

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод механизма подъема экскаватора ЭКГ-15</b>

УДК 62-83-52:621.879-8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Закирьянов Акмаль Маратович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Ляпушкин С.В.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Закирьянов Акмаль Маратович

Тема работы:

**Электропривод механизма подъема экскаватора ЭКГ-15**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

**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><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода подъема экскаватора ЭКГ 15 Графики переходных процессов подъема</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Попова Светлана Николаевна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Заключение</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>05.04.2018г..</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Ляпушкин С.В.	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5ГЗА1	Закирьянов Акмаль Маратович		05.04.2018г.

## 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 сельсинного команд контроллера без фиксированных положений;

Диапазон регулирования не менее 5:1;

Допустимая перегрузка двигателя в переходных режимах по току

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 112 страниц, 27 рисунков, 19 таблиц, 29 использованных источника, приложение,

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. Расчёты 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	4
ВЕДЕНИЕ	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	10
1.1 Техническая характеристика одноковшового экскаватора ЭКГ – 15	10
1.2 Электроснабжение экскаватора	19
1.3 Кинематическая схема механизма подъема	20
1.4 Технологический процесс	23
1.5 Требования к электроприводу механизма	25
1.6 Обоснование и выбор рода тока	29
1.7 Схема электрическая принципиальная	31
2 ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ЭКГ–15	35
2.1 Электрические машины привода подъема	35
2.1.1 Электродвигатель механизма подъема типа МПЭ450-900-1	36
2.1.2 Расчетные параметры электродвигателя	37
2.1.3 Генератор механизма подъема типа 4ГПЭМ1250 –1/1	38
2.1.4 Расчётные параметры якорной цепи генератора	39
2.1.5 Расчётные параметры обмотки возбуждения генератора	39
2.2 Якорная цепь электропривода	41
2.2.1 Параметры якорной цепи	42
2.2.2 Электромеханические характеристики разомкнутой системы Г-Д	43
2.3 Цепь обмотки возбуждения генератора	44
2.3.1 Выбор соединения секций обмоток возбуждения генератора	44
2.3.2 Выбор тиристорного возбудителя генератора	45
2.3.3 Расчет параметров трансформатора возбудителя генератора	46
2.3.4 Расчетные параметры тиристорного возбудителя	47
2.3.5 Расчёт параметров цепи возбуждения генератора	48
2.4 Механическая система электропривода подъема экскаватора	49
2.4.1 Определение дополнительных параметров механизма подъема	50
2.4.2 Расчетная схема механической системы привода подъема	50
2.4.3 Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода	52
2.4.4 Параметры канатной передачи	54
2.4.5 Резонансная частота двух массовой механической системы привода подъема	55
2.5 Система автоматического электропривода подъёма	59
2.5.1 Структурная схема силового канала электропривода	59
2.5.2 Структурная схема линеаризированной САУ электропривода	60

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
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	76
3.1 Определение стоимости пуско-наладочных работ	79
3.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	82
3.2.1 Силовая электроэнергия	82
3.2.2 Расчет амортизационных отчислений	84
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	88
4, СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	90
4.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	91
4.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	95
4.3 Экологическая безопасность.	96
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	98
4.5 Правовые и организационные вопросы.	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	103
ПРИЛОЖЕНИЕ А	105
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	106
ПРИЛОЖЕНИЕ В	107
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	109

## ВЕДЕНИЕ

Наиболее прогрессивным и экономичным способом добычи полезных ископаемых является открытый способ, при котором производительность труда в несколько раз выше, а себестоимость ниже, чем при подземной разработке месторождений.

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

Одноковшовые карьерные экскаваторы представляют собой специализированные землеройные машины, предназначенные для черпания грунта или предварительно разрушенной взрывом скальной породы и перемещения наполненного ковша к месту выгрузки. 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 качества 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 рычажном управлении ( когда машинист производит включение и выключение механизмов экскаватора непосредственно воздействием на рычаги ) производительность экскаватора удерживается на максимальном уровне в течении двух 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 легкости 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* (англ. excavator, от лат. excavo – долблю, выдалбливаю), основной тип машин, предназначенных для разработки (копания) мягких горных пород (грунта) в массиве или скальных в раздробленном состоянии, а также для погрузки их в транспортные средства (автомобили, ж.-д. вагоны и др.) или укладки в отвал экскаваторы выполняют около 35% объёмов земляных работ в строительстве и свыше 80% объёмов на открытых горных работах. ЭКГ – 15 относится к большой группе одноковшовых экскаваторов периодического действия.

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 15м<sup>3</sup> (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. Съемные 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.

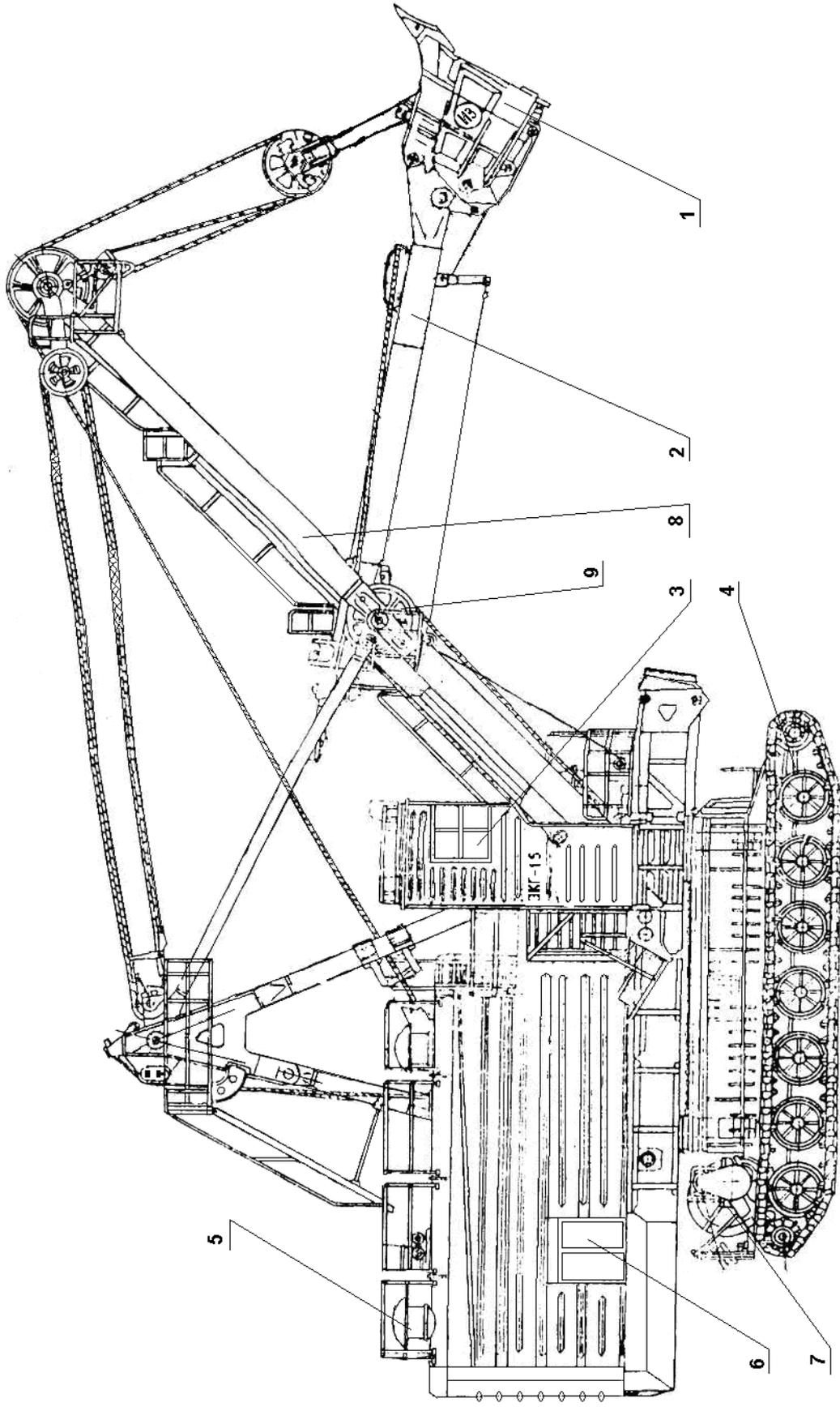


Рисунок 1. Общий вид экскаватора ЭКТ - 15

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 ходовых электродвигателя, электромагниты, электродвигатель кабельного барабана.

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.

Технические параметры экскаватора представлены в таблице 1.

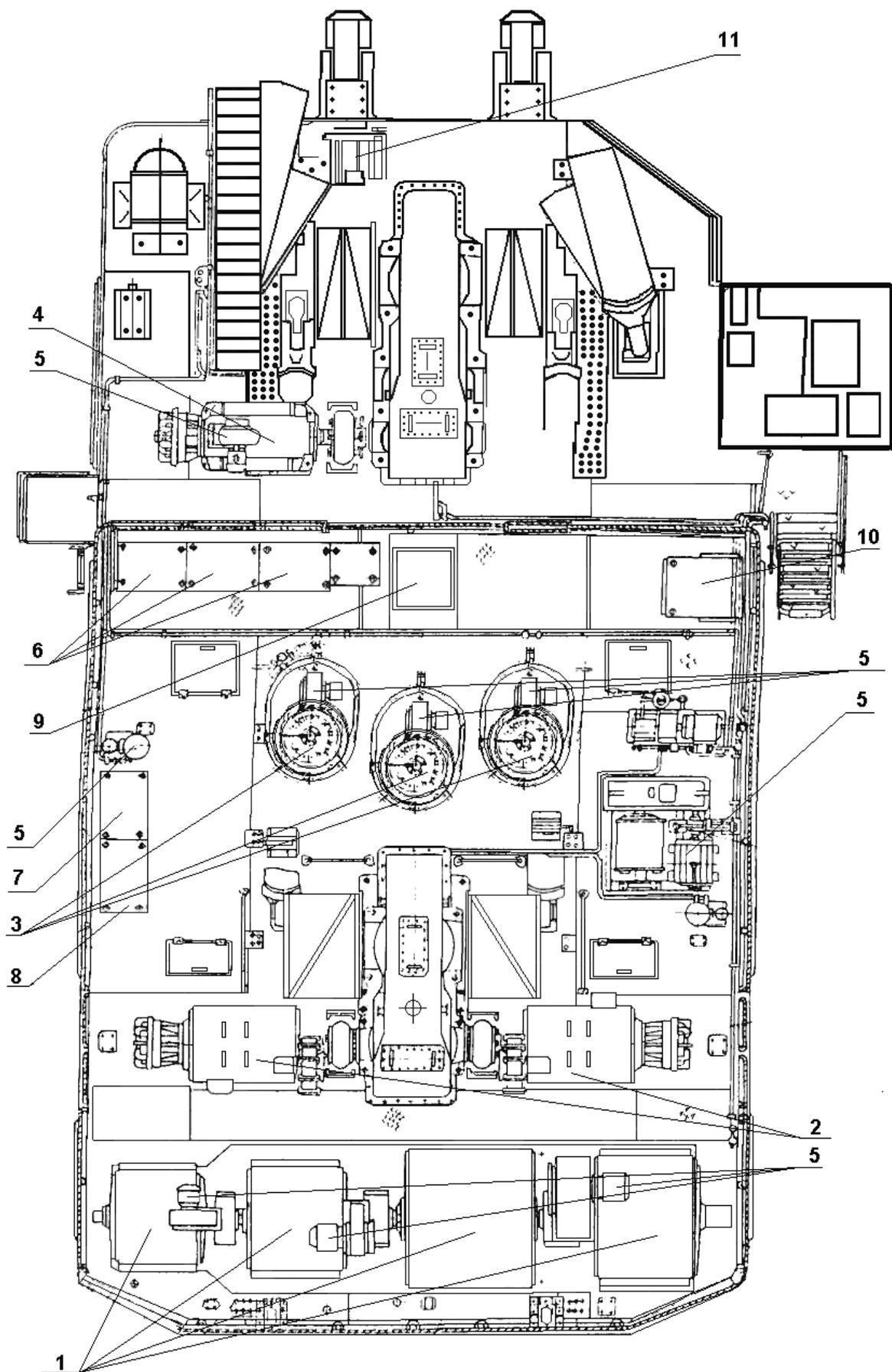


Рисунок 2 – Общий вид поворотной платформы ЭЖГ-15.

Таблица 1 – Технические параметры экскаватора.

№ П.П.	Показатели	ЭКГ-15
1	2	3
1.1	Емкость ковша для тяжелых грунтов, м <sup>3</sup>	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, кг·с/см <sup>2</sup>	2
2	<b>Сетевой электродвигатель, шт.</b>	1
2.1	Тип	СДЭ-2-16-46-6
2.2	Мощность, кВт	1250
2.3	Напряжение подводимого тока, В	6000
3	<b>Электродвигатель подъема, шт.</b>	2
3.1	Тип	МПЭ450-900-1
3.2	Мощность, кВт	500
3.4	<b>Генератор подъема, шт.</b>	1
3.5	Тип	4ГПЭМ 1250-1/1
3.6	Мощность, кВт	1250
4	<b>Электродвигатель поворота, шт.</b>	3
4.1	Тип	ДВЭ-816У2
4.2	Мощность, кВт	150
4.3	<b>Генератор поворота, шт.</b>	1
4.4	Тип	4ГПЭМ 600-2/2
4.5	Мощность, кВт	600
5	<b>Электродвигатель напора, шт.</b>	1
5.1	Тип	ДЭ-816У1

5.2	Мощность, кВт	200
5.3	<b>Генератор напора, шт.</b>	1
5.4	Тип	4ГПЭМ 300-4/1
5.5	Мощность, кВт	300
6	<b>Электродвигатель хода, шт.</b>	2
6.1	Тип	ДЭ-812У1
6.2	Мощность, кВт	90
7	<b>Электродвигатель открывания днища ковша, шт.</b>	1
7.1	Тип	Д-32
7.2	Мощность, кВт	12
8	<b>Электродвигатель кабельного барабана, шт.</b>	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, *a* 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.

