по виду рабочего оборудования – с прямой механической лопатой;
- по вместимости ковша – 15 куб.м;
- по типу силовой установки – с электрическим приводом;
- по типу ходового оборудования – гусеничный;
- по типу – экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ [8].

Общий вид экскаватора ЭКГ-15 приведен на рисунке 1.

Экскаватор ЭКГ-15 состоит из рабочего оборудования, поворотной платформы с установленными на ней механизмами и ходовой тележки (4) (рис.1.).

Экскаватор имеет рабочее оборудование прямой лопаты и гусеничное ходовое оборудование.

Рабочее оборудование включает: относительно короткую стрелу (8), ковш объемом 15м³ (1) и внутреннюю однобалочную рукоять ковша (2). Стрела служит основанием для всех узлов рабочего оборудования. Нижний конец стрелы крепится к поворотной платформе (6), а верхний с помощью блоков поддерживается на весу канатами. Установленная на площадке стойки двуногой, вспомогательная лебедка предназначена для механизации работ при ремонте и замене быстроизнашивающихся деталей и канатов.

Механизмы на поворотной платформе, за исключением напорной лебедки, закрыты кузовом. Съёмные секции крыши кузова обеспечивают доступ ко всем механизмам при проведении ремонтных работ с использованием грузоподъемных средств. Кабина машиниста экскаватора (3) расположена таким образом, чтобы обеспечить наилучшую видимость во время работы. Над машинным отделением на крыше расположены вентиляционные отверстия (5).

Рукоять ковша закреплена одним концом в стреле с помощью седлового подшипника (9) допускающего вращательное и поступательное движение рукояти. Второй конец снабжен устройством для жесткого крепления ковша.

Под поворотной платформой на задней части ходовой тележки находятся два ходовых двигателя (7).

Основные механизмы экскаватора (подъема, поворота, напора, хода и открывания днища ковша) приводятся в действие двигателями постоянного тока, вспомогательные механизмы – двигателями переменного тока. Электродвигатели постоянного тока основных механизмов питаются от соответствующих генераторов преобразовательного агрегата по схеме генератор - двигатель, электродвигатели переменного тока вспомогательных приводов от понижающего трансформатора.



Рис. 1 - Общий вид экскаватора ЭКГ-15

Расположение основного электрооборудования на поворотной платформе представлено на рис.2.

Здесь установлены главный преобразовательный агрегат 1, электродвигатели подъема 2, электродвигатели поворота 3, электродвигатель напора 4, вспомогательные электродвигатели 5, шкаф управления главными электроприводами 6, шкаф управления возбуждением синхронного двигателя 7, шкаф управления вспомогательными электроприводами 8, кольцевой токоприемник 9, высоковольтное распределительное устройство 10, электродвигатель открывания днища ковша 11.

На нижней раме расположены два двигателя механизма передвижения экскаватора с тормозными электромагнитами, двигатель кабельного барабана, кольцевой токоприемник кабельного барабана, ящик вводной.

Поворотная платформа опирается через ролики опорно-поворотного устройства на раму ходовой тележки, относительно которой платформа может поворачиваться на полный угол в горизонтальной плоскости.

Главные механизмы экскаватора ЭКГ-15 (подъема, напора, поворота и открывания днища ковша) приводятся в действие электродвигателями постоянного тока, вспомогательные механизмы - двигателями переменного тока.

В кабине машиниста экскаватора на нижнем этаже установлены электропечи обогрева, выключатель освещения нижней кабины, розетка 12В 50Гц, светильник, зарядное устройство, аккумуляторные батареи.

На верхнем этаже кабины установлены кресло-пульта с джойстиком и аппаратурой управления, электропечи обогрева, светильники розетки 220В 50Гц, щит управления кондиционером, стеклоочиститель, вентилятор настольный.

На стреле устанавливаются конечный выключатель ограничения подъема ковша и прожектор.

На крыше расположены двигатели вентиляторов кузова, вспомогательная лебедка, прожектор.

Кольцевой токоприемник кабельного барабана с двигателем на нижней раме и балластный резистор под левой площадкой поворотной платформы устанавливаются при комплектовании экскаватора кабельным барабаном.

Технические параметры экскаватора представлены в таблице 1.

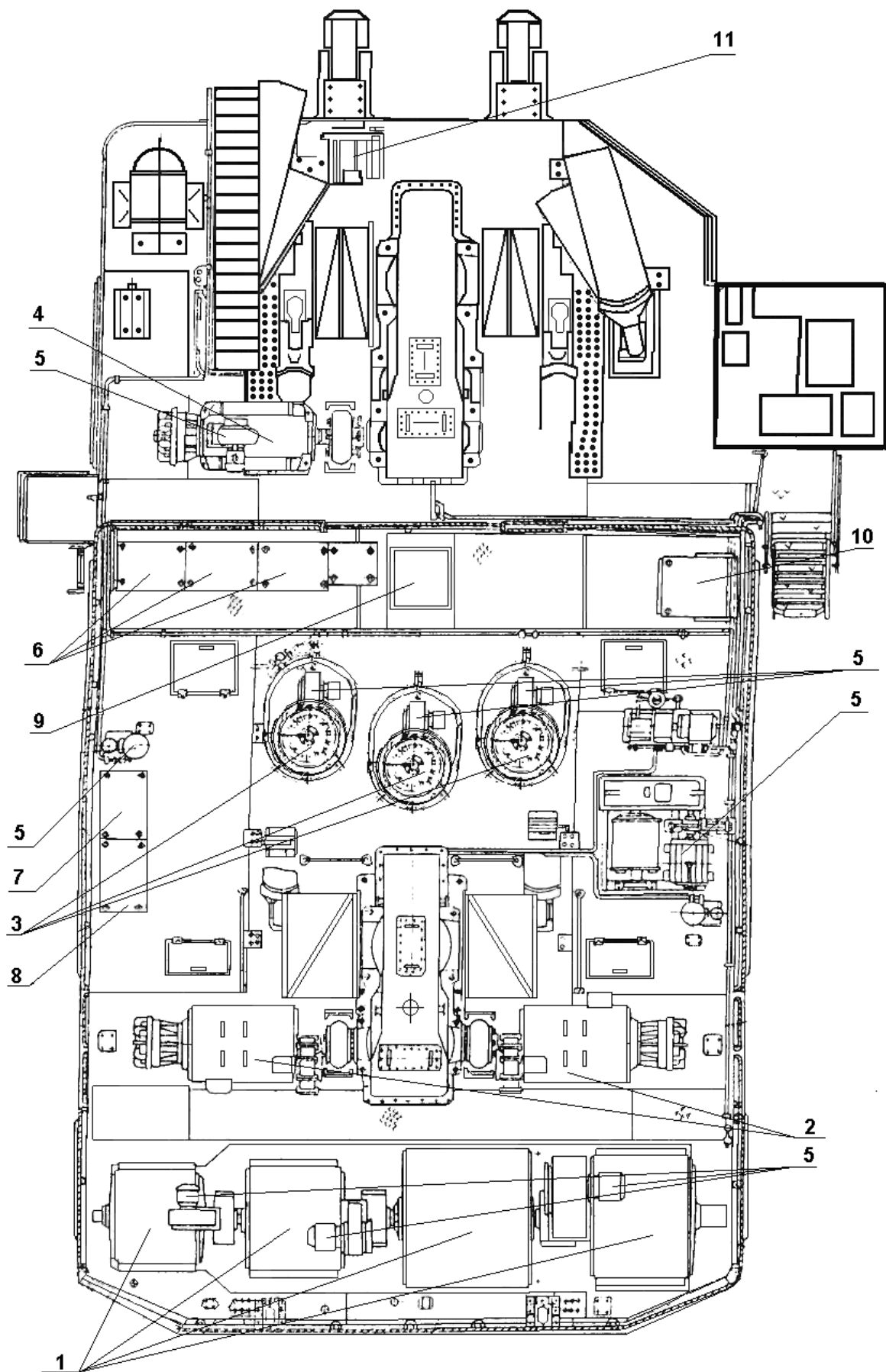


Рисунок 2 – Общий вид поворотной платформы ЭКГ-15.

Таблица 1 – Технические параметры экскаватора.

№ П.П.	Показатели	ЭКГ-15
1	2	3
1.1	Емкость ковша для тяжелых грунтов, м ³	15
1.2	Продолжительность цикла при работе в отвале с поворотом на 90 градусов, сек.	28
1.3	Скорость передвижения, км/ч	0,55
1.4	Наибольший подъем, преодолеваемый экскаватором в плотных грунтах, град.	12
1.5	Радиус черпания максимальный, м	22.6
1.6	Высота черпания максимальная, м	16.4
1.7	Радиус разгрузки максимальный, м	20
1.8	Высота разгрузки максимальная, м	10
1.9	Среднее давление на грунт при передвижении, кгж/см ²	2
2	Сетевой электродвигатель, шт.	1
2.1	Тип	СДЭ-2-16-46-6
2.2	Мощность, кВт	1250
2.3	Напряжение подводимого тока, В	6000
3	Электродвигатель подъема, шт.	2
3.1	Тип	МПЭ450-900-1
3.2	Мощность, кВт	500
3.4	Генератор подъема, шт.	1
3.5	Тип	4ГПЭМ 1250-1/1
3.6	Мощность, кВт	1250
4	Электродвигатель поворота, шт.	3
4.1	Тип	ДВЭ-816У2
4.2	Мощность, кВт	150
4.3	Генератор поворота, шт.	1
4.4	Тип	4ГПЭМ 600-2/2
4.5	Мощность, кВт	600
5	Электродвигатель напора, шт.	1
5.1	Тип	ДЭ-816У1

5.2	Мощность, кВт	200
5.3	Генератор напора, шт.	1
5.4	Тип	4ГПЭМ 300-4/1
5.5	Мощность, кВт	300
6	Электродвигатель хода, шт.	2
6.1	Тип	ДЭ-812У1
6.2	Мощность, кВт	90
7	Электродвигатель открывания днища ковша, шт.	1
7.1	Тип	Д-32
7.2	Мощность, кВт	12
8	Электродвигатель кабельного барабана, шт.	1
8.1	Тип	Д-12
8.2	Мощность, кВт	3
9.1	Масса экскаватора, тонн	677
9.2	Длина стрелы, м	18
9.3	Длина рукоятки, м	13.58
9.4	Габаритная высота крыши кузова, м	8.4
9.5	Просвет под поворотной платформой, м	3.33
9.6	Ход рукоятки, м	4.8
9.7	Расстояние от оси пяты стрелы до оси вращения экскаватора, м	3.2
9.8	Длина гусеничного хода, м	12,25-13,08
9.10	Высота до оси пяты стрелы, м	4,85
9.11	Ширина гусеничного хода, м	9,5
9.12	Ширина гусеничной цепи, м	0,9

Работа экскаватора характеризуется в основном двумя следующими друг за другом процессами: копания (черпания) и поворота экскаватора в обоих направлениях. Процессы эти, чередуясь, следуют один за другим, и в целом работа экскаватора протекает циклически.

Полный цикл выемки и разгрузки осуществляется тремя рабочими механизмами: подъемным, напорным и поворотным у экскаваторов с оборудованием механической лопаты и тяги, подъемным и поворотным – у драглайна. Для разгрузки ковша на экскаваторе-лопате имеются специальный привод и механизм открывания днища.

Рабочий цикл экскаватора состоит из следующих основных элементов: копание, подъем ковша и одновременный поворот на выгрузку, разгрузка ковша, поворот к месту копания и одновременное опускание ковша в забой. Изменение вращающего момента и частоты вращения электродвигателей графически изображаются в виде так называемых нагрузочных диаграмм. Изучение нагрузочных диаграмм позволяет установить сущность работы экскаватора и способствует совершенствованию приемов управления машиной[7].

На рисунке 3 представлены расчетные нагрузочные диаграммы механизмов экскаватора с оборудованием механической лопаты. На рисунке 3, а сплошной линией показана нагрузочная диаграмма подъемного механизма за один цикл. Пунктирной линией показана диаграмма частоты вращения подъемного двигателя. Работу подъемного механизма можно разбить на следующие периоды: t_1 – копание; t_2 – подъем груженого ковша и равновесное удерживание его на определенной высоте при повороте платформы экскаватора на разгрузку; t_3 – разгрузка; t_4 – равновесное состояние порожнего ковша во время поворота к месту копания после разгрузки; t_5 – опускание порожнего ковша с применением торможения.

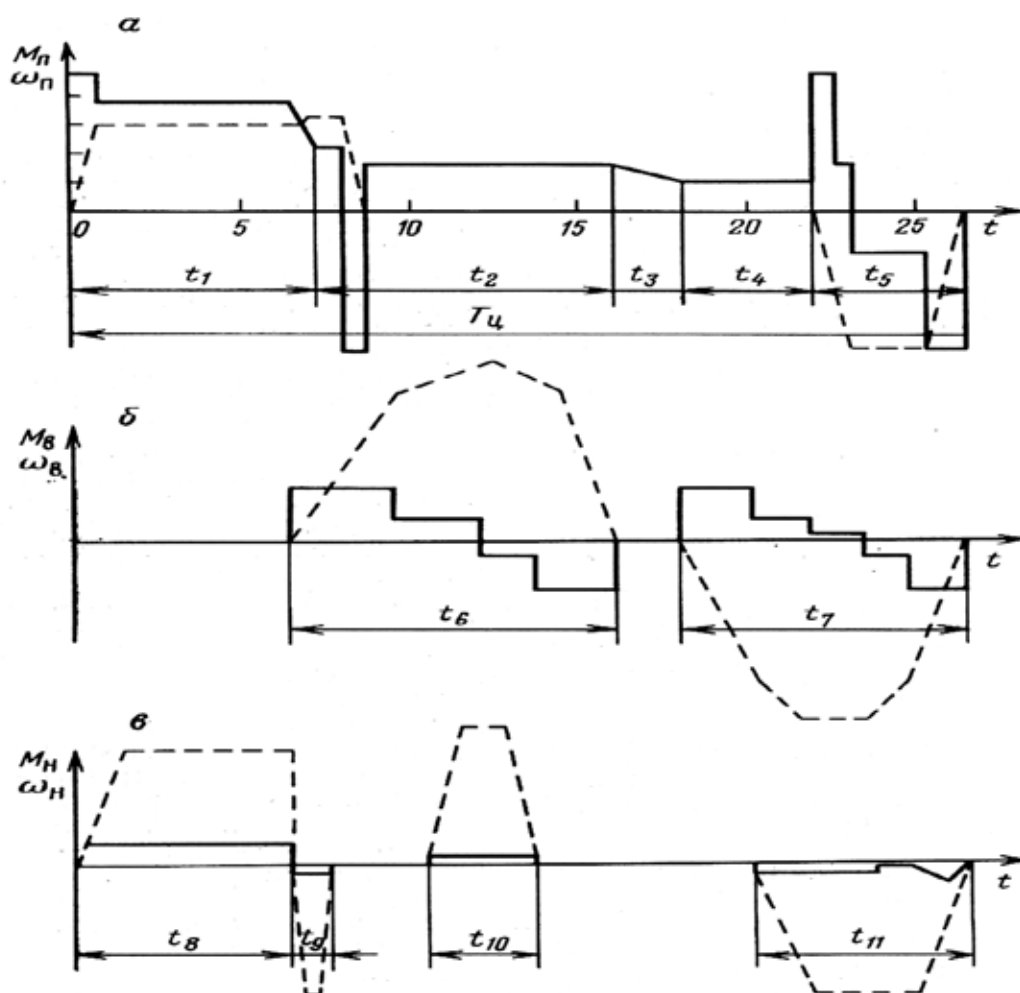


Рисунок 3 – Нагрузочные и скоростные диаграммы механизмов экскаватора с оборудованием механической лопаты: *а* – подъемного механизма; *б* – поворотного механизма; *в* – напорного механизма

На рисунке 3, *б* представлены диаграммы поворотного механизма за один рабочий цикл. Здесь имеют место следующие рабочие периоды: t_6 – разгон и торможение поворотной платформы с грузным ковшом; t_7 – разгон и торможение поворотной платформы с порожним ковшом. Длительность поворотных движений составляет до 70 – 80% общего времени цикла, т.е. определяет собой в значительной мере производительность экскаватора.

На рисунке 3, *в* представлены диаграммы напорного механизма за один цикл. Рабочий цикл привода напора состоит из следующих периодов: t_8 – напор при копании; t_9 – возврат рукояти с грузным ковшом назад; t_{10} – перемещение рукояти с грузным ковшом вперед при повороте на разгрузку; t_{11} – вытягивание рукояти при подаче порожнего ковша в забой.

Приведенные нагрузочные диаграммы основных рабочих механизмов построены на основании теоретических расчетов. Хотя, действительная нагрузка механизмов несколько отличается от теоретической. Вследствие изменения сопротивления грунта и других факторов, общий характер нагрузочных диаграмм остается примерно таким же, какой представлен на рисунке 3.

Как видно из рассмотренных выше диаграмм, режим работы основных механизмов экскаватора характеризуется частыми пусками и реверсами, быстрыми разгонами и остановками.

1.2 Электроснабжение экскаватора

Экскаватор в забое получает питание от воздушной сети 3-х фазного переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 6000 В по гибкому кабелю марки КШВГ сечением 3x50+1x16 мм. Через подключательный пункт, имеющий средства защиты от коротких замыканий и пониженного напряжения. Кабель подключается к зажимам кольцевого барабана, установленного на ходовой тележке экскаватора. От кольцевого токоприемника кабельного барабана напряжение по кабелю, проложенному по ходовой тележке, подается к зажимам высоковольтного комбинированного кольцевого токоприемника, который установлен в центре вращения поворотной платформы. От высоковольтного кольцевого токоприемника напряжение подается к высоковольтному распределительному устройству, а от него по двум направлениям:

а) через трехполосный разъединитель Р1 и масляный выключатель ВМ1 к приводному синхронному двигателю МС преобразовательного агрегата;

б) через высоковольтные трубчатые предохранители ПКЗ-6 к силовому трехфазному трансформатору.

От силового трансформатора напряжением 330 В питается электрооборудование вспомогательных механизмов экскаватора [6].

Все электрооборудование экскаваторов разделяется на две основные группы:

- электрооборудование главных приводов;
- электрооборудование вспомогательных приводов;

В состав главных приводов входят:

- привод подъема;
- привод напора;
- привод поворота;
- привод хода;
- привод открытия днища ковша и привод кабельного барабана.

В состав приводов вспомогательных механизмов входят:

- электродвигатели вспомогательных лебедок;
- электродвигатели вентиляторов;
- электродвигатели насосов;
- электродвигатели смазки и т.д. [12].

1.3 Кинематическая схема механизма подъема

Кинематическая схема лебедки подъема приведена на рисунке 4. На лебедке подъема применяется стальной канат диаметром 52 мм и длиной 155 м.

Лебедка приводится в движение двумя электродвигателями постоянного тока мощностью 500 кВт каждый. Крутящий момент от двух двигателей передается через две зубчатые пары на ведущие шестерни барабанов. Барабаны и шестерня вращаются на подшипниках качения.

Торможение подъемной лебедки при работе производится противотоком при постановке рукояти командоконтроллера подъема в нулевое положение. Для аварийного и экстренного торможения предусмотрены дисковые электромагнитные тормоза, которые выполняют также функцию стояночных

тормозов, и срабатывают при размыкании цепи управления и полном обесточивании экскаватора. Механизм подъема является независимым и одним из главных механизмов экскаватора. Преимуществом независимого подъемного механизма является лучшая маневренность рабочего оборудования.

В состав механизма подъема входит:

- шкаф управления электроприводом;
- два электродвигателя постоянного тока;
- лебедка подъема.

Лебедка подъема приводится в движение от двух двигателей 1и2 постоянного тока мощностью 500 кВт каждый через редуктор с тремя зубчатыми передачами, где большое колесо 6 непосредственно связано с барабанами 7. Валы двигателей соединяются с валом редуктора при помощи эластичных муфт 8, обода которых служат одновременно тормозными шкивами колодочных замкнутых тормозов лебедки. Лебедка для подъема ковша устанавливается на горизонтальной ферме поворотной платформы.

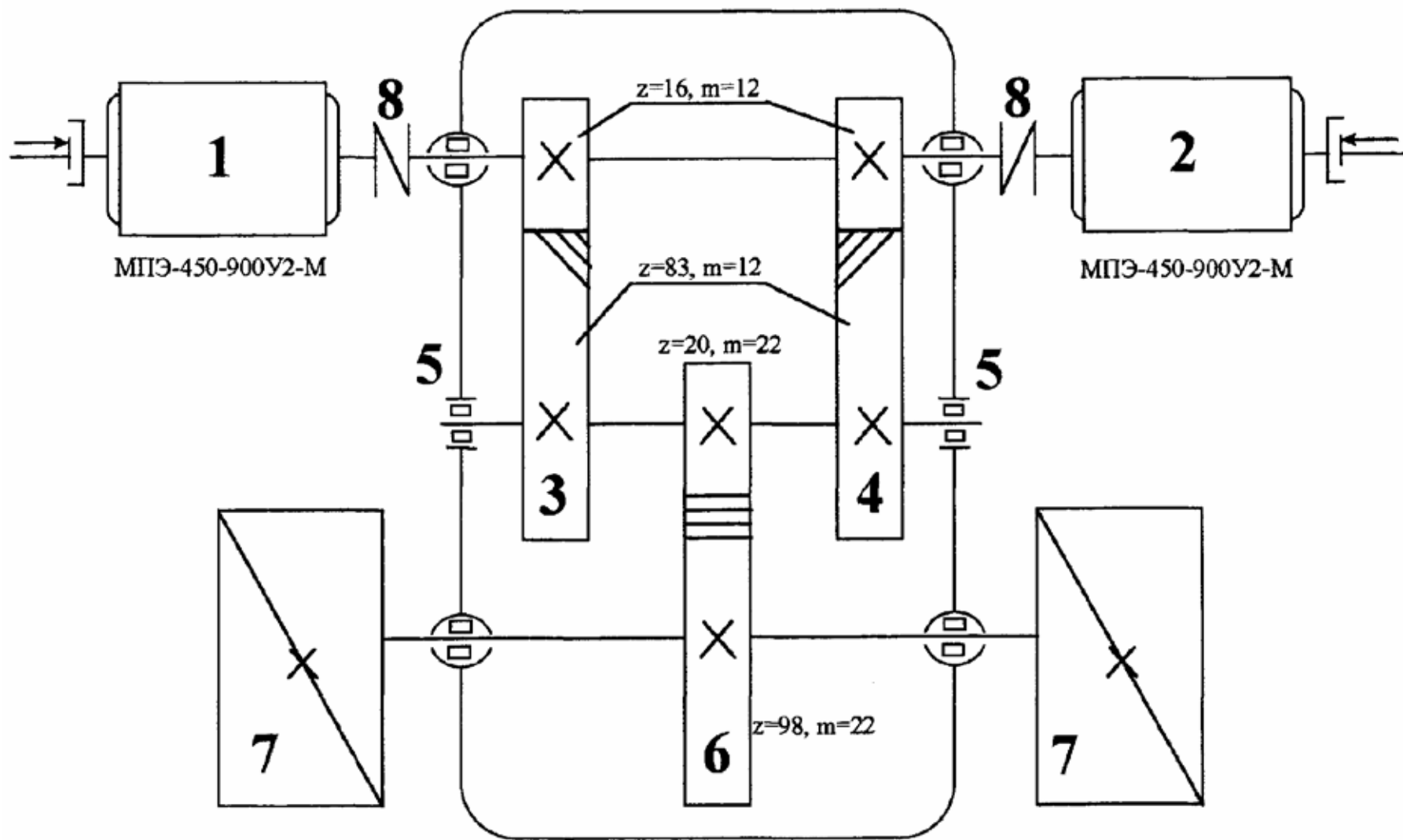


Рисунок 4—Кинематическая схема механизма подъема экскаватора ЭКГ-15

1.4 Технологический процесс

Технологическим процессом работы экскаватора с оборудованием прямой лопаты является копанье грунта выше уровня стояния машины с последующей выгрузкой в транспортные средства или в отвал.