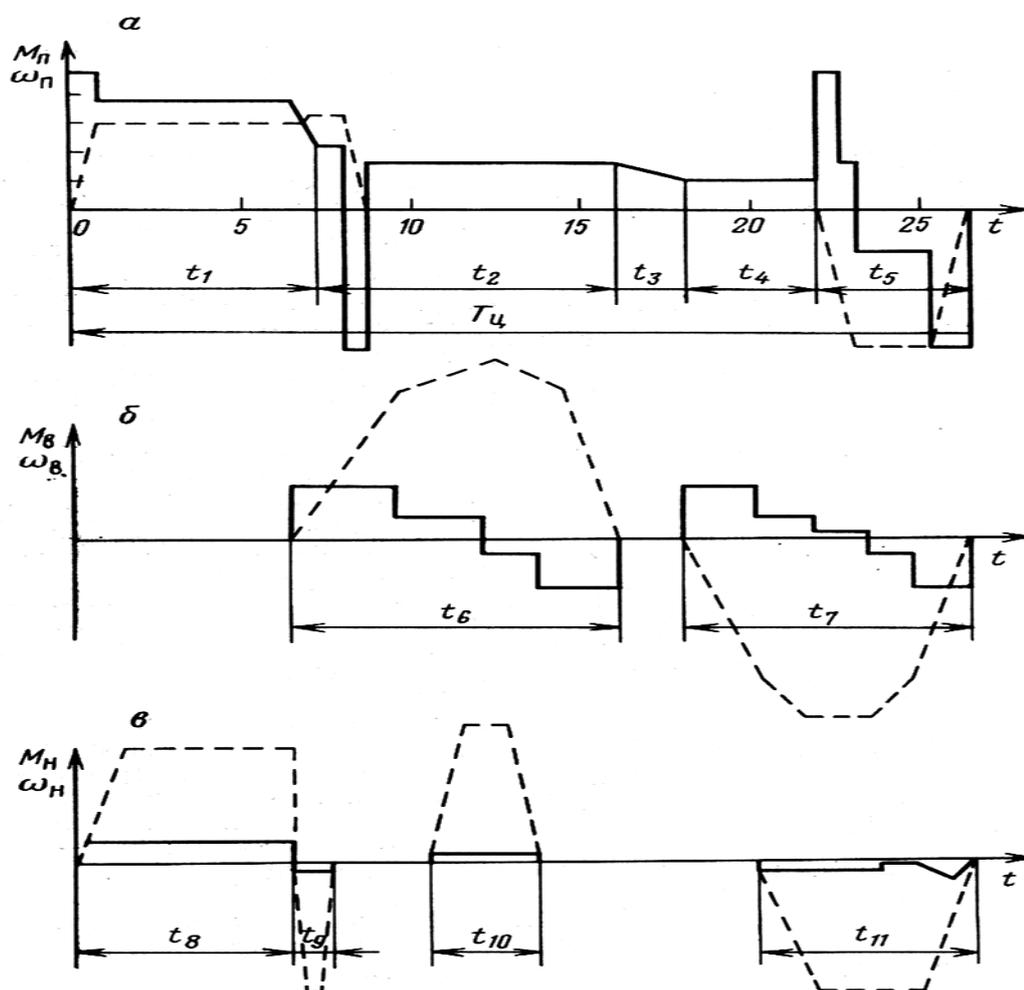


Рисунок 3 – Нагрузочные и скоростные диаграммы механизмов экскаватора с оборудованием механической лопаты: *а* – подъемного механизма; *б* – поворотного механизма; *в* – напорного механизма

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 ковшем;  $t_7$  – разгон и торможение поворотной платформы с порожним ковшем. 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 ковшем назад;  $t_{10}$  – перемещение рукояти с грузным ковшем 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 протivotоком 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.

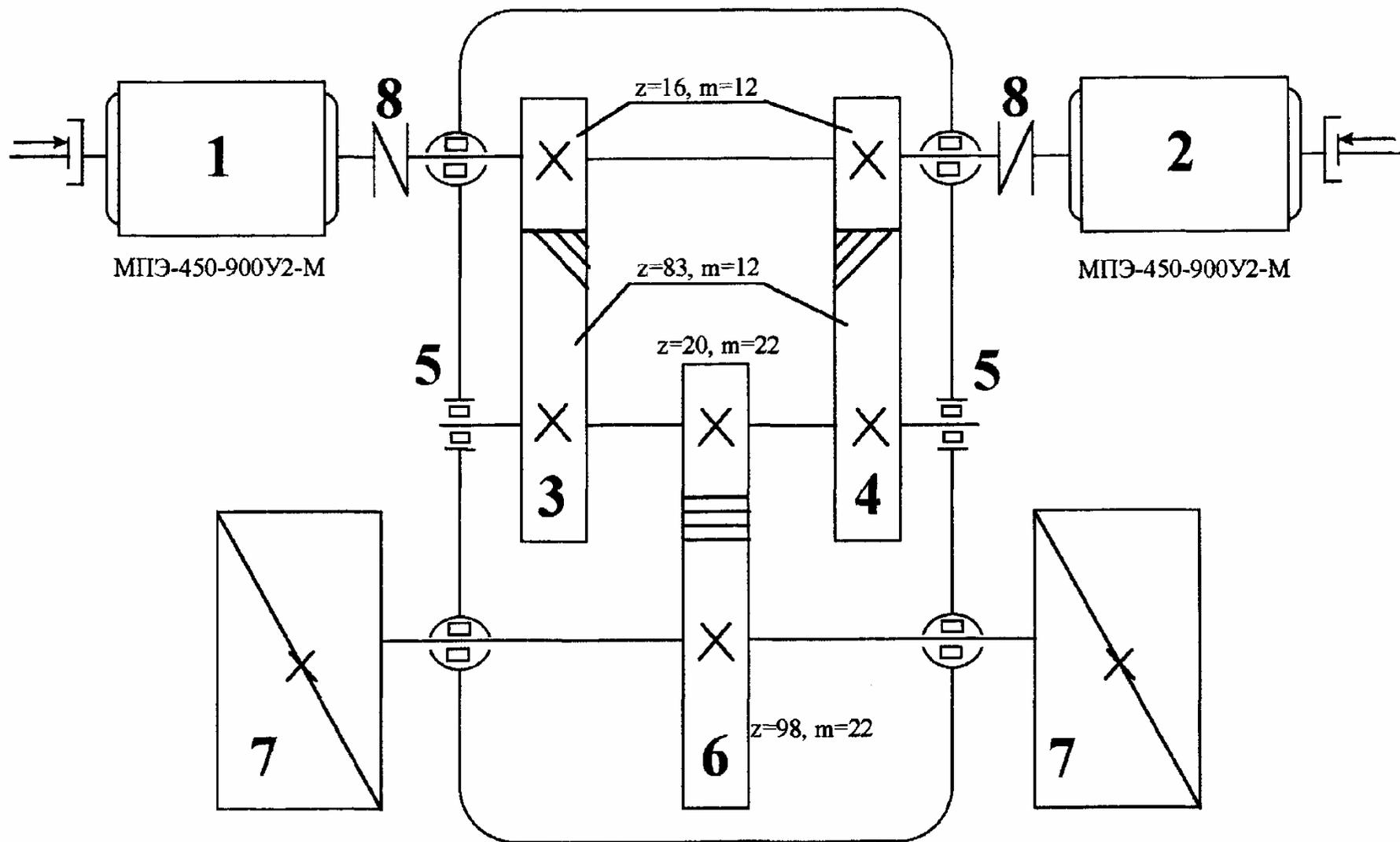


Рисунок 4—Кинематическая схема механизма подъема экскаватора ЭКГ-15

## 1.4 Технологический процесс

Технологическим процессом работы экскаватора с оборудованием прямой лопаты является копание 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 б), 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.

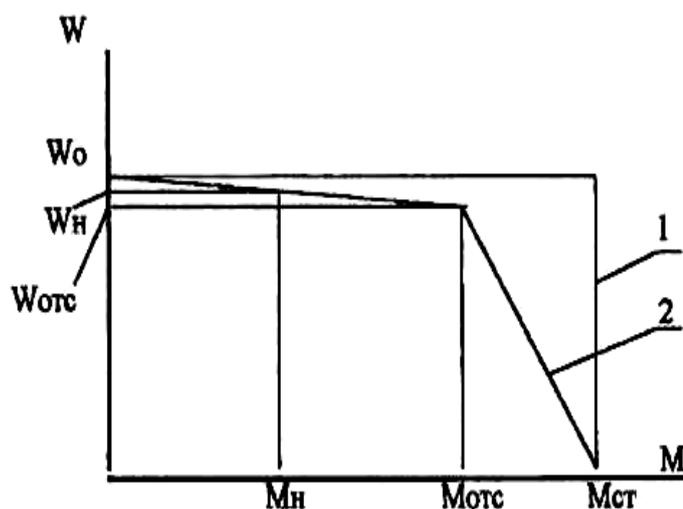


Рисунок 5 – Экскаваторная механическая характеристика  
(1 – идеальная, 2 – рабочая)

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 рукоятки 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  $E_T$  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.

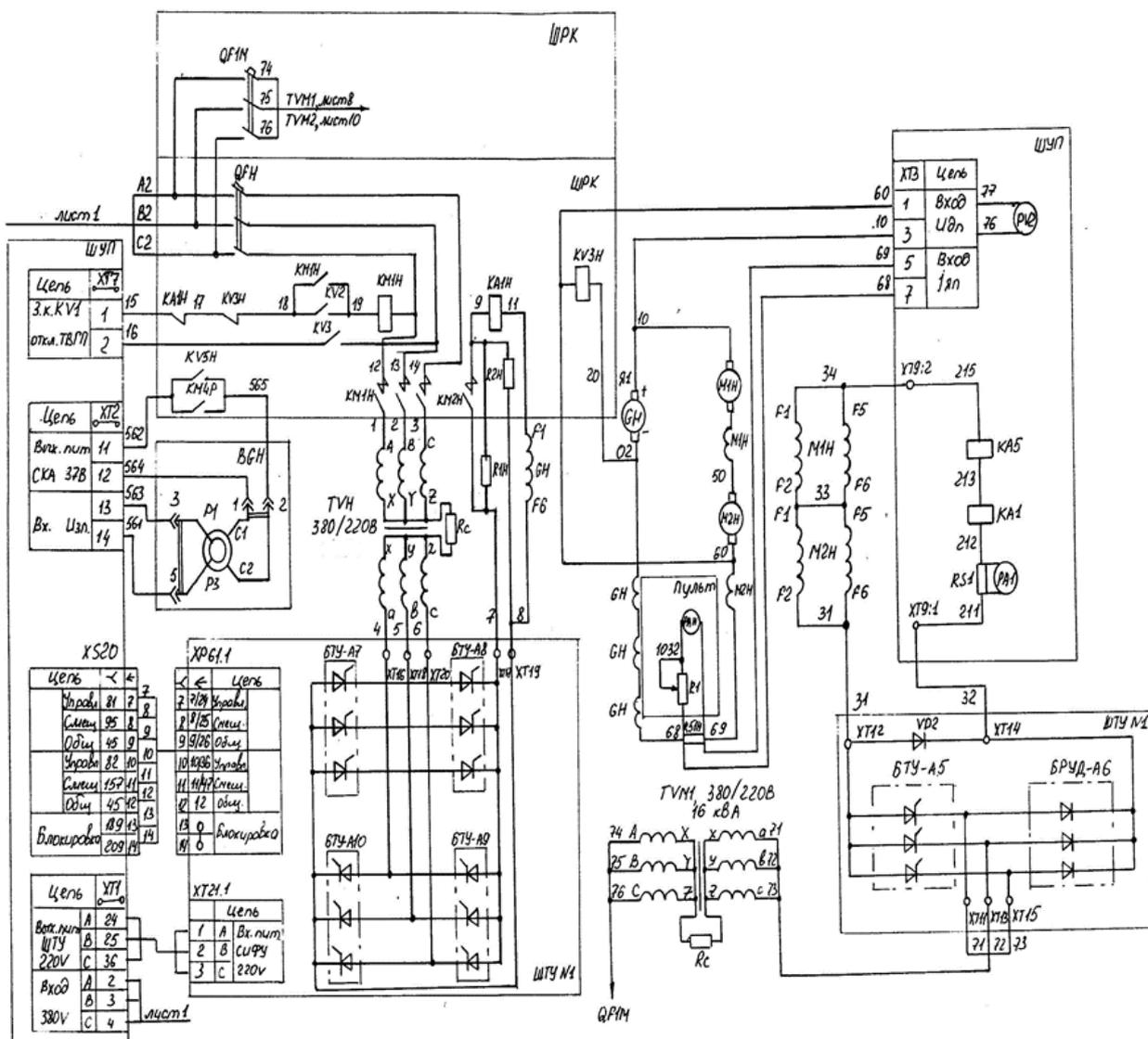


Рисунок 6 – Схема электрическая принципиальная

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].