Оборудование прямой лопаты применяется для разработки грунтов различных категорий, начиная от самых легких и кончая скальными породами, которые перед разработкой их экскаватором измельчаются с помощью взрывов.

Рабочий цикл экскаватора состоит из следующих последовательно выполняемых операций:

- разработка забоя;
- транспортировка ковша с грунтом к месту выгрузки;
- выгрузка грунта;
- транспортировка порожнего ковша к месту черпания;
- передвижение.

Разработка забоя (заполнение ковша). При копании осуществляется движение подъема ковша и напорное движение. Движение подъема и напора выполняется подъемным и напорным механизмами. При копании ковш преодолевает сопротивление грунта, снимая при этом стружку, ширина которой соответствует ширине ковша. Толщина стружки регулируется напорным движением. Реакция со стороны грунта на ковш определяется шириной и толщиной стружки и зависит от механических свойств грунта.

В неоднородных грунтах реакция со стороны грунта на ковш может изменять свою величину в более или менее значительных пределах, в течении очень небольшого промежутка времени. При значительном возрастании реакции может произойти стопорение (остановка) ковша. Подъемное усилие, передаваемое на ковш подъемного механизма, в этом случае окажется недостаточным. При резком возрастании реакции грунта энергия движущихся масс частично переходит в энергию деформации упругих элементов

конструкций экскаватора.

При осуществлении напорного движения может также произойти стопорение ковша [8].

Для того чтобы вывести ковш из состояния стопорения, машинист экскаватора должен уменьшить сечение стружки. С этой целью он сообщает рукояти возвратное движение напора.

При стопорении ковша происходит остановка двигателей подъема. После того как ковш выведен из состояния стопорения, для продолжения процесса требуется снова разогнать двигатель до рабочей скорости. Все это требует определенного времени, вследствие чего увеличивается время копания и снижается производительность экскаватора.

Ввиду того, что в настоящее время не существует автоматических устройств, предупреждающих и устраняющих стопорение ковша, машинист экскаватора должен иметь возможность чувствовать момент наступления стопорения, чтобы своевременно изменить режим работы экскаватора. Поэтому для главных электроприводов экскаваторных механизмов применяется специальная механическая экскаваторная характеристика (рисунок 6), которая предусматривает, чтобы изменение нагрузки на ковше сопровождалось вполне определенным оптимальным изменением скорости подъемного движения.

Транспортировка ковша с грунтом к месту выгрузки (поворот платформы экскаватора со стрелой и ковшом на выгрузку). При повороте на выгрузку происходит вращение экскаватора, одновременно с выдвиганием или втягиванием рукояти и подъемом или опусканием ковша с целью установки его в наивыгоднейшее положение для выгрузки в транспорт или отвал.

Главным рабочим движением при совершении этой операции является вращение экскаватора. Ввиду того, что поворотное движение (при повороте на выгрузку и обратно в забой) составляет основную (до 70%) часть рабочего цикла, необходимо для сокращения этого цикла и увеличения

производительности стремиться к тому, чтобы установление максимальной скорости вращения экскаватора происходило достаточно быстро.

Выгрузка грунта (опорожнение ковша). Выгрузка грунта совершается после остановки экскаватора. Порода разгружается из ковша под действием собственного веса при открывании днища ковша с помощью особого механизма. Однако иногда при выполнении этой операции для более равномерного распределения грунта по кузову загружаемого вагона или автомобиля включают в работу поворотный и напорный механизмы.

Транспортировка порожнего ковша к месту черпания (поворот платформы экскаватора со стрелой и ковшом в забой). Обратный поворот в забой совершается после выгрузки. При этом происходит опускание ковша и втягивание рукояти (установка ковша в исходное положение). При повороте в забой момент инерции вращающихся частей экскаватора на 20 – 30% меньше, чем при повороте на выгрузку.

Передвижение. Передвижение экскаватора производится после выработки забоя. При разработке забоя передвижение является вспомогательной операцией. При переброске же экскаватора из одного забоя в другой своим ходом передвижение является основной операцией. Переброска на дальние расстояния осуществляется с помощью специальных транспортных средств.

Таким образом, из сказанного выше можно заключить, что все операции рабочего цикла экскаватора неизбежно сопровождаются сочетанием одновременной работы нескольких механизмов экскаватора.

1.5 Требования к электроприводу механизма

Важнейшей особенностью работы электроприводов экскаваторных механизмов, участвующих в процессе копания является сильно меняющаяся во времени статическая нагрузка, которая может достигать очень больших значений. Возникающие перегрузки механизмов при благоприятных условиях

своевременно устраняются машинистом путем уменьшения толщины снимаемой стружки. Однако, при неожиданной встрече ковша с непреодолимым препятствием (крупный валун в относительно мягком грунте, не взорванная скала и т. д.) или при чрезмерном заглублении ковша создаются условия для возникновения недопустимых нагрузок, способных, с одной стороны, вызвать поломки рабочих механизмов экскаватора, а с другой привести к опасным режимам для электрооборудования и даже выходу его из строя.

Кроме того, при встрече ковша с таким препятствием происходит резкое замедление (стопорение) экскаваторного механизма. При этом кинетическая энергия, накопленная к моменту стопорения во вращающихся частях системы электродвигатель-рабочий механизм, преобразуется в потенциальную энергию упругих элементов конструкции, канатов, вызывая их упругую деформацию, т.е. возникают в них значительные динамические нагрузки, толчки и удары. Чем больше частота вращения двигателя, при которой стопорится рабочий механизм, тем значительней нагрузки.

Стопорный режим работы механизма предъявляет специфическое требование к электродвигателю рабочего механизма экскаватора. Для предотвращения поломки механизма экскаватора при статических перегрузках и резких стопорениях, вызывающих значительные динамические перегрузки, усилие на ковше, а следовательно, движущий момент на валу рабочего механизма и ток двигателя должны быть ограничены какой-то безопасной величиной - предельным моментом или предельно допустимым током двигателя [8].

Если электропривод не будет отвечать этому основному требованию, предъявляемому ко всем электроприводам главных рабочих механизмов, то в момент стопорения ковша вынужденно остановившийся двигатель перейдет в режим короткого замыкания.

Режим короткого замыкания опасен для электроприводов, электрической аппаратуры и питающей сети, а в приводе постоянного тока

для рабочего механизма, так как при стопорении возникающий момент во много раз больше номинального, что может вызвать поломку механизма. Поэтому необходимо автоматически ограничивать до безопасного значения ток и момент двигателя, при чрезмерном возрастании нагрузки исходя из условий механической прочности конструкций и рабочего оборудования или допустимой перегрузки двигателя.

С другой стороны, для сохранения наибольшей производительности экскаватора желательно, чтобы двигатель работал с постоянной наибольшей частотой вращения до момента начала стопорения, т.е. до тех пор, пока нагрузка не возрастет до опасного предела.

Способ ограничения момента – электрический, когда при возрастании нагрузки свыше стопорного значения производится автоматическое воздействие на систему управления двигателем.

В настоящее время основным средством ограничения момента электроприводов главных механизмов экскаваторов средней и большой производительности является использование привода с экскаваторной механической характеристикой. На рисунке 5 в виде кривой 1 – представлена так называемая идеальная экскаваторная механическая характеристика, состоящая из горизонтального прямолинейного участка (рабочий участок) и вертикального (крутопадающего) участка (нерабочий участок), в виде кривой 2 – представлена рабочая экскаваторная механическая характеристика. Рабочая механическая характеристика предусматривает, чтобы изменение нагрузки на ковше сопровождалось вполне определенным оптимальным изменением скорости подъемного движения. Это делается для того, чтобы машинист экскаватора мог иметь возможность чувствовать момент наступления стопорения, чтобы своевременно изменить режим работы экскаватора.

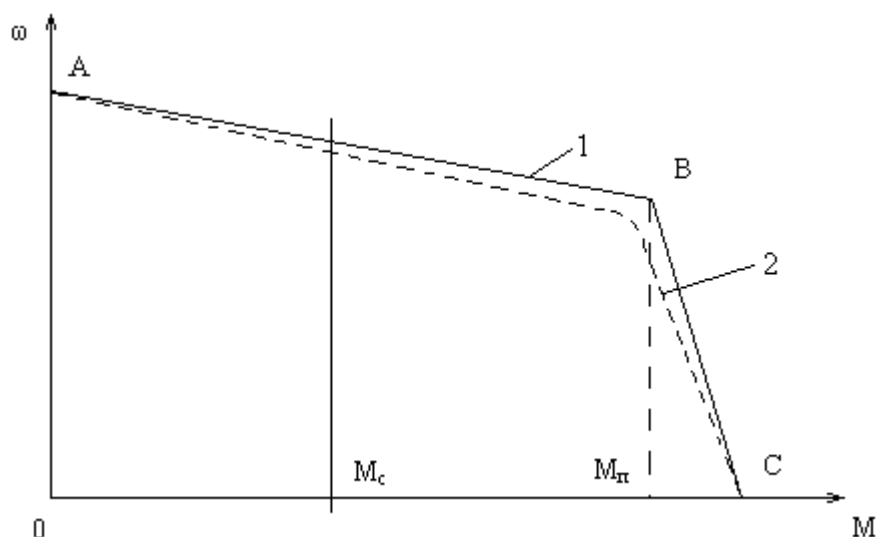


Рис. 5 – Экскаваторная механическая характеристика

1 – расчетная, 2 – действительная, АВ – рабочий участок, ВС – падающая часть характеристики (нерабочий участок)

Электродвигатель с такой характеристикой удовлетворяет всем поставленным выше требованиям. Он работает с номинальной частотой вращения до тех пор, пока нагрузка не возрастает до максимального момента, называемого стопорным ($M_{ст}$). Когда же момент нагрузки возрастает еще больше, электродвигатель резко снижает частоту вращения и останавливается ($M_{дв} = M_{макс} = M_{ст}$ и $W = 0$). Как характерная для экскаваторного электропривода эта характеристика получила наименование экскаваторной [7].

Электропривод механизма подъема экскаватора должен удовлетворять в первую очередь требованиям, вытекающим из условий работы подъемного механизма, основные из которых следующие:

Главные требования для:

1. Скорость при разгоне и реверсировании должна изменяться равномерно для обеспечения большей средней скорости;
2. Скорость опускания рукояти должна быть выше скорости подъема;
3. При весьма большом внезапном возрастании нагрузки вращающийся момент привода не должен заметно повышать максимальный расчетный

статический момент привода при работе на упор;

4. Диапазон регулирования скорости должен быть широким;

5. Привод должен иметь для различных положений командоконтроллера практически выполнимые механические характеристики.

Для подъема рукояти без копания должна быть предусмотрена последняя ступень повышенной скорости и уменьшенный момент вращения двигателя.

1.6 Обоснование и выбор рода тока

В качестве электропривода в экскаваторах применяется регулируемый электропривод с автоматическим регулированием параметров.

Так как к электроприводу экскаваторов предъявляются особые требования по надежности с одной стороны, а с другой стороны должна сохраняться наибольшая производительность экскаватора, в качестве РЭП чаще всего применяется система генератор – двигатель (Г–Д) с тиристорным возбудителем, как наиболее удовлетворяющая требованиям работы в тяжелых горногеологических условиях.

В системе Г–Д режим работы каждого из генераторов преобразовательного агрегата повторяет режим работы соответствующего двигателя. Однако с точки зрения условий охлаждения генераторы работают в лучших условиях, так как якоря генераторов независимо от нагрузки вращаются с постоянной скоростью. Постоянная скорость вращения и возможность регулирования величины тока в обмотках возбуждения генераторов позволяет системе Г–Д обеспечивать необходимую мощность и момент двигателей во всех их режимах, даже при стопорениях.

Система Г–Д с тиристорным возбудителем обладает высокими регулировочными параметрами и обеспечивает широкий диапазон регулирования во всех режимах нагрузки электропривода.

В качестве приводного двигателя (ПД) применен синхронный двигатель. При использовании синхронного двигателя его скорость в статических и динамических режимах работы при разных нагрузках генератора остается неизменной. Также следует учитывать, что благодаря возбуждению постоянным током синхронный двигатель менее критичен к колебаниям напряжения сети, особенно при наличии системы автоматического регулирования тока возбуждения.

Система Г–Д электропривода механизма подъема состоит из двух электродвигателей постоянного тока, получающих питание от генератора постоянного тока с регулируемым напряжением. Двигатели имеют независимое возбуждение с регулируемым ослаблением потока, благодаря чему в системе осуществляется регулирование скорости в сторону уменьшения путем регулирования напряжения генератора и в сторону увеличения путем регулирования потока исполнительного двигателя.

Управление электроприводом по системе Г–Д с тиристорным возбудителем осуществляется путем изменения значения и направления тока возбуждения генератора. Изменением ЭДС генератора E_r в системе Г–Д обеспечивается непрерывное плавное управление моментом и скоростью электропривода во всех четырех квадрантах координат механической характеристики при неизменной жесткости.

В электроприводе механизма подъема применяется рекуперативное торможение. Рекуперативное торможение двигателя осуществляется без потребления электроэнергии от генератора, за счет кинетической энергии опускающегося ковша. Более того, при этом часть энергии возвращается обратно в питающую сеть или отдается на общий вал многомашинного преобразователя. Поэтому рекуперативное торможение относится к числу наиболее экономичных видов торможения.

Достоинством системы Г–Д является отсутствие искажений потребляемого из сети тока и относительно небольшое потребление реактивной мощности. При применении синхронного двигателя в преобразовательном агрегате путем регулирования тока возбуждения можно обеспечить работу электропривода с $\cos\varphi = 1$ или $\cos\varphi > 1$ для компенсации реактивной мощности, потребляемой другими установками.

Таким образом, система Г–Д с тиристорным возбудителем позволяет осуществить плавный пуск, плавное регулирование скорости вращения, применить наиболее рациональный режим рекуперативного торможения. Система Г–Д обладает хорошими регулировочными характеристиками, сравнительно невысокой удельной стоимостью и высоким уровнем срока службы.

1.7 Схема электрическая принципиальная

Наиболее полно требованиям экскаваторного электропривода большой мощности отвечает система постоянного тока генератор-двигатель, с питанием обмоток возбуждения генераторов от отдельных статических тиристорных преобразователей.

Для питания электродвигателей используется четырехмашинный преобразовательный агрегат, состоящий из синхронного электродвигателя и трех генераторов постоянного тока. Возбуждение электродвигателей осуществляется напряжением 110 В от статического возбудителя, представляющего собой магнитный усилитель УМ и кремневые выпрямители.

Силовая часть привода подъема является многодвигательной. Генератор подъема питает два последовательно соединенных электродвигателя подъема.

Схема управления главными электроприводами является системой подчиненного регулирования с контуром регулирования тока и контуром регулирования напряжения. Такая система позволяет формировать

надлежащие статические и динамические характеристики главных электроприводов[2]. Схема электрическая принципиальная приведена на рисунке 6.

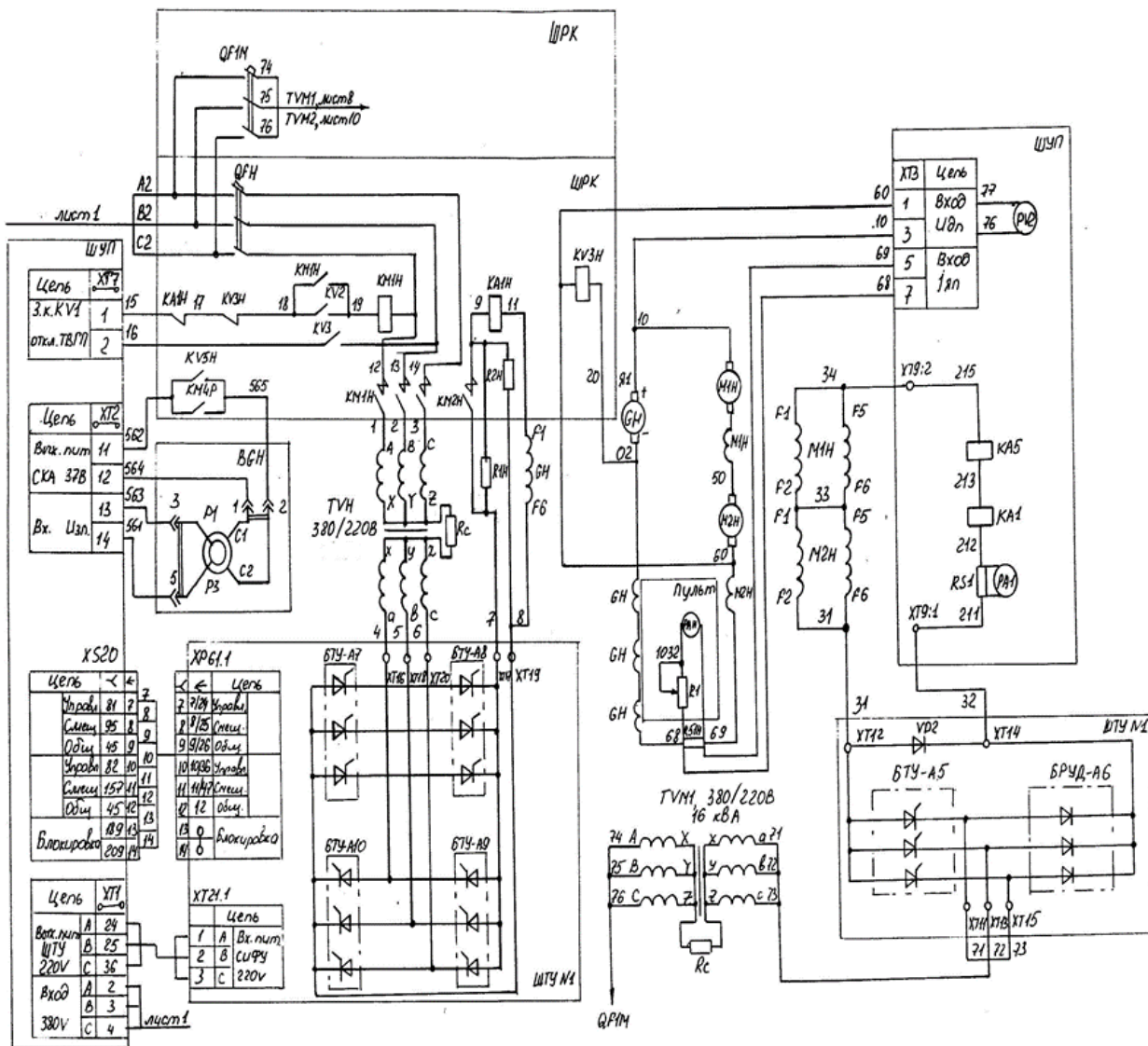


Рисунок 6 – Схема электрическая принципиальная

Для привода механизма подъема используются два последовательно соединенных двигателя МП1 и МП2, получающих питание от управляемого генератора ГП. Обмотки возбуждения получают питание от статического преобразователя УМ, который представляет собой магнитный усилитель с обратными связями по напряжению преобразователя и по току в обмотках возбуждения электродвигателей. Введение обратной связи по току

возбуждения обеспечивает постоянство тока в обмотках возбуждения электродвигателей, независимо от нагрева этих обмоток.

Последовательно с обмотками возбуждения электродвигателей подъема включены добавочные сопротивления. Сопротивление СДП1 шунтируется замыкающим контактом контактора ослабления поля КП2, который с помощью реле напряжения РНП отключается при спуске ковша. Этим обеспечивается ослабление магнитного потока электродвигателей на 35% от номинального. При подъеме ковша катушка реле РНП шунтируется диодом Д28.

Регулирование тока возбуждения генератора осуществляется с помощью тиристорного преобразователя, выполненного по трехфазной мостовой встречно-параллельной схеме с уравнительными дросселями.

Технические данные преобразователя:

- напряжение питания сети 220 В;
- выпрямленное напряжение 0 – 200 В;
- среднее значение выпрямленного тока до 100 А;

Конструктивно тиристорный преобразователь выполнен в виде отдельных блоков. Система управления размещена в трех блоках: блок фазорегулятора, блок формирования импульсов и тиристорный блок.

В подобных схемах тиристорных преобразователей одна из вентильных групп работает в выпрямительном режиме, вторая подготовлена для инвертирования запасенной в обмотках возбуждения энергии в сеть. При реверсе назначения групп меняются. Однако из-за неравенства мгновенных значений напряжений между группами всегда будет протекать ток, называемый уравнительным. Для ограничения величин уравнительных токов в схеме предусмотрены уравнительные дроссели. Регулирование выходного напряжения преобразователя осуществляется изменением фазы отпирания вентиля.

На рисунке 7 приведена силовая часть цепи привода подъема, а на рисунке 10 узел обмоток возбуждения электродвигателей [12].

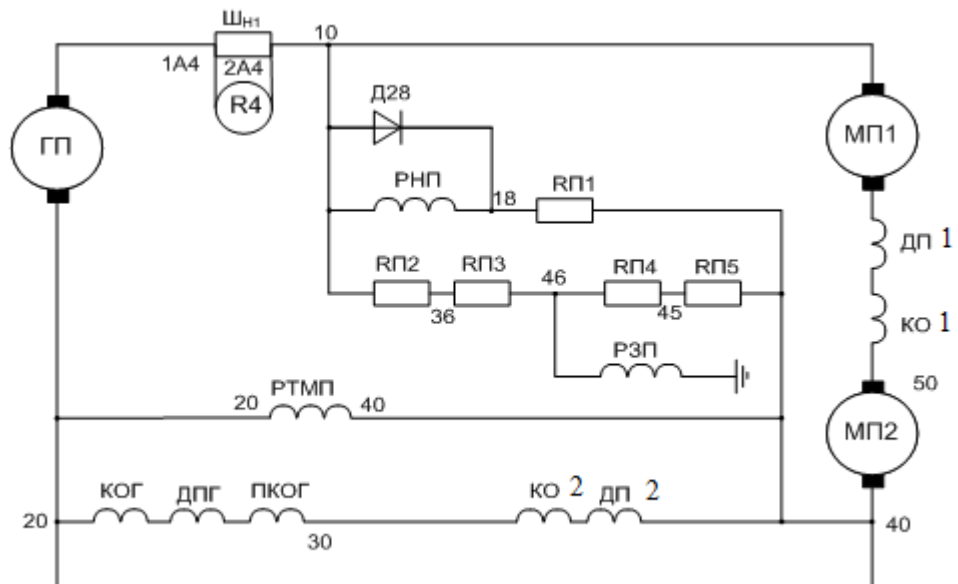


Рисунок 7 – Силовая часть цепи привода подъема

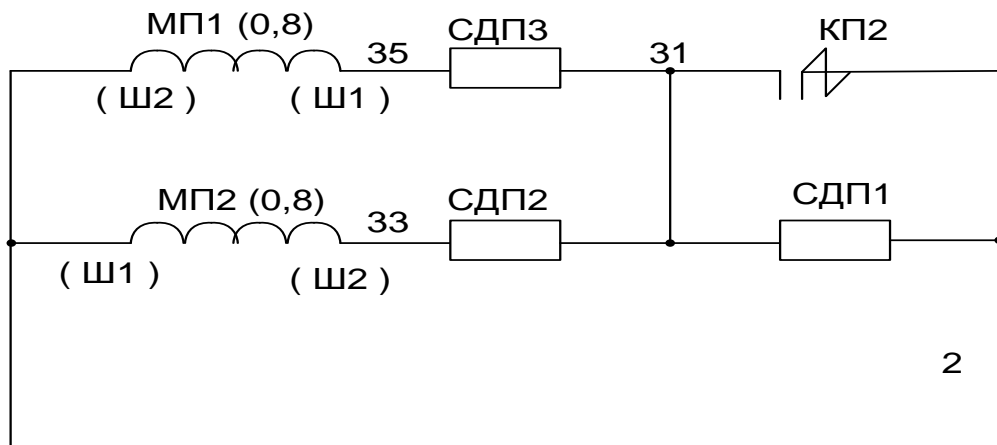


Рисунок 8 – Узел обмоток возбуждения электродвигателя

2 ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ЭКГ–15

2.1 Электрические машины привода подъема

В результате многолетнего опыта эксплуатации экскаваторов вообще и экскаватора ЭКГ-15 в частности разработана и выпускается промышленностью серия специализированных экскаваторных машин (с индексом Э в обозначении).

Для механизма подъема экскаватора ЭКГ–15 применяются электродвигатели серии МПЭ450-900-1 ($P_H = 500$ кВт, $n_H = 900$ об/мин) и генератор серии 4ГПЭМ1250 - 1/1 ($P_H = 1250$ кВт, $n_H = 1000$ об/мин). Электропривод двухдвигательный, что уменьшает эквивалентный момент инерции привода. Двигатели включены последовательно, что обеспечивает выравнивание нагрузок между ними без применения дополнительных устройств.

2.1.1 Электродвигатель механизма подъема типа МПЭ450-900-1

Паспортные данные двигателя МПЭ450-900-1 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические параметры двигателя МПЭ450-900-1

Наименование	Значение
Номинальная мощность P_n , кВт	500
Номинальное напряжение U_n , В	440
Номинальный ток якоря I_n , А	1210
Допустимая перегрузка по току: при U_n при $0.25 U_n$	$2 \cdot I_n$ $2.5 \cdot I_n$
Номинальная скорость вращения n_n , об/мин	900
Предельная скорость вращения n_n , об/мин	1100
Сопротивление обмотки якоря $R_{оя}$ при 15 °С, Ом	0.0059
Сопротивление обмотки дополнительных полюсов $R_{дп}$ при 15 °С, Ом	0.0013
Сопротивление компенсационной обмотки $R_{ко}$ при 15 °С, Ом	0.00443
Ток возбуждения номинальный $I_{в ном}$, А	22.1
Ток возбуждения минимальный $I_{в мин}$, А	13
Напряжение возбуждения номинальный $U_{вн}$, В	100
Напряжение возбуждения минимальный $U_{вмин}$, В	59
Момент инерции $J_{дв}$, кг м ²	30
Номинальный поток возбуждения одного полюса	0.094
Число полюсов $2p$	4

2.1.2 Расчетные параметры электродвигателя

Номинальная угловая скорость вращения.

$$\omega_{двн} = \frac{\rho}{30} \times n_n = \frac{3.14}{30} \times 900 = 94.2 \text{ рад/с.}$$

Предельная угловая скорость вращения.

$$\omega_{двпред} = \frac{\rho}{30} \times n_{пред} = \frac{3.14}{30} \times 1100 = 115.13 \text{ рад/с.}$$

Сопротивление цепи якоря двигателя при 15 °С

$$R_{вх} = R_{оя} + R_{дп} + R_{ко} = 0.0059 + 0.0013 + 0.00443 = 0.01163 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии при перегреве + 90 °С

$$R_{двгор} = 1.36 \times R_{дв} = 1.36 \times 0.01163 = 0.0158 \text{ Ом.}$$

Индуктивность цепи якоря

$$L_{дв} = g \times \frac{U_n}{\rho \times I_n \times \omega_{двн}} = \frac{0.15 \times 440}{1210 \times 2 \times 94.2} = 0.2895 \times 10^{-3} \text{ Гн.}$$

где

$g = 0.15$ для компенсированных машин.

Коэффициент ЭДС, $\frac{\text{В} \times \text{с}}{\text{рад} \cdot \text{А}}$ и электромагнитного момента, $\frac{\text{Н} \times \text{м} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}}$

двигателя при номинальном потоке возбуждения

$$C = K_{дв} \times \Phi_{дв} = \frac{U_{двн} - I_{двн} \times R_{двгор}}{\omega_{двн}} = \frac{440 - 1210 \times 0.0158}{94.2} = 4.468$$

Конструктивный коэффициент двигателя

$$K_{дв} = \frac{(K_{дв} \times \Phi_{дв})}{\Phi_{дв}} = \frac{4.478}{0.078} = 57.135$$

Максимально допустимый ток двигателя при $U_{дв} = 0.25 U_n$ (ток стопорения)

$$I_{двстоп} = 2.5 \times I_n = 2.5 \times 1210 = 3025 \text{ А.}$$

Максимально допустимый ток двигателя при $U_{дв} > 0.25 U_n$

$$I_{\text{дв макс}} = 2 \times I_{\text{дв н}} = 2 \times 210 = 2420 \text{ А} .$$

Ток отключения

$$I_{\text{откл}} = 2.75 \times I_{\text{дв н}} = 2.75 \times 210 = 3327.5 \text{ А} .$$

Электромагнитная постоянная цепи двигателей

$$T_{\text{дв}} = \frac{2L_{\text{дв}}}{2R_{\text{дв}}} = \frac{2 \times 0.2895 \times 10^{-3}}{2 \times 0.0158} = 0.018323 \text{ с} .$$

2.1.3 Генератор механизма подъема типа 4ГПЭМ1250 –1/1

Паспортные данные генератора типа 4ГПЭМ 1250 – 1/1 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические параметры генератора 4ГПЭМ 1250 – 1/1

Наименование	Значение
Номинальная мощность $P_{\text{н}}$, кВт	1250
Номинальная скорость вращения $n_{\text{н}}$, об/мин	1000
Напряжение номинальное $U_{\text{н}}$, В	930
Номинальный ток $I_{\text{н}}$, А	1344
Максимальный ток $I_{\text{макс}}$, А при $U=U_{\text{н}}$	$2 \cdot I_{\text{н}} = 2688$ $2.5 \cdot I_{\text{н}} = 3360$
Ток независимого возбуждения $I_{\text{вн}}$, А	48
Число полюсов $2p$	6
Схема соединения обмоток возбуждения	Последовательно
Сопротивление обмотки возбуждения $R_{\text{ов}}$ при 15°C, Ом	2.12
Сопротивление обмотки якоря $R_{\text{оя}}$ при 15 °C, Ом	0.0093
Сопротивление обмотки добавочных полюсов $R_{\text{дп}}$ при 15 °C, Ом	0.00153
Сопротивление компенсационной обмотки $R_{\text{ко}}$ при 15°C, Ом	0.005

Сопротивление противокомпаундной обмотки $R_{ПК}$ при 15°C , Ом.	0.000171
Число витков обмотки возбуждения на полюс	230
Номинальный поток возбуждения Φ_H , Вб	0.0782

2.1.4 Расчётные параметры якорной цепи генератора

Сопротивление цепи якоря генератора при 15°C .

$$R_{\Gamma} = R_{\text{оя}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{ПК}} = 0.0093 + 0.00153 + 0.005 + 0.000171 = 0.016 \text{ Ом.}$$

Сопротивление цепи якоря генератора в горячем состоянии при температуре перегрева $+75^{\circ}\text{C}$.

$$R_{\Gamma\text{гор}} = 1.3 \times R_{\Gamma} = 1.3 \times 0.016 = 0.0208 \text{ Ом.}$$

Индуктивность якорной цепи генератора.

$$L_{\Gamma} = g \times \frac{U_H}{I_H} \times \frac{1}{p \times \omega_{\Gamma H}} = 0.2 \times \frac{930}{1344} \times \frac{1}{3 \times 104.66} = 0.00044 \text{ Гн,}$$

где принято $g = 0.2$ для компенсированных машин.

2.1.5 Расчётные параметры обмотки возбуждения генератора

Сопротивление обмотки возбуждения при температуре перегрева $+75^{\circ}\text{C}$.

$$R_{\text{вг.гор}} = 1.3 \times 2.12 = 2.756 \text{ Ом.}$$

Напряжение возбуждения генератора при номинальном токе возбуждения.

$$U_{\text{в}} = I_{\text{вн}} \times R_{\text{вг.гор}} = 48 \times 2.756 = 132.288 \text{ В.}$$

Максимальное значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения на линейном участке кривой намагничивания.

$$L_{\text{вг.макс}} = 2p \times w_{\text{вг}} \times \frac{D\Phi}{DI_{\text{в}}} = 6 \times 230 \times \frac{0.0324}{12.13} = 3.68 \text{ Гн.}$$

Усреднённое значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения.

$$L_{\text{вг}} = 2p \times w_{\text{вг}} \times \frac{\Phi_{\text{гн}}}{I_{\text{вн}}} = 6 \times 230 \times \frac{0.0782}{48} = 2.24 \text{ Гн.}$$

Индуктивность потока рассеяния обмотки возбуждения.

$$L_{\text{с}} = 2p \times w_{\text{вг}} \times \frac{\Phi_{\text{гн}} \times (s - 1)}{I_{\text{вн}}} = 6 \times 230 \times \frac{0.0782 \times (1.18 - 1)}{48} = 0.404 \text{ Гн.}$$

Максимально допустимый ток генератора (ток стопорения)

$$I_{\text{г.макс}} = 2.5 \times I_{\text{н}} = 2.5 \times 1344 = 3360 \text{ А.}$$

ЭДС холостого хода генератора при номинальном потоке возбуждения по кривой холостого хода (Таблица 4)

$$E_{\text{г.хх}} = U_{\text{гн}} + I_{\text{гн}} \times R_{\text{г.гор}} = 930 + 1344 \times 0.0208 = 957.9 \text{ В.}$$

Таблица 4 – Параметры характеристик генератора

$I_{\text{в}}, \text{ А}$	0	12.13	20	39.8	45.1	57.5	80,86
$U_{\text{в}}, \text{ В}$	0	33.455	55.251	109.664	124.319	158.505	132,288
$E_{\text{г}}, \text{ В}$	0	405	651	930	961.68	1023	1116
$\Phi_{\text{г}}, \text{ Вб}$	0	0.0324	0.0522	0.0745	0.0771	0.0820	0.0895
$F, \text{ А} \cdot \text{ В}$	0	2792	4611	9152	10375	13228	18598

Максимальное значение коэффициента усиления генератора на начальном участке кривой намагничивания

$$K_{\text{г.макс}} = \frac{DE_{\text{г}}}{DU_{\text{в}}} = \frac{405}{33.455} = 12.105.$$

Среднее значение коэффициента усиления генератора

$$K_{\text{г.ср}} = \frac{E_{\text{г}}(I_{\text{вн}})}{U_{\text{вн}}} = \frac{988.81}{132.288} = 7.47.$$

2.2 Якорная цепь электропривода

Схема замещения силовой цепи генератора и электродвигателя приведены на рисунке 9.

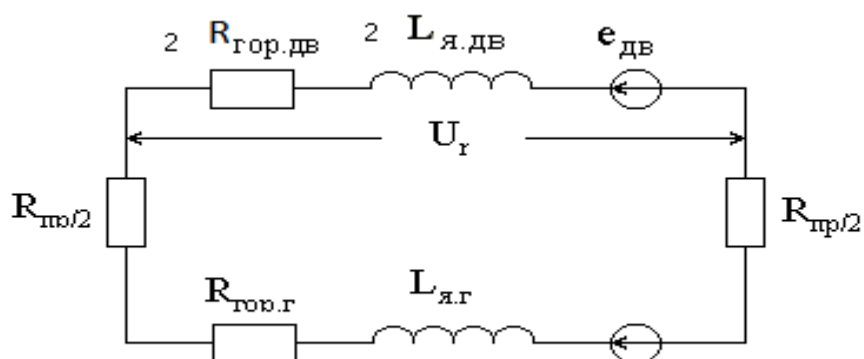


Рисунок 9–Схема замещения якорной цепи

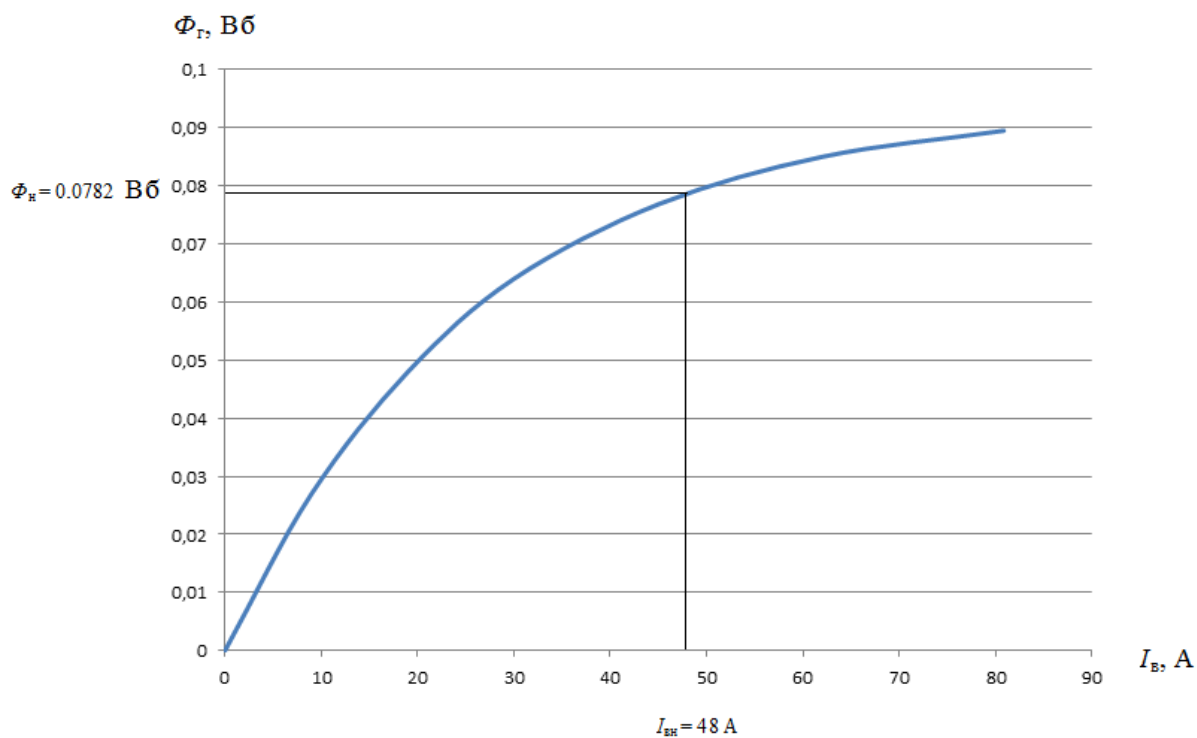


Рисунок 10– Кривая намагничивания генератора

2.2.1 Параметры якорной цепи

Сопротивление якорной цепи с учётом соединительных проводов.

$$R_{\text{яц}} = 2 \times R_{\text{дв.гор}} + R_{\text{г.гор}} + 0.1 \times (2R_{\text{дв.гор}}) = \\ = 2 \times 0.0158 + 0.0208 + 0.1 \times 2 \times 0.0158 = 0.05556 \text{ Ом.}$$

Индуктивность якорной цепи.

$$L_{\text{яц}} = 2 \times L_{\text{дв}} + L_{\text{г}} = 2 \times 0.0002895 + 0.000444 = 0.001023 \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи.

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0.0010239}{0.05556} = 0.01841 \text{ с.}$$

Принимаем для электропривода следующие предельные параметры для определения области допустимой работы (рисунок 11).

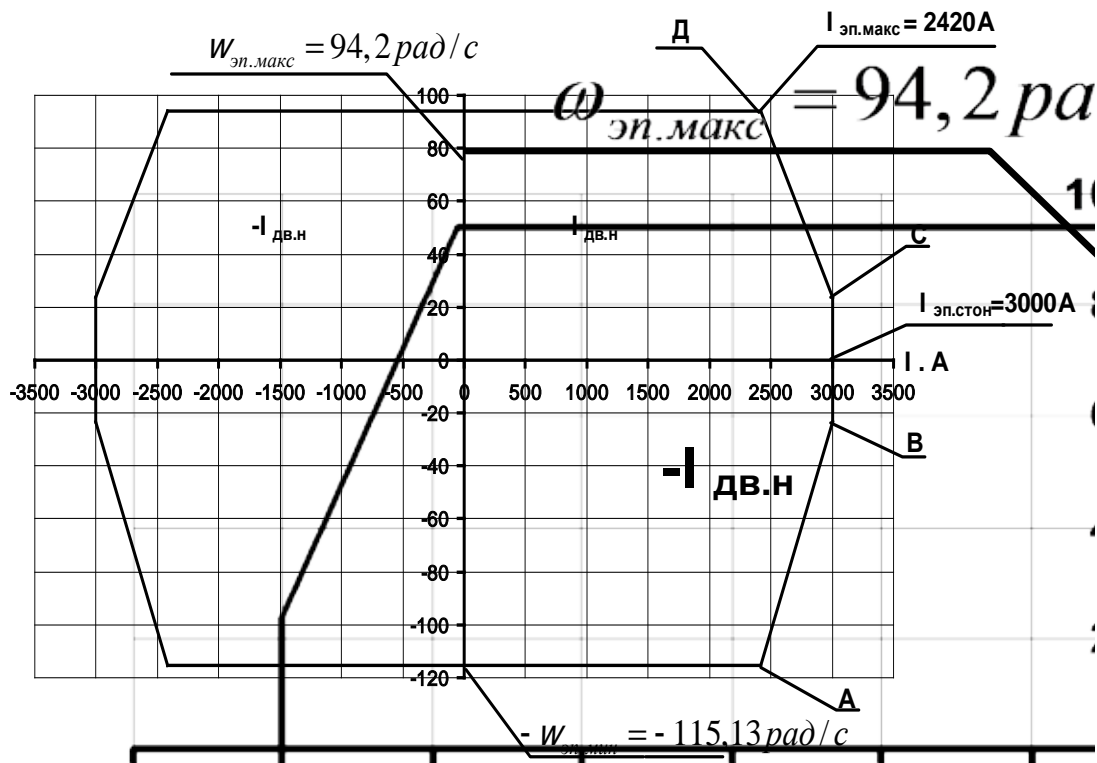


Рисунок 11 – Допустимая область работы электропривода подъема

– максимальный допустимый ток при $U_{\text{дв}} = 0.25 U_{\text{дв.н}}$ (ток стопорения) $I_{\text{эл.стоп}} = I_{\text{дв.макс}} = 3000 \text{ А}$;

– максимальный допустимый ток при $U_{\text{дв.н}}$ $I_{\text{эл.макс}} = 2420 \text{ А}$;

– максимальная скорость электропривода при подъеме

$$\omega_{\text{эл.макс}} = \omega_{\text{дв.н}} = 94.2 \text{ рад/с.}$$

– максимальная скорость электропривода при пуске (с ослаблением поля двигателя). $\omega_{\text{эл.макс}} = \omega_{\text{дв.макс}} = 115.3 \text{ рад/с.}$

2.2.2 Электромеханические характеристики разомкнутой системы Г-Д

Рассчитываем предельные электромеханические характеристики разомкнутой системы Г–Д для режима работы генератора с значениями напряжения и тока, соответствующими номинальному режиму работы

$$E_{\text{Г.ХХ}} = U_{\text{ГН}} + I_{\text{ГН}} \times R_{\text{Г.ГОР}} = 930 + 1344 \times 0.0208 = 957.9 \text{ В}$$

и режиму работы с током возбуждения $I_{\text{вг}}=0 \text{ А}$ и $E_{\text{Г.ХХ}}=0 \text{ В}$

Расчет ведется по выражению

$$\omega = \frac{E_{\text{Г.ХХ}} - I_{\text{я}} \times R_{\text{яц}}}{2 \times C}, \text{ рад/с.}$$

$$E_{\text{Г.ХХ}} = 0 \text{ В.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5. По расчетным данным на рисунке 12 построены электромеханические характеристики $\omega (I)$ разомкнутой системы Г–Д.

Таблица 5

$I_{\text{в.Г.А}}$	$E_{\text{Г.ХХ}}$	$I_{\text{я}}$	-3000	0	3000
48	957.9	$\Phi_{\text{дв.ном}}$	125.848	107.196	88.543
0	0		18.653	0	-18.653
48	-957.9		-88.543	-107.196	-125.848
48	-957.9	$\Phi_{\text{дв.мин}}$	-108.189	-130.98	-153.77

В режиме спуска с ослабленным полем электромеханическая характеристика рассчитывается по выражению.

$$\omega = \frac{E_{Г.ХХ} - I_{я} \times R_{яц}}{2 \times K_{дв} \times \Phi_{дв.мин}}, \text{ рад/с},$$

где

$$\Phi_{дв.мин} = \Phi_{дв.н} \times (\omega_{дв.н} / \omega_{дв.макс}) = 0.0782 \times (94.2 / 115.13) = 0.064 \text{ Вб}.$$

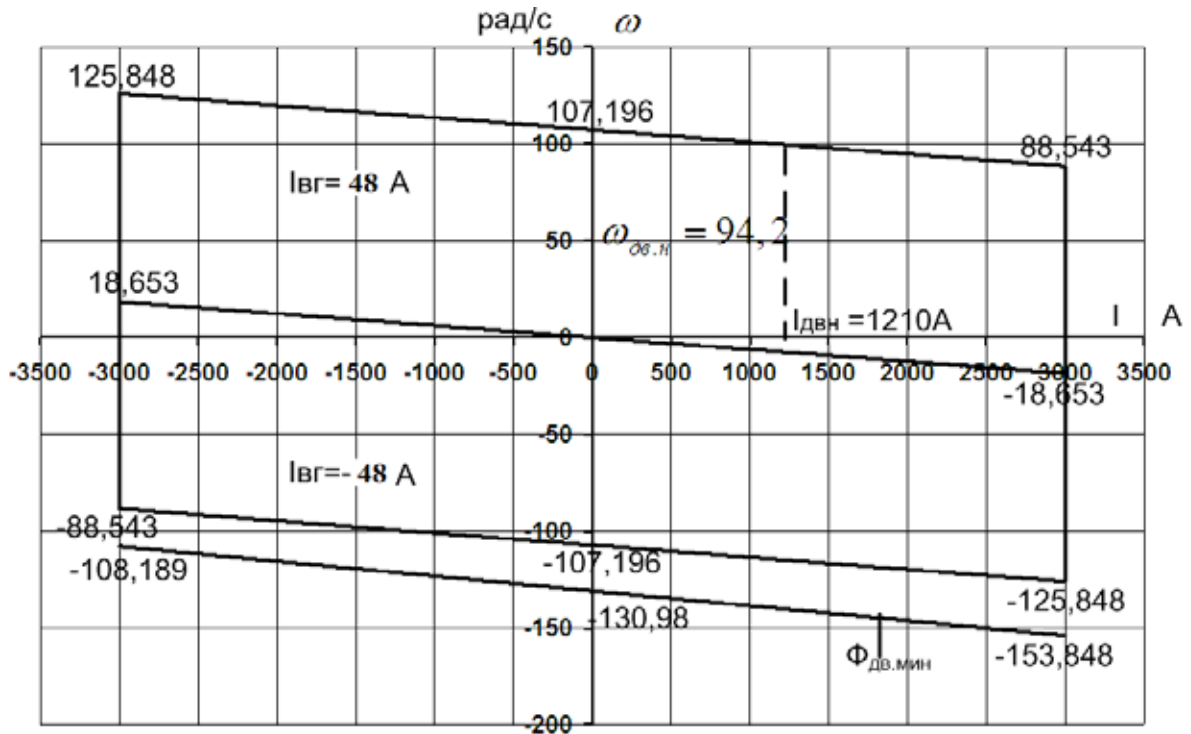


Рисунок 12– Предельная область работы электропривода

2.3 Цепь обмотки возбуждения генератора

2.3.1 Выбор соединения секций обмоток возбуждения генератора

Напряжение возбуждения генератора при последовательном включении секций обмоток возбуждения и номинальном токе возбуждения.

$$U_{вг} = I_{вг} \times R_{вг.гор} = 48 \times 2.756 = 132.288 \text{ В}.$$

В режиме форсировки

$$U_{ТВГ} = a \times U_{вг} = (2, 4) \times 132.288 = (264.57, 529.15) \text{ В}.$$

Ток возбуждения при последовательном включении секции обмотки возбуждения генератора $I_{в} = I_{вг.ном} = 48 \text{ А}$.