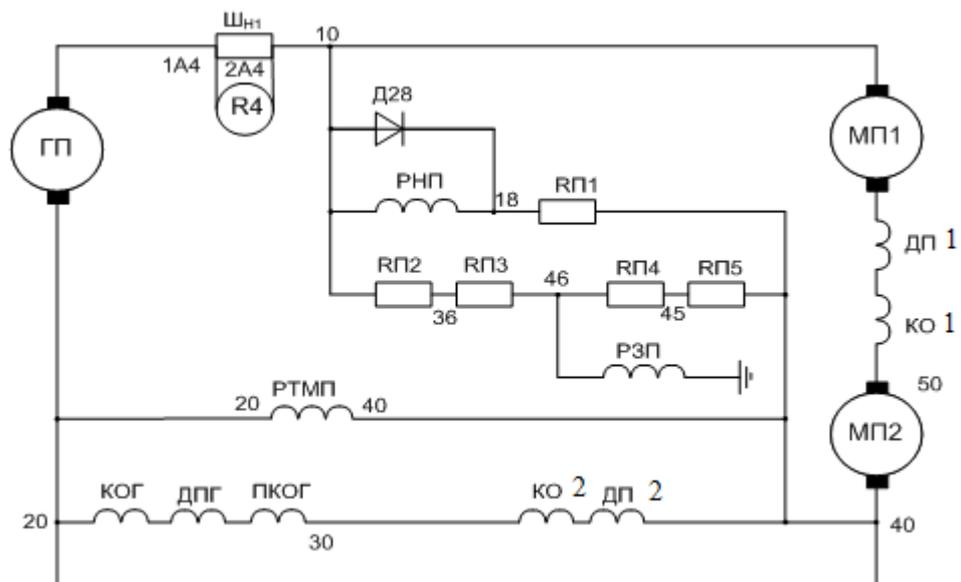


Рисунок 7 – Силовая часть цепи привода подъема

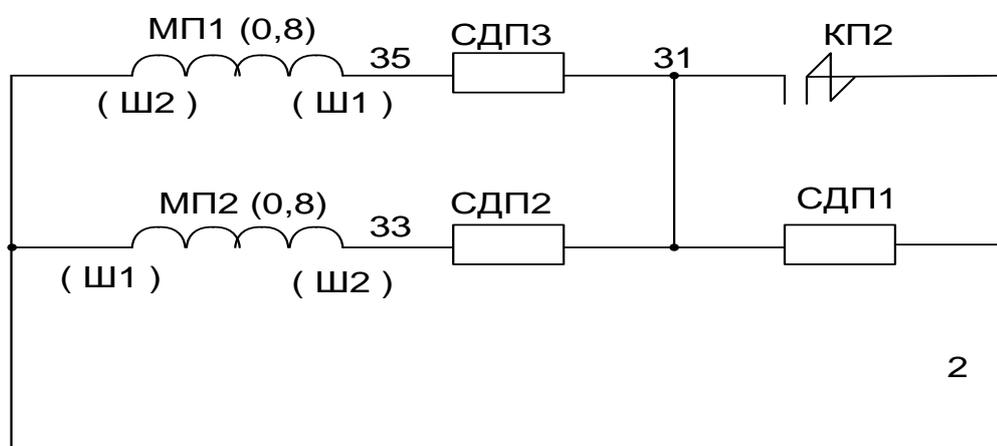


Рисунок 8 – Узел обмоток возбуждения электродвигателя

## **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 <sup>2</sup>	30
Номинальный поток возбуждения одного полюса	0.094
Число полюсов $2p$	4

## 2.1.2 Расчетные параметры электродвигателя

Номинальная угловая скорость вращения.

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

Предельная угловая скорость вращения.

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

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

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

Индуктивность цепи якоря

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

где

$\gamma = 0.15$  для компенсированных машин.

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

двигателя при номинальном потоке возбуждения

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

Конструктивный коэффициент двигателя

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

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

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

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

$$I_{\text{дв макс}} = 2 \cdot I_{\text{двн}} = 2 \cdot 1210 = 2420 \text{ А.}$$

Ток отключения

$$I_{\text{откл}} = 2.75 \cdot I_{\text{двн}} = 2.75 \cdot 1210 = 3327.5 \text{ А.}$$

Электромагнитная постоянная цепи двигателей

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

### 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 $15^{\circ}\text{C}$ , Ом.	0.000171
Число витков обмотки возбуждения на полюс	230
Номинальный поток возбуждения $\Phi_{н}$ , Вб	0.0782

#### 2.1.4 Расчётные параметры якорной цепи генератора

Сопротивление цепи якоря генератора при  $15^{\circ}\text{C}$ .

$$R_{Г} = R_{о\text{я}} + R_{дп} + R_{к\text{о}} + R_{ПК} = 0.0093 + 0.00153 + 0.005 + 0.000171 = 0.016 \text{ Ом.}$$

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

$$R_{Г\text{гор}} = 1.3 \cdot R_{Г} = 1.3 \cdot 0.016 = 0.0208 \text{ Ом.}$$

Индуктивность якорной цепи генератора.

$$L_{Г} = \gamma \cdot \frac{U_{н}}{I_{н}} \cdot \frac{1}{p \cdot \omega_{Гн}} = 0.2 \cdot \frac{930}{1344} \cdot \frac{1}{3 \cdot 104.66} = 0.00044 \text{ Гн,}$$

где принято  $\gamma = 0.2$  для компенсированных машин.

#### 2.1.5 Расчётные параметры обмотки возбуждения генератора

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

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

Напряжение возбуждения генератора при номинальном токе возбуждения.

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

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

$$L_{\text{вг.макс}} = 2p \cdot \omega_{\text{вг}} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_{\text{в}}} = 6 \cdot 230 \cdot \frac{0.0324}{12.13} = 3.68 \text{ Гн.}$$

Усреднённое значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения.

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

Индуктивность потока рассеяния обмотки возбуждения.

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

Максимально допустимый ток генератора (ток стопорения)

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

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

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

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

$$K_{\text{г.макс}} = \frac{\Delta E_{\text{г}}}{\Delta U_{\text{в}}} = \frac{405}{33.455} = 12.105.$$

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.

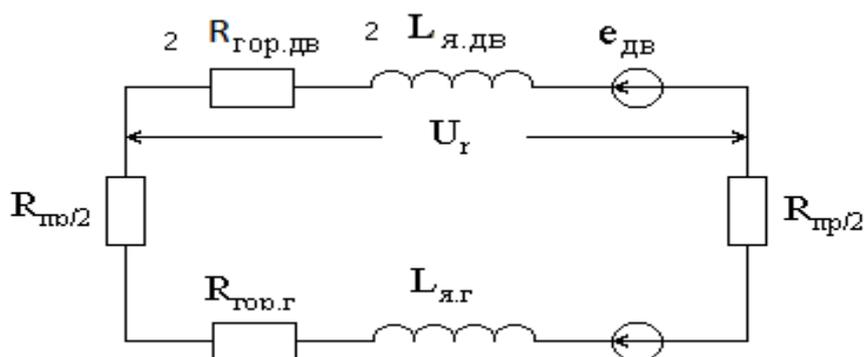


Рисунок 9–Схема замещения якорной цепи

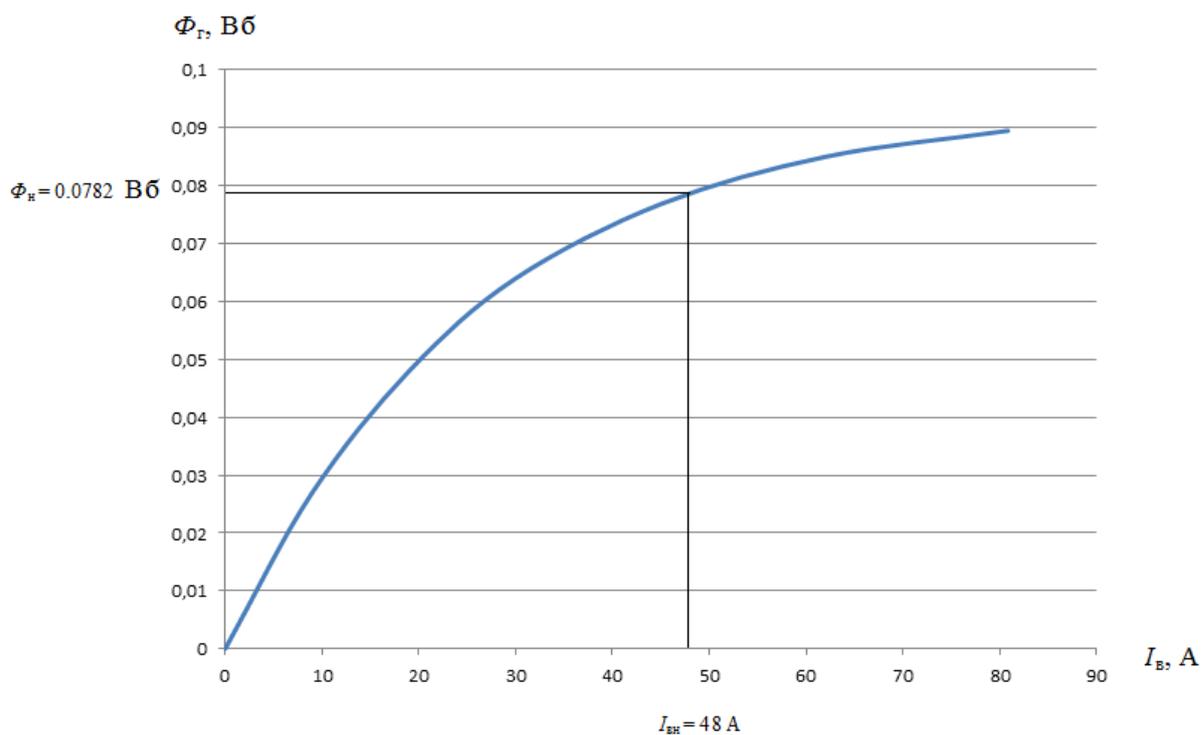


Рисунок 10– Кривая намагничивания генератора

## 2.2.1 Параметры якорной цепи

Сопротивление якорной цепи с учётом соединительных проводов.

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

Индуктивность якорной цепи.

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

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).

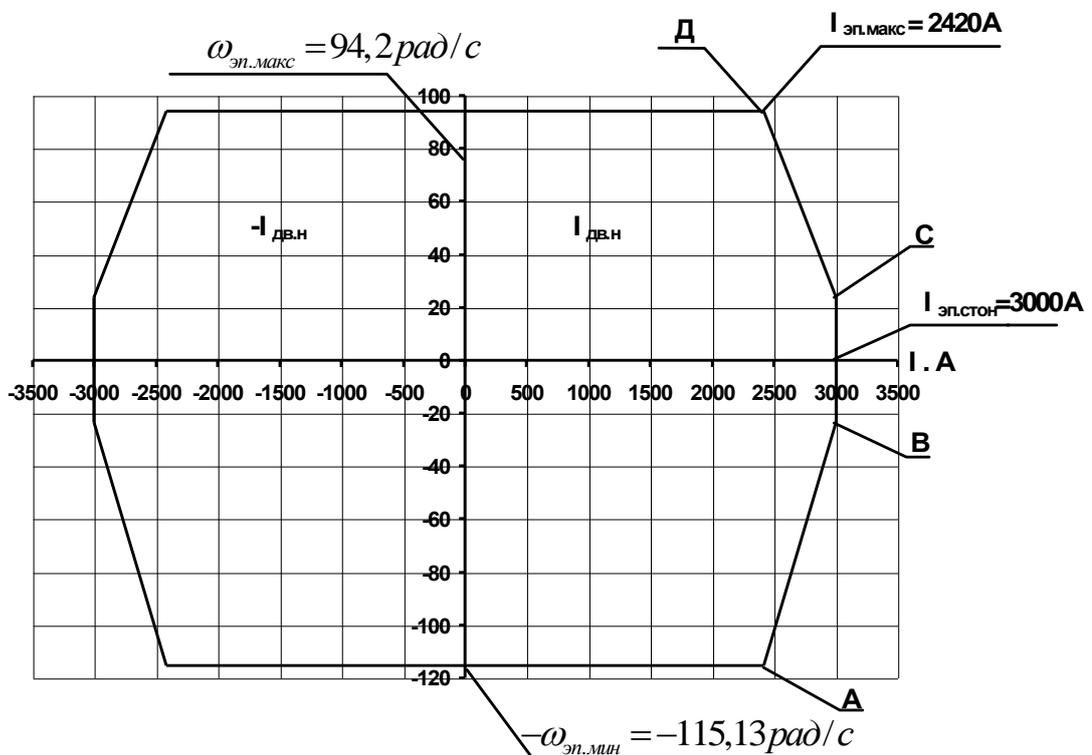


Рисунок 11 – Допустимая область работы электропривода подъема

- 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

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

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

## 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

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

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

Расчет ведется по выражению

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

$$E_{\text{Г.ХХ}} = 0 \text{ В.}$$

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.

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

где

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

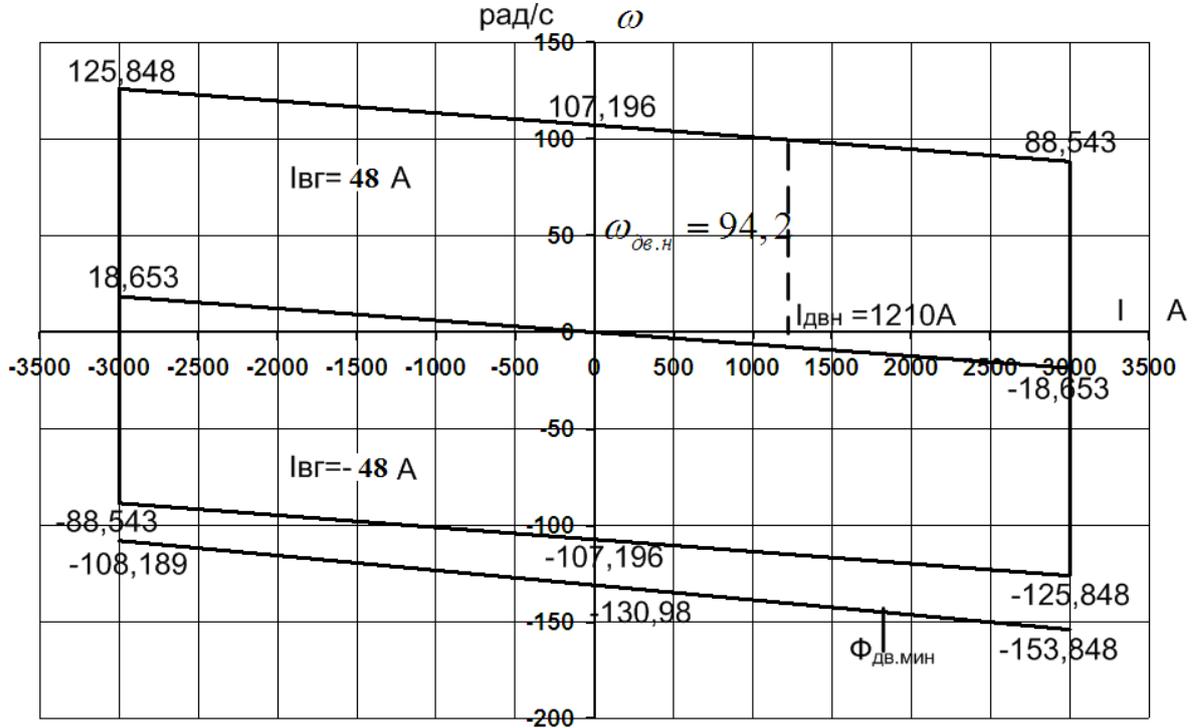


Рисунок 12– Предельная область работы электропривода

## 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.

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

В режиме форсировки

$$U_{твг} = \alpha \cdot U_{вг} = (2 \div 4) \cdot 132.288 = (264.57 \div 529.15) \text{ В.}$$

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.

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

В режиме форсировки.

$$U_{\text{вг}} = \alpha \cdot U_{\text{вг}} = (2 \div 4) \cdot 66.144 = (132.28 \div 264.57) \text{ В.}$$

Ток возбудителя при параллельном включении секций обмотки возбуждения генератора.

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

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

### 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	$\alpha_{нач}$	90
Число фаз преобразователя	$m_в$	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:

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

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

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

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

### 2.3.4 Расчетные параметры тиристорного возбудителя

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

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

Сопротивление силовой цепи возбудителя

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

где

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{тр.ф}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0.119}{2 \cdot 3.14} = 0.1137 \text{ Ом} - \text{сопротивление, вносимое}$$

коммутацией токов вентиляей.

Индуктивность силовой цепи возбуждения

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

Коэффициент усиления возбудителя

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

где

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

$$K_{\text{ув}} = \frac{\pi \cdot E_{do}}{180} = \frac{3.14 \cdot 297.22}{180} = 5.185 \text{ В/град.}$$

Постоянная времени возбудителя

$$T_{\text{ТП.В}} = \frac{0.5}{m_{\text{в}} \cdot f_c} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 0.00167 \text{ с.}$$

### 2.3.5 Расчёт параметров цепи возбуждения генератора

Сопротивление силовой цепи обмотки возбуждения генератора

$$R_{\text{ЦВГ}} = R_{\text{ОВГ.гор}} + 0.1 \cdot R_{\text{ОВГ.гор}} + R_{\text{ТПВ}} = 2.756 + 0.2756 + 0.364 = 3.3956 \text{ Ом.}$$

Максимальное значение ЭДС преобразователя при угле управления

$$\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ: E_{\text{ТПВ.макс}} = E_{do} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} = 297.22 \cdot \cos 30^\circ = 257.4 \text{ В,}$$

что обеспечивает кратность форсировки возбуждения

$$\alpha = \frac{E_{\text{ТПВ.макс}}}{I_{\text{ВГН}} \cdot R_{\text{ЦВГ}}} = \frac{257.4}{48 \cdot 3.3956} = 1.57$$

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

$$K_{\text{Гмакс}} = \frac{\Delta E_{\text{Г1}}}{\Delta E_{\text{ТПВ}}} = \frac{\Delta E_{\text{ГН}}}{\Delta I_{\text{В1}} \cdot R_{\text{УВГ}}} = \frac{405}{12.13 \cdot 3.3956} = 9.83$$

$$K_{\text{Г.ср}} = \frac{\Delta E_{\text{Г}}}{\Delta E_{\text{ТПВ}}} = \frac{E_{\text{ГН}}}{I_{\text{ВГ.н}} \cdot R_{\text{УВГ}}} = \frac{988.81}{48 \cdot 3.3956} = 6.066$$

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

$$T_{\text{S}} = \frac{L_{\text{ТПВ}} + (L_{\text{S}})}{R_{\text{ЦВГ}}} = \frac{0.758 \cdot 10^{-3} + 0.404}{3.3956} = 0.1192 \text{ с.}$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_{\text{К}} = 0.1 \cdot T_{\text{В}} = 0.1 \cdot 1.083 = 0.1083 \text{ с.}$$

Представим цепь обмотки возбуждения генератора звеном с переда-

точной функцией  $W(p) = \frac{1 / R_{\text{ЦВ}}}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}$ .

Постоянная времени эквивалентного звена второго порядка

$$T_{1,2} = \frac{T_B + T_S + T_K}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_B + T_S + T_K}{2}\right)^2 - T_S \cdot T_K} =$$

$$= \frac{1.083 + 0.1192 + 0.1083}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1.083 + 0.1192 + 0.1083}{2}\right)^2 - 0.1192 \cdot 0.1083} =$$

$$= 0.6552 \pm 0.645 \text{ с.}$$

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	Ошибка!	Значение
Масса экскаватора, т	$m_{\text{ЭК}}$	667
Емкость ковша, м <sup>3</sup>	$E_{\text{К}}$	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	$\varphi$	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	$\eta$	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	$H_{\text{п}} = 0.45 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{ЭК}}}$	3.86
Высота напора вала, м	$H_{\text{н}} = 1.1 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{ЭК}}}$	9.45
Длина ковша, м	$L_{\text{к}} = 0.77 \cdot 1.2 \cdot \sqrt[3]{E_{\text{к}}}$	2.28
Масса породы, т	$m_{\text{п}} = \frac{\gamma_{\text{п}} \cdot E_{\text{к}}}{\kappa_{\text{р}}}$	38.8
Где $\gamma=0.3-3.5$ -плотность породы 4-категории в цикле, т/м <sup>3</sup>	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)

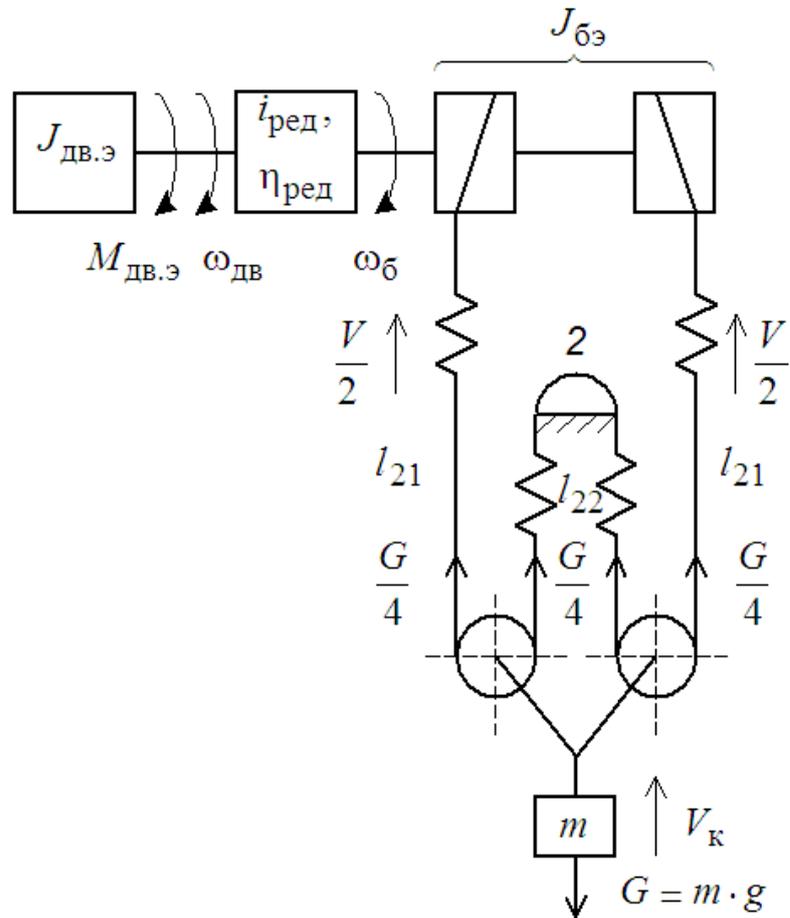


Рисунок 13– Механическая система привода подъема экскаватора (содвоеннымполиспастом)

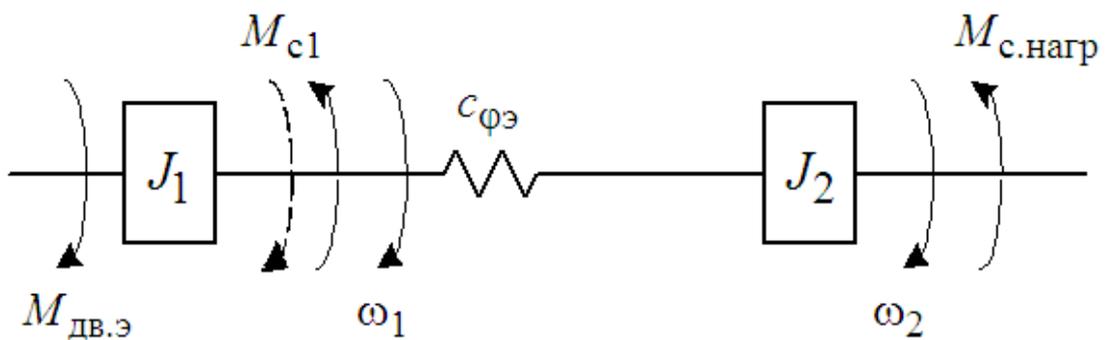


Рисунок 14–Двухмассовая механическая система

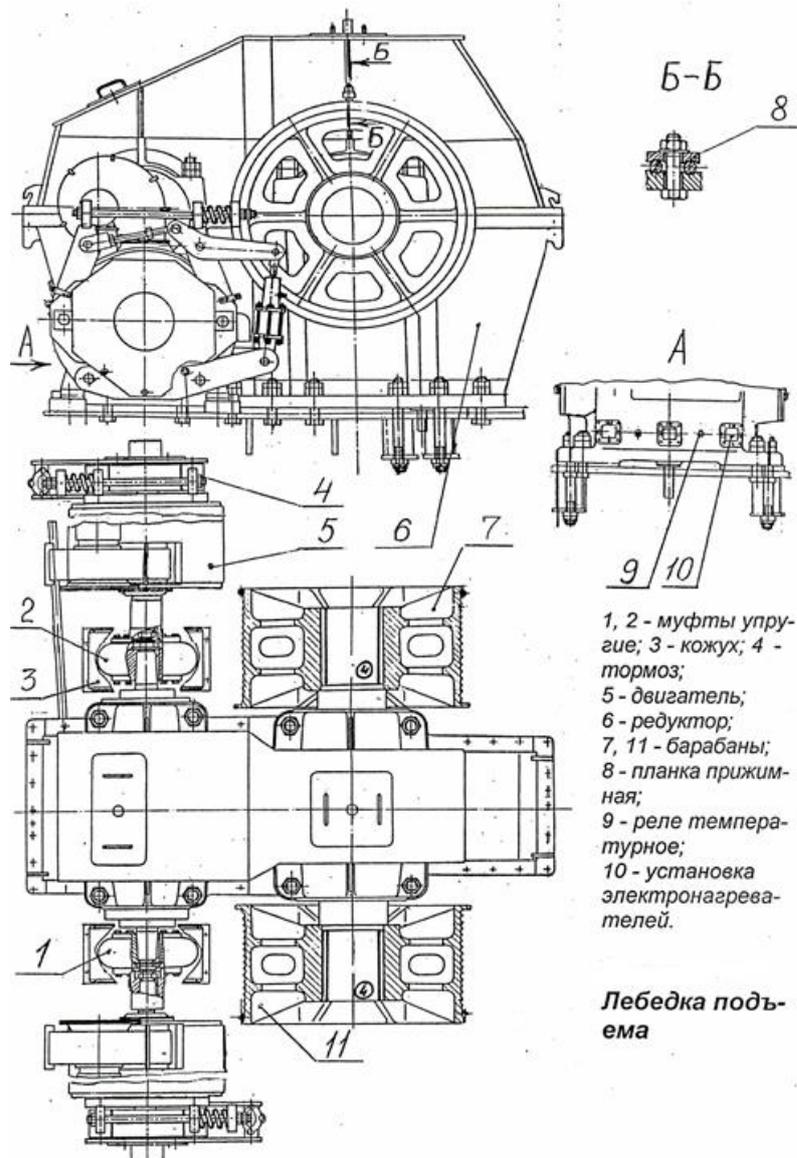


Рисунок 15—Лебедка подъема

### 2.4.3 Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода

Эквивалентный момент инерции приводных двигателей

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

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

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

Приведенный момент инерции порожнего ковша

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

Приведенный момент инерции породы

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

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

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

Приведенный момент инерции каната

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

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

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

где

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

ного погонного метра каната;

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

стальных канатов;

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

ния 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

$$L_{2н} = \frac{L_k - L_k - 2 \cdot 1.2 \cdot L_{\text{стр}}}{4} = \frac{155 - 20 - 2 \cdot 1.2 \cdot 18}{4} = 22.95 \text{ м}.$$

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

$$L_{1н} = 1.2 \cdot L_{\text{стр}} + L_{2н} = 1.2 \cdot 18 + 22.95 = 44.55 \text{ м}.$$

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

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

и при верхнем положении ковша

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

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

$$C_{\varphi_{ЭН}} = C_{l_{ЭН}} \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{\text{ред}}^2} = 1.64 \cdot 10^7 \cdot \frac{1.4^2}{4 \cdot 29.75^2} = 9.080 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

и при верхнем положении ковша

$$C_{\varphi_{ЭВ}} = C_{l_{ЭВ}} \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{\text{ред}}^2} = 3.57 \cdot 10^7 \cdot \frac{1.4^2}{4 \cdot 29.75^2} = 19.765 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

#### 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

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

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

и порожнего ковша

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

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

и при верхнем положении заполненного ковша

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

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

и порожнего ковша

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

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

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

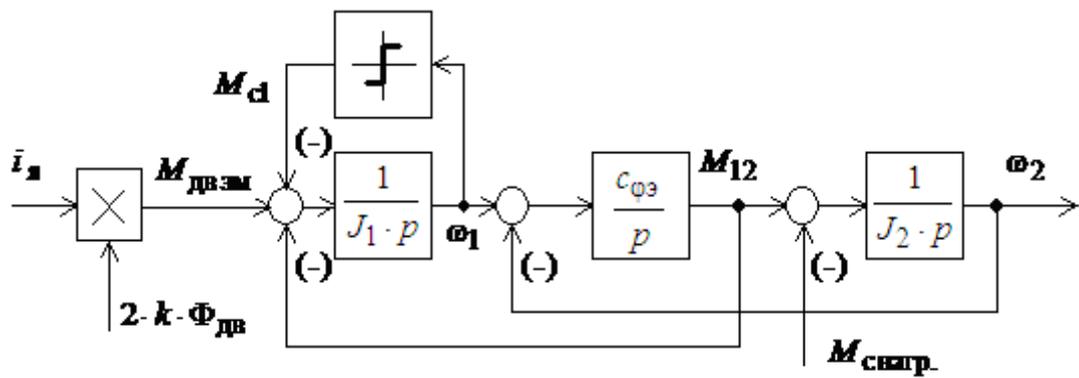
$$a = b = \frac{1 - \eta_{мех}}{2 \cdot \eta_{мех}} = \frac{1 - 0.84}{2 \cdot 0.84} = 0.095,$$