Напряжение возбуждения генератора при параллельном включении

секции обмотки возбуждения и номинальном токе возбуждения.

$$U_{\text{вг}} = I_{\text{в}} \times (R_{\text{вг.гор}} / 2) = 48 \times (2.756 / 2) = 66.144 \text{ В.}$$

В режиме форсировки.

$$U_{\text{вг}} = a \times U_{\text{вг}} = (2, 4) \times 66.144 = (132.28, 264.57) \text{ В.}$$

Ток возбудителя при параллельном включении секций обмотки возбуждения генератора.

$$I_{\text{в}} = 2 \times 48 = 96 \text{ А.}$$

Выбираем последовательное включение секций обмотки возбуждения генератора, тогда возбудитель генератора выбирается по следующим параметрам: $I_{\text{вг}} > 48 \text{ А}$, и $U_{\text{вг}} > a \times 132.288 \text{ В}$.

2.3.2 Выбор тиристорного возбудителя генератора

Выбираем реверсивный тиристорный возбудитель с отдельным управлением, выполненный по 3-х фазной мостовой схеме.

Преобразователь подключается к сети 380В через индивидуальный трансформатор. Справочные технические параметры трансформатора и преобразователя приведены в таблицах 6 и 7 соответственно.

Таблица 6 – Технические параметры трансформатора возбудителя генератора

Параметры	Значение
Мощность S , кВА	16
Напряжение сетевой обмотки $U_{1л}$, В	380
Напряжение вентильной обмотки $U_{2л}$, В	220
Ток вентильной обмотки $I_{2л}$, А	38.2
Потери короткого замыкания $\Delta P_{\text{кз}}$, Вт	550
Напряжение короткого замыкания $U_{\text{кз}}$, %	5.2

Таблица 7 – Технические параметры тиристорного возбудителя генератора

Параметры	Обозначение	Значение
Число фаз питающей сети	m_2	3
Напряжение питающей сети, В	$U_{2л}$	220
Схема выпрямления		Трехфазная мостовая
Номинальный выпрямленный ток ,А	$I_{дн}$	50
Управление реверсивным преобразователем		Раздельное
Начальный угол, град	$a_{нач}$	90
Число фаз преобразователя	m_B	6
Максимальное напряжение управления на входе возбудителя,В	$U_{у.твг.макс}$	10

2.3.3 Расчет параметров трансформатора возбудителя генератора

Расчет ведется для эквивалентного соединения вторичной обмотки трансформатора в звезду,

$$\text{тогда } U_{2ф} = \frac{U_{2н}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127.16 \text{ В}, I_{2ф} = I_{2л} = 38.2 \text{ А.}$$

Активное полное, и индуктивное сопротивления и индуктивность вентильной обмотки на фазу:

$$R_{тр.ф} = \frac{DP_{кз}}{m_2 \times I_{2фн}^2} = \frac{550}{3 \times 38.2^2} = 0.1256 \text{ Ом.}$$

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз} \% \times U_{2фн}}{100 \times I_{2фн}} = \frac{5.2 \times 127.16}{100 \times 38.2} = 0.1731 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{тр.}\phi} = \sqrt{Z_{\text{тр.}\phi}^2 - R_{\text{тр.}\phi}^2} = \sqrt{0.1731^2 - 0.1256^2} = 0.119 \text{ Ом.}$$

$$L_{\text{тр.}\phi} = \frac{X_{\text{тр.}\phi}}{\omega_c} = \frac{0.119}{314} = 0.000379 \text{ Гн.}$$

2.3.4 Расчетные параметры тиристорного возбудителя

Средняя выпрямленная ЭДС возбудителя при угле управления $\alpha=0^\circ$

$$E_{d0} = K_{u2л} \cdot U_{2л} = 1.351 \cdot 220 = 297.22 \text{ В.}$$

Сопротивление силовой цепи возбудителя

$$R_{\text{ТПВ}} = 2R_{\text{тр.}\phi} + R_k = 2 \cdot 0.125 + 0.1137 = 0.364 \text{ Ом,}$$

где

$$R_k = \frac{m_B \times X_{\text{тр.}\phi}}{2\rho} = \frac{6 \times 0.119}{2 \times 3.14} = 0.1137 \text{ Ом} - \text{сопротивление, вносимое}$$

коммутацией токов вентилях.

Индуктивность силовой цепи возбуждения

$$L_{\text{ТП}} = 2 \times L_{\text{тр.}\phi} = 2 \times 0.000379 = 0.758 \times 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Коэффициент усиления возбудителя

$$K_{\text{ТП}} = K_{\text{сифу}} \times K_{\text{ув}} = 10 \times 5.18 = 51.8$$

где

$$K_{\text{сифу}} = 10 \text{ град/В;}$$

$$K_{\text{ув}} = \frac{\rho \times E_{d0}}{180} = \frac{3.14 \times 297.22}{180} = 5.185 \text{ В/град.}$$

Постоянная времени возбудителя

$$T_{\text{ТП.В}} = \frac{0.5}{m_B \times f_c} = \frac{0.5}{6 \times 50} = 0.00167 \text{ с.}$$

2.3.5 Расчёт параметров цепи возбуждения генератора

Сопротивление силовой цепи обмотки возбуждения генератора

$$R_{\text{цвг}} = R_{\text{овг.гор}} + 0.1 \times R_{\text{овг.гор}} + R_{\text{тпв}} = 2.756 + 0.2756 + 0.364 = 3.3956 \text{ Ом.}$$

Максимальное значение ЭДС преобразователя при угле управления

$$a_{\text{мин}} = 30^\circ: E_{\text{тпв.макс}} = E_{do} \times \cos a_{\text{мин}} = 297.22 \times \cos 30^\circ = 257.4 \text{ В,}$$

что обеспечивает кратность форсировки возбуждения

$$a = \frac{E_{\text{тпв.макс}}}{I_{\text{вгн}} \times R_{\text{цвг}}} = \frac{257.4}{48 \times 3.3956} = 1.57$$

Максимальное и среднее значения коэффициента усиления генератора при последовательном включении секций обмотки возбуждения с учетом параметров силовой цепи обмотки возбуждения

$$K_{\text{гмакс}} = \frac{DE_{\Gamma 1}}{DE_{\text{тпв}}} = \frac{DE_{\Gamma \text{н}}}{DI_{\text{в1}} \times R_{\text{увг}}} = \frac{405}{12.13 \times 3.3956} = 9.83$$

$$K_{\text{г.ср}} = \frac{DE_{\Gamma}}{DE_{\text{тпв}}} = \frac{E_{\Gamma \text{н}}}{I_{\text{вг.н}} \times R_{\text{увг}}} = \frac{988.81}{48 \times 3.3956} = 6.066$$

Постоянная времени основного потока (среднее значение)

$$T_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}}{R_{\text{цвг}}} = \frac{3.68}{3.3956} = 1.083 \text{ с.}$$

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_{\text{с}} = \frac{L_{\text{тпв}} + (L_{\text{с}})}{R_{\text{цвг}}} = \frac{0.758 \times 10^{-3} + 0.404}{3.3956} = 0.1192 \text{ с.}$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_{\text{к}} = 0.1 \times T_{\text{в}} = 0.1 \times 1.083 = 0.1083 \text{ с.}$$

Представим цепь обмотки возбуждения генератора звеном с

$$\text{передаточной функцией } W(p) = \frac{1 / R_{\text{цв}}}{(T_1 p + 1) \times (T_2 p + 1)}.$$

Постоянная времени эквивалентного звена второго порядка

$$T_{1,2} = \frac{T_B + T_S + T_K}{2} \pm \sqrt{\frac{\alpha T_B + T_S + T_K}{\zeta} \frac{\ddot{\phi}^2}{\phi} - T_S \times T_K} =$$

$$= \frac{1.083 + 0.1192 + 0.1083}{2} \pm \sqrt{\frac{\alpha 1.083 + 0.1192 + 0.1083}{\zeta} \frac{\ddot{\phi}^2}{\phi} - 0.1192 \times 0.1083} =$$

$$= 0.6552 \pm 0.645 \text{ с.}$$

Тогда принимаем: $T_1=1.3002$ – большая постоянная времени, с;

$T_2=0.0102$ – малая постоянная времени, с.

2.4 Механическая система электропривода подъема экскаватора

Паспортные параметры механизма подъема экскаватора ЭКГ-15 приведены в таблице 8.

Таблица – 8

Наименование	Обозначение	Значение
Масса экскаватора, т	$m_{\text{эк}}$	667
Емкость ковша, м ³	$E_{\text{к}}$	15
Длина стрелы, м	$L_{\text{ст}}$	18
Длина рукояти, м	$L_{\text{р}}$	13.12
Масса рукояти, т	$m_{\text{р}}$	16.5
Масса ковша, рукояти и других узлов в сборе, т		29.6
Максимальная высота черпания, м	$H_{\text{ч.макс}}$	16.4
Угол наклона стрелы, град	j	45
Диаметр головного блока стрелы, м	$D_{\text{гб}}$	2.2
Максимальная скорость подъема ковша, м/с	$V_{\text{к}}$	1.1
Максимальное усилие на блоке ковша, кН	$F_{\text{п,макс}}$	1470
Расчетная продолжительность цикла, с	$t_{\text{ц}}$	26
Передаточное число редуктора	$i_{\text{ред}}$	29.75
КПД механизма подъема	h	0.84
Схема запасовки каната подъемной лебедки	Сдвоенный	

	полиспаст	
Число ветвей каната полиспаста	$i_{\text{пол}}$	2
Диаметр каната, мм	$d_{\text{к}}$	52
Длина каната, м	$L_{\text{к}}$	155
Масса каната, кг	$m_{\text{к}}$	1837

2.4.1 Определение дополнительных параметров механизма подъема

Расчет дополнительных параметров механизма подъема, требуемых для дальнейших расчетов, приведен в таблице 9.

Таблица – 9

Наименование	Расчетное выражение	Значение
Высота оси пяты стрелы, м	$H_{\text{п}} = 0.45 \times \sqrt[3]{m_{\text{ЭК}}}$	3.86
Высота напора вала, м	$H_{\text{н}} = 1.1 \times \sqrt[3]{m_{\text{ЭК}}}$	9.45
Длина ковша, м	$L_{\text{к}} = 0.77 \times 1.2 \times \sqrt[3]{E_{\text{к}}}$	2.28
Масса породы, т	$m_{\text{п}} = \frac{g_{\text{п}} \times E_{\text{к}}}{\kappa_{\text{р}}}$	38.8
Где $g_{\text{п}}=0.3-3.5$ -плотность породы 4-категории в цикле, т/м ³	Принято 3.0	

2.4.2 Расчетная схема механической системы привода подъема

В кинематической цепи механизма подъема тяговые канаты являются элементами с наименьшей жесткостью, поэтому жесткость канатов должна быть учтена в первую очередь и тогда механическая система привода

подъема(рисунок 13) представлена как двухмассовая (рисунок 14)

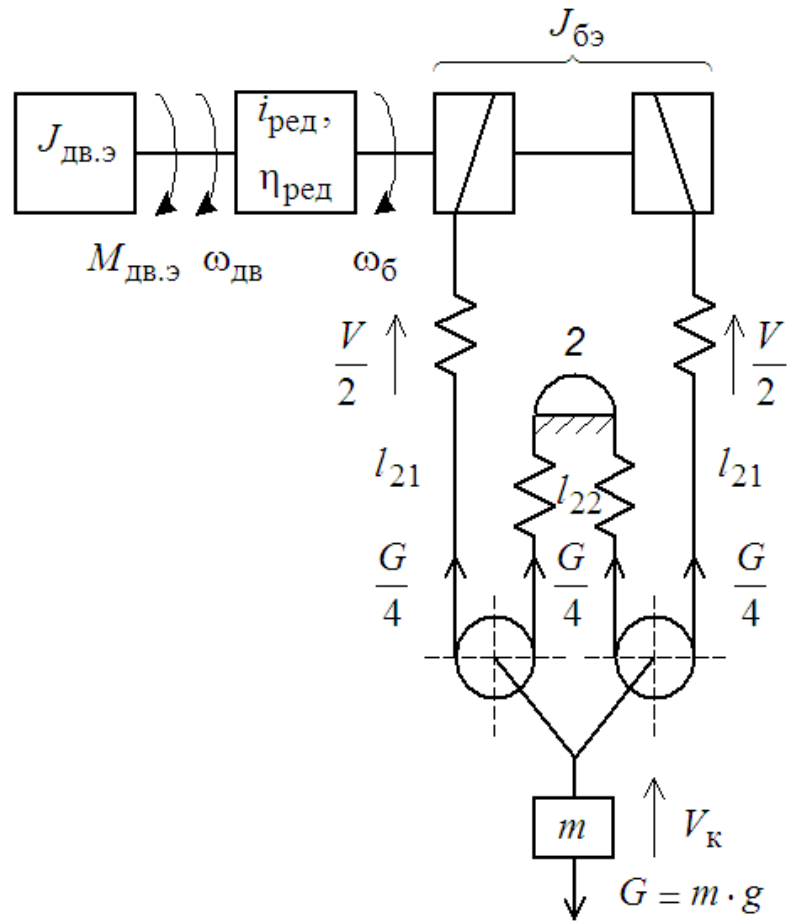


Рисунок 13– Механическая система привода подъема экскаватора (содвоеннымполиспастом)

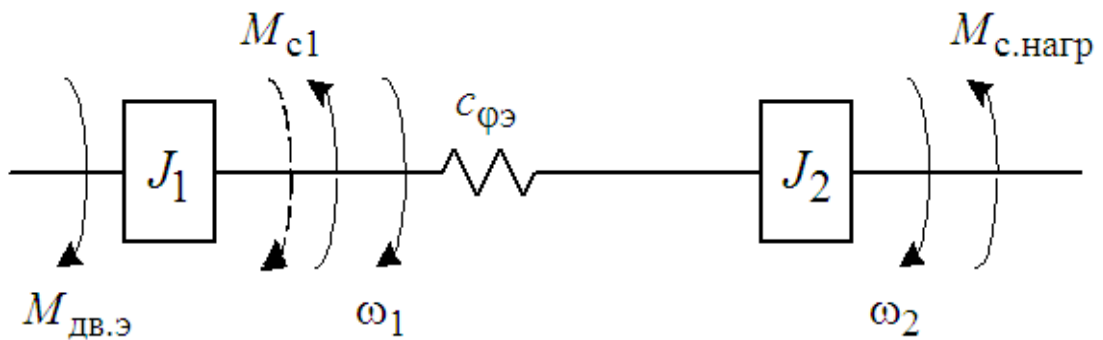


Рисунок 14–Двухмассовая механическая система

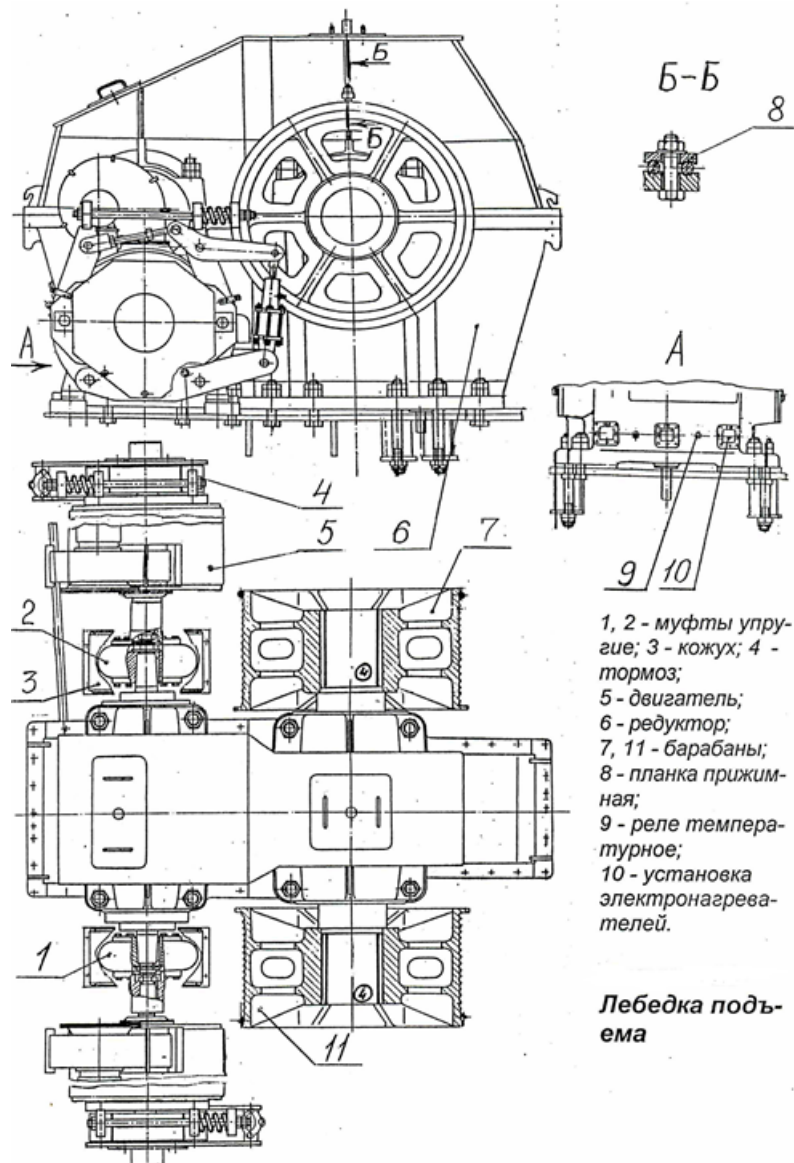


Рисунок 15—Лебедка подъема

2.4.3 Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода

Эквивалентный момент инерции приводных двигателей

$$J_{\text{дв.э1}} = 2 \times J_{\text{дв}} = 2 \times 30 = 60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный эквивалентный момент инерции вращающихся элементов механизма подъема (муфт, шестерен, барабанов) может быть найден по упрощенному выражению

$$J_{\text{мех1}} = (0.15, 0.2) \times J_{\text{дв}} = 0.175 \times 60 = 10.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции порожнего ковша

$$J_{\text{к}} = m_{\text{к}} \times \frac{D_{\text{б}}^2}{4 \times i_{\text{ред}}^2 \times i_{\text{пол}}^2} = 29.6 \times 10^3 \times \frac{1.4^2}{4 \times 29.75^2 \times 2^2} = 4.09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции породы

$$J_{\text{п}} = m_{\text{п}} \times \frac{D_{\text{б}}^2}{4 \times i_{\text{ред}}^2 \times i_{\text{пол}}^2} = 38.8 \times 10^3 \times \frac{1.4^2}{4 \times 29.75^2 \times 2^2} = 5.37 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для предварительных расчетов можно ограничиться учетом момента инерции рукояти, выдвинутой на 2/3 длины, которая определяется по выражению:

$$J_{\text{р(2/3)}} = \frac{m_{\text{р}} \times D_{\text{б}}^2}{16 \times i_{\text{ред}}^2 \times i_{\text{пол}}^2} = \frac{16.54 \times 1.4^2}{16 \times 29.75^2 \times 2^2} = 0.57 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции каната

$$J_{\text{кан}} = m_{\text{кан}} \times \frac{D_{\text{б}}^2}{4 \times i_{\text{ред}}^2 \times i_{\text{пол}}^2} = 1837 \times \frac{1.4^2}{4 \times 29.75^2 \times 2^2} = 0.254 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Определение эквивалентных моментов инерции двухмассовой расчетной схемы (рисунок 14)

Эквивалентный момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв.э1}} + J_{\text{мех1}} = 60 + 10.5 = 70.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции второй массы с порожним ковшом

$$J_{1\text{мин}} = J_{\text{к}} + J_{\text{р}} + J_{\text{кан}} = 4.09 + 0.57 + 0.254 = 4.92 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции второй массы с заполненным ковшом

$$J_{2\text{макс}} = J_{\text{к}} + J_{\text{п}} + J_{\text{р}} + J_{\text{кан}} = 4.09 + 5.37 + 0.57 + 0.254 = 10.284 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Определение приведенной эквивалентной жесткости двухмассовой расчетной схемы (рисунок 14)

Эквивалентная линейная жесткость канатов для компоновочной схемы со сдвоенным полиспадом (рисунок 13) определяется по выражению

$$C_{1э} = \frac{4C_k}{L_1 + L_2} \times i_{\text{пол}}, \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

где

$$C_k = \frac{E_k \times S_k}{1} = \frac{1.25 \times 10^{11} \times 1.061 \times 10^{-3}}{1} = 1.32625 \times 10^8 \text{ Н} - \text{ жесткость}$$

одного погонного метра каната;

$$E_k = (1.11, 1.4) \times 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} - \text{ модуль продольной упругости для}$$

стальных канатов;

$$S_k = \rho \times \frac{\rho \times d^2}{4} = 216 \times \frac{3.1415 \times (52 \times 10^{-3})^2}{4} = 1.061 \times 10^{-3} \text{ м}^2 - \text{ площадь}$$

сечения проволок.

2.4.4 Параметры канатной передачи

Принимаем длину запасовачных концов каната $L_{\text{зап}} = 30 \text{ м}$.

Длина каната от блока ковша до выравнивающего полублока в нижнем положении

$$L_{2н} = \frac{L_k - L_k - 2 \times 1.2 \times L_{\text{стр}}}{4} = \frac{155 - 20 - 2 \times 1.2 \times 8}{4} = 22.95 \text{ м}.$$

Длина каната от блока ковша до выравнивающего полублока в верхнем положении

$$L_{2в} = L_{2н} - H_{\text{ч}} = 22.95 - 16.4 = 6.55 \text{ м}.$$

Длина каната от барабана до блока ковша в его нижнем положении

$$L_{1н} = 1.2 \times L_{\text{стр}} + L_{2н} = 1.2 \times 8 + 22.95 = 44.55 \text{ м}.$$

Длина каната от барабана до блока ковша в его верхнем положении

$$L_{1в} = L_{1н} - H_{\text{ч}} = 44.55 - 16.4 = 28.15 \text{ м}.$$

Эквивалентная линейная жесткость подъемных канатов при нижнем положении ковша

$$C_{l_{\text{ЭН}}} = i_{\text{пол}} \times \frac{C_{\text{к}}}{L_{1\text{Н}} + L_{2\text{Н}}} = 2 \times \frac{4 \times 1.326 \times 10^8}{44.55 + 22.55} = 1.58 \times 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

и при верхнем положении ковша

$$C_{l_{\text{ЭВ}}} = i_{\text{пол}} \times \frac{4 \times C_{\text{к}}}{L_{1\text{В}} + L_{2\text{В}}} = 2 \times \frac{4 \times 1.326 \times 10^8}{28.15 + 6.55} = 3.057 \times 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Приведенная эквивалентная угловая жесткость двухмассовой расчетной схемы (рисунок 14) при нижнем положении ковша

$$C_{j_{\text{ЭН}}} = C_{l_{\text{ЭН}}} \times \frac{D_{\text{б}}^2}{4 \times i_{\text{ред}}^2} = 1.64 \times 10^7 \times \frac{1.4^2}{4 \times 29.75^2} = 9.080 \times 10^3 \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{рад}}$$

и при верхнем положении ковша

$$C_{j_{\text{ЭВ}}} = C_{l_{\text{ЭВ}}} \times \frac{D_{\text{б}}^2}{4 \times i_{\text{ред}}^2} = 3.57 \times 10^7 \times \frac{1.4^2}{4 \times 29.75^2} = 19.765 \times 10^3 \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{рад}}$$

2.4.5 Резонансная частота двух массовой механической системы привода подъема

Резонансная частота двухмассовой механической системы привода подъема, выполненной по схеме со сдвоенным полиспастом, при нижнем положении ковша

$$\omega_{\text{н.мин}} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\text{макс}}}{J_1 \times J_{2\text{макс}}}} \times C_{j_{\text{ЭН}}} = \sqrt{\frac{70.5 + 10.284}{70.5 \times 10.284}} \times 9.080 \times 10^3 = 31.81 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{или } f_{\text{н.мин}} = 5.07 \text{ Гц.}$$

и порожнего ковша

$$\omega_{\text{н.макс}} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\text{мин}}}{J_1 \times J_{2\text{мин}}}} \times C_{j_{\text{ЭН}}} = \sqrt{\frac{70.5 + 4.92}{70.5 \times 4.92}} \times 9.080 \times 10^3 = 44.49 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{или } f_{\text{н.макс}} = 7.09 \text{ Гц.}$$

и при верхнем положении заполненного ковша

$$\omega_{\text{в.мин}} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\text{макс}}}{J_1 \times J_{2\text{макс}}}} \times C_{j_{\text{ЭВ}}} = \sqrt{\frac{70.5 + 10.284}{70.5 \times 10.284}} \times 19.765 \times 10^3 = 46.93 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{или } f_{\text{в.мин}} = 7.46 \text{ Гц.}$$

и порожнего ковша

$$\omega_{в.макс} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2мин}}{J_1 \times J_{2мин}}} \times C_{j \text{ эв}} = \sqrt{\frac{70.5 + 4.92}{70.5 \times 4.92}} \times 19.765 \times 10^3 = 65.556 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{или } f_{в.макс} = 10.27 \text{ Гц.}$$

Структурная схема двухмассовой механической системы привода подъема приведена на рисунке 16.

Момент трения на валу первой массы определяется моментом трения на валу двигателей $M_{с.дв}$ и моментом постоянных потерь механизма $M_{с.пост}$.

Коэффициенты постоянных a и переменных потерь b в передаче подъемного механизма при их равенстве

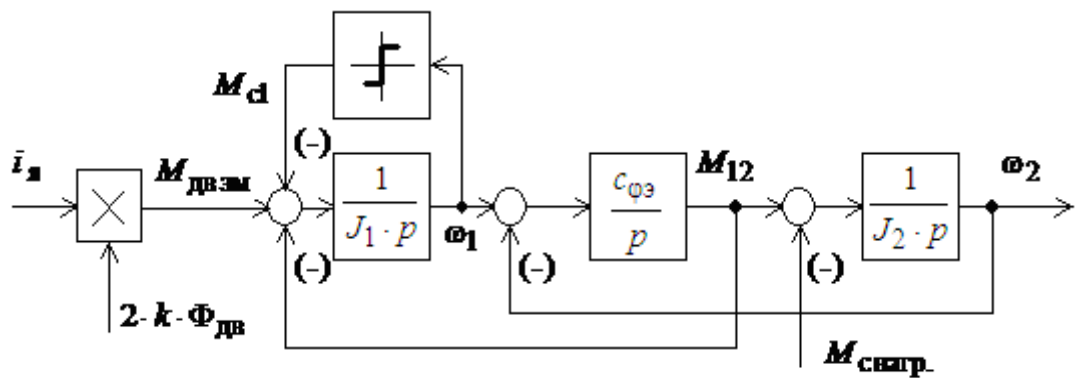
$$a = b = \frac{1 - \eta_{мех}}{2 \times \eta_{мех}} = \frac{1 - 0.84}{2 \times 0.84} = 0.095,$$

где

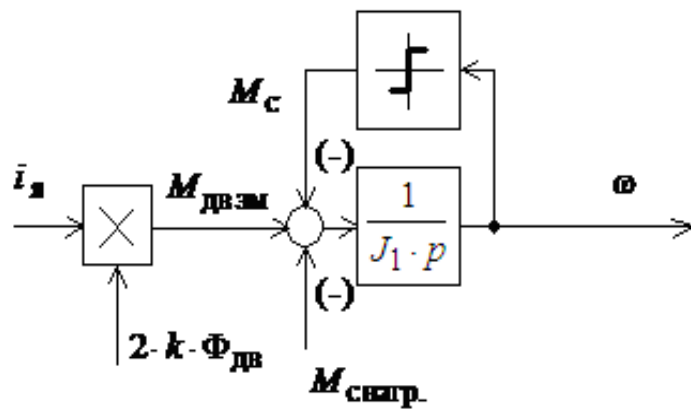
$$\eta_{мех} = 0.84 \text{ – КПД подъемного механизма.}$$

Момент полезной нагрузки $M_{с.нагр}$ приложен к валу второй массы и его значение определяется усилием на блоке ковша. В процессе копания машинист перемещением рукояти поддерживает желаемые значения нагрузки двигателей. Максимальная производительность достигается при работе привода механизма подъема на механической характеристике в районе момента отсечки, который для привода подъема экскаватора лопаты выбирается равным

$$M_{отс} = (0.7, 0.8) \times M_{стоп}$$



а)



б)

Рисунок 16–Структурная схема механической системы привода механизма подъема: а – ДМС; б – ОМС

Расчеты моментов нагрузки на осях масс структурных схем (рисунок 16), привода подъема приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Расчетные моменты нагрузки

Наименование параметра	Расчетные выражения	Значение
Номинальный момент двигателя, Н·м	$M_{дв.н} = \frac{30 \times P_{дв.н}}{\rho \times n_H}$	4777
Момент трения на валу двигателя, Н·м	$M_{с.дв.} = 2 \times (c \times I_{дв.н} - M_{дв.н})$	212.4
Момент постоянных потерь механизма подъема, Н·м	$M_{с.пост} = a \times 2 \times M_{дв.н}$	907.63
Стопорный момент на валу второй массы, Н·м	$M_{стоп} = \frac{F_{макс} \times D_б}{2 \times i_{ред} \times i_{пол}}$	17294
Момент нагрузки на валу второй массы в процессе копания, реактивный, Н·м	$M_{с.нагр} = 0.75 \times M_{стоп}$	12970.5
Момент сопротивления от сил трения Н·м на валу первой массы	$M_c = M_{с.дв} + M_{с.пост}$	1120.03

Параметры ОМС:

– момент сопротивления от сил трения

$$M_c = M_{c1} = 1120.03 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– момент нагрузки в процессе копания (реактивный)

$$M_{снагр} = 12970.5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– эквивалентный момент инерции $J_э = J_1 + J_2$

тогда:

$$J_{эмин} = J_1 + J_{2мин} = 70.5 + 4.92 = 75.42 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_{эмакс} = J_1 + J_{2макс} = 70.5 + 10.284 = 80.784 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Электромеханическая постоянная времени электропривода подъема

$$T_{м.мин} = \frac{75.42 \times 0.0546}{(2 \times 4.48)^2} = 0.0513 \text{ с.}$$

$$T_{м.макс} = \frac{80.784 \times 0.0546}{(2 \times 4.48)^2} = 0.0549 \text{ с.}$$

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 16б.

2.5 Система автоматического электропривода подъёма

2.5.1 Структурная схема силового канала электропривода

Структурная схема силового канала электропривода подъема экскаватора приведена на рисунке 17.

Параметры элементов структурной схемы приведены в таблице 11.

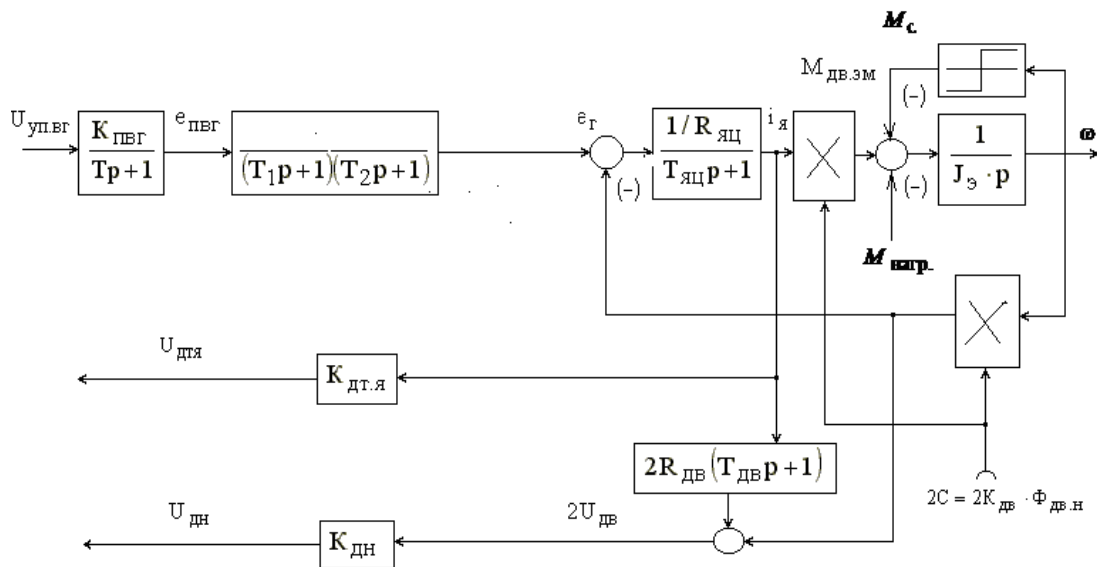


Рисунок 17 – Структурная схема силового канала электропривода подъема

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{дн} = \frac{U_{дн.макс}}{U_{макс}} = 0.01.$$

Коэффициент передачи датчика тока якорной цепи

$$K_{дт.я} = \frac{U_{дт.я.макс}}{I_{макс}} = \frac{10}{3000} = 0.00333 \text{ В/А.}$$

Таблица 11– Параметры элементов силового канала электропривода

$K_{тп.вг}$	$T_{тп.вг}$ с	$R_{цвг}$ Ом	T_1 с	T_2 с	$R_{яц}$ Ом	$2C$	$J_э$ Кг·м ²	M_c Н·м
51.8	0.00167	3.3956	1.3002	0.0102	0.05556	8.98	$\frac{75.12}{80.78}$	1120
$2R_{дв}$ Ом	$T_{дв}$ с	$K_{дтя}$ В/А	$K_{дн}$		$M_{нагр}$ Нм	$T_{яц}$ с	$K_{ср}$	$K_{гмакс}$
0.0316	0.0183	0.00333	0.01		12970.5	0.01841	6.066	9.83

2.5.2 Структурная схема линейризованной САУ электропривода

Структурная схема линейризованной САУ электропривода подъема приведена на рисунке 18. Система управления приводом реализована как двухконтурная: внутренний контур тока и внешний контур напряжения. На рисунке приняты обозначения:

- РН– регулятор напряжения;
- РТ– регулятор тока;
- ФН– сглаживающий фильтр в цепи обратной связи.

Жестких требований к статическим характеристикам привода подъема нет, поэтому достаточно ограничиться обратной связью по напряжению. В этом случае жесткость статических характеристик привода приближается к жесткости естественной характеристике двигателя.

Ограничение тока двигателя может быть достигнуто ограничением выходного напряжения регулятора напряжения РН. В этом случае может оказать слишком крутопадающей характеристика $I(w)$, тогда необходимо будет ввести токовую отсечку.

Оптимизацию САУ электропривода приведем в два этапа:

- первый этап аналитический для линейризованной системы;
- второй этап имитационного моделирования, учитывающей влияние

ЭДС двигателя, основные нелинейности системы регулирования.

Основным итогом второго этапа является уточнение параметров регуляторов, определение параметров корректирующих звеньев и токовой отсечки, если они будут необходимы.

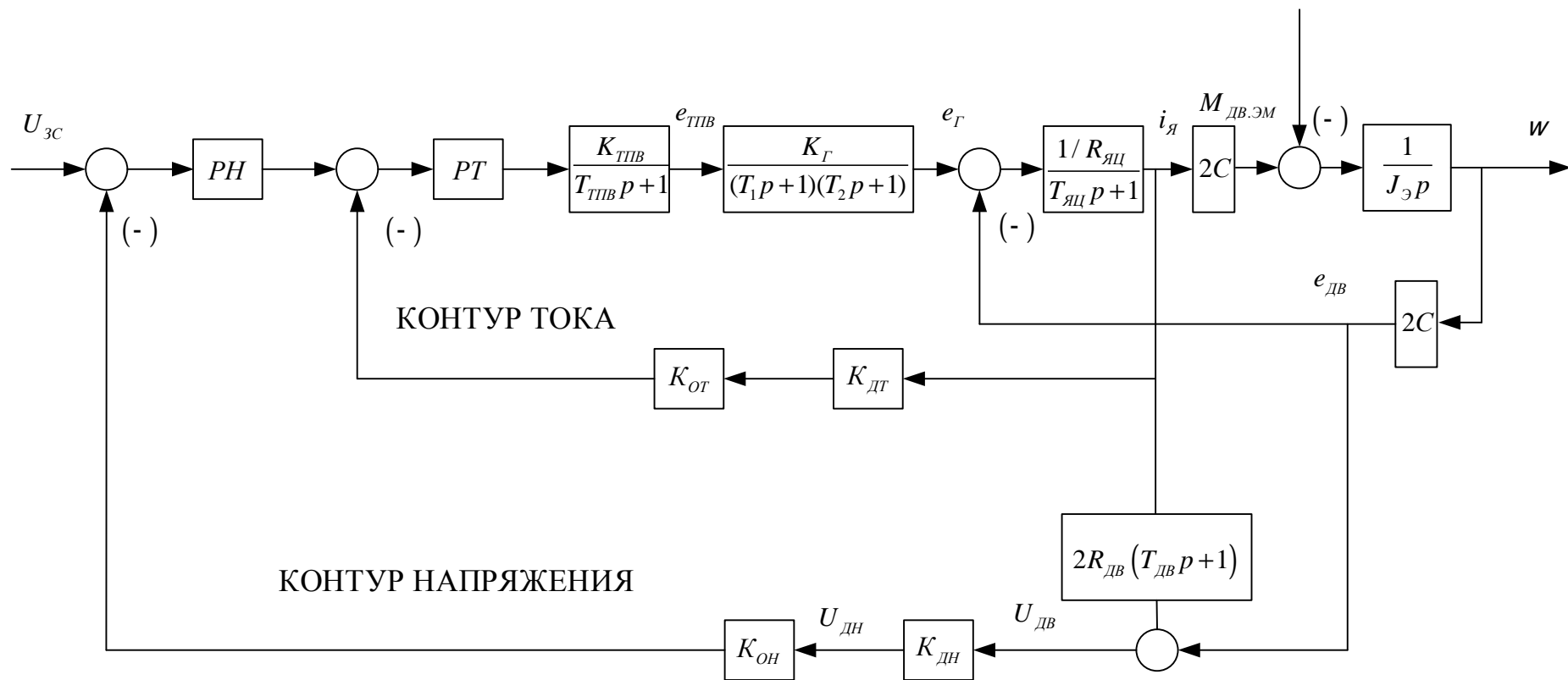


Рисунок 18– Структурная схема линейризованной САУ электропривода

2.5.3 Оптимизация контура тока

При оптимизации контура не учитывается обратная связь по ЭДС двигателя, (показано пунктирной линией), что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема контура тока приведена на рисунке 19.

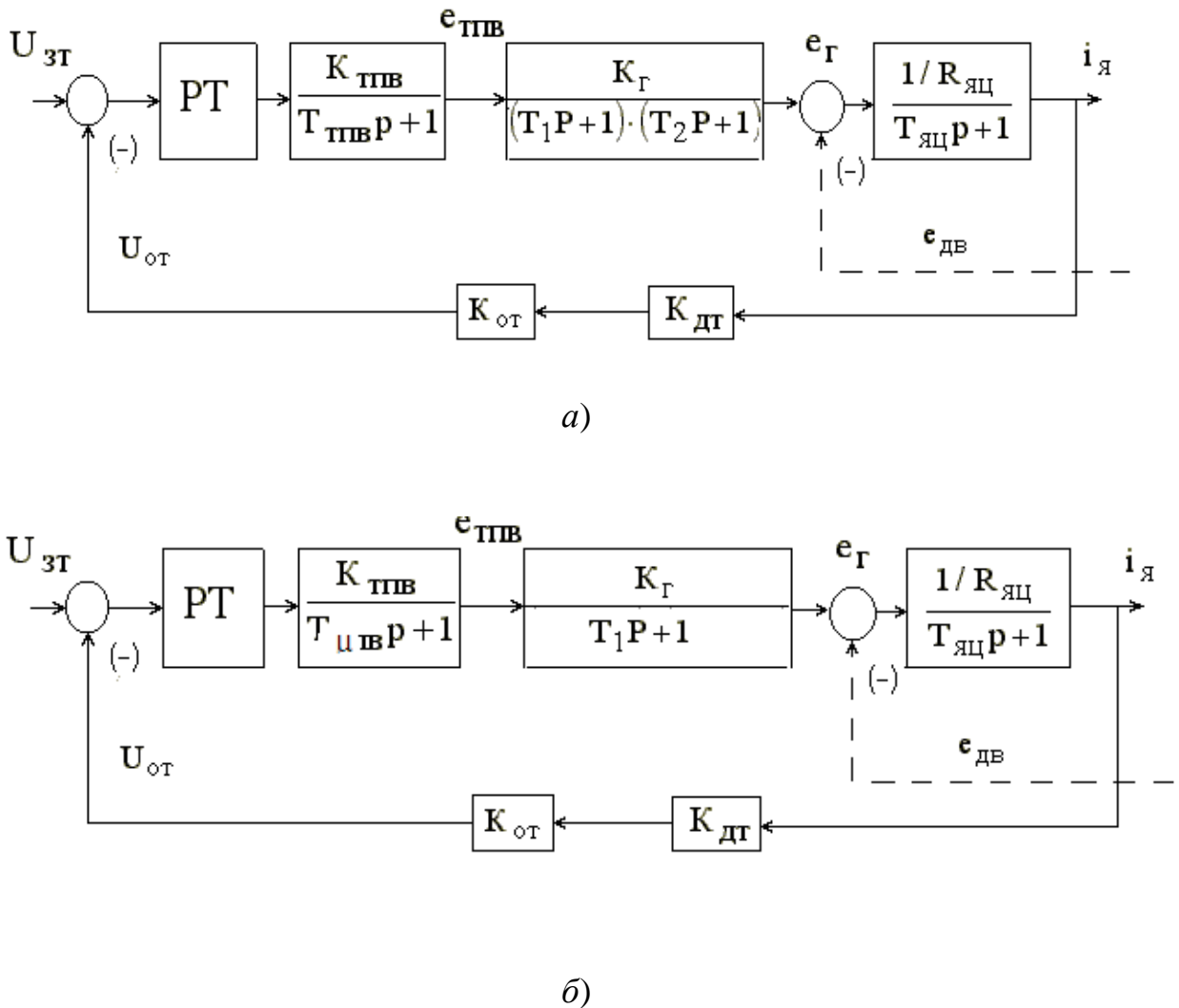


Рисунок 19 – Структурная схема контура тока *а* – исходная; *б* – преобразованная.

Контур содержит четыре инерционных звена первого порядка (апериодических), причем имеет место следующее соотношение постоянных времени:

$$\frac{T_1}{T_{\text{ПВ}} + T_2 + T_{\text{яц}}} = \frac{1.3002}{0.00167 + 0.0102 + 0.1841} = 34.579.$$

Тогда принимаем:

$$T_m = T_{\text{ПВ}} + T_2 + T_{\text{яц}} = 0.00167 + 0.0176 + 0.01841 = 0.0376 \text{ с.}$$

– малая постоянная времени контура тока.

С учетом принятого значения малой постоянной времени T_{MT} структурная схема контура может быть преобразована к виду, приведенном на рисунке 19б.

При указанном отношении $\frac{T_1}{T_m} > 20$ для оптимизации контура по МО

достаточно ограничиться применением регулятором тока пропорционального типа (П-РТ) с коэффициентом усиления [2.1, 2.2].

$$K_{\text{РТ}} = \frac{T_1 \times R_{\text{яц}}}{K_{\text{ПВ}} \times K_{\Gamma} \times K_{\text{T}} \times a_{\text{T}} \times K_m} \times \frac{1 + \frac{T_m^2 \ddot{\phi}}{T_1^2 \dot{\phi}}}{1 + \frac{T_m^2 \ddot{\phi}}{T_1^2 \dot{\phi}}} = \frac{1.3002 \times 0.05462}{48.3 \times 9.83 \times 0.00333 \times 2 \times 0.0291} \times \frac{1 + \frac{0.0291 \ddot{\phi}}{1.3002 \dot{\phi}}}{1 + \frac{0.0291 \ddot{\phi}}{1.3002 \dot{\phi}}} = 0.789,$$

где $K_{\text{T}} = \frac{U_{\text{зт.макс}}}{I_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{3000} = 0.00333 \text{ В/А}$, коэффициент обратной связи

по току;

$a_{\text{T}} = 2$ – коэффициент оптимизации по МО.