где

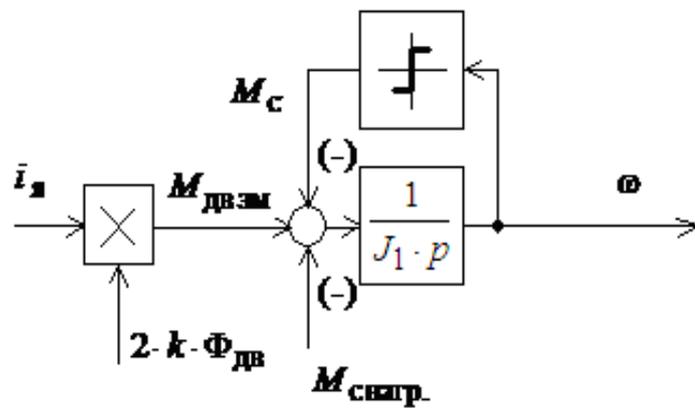
$$\eta_{мех} = 0.84 - \text{КПД подъемного механизма.}$$

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

$$M_{отс} = (0.7 \div 0.8) \cdot M_{стоп}$$



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	$M_{\text{дв.н}} = \frac{30 \cdot P_{\text{дв.н}}}{\pi \cdot n_{\text{н}}}$	4777
Момент трения на валу двигателя, Н·м	$M_{\text{с.дв.}} = 2 \cdot (c \cdot I_{\text{дв.н}} - M_{\text{дв.н}})$	212.4
Момент постоянных потерь механизма подъема, Н·м	$M_{\text{с.пост}} = a \cdot 2 \cdot M_{\text{дв.н}}$	907.63
Стопорный момент на валу второй массы, Н·м	$M_{\text{стоп}} = \frac{F_{\text{макс}} \cdot D_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{ред}} \cdot i_{\text{пол}}}$	17294
Момент нагрузки на валу второй массы в процессе копания, реактивный, Н·м	$M_{\text{с.нагр}} = 0.75 \cdot M_{\text{стоп}}$	12970.5
Момент сопротивления от сил трения Н·м на валу первой массы	$M_{\text{с}} = M_{\text{с.дв}} + M_{\text{с.пост}}$	1120.03

Параметры ОМС:

– момент сопротивления от сил трения

$$M_{\text{с}} = M_{\text{с1}} = 1120.03 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– момент нагрузки в процессе копания (реактивный )

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

– эквивалентный момент инерции  $J_{\text{э}} = J_1 + J_2$

тогда:

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

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

Электромеханическая постоянная времени электропривода подъема

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

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



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 <sup>2</sup>	$M_c$ 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  $I(\omega)$ , 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.



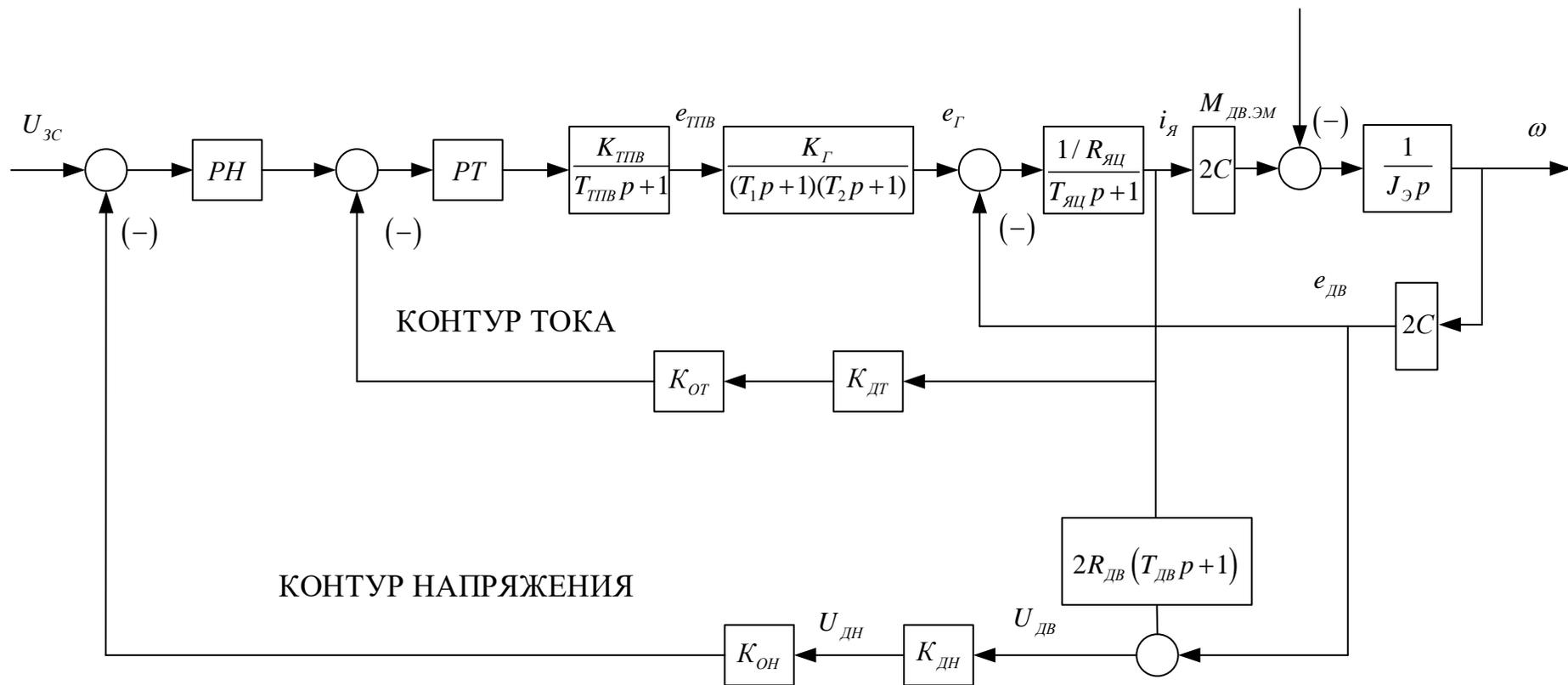


Рисунок 18– Структурная схема линейризованной САУ электропривода

### 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.

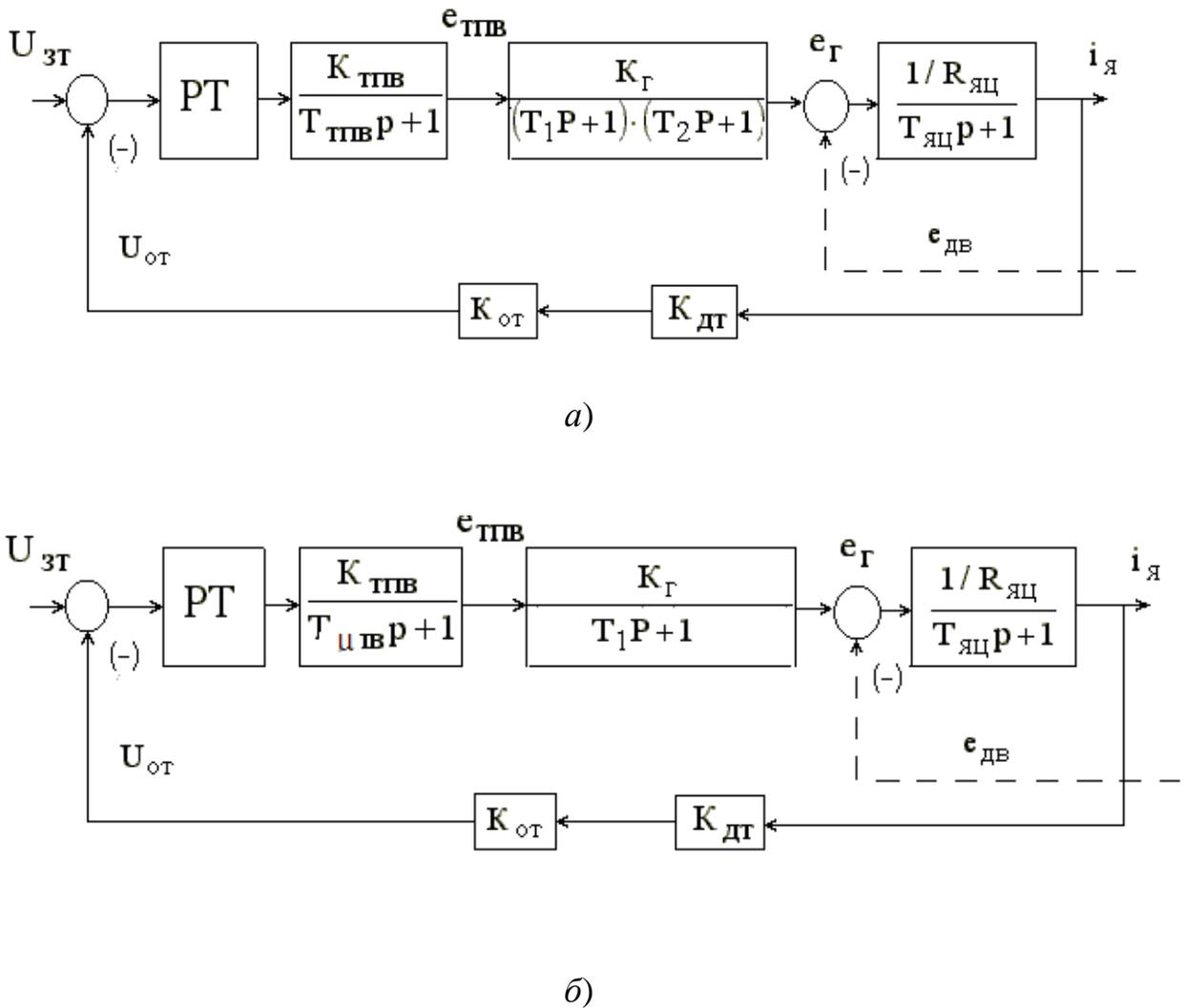


Рисунок 19 – Структурная схема контура тока *а* –исходная; *б* – преобразованная.

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

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

Тогда принимаем:

$$T_{\mu\text{T}} = T_{\text{ТПВ}} + T_2 + T_{\text{яц}} = 0.00167 + 0.0176 + 0.01841 = 0.0376\text{с.}$$

– малая постоянная времени контура тока.

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

При указанном отношении  $\frac{T_1}{T_{\mu\text{T}}} > 20$  для оптимизации контура по МО

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

$$K_{\text{РТ}} = \frac{T_1 \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ТПВ}} \cdot K_{\Gamma} \cdot K_{\text{T}} \cdot a_{\text{T}} \cdot K_{\mu\text{T}}} \cdot \left( 1 + \frac{T_{\mu}^2}{T_1^2} \right) =$$

$$= \frac{1.3002 \cdot 0.05462}{48.3 \cdot 9.83 \cdot 0.00333 \cdot 2 \cdot 0.0291} \cdot \left( 1 + \frac{0.0291}{1.3002} \right) = 0.789,$$

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:

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{\frac{1}{K_{\text{T}}} \cdot \frac{1 + \left(\frac{T_{\text{MT}}}{T_1}\right)^2}{\left(1 + \frac{T_{\text{MT}}}{T_1}\right)^2}}{\frac{2 \cdot T_{\text{MT}}^2}{\left(1 + \frac{T_{\text{MT}}}{T_1}\right)^2} \cdot p^2 + \frac{2 \cdot T_{\text{MT}}}{\left(1 + \frac{T_{\text{MT}}}{T_1}\right)} \cdot p + 1}.$$

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура равна

$$T_{\text{МТЭ}} = \frac{T_{\text{МТ}}}{\left(1 + \frac{T_{\text{МТ}}}{T_1}\right)} = \frac{0.0376}{\left(1 + \frac{0.0376}{1.3002}\right)} = 0.0365 \text{ с.}$$

– малая эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

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

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

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.

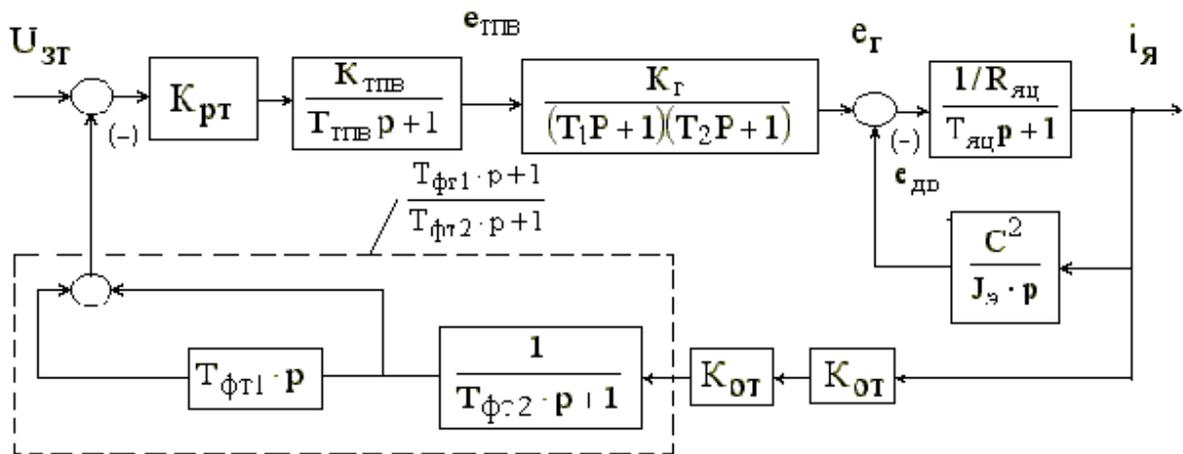


Рисунок 20– Структурная схема контура тока с учетом ЭДС двигателя

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  $T_{\mu T}$  и, соответственно, увеличению коэффициента усиления регулятора тока. Для уменьшения малой постоянной времени контура  $T_{\mu T}$  в цепь обратной связи вводится интегро– дифференцирующее звено с передаточной функцией

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

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:

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

времени контура тока:

$$T_{\mu T \text{э}} \approx \frac{t_{\text{py1}}^{(5)}}{4.1} = 0.01 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет вид:

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

Полоса пропускания замкнутого контура тока:

$$\omega_{\text{П}}^{(\Phi)} = \omega_{\text{П}}^{(\text{М})} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu T}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.01} = 70.711 \text{ рад/с},$$

ИЛИ

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

## 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  $J_{\text{э.макс}} = 76.12 \text{ кг м}^2$ )

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

где

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

напряжению;

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

– максимальное напряжение на двигателе.