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока имеет вид:

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{\frac{1}{K_{\text{T}}} \times \frac{1 + \frac{T_{\text{MT}} \ddot{\phi}}{T_1 \dot{\phi}}}{1 + \frac{T_{\text{MT}} \ddot{\phi}}{T_1 \dot{\phi}}}}{\frac{2 \times T_{\text{MT}}^2}{1 + \frac{T_{\text{MT}} \ddot{\phi}}{T_1 \dot{\phi}}} \times p^2 + \frac{2 \times T_{\text{MT}}}{1 + \frac{T_{\text{MT}} \ddot{\phi}}{T_1 \dot{\phi}}} \times p + 1}.$$

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура равна

$$T_{\text{МТЭ}} = \frac{T_{\text{МТ}}}{\frac{\infty}{\zeta} + \frac{T_{\text{МТ}}}{T_1} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}} = \frac{0.0376}{\frac{\infty}{\zeta} + \frac{0.0376}{1.3002} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}} = 0.0365 \text{ с.}$$

– малая эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока в режимах определяется отношением:

$$\frac{T_{\text{М.МИН}}}{2 \times T_{\text{МТЭ}}} = \frac{0.0513}{2 \times 0.0365} = 0.702.$$

Для исключения влияния ЭДС двигателя на работу контура это отношение должно быть >1 . В нашем случае это отношение <1 , что говорит о сильном влиянии ЭДС двигателя на процессы в контуре тока. Поэтому настройку контура тока следует производить с учетом ЭДС двигателя. Структурная схема контура тока с учетом ЭДС двигателя приведена на рисунке 20.

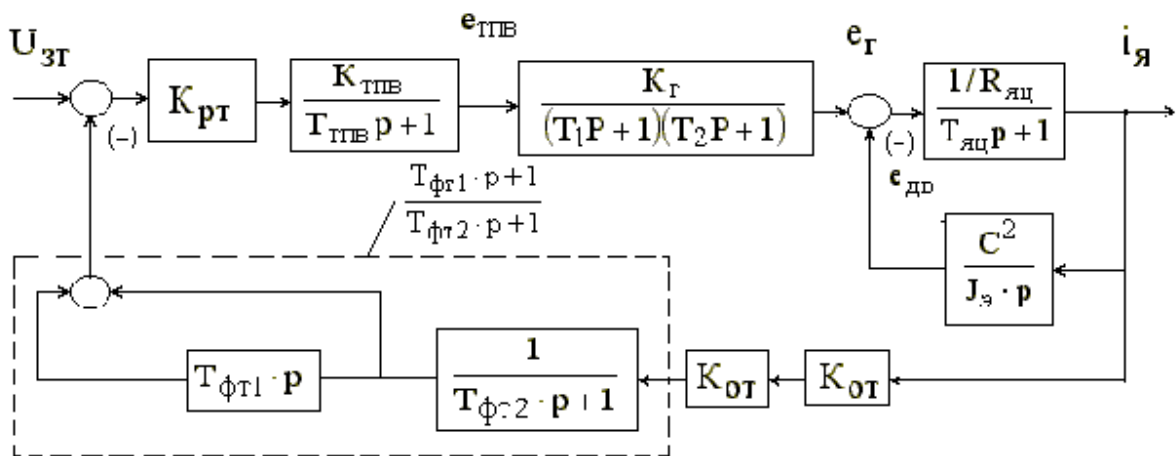


Рисунок 20– Структурная схема контура тока с учетом ЭДС двигателя

Целью оптимизации является получение удовлетворительных и близких к настройке по МО переходных процессов в контуре тока в

режимах разгона и торможения двигателя. Суть настройки сводится к уменьшению эквивалентной малой постоянной контура $T_{m\kappa}$ и, соответственно, увеличению коэффициента усиления регулятора тока. Для уменьшения малой постоянной времени контура $T_{m\kappa}$ в цепь обратной связи вводится интегро– дифференцирующее звено с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{T_{\text{фТ1}} \times p + 1}{T_{\text{фТ2}} \times p + 1},$$

где

$$T_{\text{фТ1}} > T_{\text{фТ2}}.$$

Результаты оптимизации контура, полученные на имитационной модели:

$$K_{\text{рТ}}=3; T_{\text{фТ1}}=0.02 \text{ с}; T_{\text{фТ2}}=0.001 \text{ с}.$$

Переходный процесс в контуре в этом случае близок к настройке на МО и имеет следующие показатели:

$$s = 4.39\%; t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)} = 0.041 \text{ с}, \text{ тогда эквивалентная малая постоянная}$$

времени контура тока:

$$T_{m\kappa} \gg \frac{t_{\text{py1}}^{(5)}}{4.1} = 0.01 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет вид:

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{Т.зам}} &= \frac{\frac{1}{K_{\text{Т}}}}{2 \times T_{m\kappa}^2 \times p^2 + 2 \times T_{m\kappa} \times p + 1} = \frac{\frac{1}{K_{\text{Т}}}}{2 \times 0.01^2 \times p^2 + 2 \times 0.01 \times p + 1} = \\ &= \frac{\frac{1}{K_{\text{Т}}}}{0.0002 \times p^2 + 0.02 \times p + 1}. \end{aligned}$$

Полоса пропускания замкнутого контура тока:

$$\omega_{\text{П}}^{(\Phi)} = \omega_{\text{П}}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{m\kappa}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0.01} = 70.711 \text{ рад/с},$$

или

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\rho} = \frac{70.711}{2 \times 3.14} = 11.26 \text{ Гц.}$$

2.5.4 Оптимизация контура напряжения

Структурная схема контура напряжения приведена на рисунке 21. Контур включает в себя передаточную функцию оптимизированного замкнутого контура тока, полученную экспериментально на имитационной модели.

Для оптимизации контура напряжения по МО выбираем П-РН с коэффициентом усиления (расчет проведен для $J_{\text{э.макс}} = 76.12 \text{ кг м}^2$)

$$K_{\text{РН}} = \frac{J_{\text{э.мин}}}{K_{\text{Н}} \times 2C^2 \times T_{\text{Н}}} = \frac{76.12 \times 0.00333}{0.01138 \times (2 \times 4.48)^2 \times 0.0384} = 7.941,$$

где

$$K_{\text{Н}} = \frac{U_{\text{зс.макс}}}{U_{\text{дв.макс}}} = \frac{10}{847} = 0.0118 - \text{коэффициент обратной связи по}$$

напряжению;

$$U_{\text{дв.макс}} = 2C \times \omega_{\text{эл.макс}} + 2R_{\text{дв.гор}} \times I_{\text{дв.н}} = 2 \times 4.48 \times 94.2 + 2 \times 0.0158 \times 94.2 = 847 \text{ В}$$

– максимальное напряжение на двигателе.

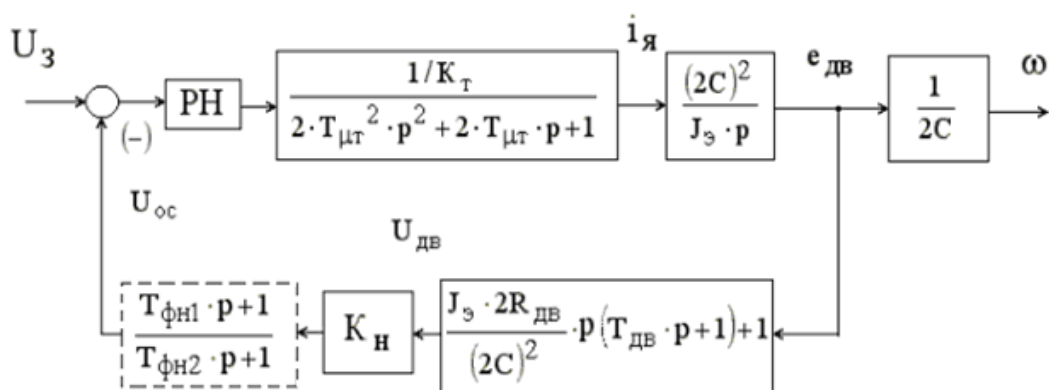


Рисунок 21– Структурная схема контура напряжения

Эквивалентная постоянная времени контура напряжения

$$T_{\text{Н}} = 2T_{\text{мн}} + T_{\text{дв}} - T_{\text{М}} = 2 \times 0.02245 + 0.0183 - 0.0295 = 0.0337 \text{ с.}$$

$$T_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{дв}}}{R_{\text{дв}}} = \frac{2 \times 0.0002895}{2 \times 0.0158} = 0.0183 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{м}} = \frac{J_{\text{э.мин}} \times 2 \times R_{\text{дв}}}{(2C)^2} = \frac{75.12 \times 2 \times 0.0158}{(2 \times 4.48)^2} = 0.0295 \text{ с}.$$

$$\begin{aligned} T_{\text{мн}} &= T_{\text{мк}} + 0.5 \sqrt{\frac{\frac{\partial}{\partial} T_{\text{мк}} + T_{\text{дв}} - \frac{J_{\text{э}} 2R_{\text{дв}} \ddot{\varphi}}{(2C)^2} - \frac{\partial J_{\text{э}} 2R_{\text{дв}} \ddot{\varphi}}{\partial (2C)^2} + 2T_{\text{дв}} \times \frac{J_{\text{э}} 2R_{\text{дв}}}{(2C)^2} + T_{\text{дв}}^2}{\partial}} = \\ &= 0.01 + \\ &+ 0.5 \sqrt{(2 \times 0.01 + 0.0183 - 0.0295)^2 - (0.0295)^2 + 2 \times 0.0183 \times 0.0295 + (0.0183)^2} = \\ &= 0.02245 \text{ с}. \end{aligned}$$

Определим численные значения отношения

$$\frac{T_{\text{мн}}}{2T_{\text{мк}}} = \frac{0.02245}{2 \times 0.01} = 1.1225.$$

При отношении большем 1 передаточная функция замкнутого контура напряжения, записанная относительно угловой скорости вращения ω , имеет вид:

$$W(p)_{\text{с.зам}} = \frac{1}{\frac{K_{\text{н}} \times 2C}{2T_{\text{мн}}^2 p^2 + 2T_{\text{мн}} p + 1}}.$$

При моделировании контура напряжения была уточнена его настройка. В контур обратной связи было введено интегрирующее звено (производная от напряжения двигателя) как показано пунктирными линиями на рисунке 21.

Передаточная функция корректирующего звена:

$$W(p) = \frac{T_{\text{фн1}} \times p + 1}{T_{\text{фн2}} \times p + 1},$$

где

$$T_{\text{фн1}} \gg T_{\text{фн2}}.$$

В результате были найдены следующие параметры оптимальной

настройки контура:

$$K_{PH} = 10; T_{PH} = 0.02 \text{ с}; T_{PH2} = 0.001 \text{ с}.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура оказалось равной $T_{mH} = 0.024 \text{ с}$. Тогда передаточная функция оптимизированного контура скорости имеет вид:

$$W(p)_{\text{с.зам}} = \frac{1}{\frac{0.0118 \times 8.96}{2 \times 0.024^2 \times p^2 + 2 \times 0.024 \times p + 1}} = \frac{9.458}{0.00115 \times p^2 + 0.048 \times p + 1}.$$

Ожидаемые показатели качества работы оптимизированного контура напряжения: $\sigma = 4.3\%$ –перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \times T_{mH} = 4.1 \times 0.024 = 0.098 \text{ с}$ – время первого вхождения в 5 зону и время переходного процесса при отработке ступенчатого входного сигнала;

$$w_{\Pi}^{(\Phi)} = w_{\Pi}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{mH}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0.024} = 29.463 \text{ рад/с}.$$

или $f_{\Pi} = \frac{w_{\Pi}}{2\pi} = \frac{29.463}{2 \times 3.14} = 4.692 \text{ Гц}$. – полоса пропускания контура.

Ожидаемая просадка скорости при приложении нагрузки $DM_c = 12970 \text{ Н} \times \text{м}$, соответствующей нагрузке при копании,

$$Dw_{\text{в.уст}} = \frac{\frac{2}{e} T_{mH}}{\frac{2}{e} t_{\text{э.мин}}} + \frac{2R_{\text{дв}}}{(2C)^2} \times \frac{\ddot{\varphi}}{\varphi} \times DM_c = \frac{\frac{2}{e} \times 0.02245}{\frac{2}{e}} + \frac{2 \times 0.018}{(2 \times 4.48)^2} \times \frac{\ddot{\varphi}}{\varphi} \times 12970 = 13.6 \text{ рад/с}.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора напряжения

$$K_{OH} = \frac{K_H}{K_{дH}} = \frac{0.01138463}{0.01} = 1.138.$$

ЛЧХ контура скорости рассчитаны в программе LACH и приведены на рисунке 22.

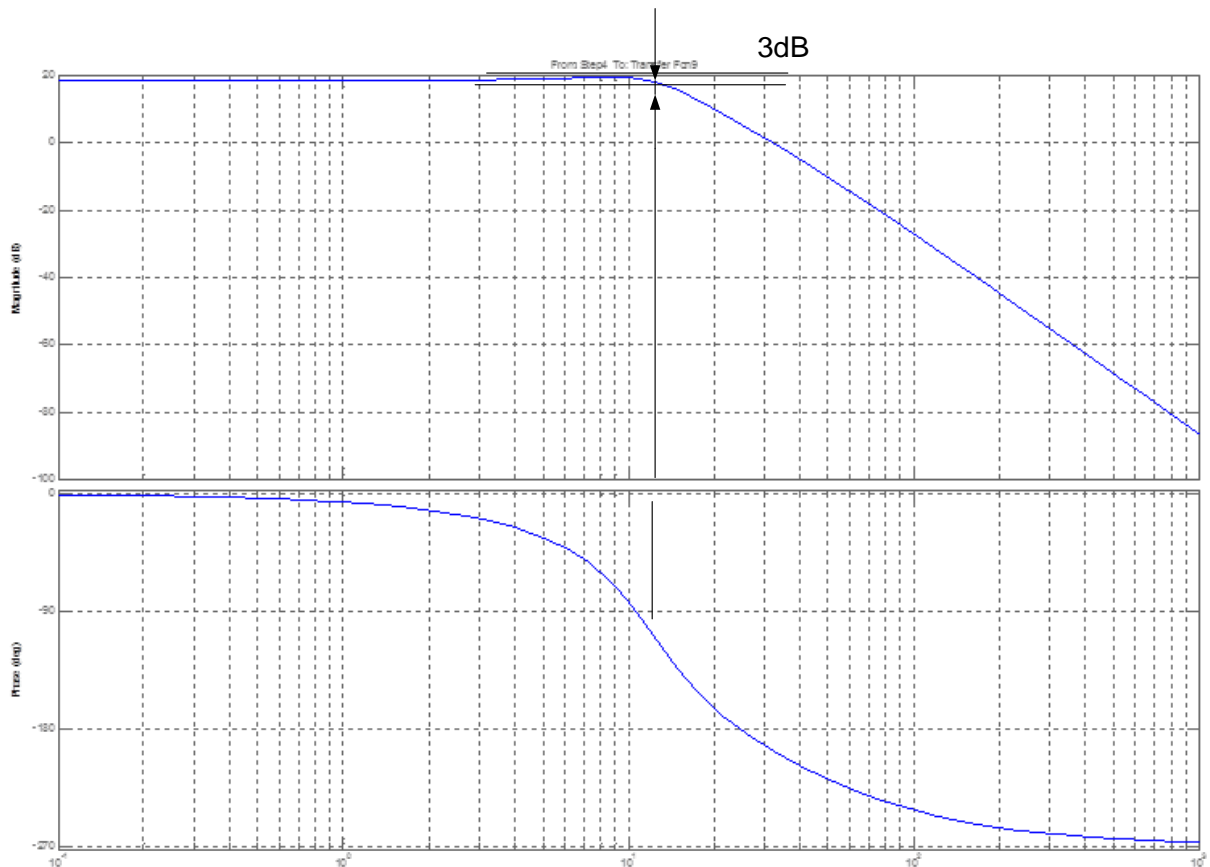


Рисунок 22 –ЛЧХ контура скорости

2.5.5 Структурная схема нелинейной САУ электропривода

Основными нелинейностями САУ электропривода подъемной лебедки являются:

– насыщение регуляторов напряжения и тока, что ограничивает их выходное напряжение:

$$U_{рн.макс} = \pm 10В, \text{ и } U_{рт.макс} = \pm 10В;$$

– ограничение тока двигателя в переходных режимах, осуществляемое.

– ограничением выходного напряжения регулятора напряжения на уровне $U_{рн.доп} = K_T \cdot I_{эп.макс} = 0.00333 \cdot 3000 = 10В$,

или блоком токовой отсечки;

– насыщением тиристорного возбуждателя генератора, соответствующее минимальному углу управления $\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ$

$$E_{\text{ТВГ.макс}} = E_{\text{д0}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} = 297.22 \cdot \cos 30^\circ = 257.4 \text{ В};$$

– переменная по величине и характеру нагрузки.

Структурная схема нелинейной САУ электропривода подъемной лебедки приведена на рисунке 23. Параметры элементов схемы приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчетные параметры звеньев структурной схемы САУ ЭП подъема

$K_{\text{рн}}/K_{\text{рн.макс}}$	$K_{\text{н}}$	$K_{\text{дн}}$	$K_{\text{он}}$	$K_{\text{рт}}$	$K_{\text{т}}$
7.94/10*	0.01138	0.01	1.138	0.789/5*	0.00333
$K_{\text{дт}}$	$K_{\text{от}}$	$K_{\text{тпв}}$	$T_{\text{тпв}}$	$R_{\text{цвг}}, \text{Ом}$	$L_{\text{цвг}}, \text{Гн}$
0.00333	1	51.8	0.00167	3.3956	1.5884
$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$(T_{\text{тпв}} + T_2), \text{с}$	$R_{\text{яц}}, \text{Ом}$	$2R_{\text{дв}}, \text{Ом}$	$L_{\text{яц}}, \text{м} \cdot \text{Гн}$
1.3002	0.0102	0.01867	0.05556	0.0316	0.001023
$2L_{\text{дв}}, \text{м} \cdot \text{Гн}$	$T_{\text{дв}}, \text{с}$	$T_{\text{зис}}$	$K_{\text{г.ср}}$	$2C$	$E_{\text{тпв.макс}}, \text{В}$
0.000579	0.0183	$> 1 \text{с}$	6.066	8.96	257.4
$T_{\text{яц}}, \text{с}$	$J_{\text{э.макс}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$J_{\text{э.мин}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$M_{\text{н.коп}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_{\text{н.гр}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_{\text{нагр}}, \text{Н} \cdot \text{м}$
0.01841	75.12	80.784	12970.5	7894	17294
$T_{\text{т1}}, \text{с}^*$	$T_{\text{т2}}, \text{с}^*$	$T_{\text{н3}}, \text{с}^*$	$T_{\text{н4}}, \text{с}^*$		
0.05/0.1*	0.001	0.04/0.12*	0.001		
$M_{\text{с1}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$J_1, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$J_2, \text{кг} \cdot \text{м}^2$		$C_{\text{j 12}}$	
1120.03	70.5	4.92	10.284	9080	19765

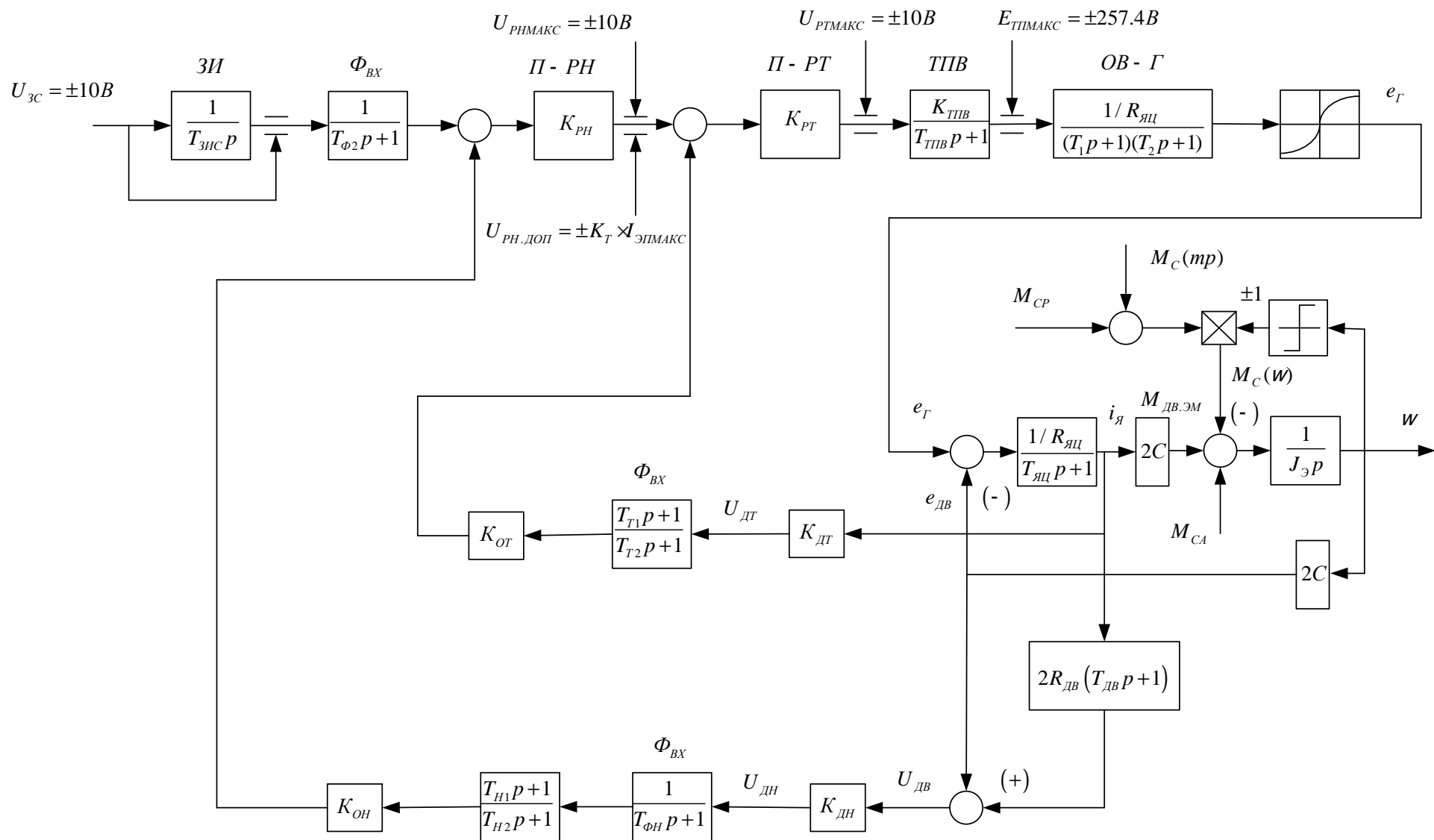


Рисунок 23 – Структурная схема нелинейной САУ электропривода подъема с ОМС

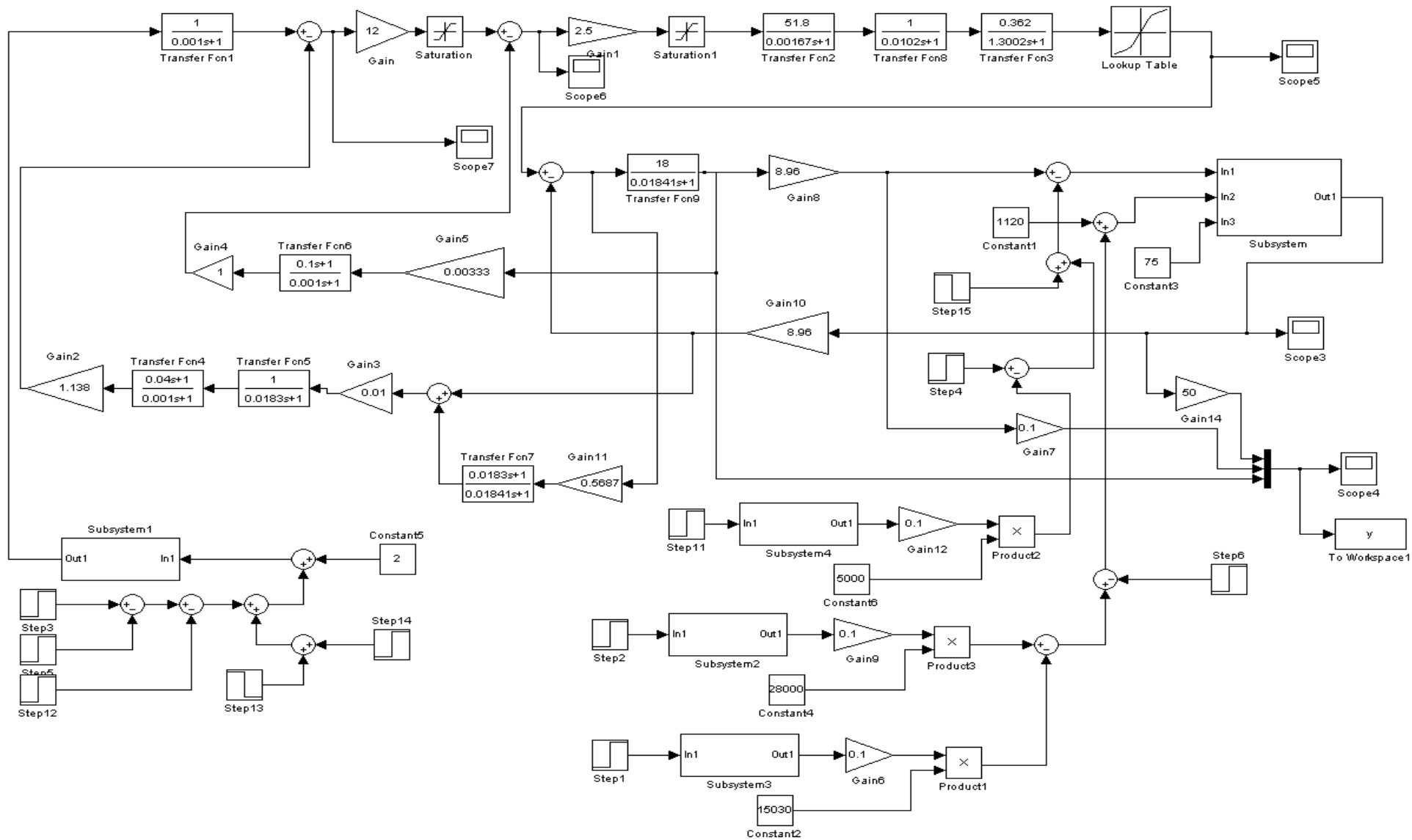


Рисунок 24 – Имитационная модель нелинейной САУ электропривода подъема с ОМС

2.5.6 Настройка САУ электропривода подъема на имитационной модели

Моделирование электропривода подъема производилось в программной среде MATLAB в соответствии со структурной схемой нелинейной САУ электропривода механизма подъема, приведенной на рисунке 23. Схема имитационной модели приведена на рисунке 24.

При имитационных исследованиях электропривода на модели был внесен ряд изменений в настройку САУ электропривода. Установлено, что для увеличения жесткости статической характеристики привода на рабочем участке возможно повышение коэффициента усиления регулятора напряжения до значения $k_{рн}=10$. Для увеличения быстродействия контура тока при отработке возмущающего воздействия по нагрузке возможно повышение коэффициента усиления регулятора тока до значения $k_{рт}=5$. Эти эффекты достигаются введением корректирующих фильтров в цепи обратных связей по току и напряжению. Постоянные времени корректирующих фильтров приведены в таблице 12.

Для оптимизации переходных процессов по управлению и повышению плавности работы привода на входе контура напряжения установлен задатчик интенсивности скорости (ЗИ). Постоянная времени ЗИ не должна выбираться менее 1с.

2.5.7 Исследование электропривода подъема на имитационной модели

Исследования проводились с целью определения работоспособности привода и получения показателей качества работы в основных режимах работы:

- пуск привода при разных значениях управления и различной по величине и характеру нагрузки;
- торможение и останов электропривода.

Для этой цели были сформированы взаимосвязанные графики изменения управления на входе электропривода и момента полезной нагрузки, имитирующие следующий цикл работы привода подъема: «начало копания со стопорением механизма из-за перегрузки – освобождение ковша с помощью привода механизма напора – продолжение процесса наполнения ковша – отрыв ковша с изменением характера нагрузки с реактивного на активный – подъем ковша – останов и удержание ковша в верхнем положении – разгрузка ковша – спуск порожнего ковша и останов его в нижнем положении» .

Результаты исследований в виде графиков зависимостей тока $i_{я}(t)$, момента $M_{дв}(t)$ и скорости $W(t)$ двигателя приведены на рисунке 25. Из приведенных графиков следует:

- с линейным задатчиком интенсивности на входе контура скорости переходные процессы в электроприводе подъема протекают плавно с ограниченным значением ускорения;

- переходные процессы по скорости монотонные, перерегулирование $S = 0\%$, время переходного процесса определяется постоянной времени задатчика скорости;

- электропривод представляет собой статическую систему, ошибка по скорости зависит от нагрузки, диапазон регулирования по скорости не менее 10;

- в режиме заторможенного механизма САУ электропривода ограничивает ток и момент двигателя на уровне допустимого значения ($I_{я\text{ макс}} = 3000\text{ А}$);

- удовлетворительные переходные процессы в САУ электропривода, выполненного по системе Г-Д, могут быть получены только при введении корректирующих фильтров в цепи обратных связей.

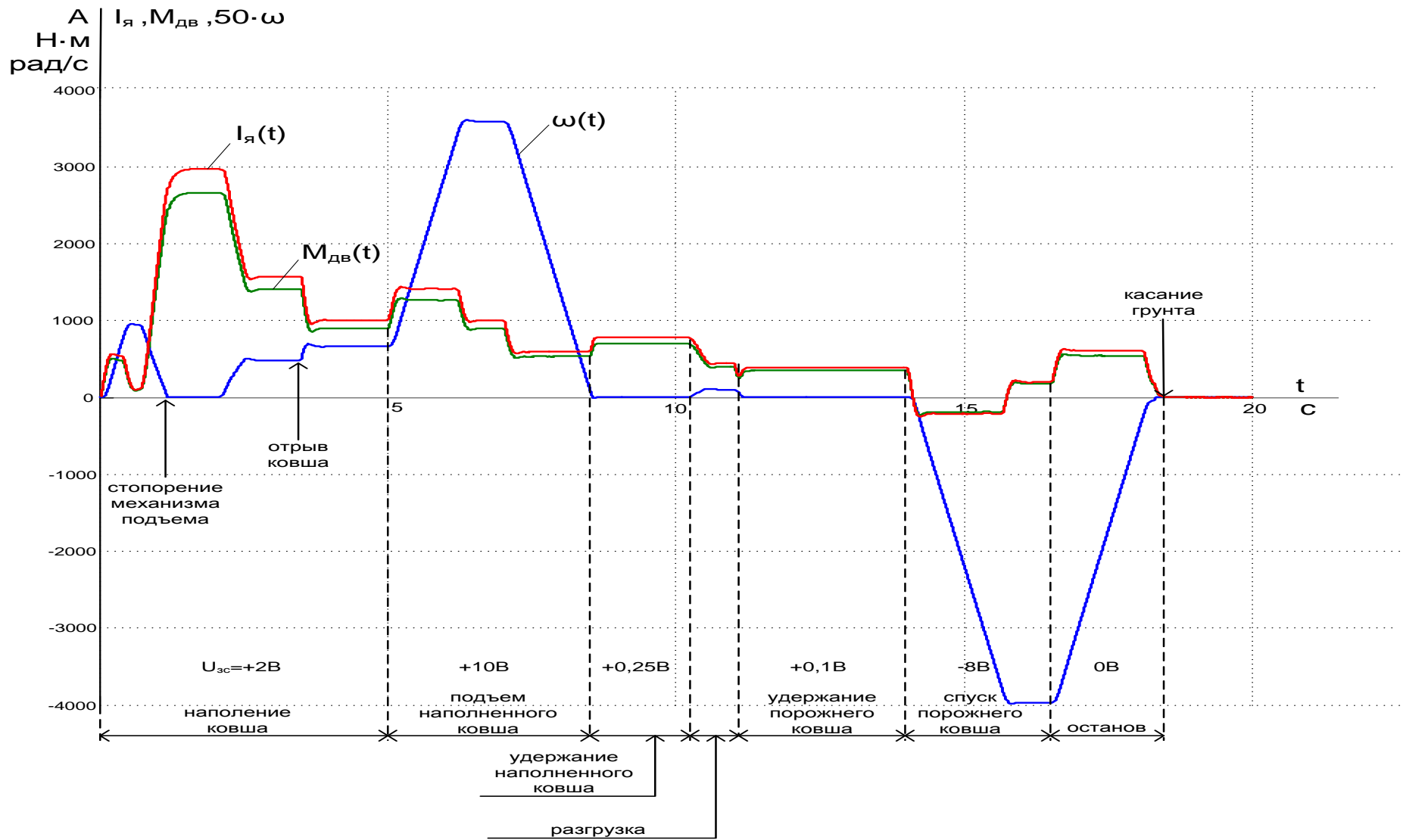


Рисунок 25 – Имитационный цикл работы электропривода механизма подъема

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Эшбаев Алишер Таджибаевич

Подразделение	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов на технический проект (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных</i>	Должностные оклады профессорско-преподавательского состава ТПУ
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов и отчислений</i>	Отчисления во внебюджетные страховые фонды – 30,2%;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. Составление план-графика работ по реализации технического проекта по типу диаграммы Ганта.
<i>2. Планирование и формирование сметы на ТП</i>	Смета затрат на проект
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта</i>	Проведение сравнительной оценки характеристик разработки и прототипа

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Эшбаев Алишер Таджибаевич		

3. 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;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

3.1. SWOT анализ проектировочной работы электрооборудования и электропривода механизма подъема экскаватора ЭКГ-15

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта [16].

Применительно к проектируемому электрооборудованию и электроприводу механизма подъема экскаватора ЭКГ-15, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта: С1. Широкий диапазон регулирования</p> <p>С2. Низкие массогабаритные показатели</p> <p>С3. Простое регулирование частотой вращения</p> <p>С4. Простое техническое обслуживание</p> <p>С5. Низкие вибро-шумовые характеристики</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1. Наличие щеточно-коллекторного узла</p> <p>Сл2. Себестоимость продукта</p> <p>Сл3. Работа на высоких значениях напряжения и тока</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышения качества продукции</p> <p>В2. Автоматизация технологического процесса</p> <p>В3. Снижение затрат на транспортировку готовой продукции</p> <p>В4. Снижение затрат на техническом обслуживании</p>	<p>В1С2С3С5;</p> <p>В2С1С4;</p> <p>В3С2С3;</p> <p>В4С1С4.</p>	<p>В3Сл2;</p> <p>В4Сл1Сл2Сл3.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологии производства</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Угрозы выхода из строя сложного рабочего органа</p>	<p>У1С5;</p> <p>У3С2С3;</p> <p>У4С2С4.</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3;</p> <p>У2Сл1;</p> <p>У3Сл1Сл3;</p> <p>У4Сл1Сл3.</p>

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).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 24 и 25, показывает, что сильные стороны проекта преобладают в сравнении со слабыми. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 3.2. Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	-	+	+	-	+
В2	+	-	-	+	-
В3	-	+	+	-	-
В4	+	-	-	+	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
В1	-	-	-		
В2	-	-	-		
В3	-	+	-		
В4	+	+	+		

Таблица 3.3. Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
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 Сл1 - «Наличие щеточно-коллекторного узла». У электропривода с двигателем постоянного тока при неправильно настроенной коммутации щеточно-коллекторного узла возможно возникновение «кругового огня», что приводит к выходу из строя двигателя. Но за счет появления новых возможностей, закупка такого оборудования становится целесообразной, так как их преимущества минимизируют влияние слабых сторон.

3.2. 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.

3.3. 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 3.4:

№ 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 тиристорного возбудителя генератора – расчет электрических характеристик, требуемых для технологического процесса, и выбор из каталога необходимых тиристоров;

№ 4 – Расчет параметров электродвигателя;

№ 5 – Исследование электропривода напора на имитационной модели;

№ 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 – составление презентации, согласование презентации с руководителем.

3.4. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [16]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (5.1)$$

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 3.4. приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 3.4 – Ожидаемая трудоемкость работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, раб. дни					
		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	Выбор тиристорного возбуждителя генератора	-	20	-	25	-	23
4	Расчет параметров электродвигателя	1	25	1	30	1	27
5	Исследование электропривода напора на имитационной модели	1	30	1	34	1	32
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.

3.5. 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 [16].

На основе таблицы 3.4 строим план-график проведения работ (таблица 3.5).

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Из них: 103 дней - продолжительность выполнения работ инженера;

7 дней - продолжительность выполнения работ научный руководителя;

3.6 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

материальные затраты;

полная заработная плата исполнителей технического проекта;

отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

накладные расходы.

3.6.1. Расчет материальных затрат

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расх\ i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

Таблица 3.5 – План-график выполнения работ

№	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	Выбор тиристорного возбудителя генератора	Инженер	23	■												
4	Расчет параметров электродвигателя	Инженер	27		■											
		Руководитель	1					■								
5	Исследование электропривода напора на имитационной модели	Инженер	32					■								
		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	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2													■
		Инженер	2													■

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

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

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

Таблица 3.6 – 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	475	475
Переплет	1	40	40
Флеш-карта	1	600	600
Итого			1600

3.6.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \times T_p ,$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$ – 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 3.7.

Таблица 3.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Районная доплата, руб	Среднемесячная заработная плата, руб	Среднедневная заработная плата работника	Продолжительность работ, дн.	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11781
Инженер	12300	3690	15990	615	103	63350
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.						75130

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы, $k_{\text{доп}}$	Основная заработная плата, $Z_{\text{осн}}$, руб.	Дополнительная заработная плата, $Z_{\text{доп}}$, руб.	Полная заработная плата, $Z_{\text{полн}}$, руб.
Руководитель	0,15	11800	1800	13600
Инженер	0,12	63400	7600	71000
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.		75200	9370	84600

3.6.3. 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:

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

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

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \times 84,5 = 25,5 \text{ тыс. руб.}$$

3.6.4. 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.

Величина накладных расходов принимается в размере 16% от затрат на технический проект.

3.7. 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 3.9.

Таблица 3.9 – 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	84,5	63,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,5	19,2
4. Накладные расходы	21,4	16,0
5. Итого	133,2	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 103 раб. дней для инженера и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 133,0 тыс.руб, из которых основная часть (63,6 %) приходится на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

3.8. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [16]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5.3)$$

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 электрооборудования и электропривода механизма подъема 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 количества активных материалов при изготовлении.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - 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:

$$I_{p-исн1} = 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 = 4,75$$

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 электрооборудования и электропривода механизма подъема экскаватора ЭКГ-15 путем улучшения качества и увеличения экономичности за счет использования меньшего количества активных материалов при изготовлении.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Эшбаев Алишер Таджибаевич

Школа	Инженерная школа энергетиков	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.	<i>Объектом исследования является электропривод подъёма ЭКГ-15, выполняющего погрузочно-разгрузочные работы при экскавации руды на открытых горных работах.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации ЭКГ-15, выполняющего погрузочно-разгрузочные работы при экскавации руды на открытых горных работах. 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1) Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); 2) Загазованность; 3) Повышенный шум; 4) Повышенная вибрация; 1) Движущие машины и механизмы; 2) Электроопасность; 3) Пожароопасность.
3. Экологическая безопасность.	1) Воздействия на атмосферу (выбросы); 2) Воздействия на гидросферу (сбросы); 3) Воздействия на литосферу (сбросы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	1) перечень возможных ЧС на объекте; 2) разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3) План эвакуации при пожаре

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	Эшбаев Алишер Таджибаевич		

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.

Введение.

Одноковшовые экскаваторы работают преимущественно с железнодорожным и автотракторным транспортом. Выполнение выемочно-погрузочных работ сопровождается большим количеством пыли, вибрацией, повышенным шумом, что требует проведения необходимых организационных и технических мероприятий по снижению вредного воздействия этих факторов, как на обслуживающий персонал экскаватора, так и на окружающую среду.

Рабочее место машиниста ЭКГ – кабина экскаватора, являющаяся ограниченным рабочим пространством. Конструкция кабины должна обеспечивать хороший обзор любой точки рабочей площадки, защиту машиниста от избыточного тепла, шума и вибраций, электробезопасность, легкость и удобство управления экскаватором.

4.1 Правовые и организационные вопросы.

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

Для работ на ЭКГ-15 допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

Согласно ст.117 ТК РФ машинисту предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Правовое обеспечение безопасности жизнедеятельности на производстве включает законодательство о труде и охране труда. Основными законами, на основе которых осуществляется управление охраной труда, являются Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ; Трудовой кодекс РФ, принятый 30 декабря 2001 г.; Гражданский кодекс РФ.

4.2 Производственная безопасность ЭЖГ-15

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Полевые работы:</p> <p>1)погрузочно-разгрузочные работы.</p> <p>2)монтаж, демонтаж, ремонт оборудования.</p> <p>3)перемещение руды.</p>	<p>1)Запыленность</p> <p>2)Загазованность;</p> <p>3)Повышенный уровень шума;</p> <p>4)Повышенный уровень вибрации.</p>	<p>1) Движения машин и механизмов;</p> <p>2) Поражение электрическим током;</p> <p>3) Пожароопасность.</p>	<p>Состав атмосферы карьера должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных частей воздуха и вредных примесей (пыль, газы), с учётом требований указанных в ГОСТ 12.1.005.</p> <p>Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений согласно ГОСТ 12.1.012.</p> <p>Уровень шума согласно ГОСТ 12.1.003. не должен превышать 80 дБА</p>

4.3 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Загазованность.

Состав атмосферы карьера должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных частей воздуха и вредных примесей (пыль, газы), с учётом требований указанных в ГОСТ 12.1.005.

В кабине машиниста воздух должен содержать по объёму 20% кислорода и не более 0.5% углекислого газа; содержание других вредных газов не должно превышать величин, приведённых в таблице 14.

Таблица 14 – Содержание вредных газов в воздухе

Наименование газа	Предельно-допустимые концентрации (ПДК)	
	% по объёму	мг/м ³
Окислы азота (в пересчёте на NO ₂)	0.0001	5
Окись углерода	0.0017	20
Сероводород	0.00071	10
Сернистый ангидрид	0.00033	10
Акролеин	0.00009	0.2
Формальдегид	0.00004	0.5

При сжигании различных видов топлива, работе двигателей транспортных средств, гальванических процессах, во время окрасочных, сварочных и термических работ, а также при других процессах на транспорте выделяется большое количество вредных газо-образных веществ.

В большинстве случаев эти вещества являются ядовитыми, оказывающими сильное токсическое действие на организм человека. Свойства их определяются химической структурой и агрегатным состоянием. Ядовитые вещества проникают в организм человека через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, кожный покров и вызывают токсические отравления.

Запыленность.

Запылённость воздуха на рабочих местах не должна превышать ПДК указанных в таблице 15.

Таблица 15 – Предельно – допустимая концентрация веществ

Вещества	ПДК, мг/м ³
Кристаллическая двуокись кремния при содержании её в пыли свыше 70% (кварц, диас и др.)	1
при содержании её в пыли от 10 до 70% (гранит, шамот, слюда-сырец, углеродная пыль)	2
при содержании её в пыли от 2 до 10% (горючие куперитные сланцы, медно-сульфидные руды, углелепородная и угольная пыль и др.)	4
Природный и искусственный асбест, а также смешанная асбестопородная пыль при содержании в ней асбеста не более 10%	2
Тальк, слюда-флогонит и мусковит	4
Цемент, оливин, анатит, форстерит, глина	6
Каменный уголь с содержанием двуокиси кремния менее 2%	10

Пылевые частицы с зазубренными острыми краями металлическая, минеральная пыль оседают медленнее и в большем количестве попадают в дыхательные пути. При этом они могут травмировать слизистые оболочки. Электрически заряженные частицы пыли быстрее захватываются организмом, и их количество, попадающее в трахею, бронхи, легкие, в 2 - 3 раза превышает количество нейтральной пыли. Частицы, несущие электрический заряд, являются агрессивными по отношению к внутренним органам человека.

Токсической является пыль хрома, мышьяка, свинца и некоторых других веществ. Попадая в организм человека, частицы такой пыли взаимодействуют с кровью и тканевой жидкостью, и в результате протекания химических реакций

образуют ядовитые вещества. Отдельные виды пыли могут растворяться в воде и биологических жидких средах крови, лимфе, желудочном соке, что может иметь отрицательные последствия.

Для защиты персонала ЭКГ от воздействий вредных факторов на экскаваторе устанавливают системы очистки воздуха СПГО (система пыле-газоочистки).

Защита от вибрации.

Источником вибрации при работе ЭКГ является электропривод основных механизмов и передаточные устройства.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений, что ведет к снижению работоспособности и производительности труда, соответственно, а также происходит развитие нервных заболеваний, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, нарушение функций опорно-двигательного аппарата, поражение мышечных тканей и суставов,

Нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни.

Технологическая вибрация, вызванная экскавацией горной массы и работающими на борту экскаватора мощными электроустановками нормируется в соответствии с ГОСТ 12.1.012.

Таблица 17 – Гигиенические нормы уровней виброскорости

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Общая транспортная: вертикальная горизонтальная	132	123	114	108	107	107	107	—	—	—	—
	122	117	116	116	116	116	116	—	—	—	—
Транспортно-технологическая	—	117	108	102	101	101	101	—	—	—	—

Основными методами борьбы с вибрацией электрических машин и оборудования экскаватора являются:

– применение редукторов со специальными видами зацеплений – глобоидными, шевронными и косозубыми, а также подбор зубчатых пар;

– устранение неуравновешенности вращающихся масс путем их балансировки;

– применение упруго-предохранительных муфт для передачи вращающего момента от двигателей к механизмам;

Защита от шума.

В кабине машиниста преобладает шум механического происхождения, возникающий в результате работы всех механизмов ЭКГ, а так же БелАЗов, грейдеров, которые используются при проведении погрузочно-разгрузочных, монтажных и прочих работ.

Воздействие шума является причиной повышенной утомляемости, потери слуха, снижения производительности труда.

Уровень звука, излучаемый экскаватором в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА по ГОСТ 12.1.003.

Таблица 18 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных									Уровни звука и эквивалентные уровни звука.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Проведение мероприятий по борьбе с вибрацией дает одновременно и снижение шума.

Допустимые уровни шума и вибрации в кабине экскаватора не превышают санитарно-гигиенических норм. Дополнительных мер для защиты от виброакустических факторов не требуется.

4.4 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Движущиеся машины и механизмы.

Основными видами опасности, воздействующими на машиниста ЭКГ, являются:

-Механические виды опасности, связанные с подъемными операциями при экскавации и перемещение горной массы к транспортным средствам.

-Опасность, вызванная поступательным движением ЭКГ: движение во время разгона двигателя; движение при отсутствии машиниста на своем месте; чрезмерно высокая скорость ЭКГ при работах на склонах, движущийся автотранспорт; недостаточная способность ЭКГ к замедлению, выключению, остановке и удержанию.