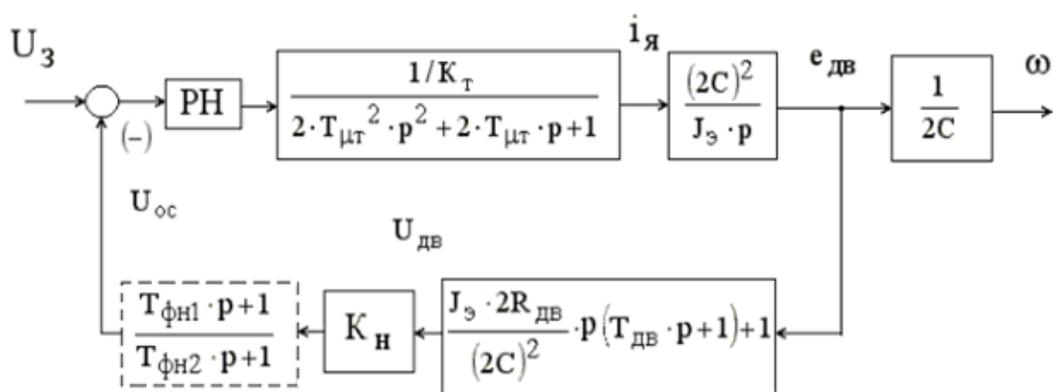


Рисунок 21– Структурная схема контура напряжения

Эквивалентная постоянная времени контура напряжения

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

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

где

$$T_{\text{М}} = \frac{J_{\text{Э.МИН}} \cdot 2 \cdot R_{\text{ДВ}}}{(2C)^2} = \frac{75.12 \cdot 2 \cdot 0.0158}{(2 \cdot 4.48)^2} = 0.0295 \text{ с}.$$

$$\begin{aligned} T_{\mu\text{Н}} &= T_{\mu\text{Т}} + 0.5 \sqrt{\left( T_{\mu\text{Т}} + T_{\text{ДВ}} - \frac{J_{\text{Э}} 2R_{\text{ДВ}}}{(2C)^2} \right)^2 - \left( \frac{J_{\text{Э}} 2R_{\text{ДВ}}}{(2C)^2} \right)^2} + 2T_{\text{ДВ}} \cdot \frac{J_{\text{Э}} 2R_{\text{ДВ}}}{(2C)^2} + T_{\text{ДВ}}^2 = \\ &= 0.01 + \\ &+ 0.5 \sqrt{(2 \cdot 0.01 + 0.0183 - 0.0295)^2 - (0.0295)^2} + 2 \cdot 0.0183 \cdot 0.0295 + (0.01832)^2 = \\ &= 0.02245 \text{ с}. \end{aligned}$$

Определим численные значения отношения

$$\frac{T_{\mu\text{Н}}}{2T_{\mu\text{Т}}} = \frac{0.02245}{2 \cdot 0.01} = 1.1225.$$

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

$$\omega(p)_{\text{с.зам}} = \frac{1}{\frac{K_{\text{Н}} \cdot 2C}{2T_{\mu\text{Н}}^2 p^2 + 2T_{\mu\text{Н}} p + 1}}.$$

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

Передаточная функция корректирующего звена:

$$W(p) = \frac{T_{\text{ФН1}} \cdot p + 1}{T_{\text{ФН2}} \cdot p + 1},$$

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 оказалась равной  $T_{\mu H} = 0.024 \text{ с}$ . Тогда передаточная функция оптимизированного контура скорости имеет вид:

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

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

$$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu H} = 4.1 \cdot 0.024 = 0.098 \text{ с} - \text{ время первого}$$

вхождения в 5 зону и время переходного процесса при обработке ступенчатого входного сигнала;

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu T}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.024} = 29.463 \text{ рад/с}.$$

$$\text{или } f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{29.463}{2 \cdot 3.14} = 4.692 \text{ Гц.} - \text{ полоса пропускания контура.}$$

Ожидаемая просадка скорости при приложении нагрузки  $\Delta M_c = 12970 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , соответствующей нагрузке при копании,

$$\Delta \omega_{\text{в.уст}} = \left( \frac{2T_{\mu H}}{\tau_{\text{э.мин}}} + \frac{2R_{\text{дв}}}{(2C)^2} \right) \cdot \Delta M_c = \left( \frac{2 \cdot 0.02245}{75.12} + \frac{2 \cdot 0.018}{(2 \cdot 4.48)^2} \right) \cdot 12970 = 13.6 \text{ рад/с}.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора напряжения

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

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

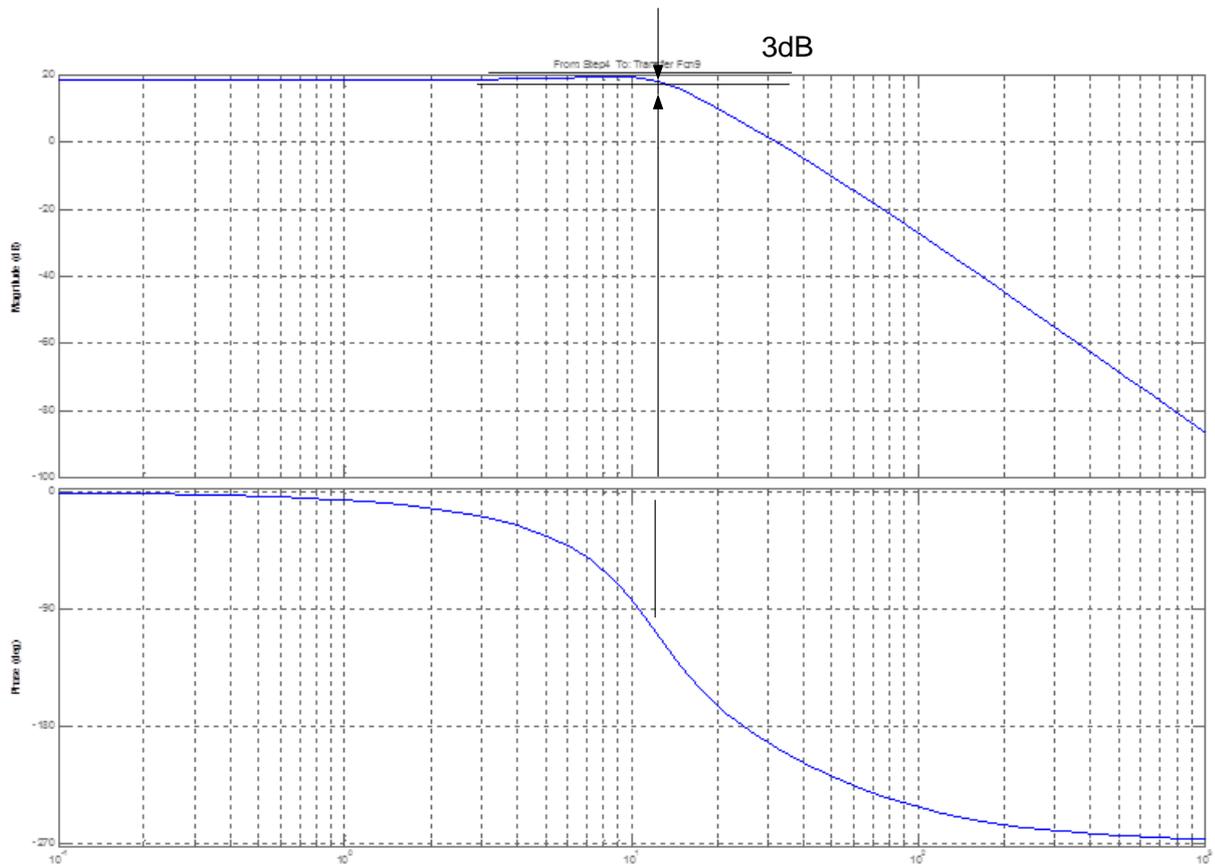


Рисунок 22 –ЛЧХ контура скорости

### 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:

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

– ограничение тока двигателя в переходных режимах, осуществляемое.

– ограничением выходного напряжения регулятора напряжения на уровне  $U_{рн.доп} = K_T \cdot I_{эл.макс} = 0.00333 \cdot 3000 = 10В$  ,  
или блоком токовой отсечки;

– насыщением тиристорного возбуждителя 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		
$M_{\text{с1}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$J_1, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$J_2, \text{кг} \cdot \text{м}^2$		$C_{\phi 12}$	
1120.03	70.5	4.92	10.284	9080	19765

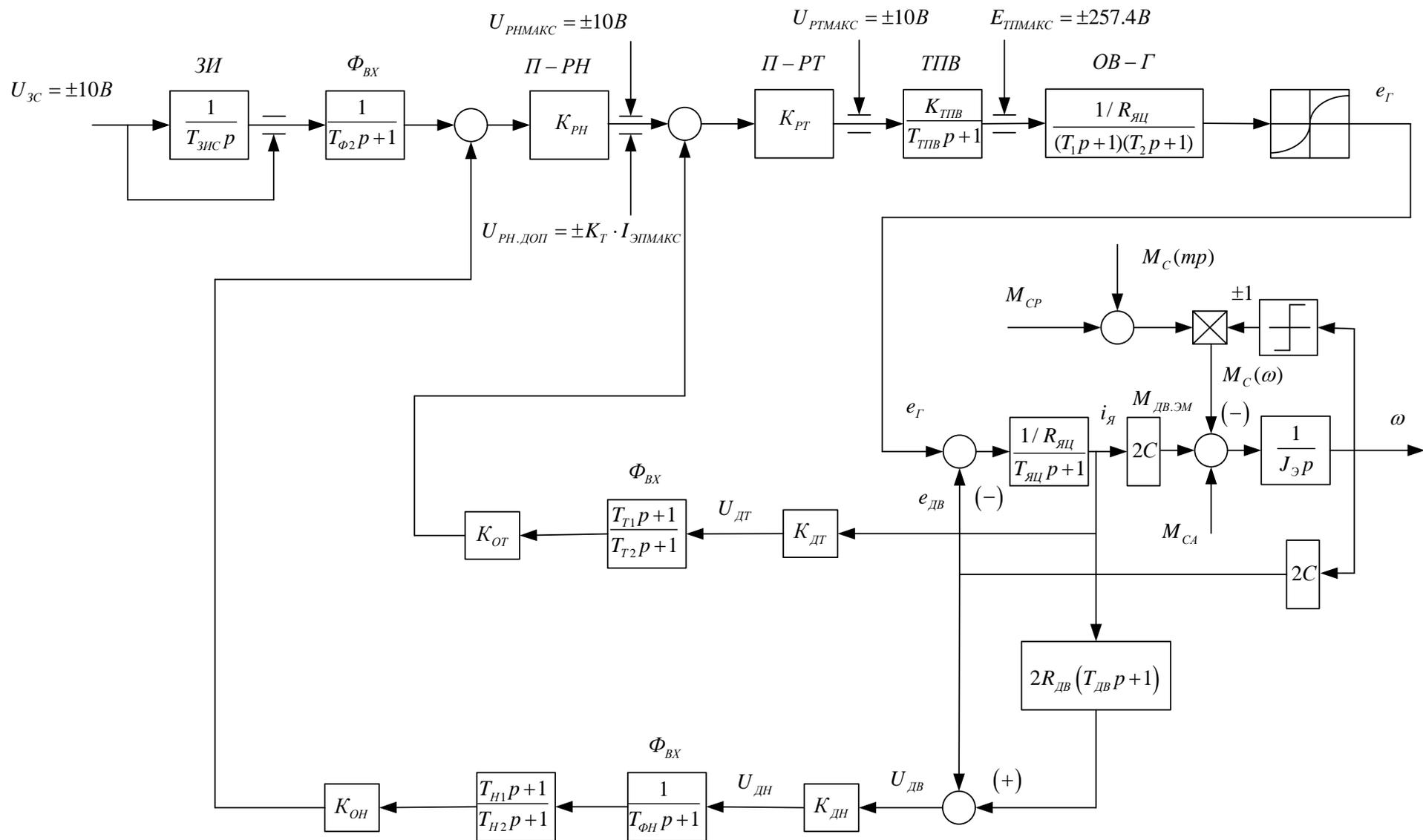


Рисунок 23 – Структурная схема нелинейной САУ электропривода подъема с ОМС

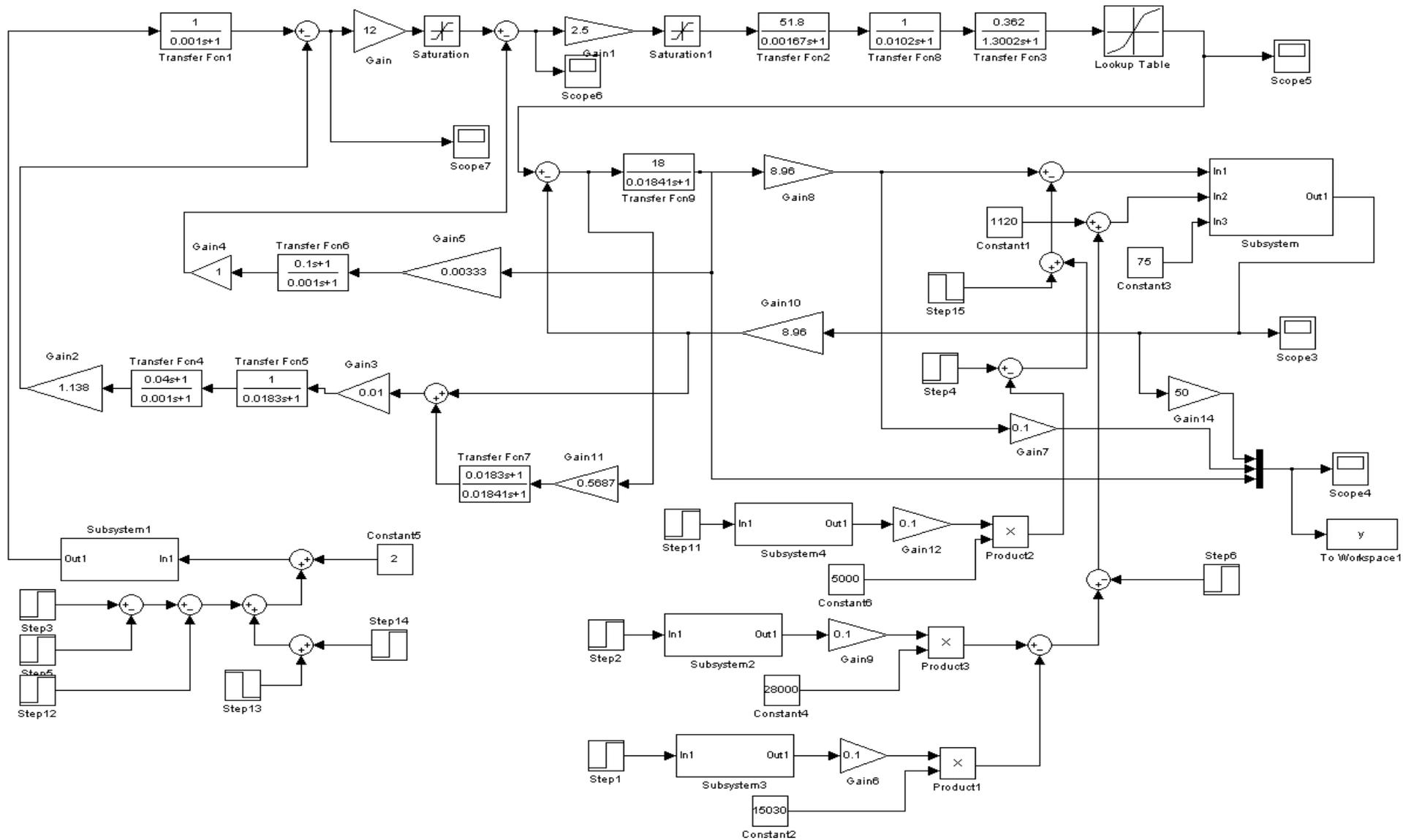


Рисунок 24 – Имитационная модель нелинейной САУ электропривода подъема с ОМС

### **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 датчик 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  $i_{\text{я}}(t)$ , момента  $M_{\text{дв}}(t)$  и скорости  $\omega(t)$  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  $\sigma = 0\%$ , 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 ( $I_{\text{ямакс}} = 3000 \text{ А}$ );