Для защиты персонала необходимо, чтобы движущиеся части приводных механизмов были закрыты кожухами, а так же исправное состояние тормозов и

правильная регулировка подвижных механизмов, обеспечением которых выступает соблюдение графиков ТО и своевременное проведение ремонтных работ механизмов.

Поражение электрическим током.

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Машинист ЭКГ должен быть обеспечен электрозащитными средствами: изоляционными перчатками, изоляционными галошами и ковриками, а также строго следовать инструкции электробезопасности.

Пожароопасность.

Наличие большого количества горюче-смазочного материала и электрооборудования на борту ЭКГ может явиться причиной возгорания и как следствие пожара на ЭКГ.

Подробно рассмотрено в п. 4.

4.5 Экологическая безопасность.

Воздействия на атмосферу (выбросы).

Самыми распространёнными вредными веществами, загрязняющими атмосферу карьера являются:

- оксид углерода CO;
- диоксид серы SO₂;
- оксиды азота NO₂;
- углеводороды;
- пыль, содержащая в основном кристаллическую двуокись кремния.

Погрузочно-разгрузочные работы сопровождаются значительным выделением пыли. Максимальное количество пыли выделяется при работе экскаваторов, несколько меньшее – при работе бульдозеров. Концентрация пыли при выемочно-погрузочных работах, так же как и при буровзрывных, зависит от крепости и естественной влажности горных пород.

На интенсивность пылевыведения оказывают влияние объем одновременно разгружаемой породы, высота разгрузки, угол поворота экскаватора.

Воздействие на гидросферу (сбросы).

Поверхностные сточные воды образуются в результате смывания дождевой, талой и поливочной водой примесей, скапливающихся на территории, крышах и стенах производственных зданий и объектов. Основными примесями этих вод являются твёрдые частицы (песок, камень, стружки и опилки, пыль, сажа и т.п.); нефтепродукты (масла, бензин, керосин и др.), используемые в двигателях транспортных средств и производственных механизмах. Основными примесями этих вод являются твёрдые частицы (песок, камень, стружки и опилки, пыль, сажа и т.п.); нефтепродукты (масла, бензин, керосин и др.), используемые в двигателях транспортных средств и производственных механизмах.

Воздействие на литосферу (сбросы).

Твёрдые отходы горнодобывающего производства содержат:

- амортизационный лом (модернизация оборудования, оснастки, инструмента);
- стружки и опилки металлов;
- шлаки и шламы горной и вскрышной пород;
- осадки и пыль.

Шлаки и шламы вскрышных пород, а также горных пород с малым содержанием полезных ископаемых разгружаются на специально оборудованные площадки – отвалы. Экскаваторные отвалы проектируются по плану, утверждённому руководством предприятия.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Пожарная безопасность.

Пожары на предприятиях представляют большую опасность для работающих и могут причинить огромный материальный ущерб. Вопросы обеспечения пожарной безопасности на открытых горных разработках имеют большое значение и регламентируются требованиями, указанными в ГОСТ 12.2.003.

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Под активной пожарной защитой понимаются меры, обеспечивающие успешную борьбу с возникающими пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные. Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин, противопожарный инструктаж рабочих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

К техническим мероприятиям относятся соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании экскаватора, при устройстве его электропроводов и оборудования, отопления кабины машиниста, освещения, правильное размещение оборудования.

Мероприятия режимного характера – это запрещение курения в не установленных местах, производства сварочных и других огневых работ в условиях пожарной опасности и т.д.

Эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования экскаватора. В соответствии с ГОСТ12.2.003 поворотную платформу экскаватора можно отнести к помещениям с производством категории Д.

Для обеспечения активной пожарной безопасности на борту экскаватора ЭКГ-15 предусмотрены:

–ручные огнетушители типа ОУ-2А (ОУ-5, ОУ-8) или порошковые заряженные составами МГС и ПХ;

–ящики с песком;

–багры и лопаты с деревянными ручками.

В кузове экскаватора также предусмотрены специальные металлические ящики, в которых должны храниться все смазочные и обтирочные материалы.

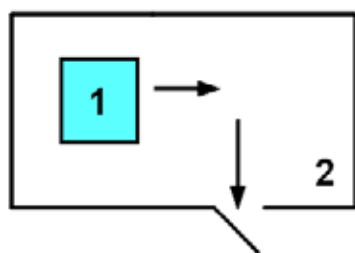


Рисунок 27 – План эвакуации машиниста из кабины

экскаватора 1 – кресло-пульт машиниста; 2 – кабина экскаватора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулируемый электропривод механизма подъема представляет собой систему автоматического управления, выполненную по двухконтурной структуре подчиненного регулирования, наиболее полно удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к электроприводу подъема механизма ковша экскаватора. Применение данной структуры с П-регуляторами позволило получить семейство экскаваторных характеристик с возможностью настройки коэффициента заполнения и коэффициента отсечки.

В результате оптимизации линеаризованной САУ РЭП была получена статическая система с оптимальными параметрами корректирующих цепей. Показатели переходных процессов, полученных с помощью численного моделирования на ЭВМ близки к показателям системы, настроенной на модульный оптимум. Статическая ошибка системы удовлетворяет заданной погрешности поддержания скорости при максимальной нагрузке. На холостом ходу ошибка по скорости практически равна нулю.

Диаграммы скорости тока, момента и скорости электропривода, полученные для имитационного цикла работы электропривода подъема, подтверждают соответствие разработанного электропривода механизма подъема одноковшового экскаватора ЭКГ-15 техническим требованиям и особенностям технологического процесса.

В разделе безопасности и экологичности проекта рассмотрены основные вредные факторы, угрожающие электротехническому персоналу и разработаны меры техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности. В разделе охраны окружающей среды отражены вредные воздействия горного производства на воздушный и водный бассейны, даны рекомендации по способам защиты окружающей среды от выбросов пыли и газов.

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

По проводимым в процессе расчётов проверкам, по карте селективности и по эюрнам отклонения напряжения можно сделать вывод, что данная модель электроснабжения цеха и всего предприятия в целом надёжна и пригодна к эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Техническая документация ОАО «Алмалыкский ГМК» рудник «Кальмакыр».
2. Производственный паспорт ОАО «Алмалыкский ГМК».
3. Рязяев С., Алмалыкский горно-металлургический – 2006 г.
4. Гурин В. Д. Как это было // Горный вестник.- 2003г.- №4.- с.18-26.
5. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 416 с.
6. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под редакцией Елисеева В. А. и А. В. Шинянского . – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с.
7. Глушко В.В. Характеристики режимов работы горных машин.М. Недра 1973г-223стр.
8. Егурнов Г.П., Рейш А.К. Одноковшовые экскаваторы. М. Недра 1965г-465стр.
9. Зюзин А.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.; Высшая школа, 1980г-367стр.
10. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсовому проектированию. Томск ТПУ,1991г-104стр.
11. Козин В. М., Марченко Я.Е. Управляющие устройства тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока. Учебное пособие для ВУЗОВ. М: «Энергия» 1981г.-86стр.
12. Солод В.И., Зайков В. И. Горные машины и автоматизированные комплексы. М. Недра, 1981г-501стр.
13. Панкратов С.А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ. М. Машиностроение.1967г-446стр.
14. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. М.Н.Трофимова / Изд.ТПУ, 2010 г-239 стр.

15. Организация и планирование производства: Методическое указание по экономическому обоснованию дипломных проектов студентов специальностей 0628 Электрический привод и автоматизация промышленных установок. В. Н. Дорман / Магнитогорск: МГМИ, 1988г-46стр.

16. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

17. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

18. Ценник на монтаж оборудования №8.

19. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ Общие санитарные требования к воздуху рабочей зоны.

20. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ Вредные вещества и их классификация

21. СНиП 11-33-75. Загрязнение сточных вод. Загрязнение почвы.

22. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ Шум. Общие требования безопасности

23. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Система стандартов безопасности труда

24. ГОСТ 12.1.012. Гигиенические нормы уровней виброскорости. .

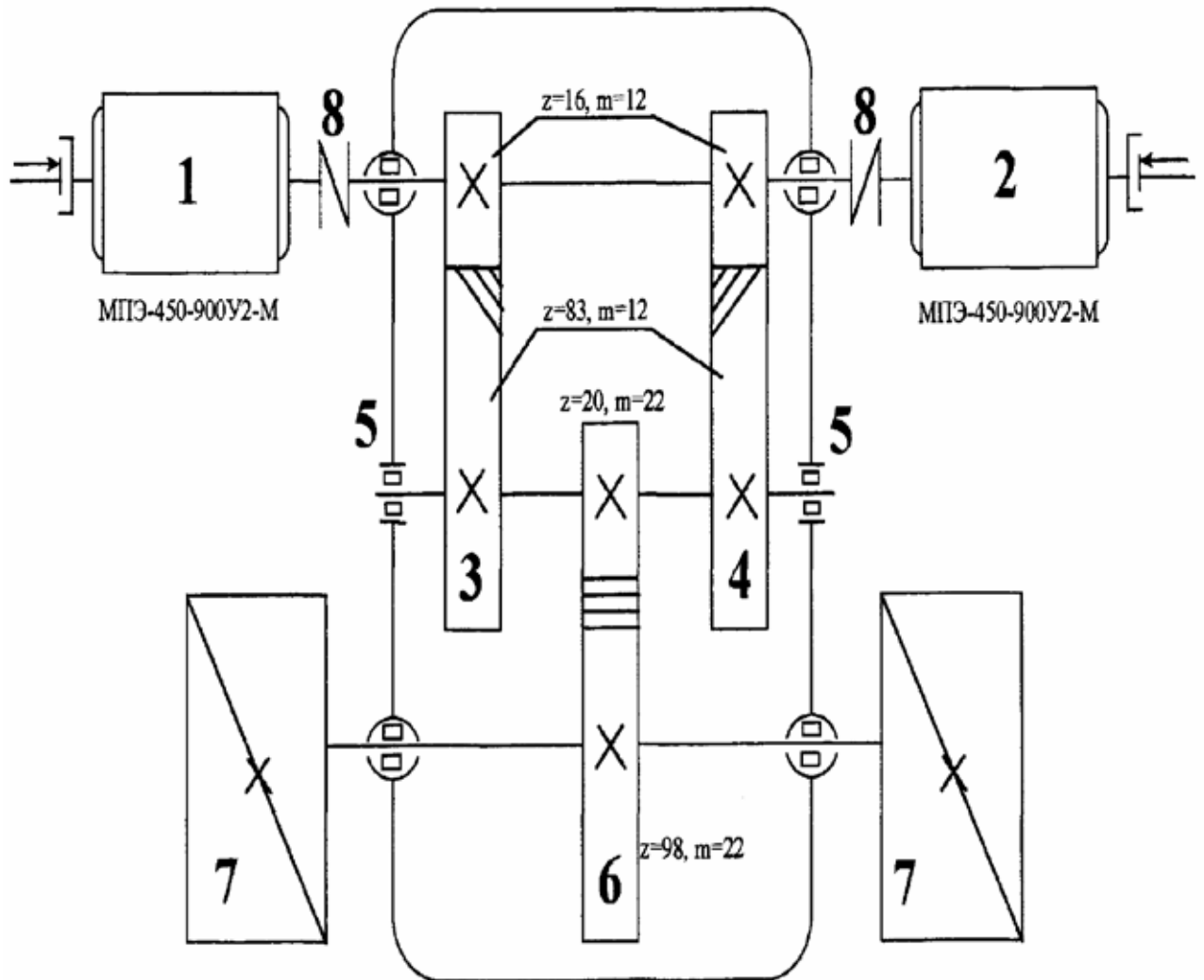
25. ГОСТ 12.2.003. Пожарная безопасность на открытых горных разработках.

26. ПТЭ и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей до 220 кВ включительно.

27. ГОСТ 12.1.005 ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

28. Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ; Трудовой кодекс РФ, принятый 30 декабря 2001 г.; Гражданский кодекс РФ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Кинематическая схема механизма подъема экскаватора ЭКГ-15

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

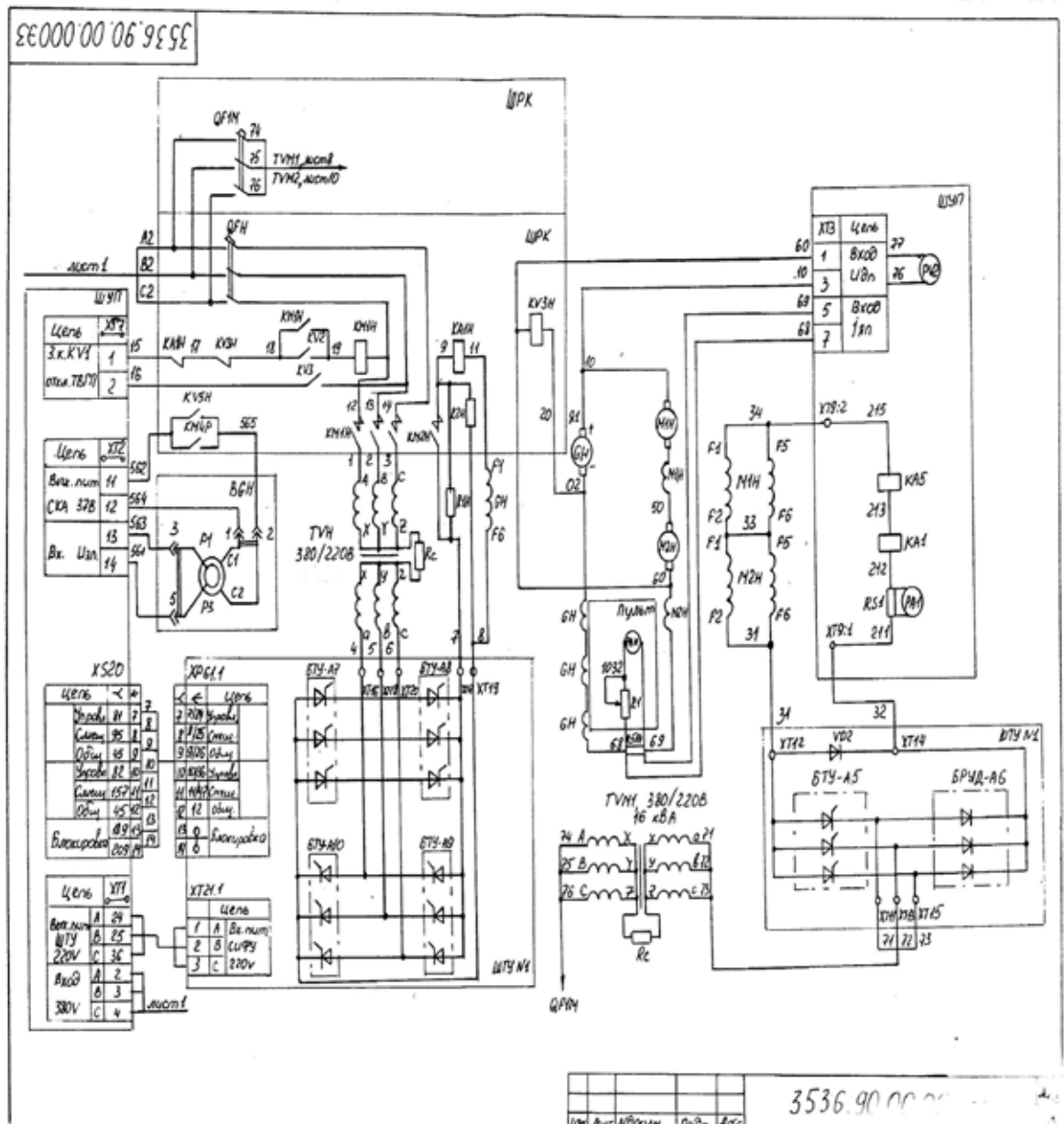
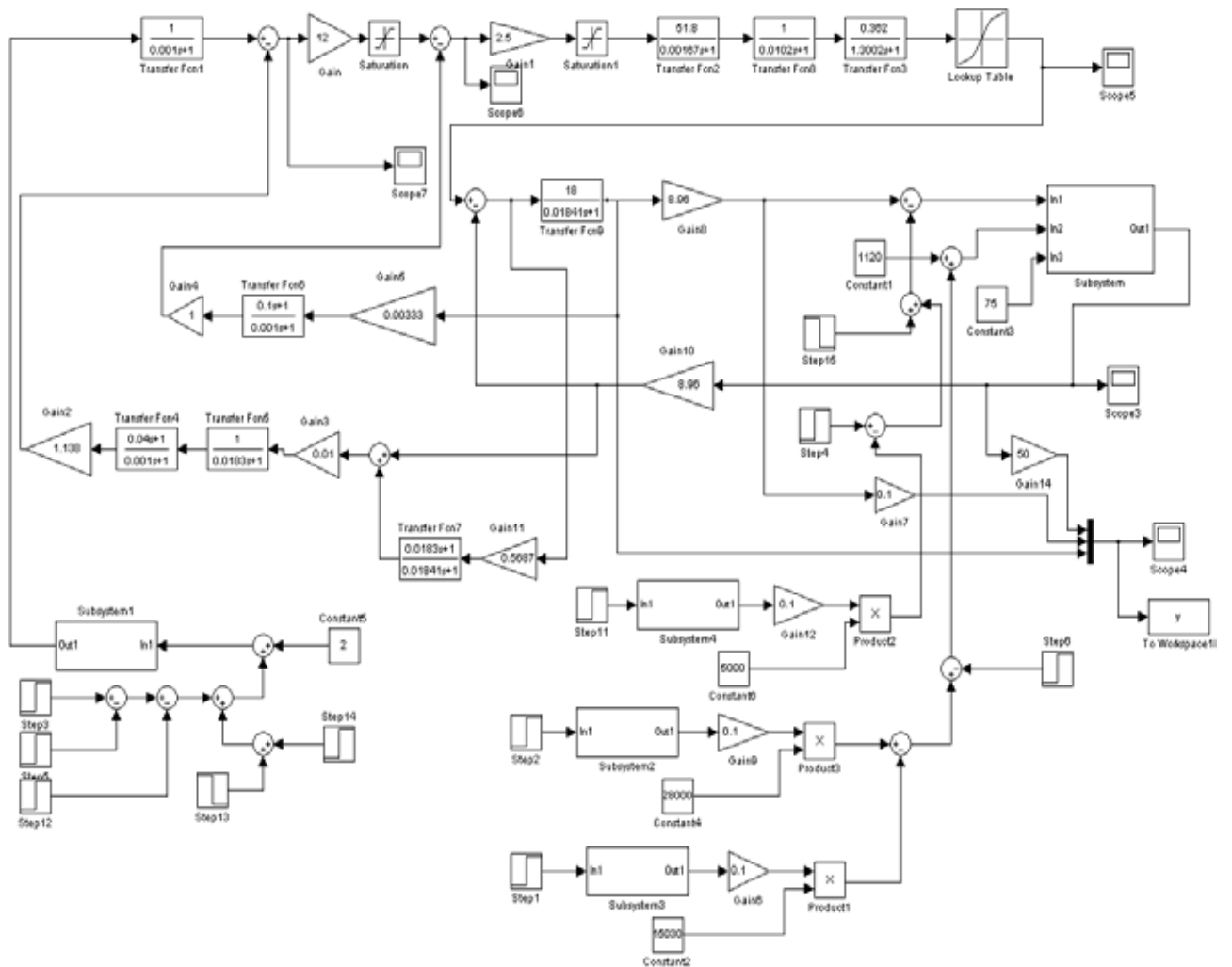


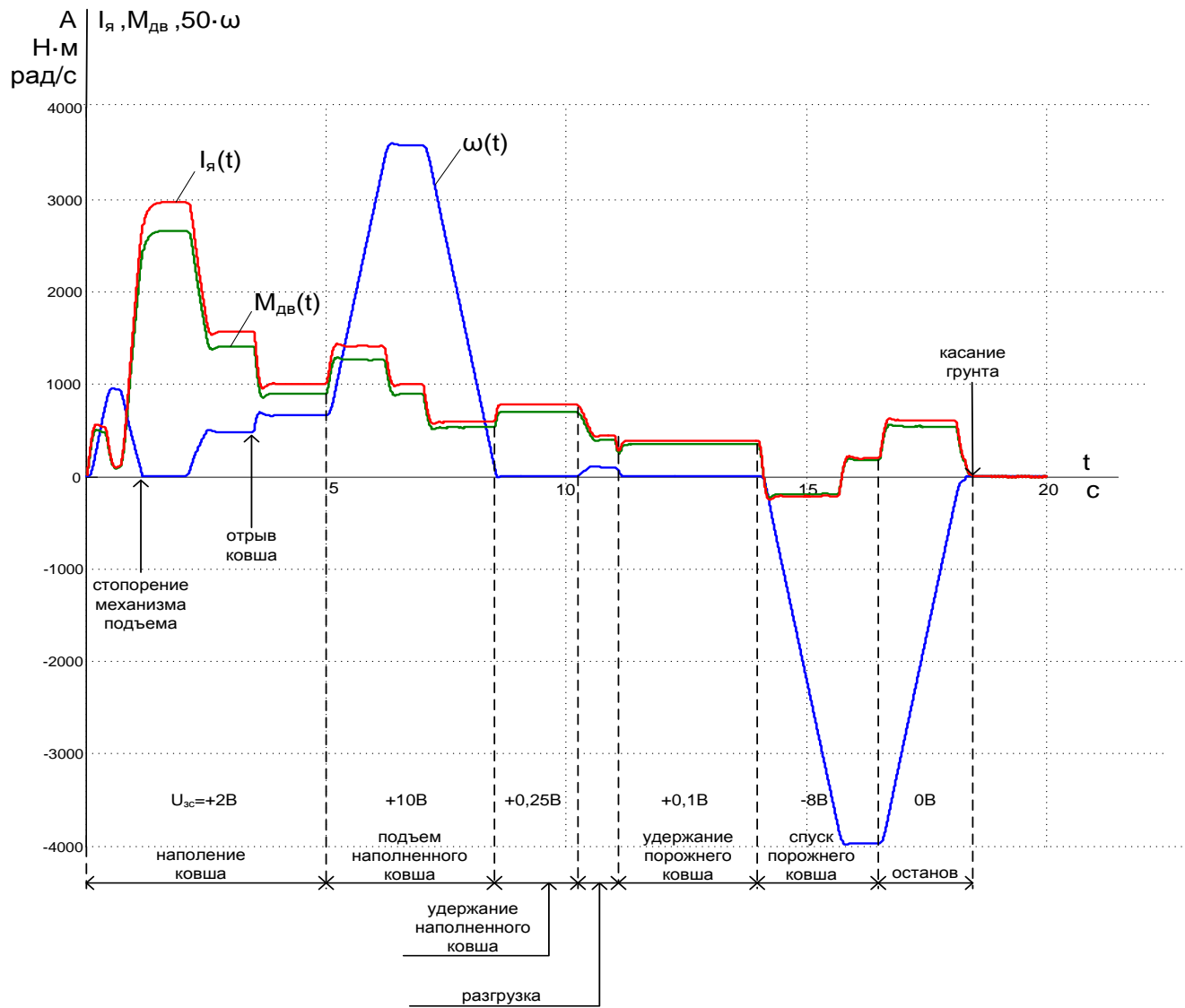
Схема электрическая принципиальная

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Имитационная модель нелинейной САУ электропривода подъема с ОМС

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Имитационный цикл работы электропривода механизма подъема