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

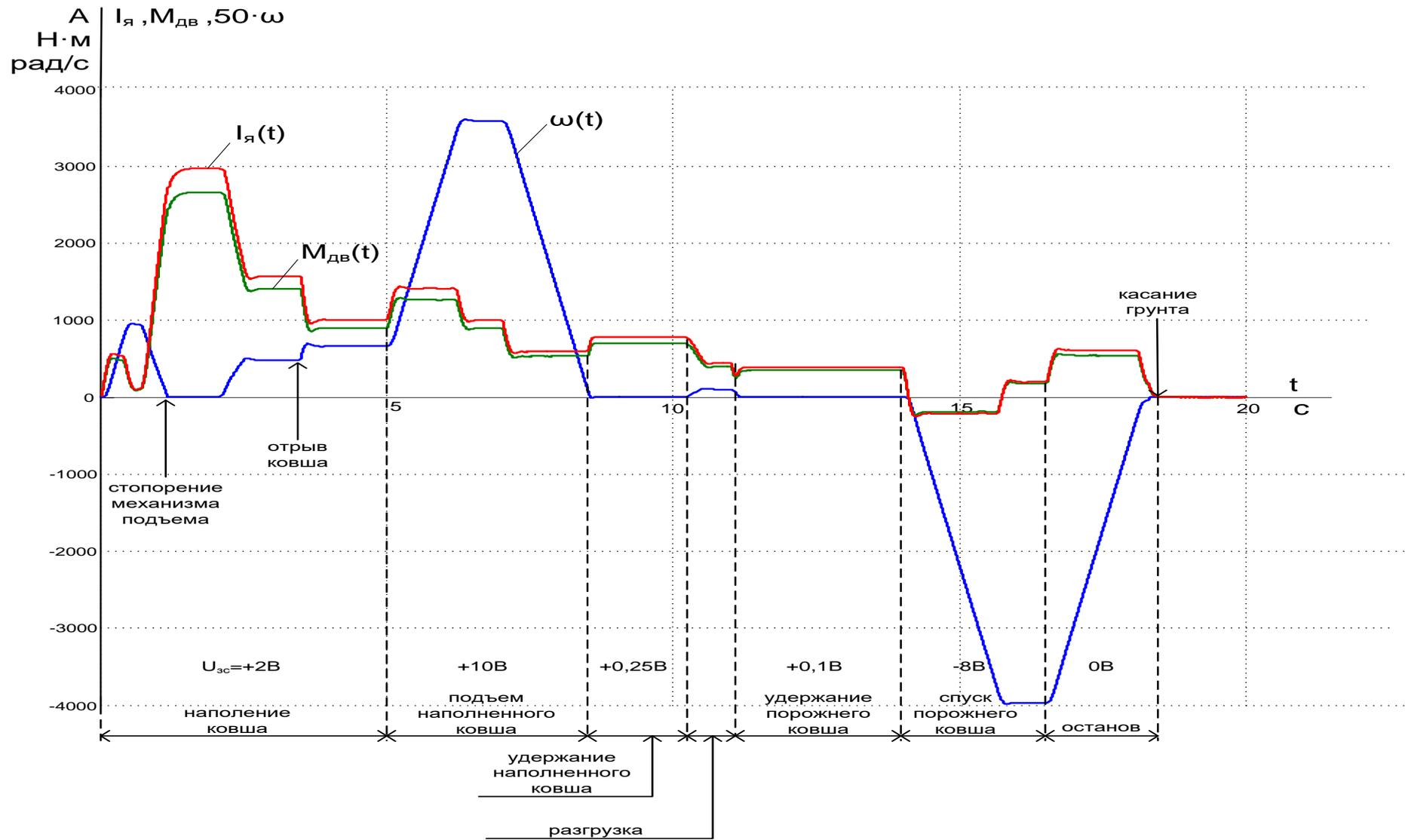


Рисунок 25 – Имитационный цикл работы электропривода механизма подъема

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г3А1	Закирьянов Акмаль Маратович

<b>Институт</b>	Инженерная школа энергетиков(ИШЭ)	<b>Кафедра</b>	ЭПЭО
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

1. *Стоимость ресурсов проектных и пуско-наладочных работ*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. *Система технического обслуживания и ремонта электрооборудования*
2. *График планово-предупредительных ремонтов*
3. *Структура монтажно-наладочных работ*
4. *Определение затрат на приобретение и монтаж электрооборудования*
5. *Определение стоимости ПНР*
6. *Расчет расходов при эксплуатации электропривода*
7. *Расчет амортизационных отчислений*

**Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей)**

*Круговая диаграмма капитальных затрат на реализацию проекта*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г3А1	Закирьянов Акмаль Маратович		

## **ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Электромонтажные работы подразделяются на работу по монтажу следующих видов электроустановок:

- распределительных устройств и подстанций;
- силового электрооборудования.

Силовое оборудование включает в себя крупные электрические машины, генераторы и агрегаты, пульты, щиты, пускорегулирующая аппаратура.

В данной ВКР организационно – плановые мероприятия при выполнении ПНР осуществляется в строгом соответствии с типовыми нормами их проведения. Основное влияние на нормативное время проведения ПНР и, соответственно, стоимость оказывает технико – производственная характеристика, степень сложности, уровень технической подготовки персонала занимающегося ПНР, их техническим оснащением и квалификацией. Норма проведения ПНР подразумевают выполнение работ специально подготовленным, в области электромонтажных работ, персоналом.

Пуско-наладочные работы являются основным звеном подготовки оборудования к эксплуатации и требуют к себе, особого отношения на всех этапах его проведения. От качества проведения ПНР в дальнейшем будет зависеть надёжность всего механизма подъема. Состав ПНР определяется исходя из комплекта электропривода механизма напора. Конструктивно электропривод состоит из:

- генератора постоянного тока;
- два электродвигателя постоянного тока;
- трансформатора;
- силового блока с автоматическими выключателями;
- блока управления и регулирования;
- блока релейно-контактной аппаратуры.

Целью ПНР является доведение электропривода механизма подъема до требований, предъявляемых технологическим процессом.

Бригада наладчиков является специализированной бригадой. Состав и численность бригады определяется исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР. В данном случае бригада состоит из 4-х человек:

инженер наладчик первой категории;

электромонтер пятого разряда;

электромонтер пятого разряда;

электромонтер четвертого разряда

Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения представлены в таблице 19. Исходя из общей сложности пуско-наладочных работ, ОТиЗ предприятия предоставил нормы трудоёмкости в часах.

В таблице в графе трудоёмкость каждый исполнитель отработал указанное время.

Таблица 13 – Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения

Наименование работ	(* )Исполнитель	Трудоёмкость, часах
1.Подготовительный этап:		
1) Ознакомление с проектом электропривода, выявление неточностей;	1,2,3,4	4
2) Составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с предприятием;	1,2,3,4	3
Подготовка аппаратуры и инструмента;	1,2,3,4	4
Внешний осмотр электрооборудования и подготовка готовности;	1,2,3,4	2
Определения соответствия технических характеристик, установленного оборудования;	1,2,3,4	5
Составление рабочей программы испытаний, наладки с учетом особенностей объекта.	1,2,3,4	2
Итого по п. 1		20
2. Проверочные работы:		

Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие рабочим чертежам проекта;	1,2,3,4	5
Проверка установленной аппаратуры и снятие в необходимых случаях характеристик;	1,2,3,4	12
Проверка правильности выполнения схем;	1,2,3,4	14
Проверка и настройка работы электрических систем дистанционного управления.	1,2,3,4	9
Итого по п.2		40
3.Наладочные работы:		
Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты;	1,2,3,4	9
Наладка и настройка СИФУ:	1,2,3,4	11
Фазировка трансформатора опорных напряжений;	1,2,3,4	
Проверка чувствительности датчиков;	1,2,3,4	8
Проверка узла переключения напряжений преобразователя;	1,2,3,4	8
Наладка устройства задания ЭДС;	1,2,3,4	12
Проверка изменения диапазона в преобразователях;	1,2,3,4	8
Наладка и настройка СИФУ;	1,2,3,4	16
Окончательная проверка и наладка защиты и блокировок;	1,2,3,4	7
Снятие необходимых характеристик;	1,2,3,4	17
Испытание и настройка оборудования в холостую и под нагрузкой.	1,2,3,4	4
Итого по п.3		100
4.Комплексное опробование:		
Обеспечение взаимных связей устройства в составе электрической установки и механизмов;	1,2,3,4	6
Согласование входных и выходных параметров на входе и на выходе характеристик отдельных механизмов;	1,2,3,4	20
Проверка режимов работы электропривода механизма тяги;	1,2,3,4	4
Итого по п.4		30
5.Оформление документации:		
Составление протоколов ПНР;	1	3
Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР;	1	5

Нормы проведения ПНР электропривода механизма тяги;	1	2
Итого по п.5		10
Итого по всем этапам		200
(*)Примечание. Исполнители: 1-инженер наладчик первой категории; 2- электромонтер пятого разряда; 3-электромонтер пятого разряда; 4- электромонтер четвертого разряда		

По результатам таблицы 13 строим линейный график планирования этапов ПНР

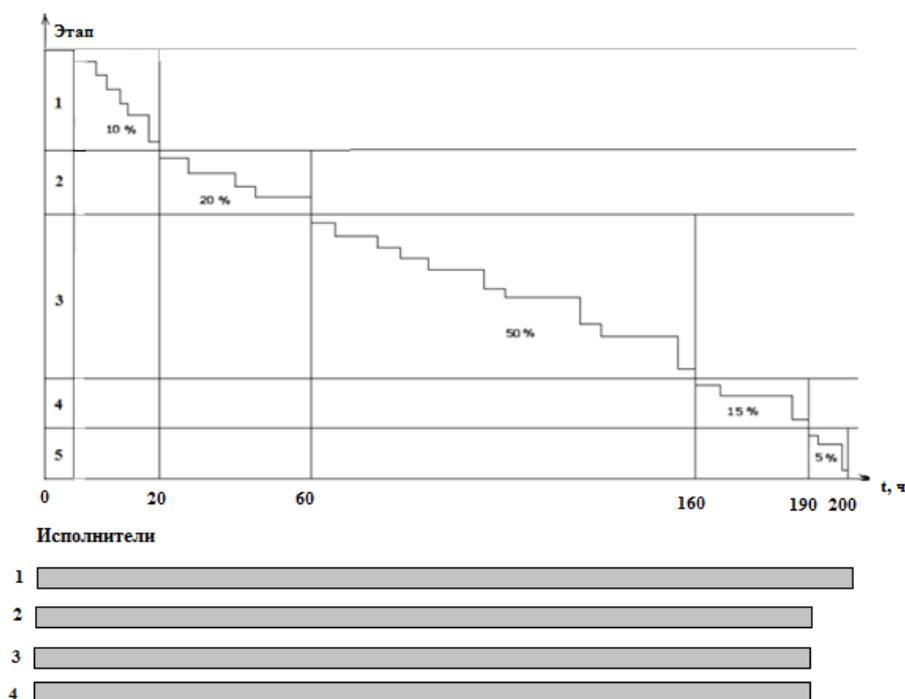


Рисунок 26 – Линейный график планирования этапов ПНР

Таким образом из графика видно, что инженер наладчик первой категории отработал все пять этапов пуско-наладочных работ, что составило 200 часов, а три других исполнителя отработали четыре этапа или по 190 часов.

### 3.1 Определение стоимости пуско-наладочных работ

При наладке оборудования применяется повременная оплата труда. Бригада наладчиков работает по восемь часов в день. При такой системе заработная

плата работников определяется фактически отработанным временем. При выполнении работ в условиях, отличных от нормальных, к заработной плате применяются коэффициенты.

Основная заработная плата бригады

$$Z_{\text{дн}} = N \cdot T \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{р}}$$

где  $N$  – трудоемкость работ, руб.;

$T$  – тарифная ставка, руб/час;

$K_{\text{р}}$  – 1.3 районный коэффициент;

$K_{\text{и}}$  – 1.3 коэффициент проведения работ вблизи действующих электроустановок, находящихся под напряжением.

Продолжительность проведения пусконаладочных работ определяется, исходя из профессионального опыта бригады и проведения аналогичных видов работ.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 14.

Таблица 14 Затраты на основную заработную плату

Состав бригады	Разряд, квалификация	Тарифная ставка, руб/час	Трудоемкость, час	Основная заработная плата, руб.
Инженер-наладчик	Инженер I категории	150	200	50000
Электромонтёр	5 разряд	100	190	32500
Электромонтёр	5 разряд	100	190	32500
Электромонтёр	4 разряд	70	190	23600
Итого				138600

Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 15% от основной

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,15 \cdot ЗП_{\text{осн}} = 20800 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды в РФ составляют 30 % от основной и дополнительной заработной платы.

$$С_{\text{сн}} = 0,30 \cdot (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) = 0,30 \cdot (138600 + 20800) = 47800 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (тепло и водоснабжение, электроэнергия) при производстве пуско-наладочных работ составляют 40 % от суммы. Накладные расходы предоставил ОТиЗ предприятия.

$$Н_{\text{р}} = 0,4 \cdot ЗП_{\text{осн}} = 0,4 \cdot 138600 = 55000 \text{ руб.}$$

В таблице 15 приведена стоимость основного оборудования, цены указаны без НДС.

Таблица 151 – Стоимость оборудования

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
МПЭ – 450-900	2 шт.	670000	1340000
Комплектный тиристорный привод КТУ – К18- УХЛ1	2 шт.	350000	700000
ИТОГО			2040000

В таблице 16 представлена смета затрат на пуско-наладочные работы.

Таблица 16 – Смета затрат на пуско-наладочные работы

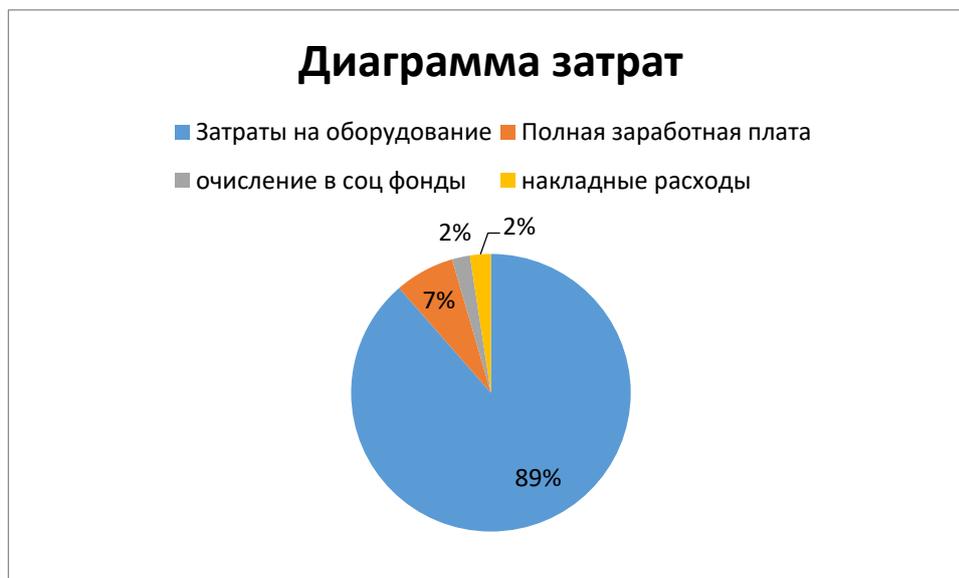
№ п/п	Наименование статьи расходов	Сумма, руб.	Удельный вес затрат, %
1.	Затраты на оборудование	2040000	88.5
2.	Затраты связанные с ПНР		
2.1.	Полная заработная плата	159400	6.9
2.2.	Отчисление в социальные фонды	47800	2.1
2.3.	Накладные расходы	55450	2.5
3.	Итого затрат	2302650	100.0

Сумма затрат на пуско-наладочные работы составила 2.3 млн. руб., в том

числе затраты на оборудование составили 2.04 млн. руб. или (88.5%)

На основании полученных данных строим круговую диаграмму №1 затрат на пуско-наладочные работы.

Диаграмма №1



### 3.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

В работе рассчитаны только те эксплуатационные расходы, которые изменяются при внедрении электропривода подъема ЭКГ 15. К ним относятся:

- Изменение стоимости силовой электроэнергии
- Изменение амортизационных отчислений
- Изменение налога на имущество

#### 3.2.1 Силовая электроэнергия

Изменение налога на имущество. Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

где

$P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_d$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_m$  – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_b$  – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6–0.8);

$k_c$  – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{дв}$  – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{1000 \cdot 3000 \cdot 0.6 \cdot 0.6}{0.9 \cdot 0.92} = 1304734 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

где

$P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_d$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_m$  – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_b$  – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6–0.8);

$k_c$  – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{дв}$  – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

По предоставленным данным инженера по учету электроэнергии предприятия, затраты на силовую электроэнергию до проведения ПНР в среднем составили 1.4 млн. кВт · час. После ввода в эксплуатацию автоматизированного электропривода подъема ЭКГ 15 затраты на силовую электроэнергию будут составлять 1.3 млн. кВт · час. Таким образом, экономия электроэнергии составит 100 тыс. кВт · час.

$$C_{\text{эл}} = 100000 \cdot 3.2 = 320000 \text{ тыс.руб.} \setminus \text{год}$$

где  $C_3$  – стоимость одного кВт–часа электроэнергии для промышленных предприятий 3.2 руб.

### 3.2.2 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100},$$

где

$K$  – вложения в электрооборудование;

$H_A$  – проценты отчислений на амортизацию.

$$A_{\text{год}} = 2.3 \text{ млн.руб.} \cdot \frac{9}{100} = 208 \text{ тыс.руб/год.}$$

Налог на имущество

$$H_{\text{им}} = K \cdot \frac{H_{\text{ст}}}{100}, \text{ где}$$

$K$  – вложения в электрооборудование

$H_{\text{ст}}$  - налоговая ставка на имущество организаций (2.2%)

$$H_{\text{им}} = 2.3 \text{ млн.руб.} \cdot \frac{2.2}{100} = 50.6 \text{ тыс.руб/год.}$$

$$H_{\text{им}} = 1.4 \text{ млн.руб.} \cdot \frac{2.2}{100} = 30.8 \text{ тыс.руб/год.}$$

Таким образом, изменение текущих расходов предприятия в связи с вводом электрооборудования составит:

$$\Delta C = C_{\text{эл}} - A_{\text{год}} - H_{\text{им}}$$

$$\Delta C = 320 - 208 - 50.6 = 61.4 \text{ тыс.руб/год}$$

Налог на прибыль:

$$H_{\text{пр}} = \Delta C \cdot A,$$

где  $A$  - налоговая ставка на прибыль (20%)

$$H_{\text{пр}} = 61.4 \cdot 0.2 = 12.3 \text{ тыс.руб}$$

Чистая прибыль:

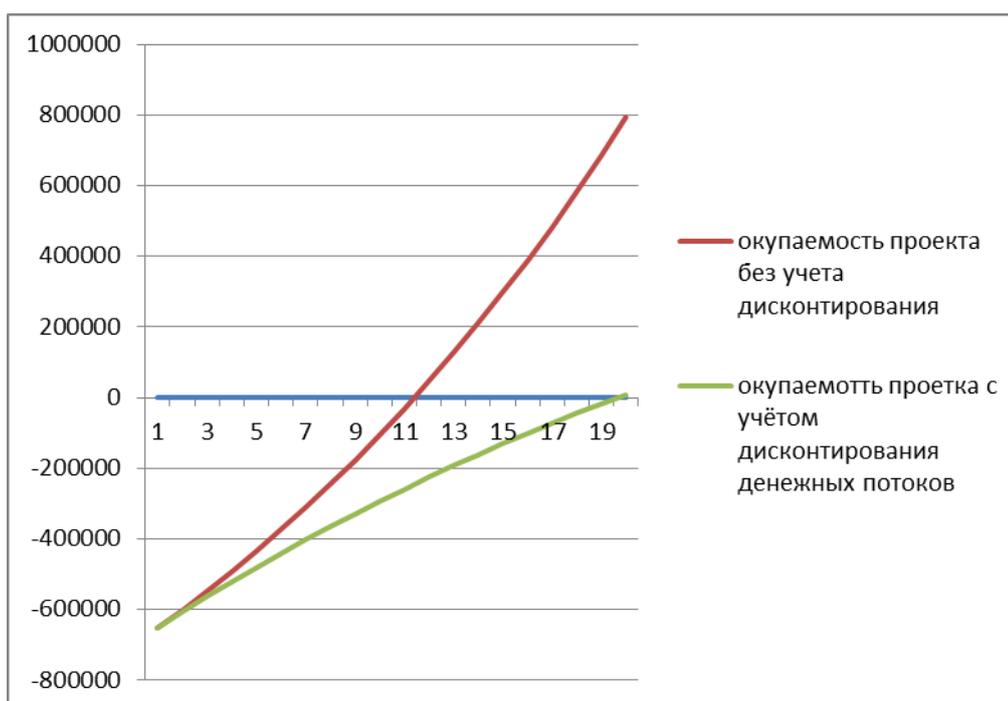
$$Ч_{\text{пр}} = \Delta C - H_{\text{пр}}$$

$$Ч_{пр} = 61.4 - 12.3 = 49.1 \text{ тыс. руб./год}$$

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода подъема ЭКГ 15. Составлена смета на проведение ПНР, построен график проведения ПНР, график занятости исполнителей при выполнении ПНР. При проведении ПНР задействована бригада наладчиков в составе четырех человек (инженер наладчик первой категории, электромонтер пятого разряда, электромонтер пятого разряда, электромонтер четвертого разряда), которые выполняют работу за 25 календарных дней. Сумма затрат на пуско-наладочные работы составит 2.3 млн. руб., в том числе затраты на оборудование 2.04 млн. руб.

Эффективная и успешная работа бригады наладчиков зависит от правильного планирования ПНР и бесперебойного материально-технического снабжения, то есть своевременной поставки материалов и инструментов необходимых при проведении работ.

На основании полученных данных строим график окупаемости проекта без учета дисконтирования и с учетом дисконтирования.



На графике мы видим, что окупаемость проекта без учета дисконтирования достигается спустя 11 лет эксплуатации, а с учетом дисконтирования – 20 лет эксплуатации.

## *ЗАКЛЮЧЕНИЕ*

Благодаря выбранному электроприводу мы получаем улучшенную маневренность, жесткость характеристик, улучшенную производительность, а также уменьшенные энергозатраты. По энергозатратам без учета дисконтирования окупаемость проекта будет достигнута через 11 лет эксплуатации, но благодаря улучшению производственных параметров ЭКГ 15 самоокупаемость в производственном отношении будет достигнута гораздо раньше.

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 экономической части дипломного проекта приведены технико-экономические показатели и надежность работы электропривода.

Технико-экономические показатели и надежность работы ЭП во многом зависят от автоматизации и качества проведения пуско-наладочных работ (ПНР), которые также включают в себя и монтаж оборудования.

Целью данного проекта являлся снижение затрат и улучшение экономических показателей работ электропривода механизма подъема.

Экономический эффект получился положительным чего и требовалось получить от внедрения новой системы автоматического регулирования электропривода подъема экскаватора ЭКГ-15.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
З-5ГЗА1	Закирьянов Акмаль Маратович

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетиков	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p><i>Объектом исследования является электропривод подъёма ЭКГ-15, выполняющего погрузочно-разгрузочные работы при экскавации руды на открытых горных работах.</i></p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>1)Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);</p> <p>2)Загазованность;</p> <p>3)Повышенный шум;</p> <p>4)Повышенная вибрация;</p> <p>1) Движения машин и механизмов;</p> <p>2) Поражение электрическим током;</p> <p>3) Пожароопасность.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность.</b></p>	<p>1)Воздействия на атмосферу (выбросы);</p> <p>2)Воздействия на гидросферу (сбросы);</p> <p>3)Воздействия на литосферу</p>

	(сбросы).
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</b>	1)перечень возможных ЧС на объекте; 2)разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3)План эвакуации при пожаре
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5ГЗА1	Закирьянов Акмаль Маратович		

## 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.

### Производственная безопасность.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1) погрузочно-разгрузочные работы. 2) монтаж, демонтаж, ремонт оборудования. 3) перемещение руды.	1) Запыленность 2) Загазованность; 3) Повышенный уровень шума ; 4) Повышенный уровень вибрации.	1) Движения машин и механизмов; 2) Поражение электрическим током; 3) Пожароопасность.	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.  Допустимые корректиро-

			<p>ванные 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>
--	--	--	---

#### 4.1 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 17 – Содержание вредных газов в воздухе

Наименование газа	Предельно-допустимые концентрации (ПДК)	
	% по объёму	мг/м <sup>3</sup>
Окислы азота (в пересчёте на NO <sub>2</sub> )	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 18.

Таблица 18 – Предельно – допустимая концентрация веществ

Вещества	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
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, уг- лепородная и угольная пыль и др.)	4
Природный и искусственный асбест, а также смешанная ас- бестопородная 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, мине-  
ральная пыль оседают медленнее и в большем количестве попадают в дыха-

тельные 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 устанавливаются системы очистки воздуха СПГО (система пыли-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 19 – 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 19 – 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.

#### **4.2 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 защитными 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. 3.

## **4.3 Экологическая безопасность.**

### **Воздействия на атмосферу (выбросы).**

Самыми распространёнными вредными веществами, загрязняющими атмосферу карьера являются:

- оксид углерода CO;
- диоксид серы SO<sub>2</sub>;
- оксиды азота NO<sub>2</sub>;
- 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, также 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.

## **4.4 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.

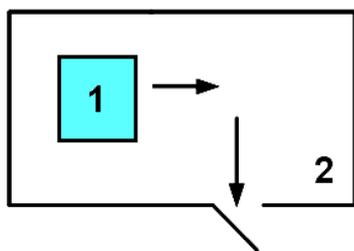


Рисунок 27 – План эвакуации машиниста из кабины экскаватора 1 – кресло-пульт машиниста; 2 – кабина экскаватора

#### 4.5 Правовые и организационные вопросы.

##### **Специальные правовые нормы трудового законодательства.**

До 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.

## 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 экономической части дипломного проекта приведены технико-экономические показатели и надежность работы электропривода.

Технико-экономические показатели и надежность работы ЭП во многом зависят

от автоматизации и качества проведения пуско-наладочных работ (ПНР), которые также включают в себя и монтаж оборудования.

Целью данного проекта являлся снижение затрат и улучшение экономических показателей работ электропривода механизма подъёма.

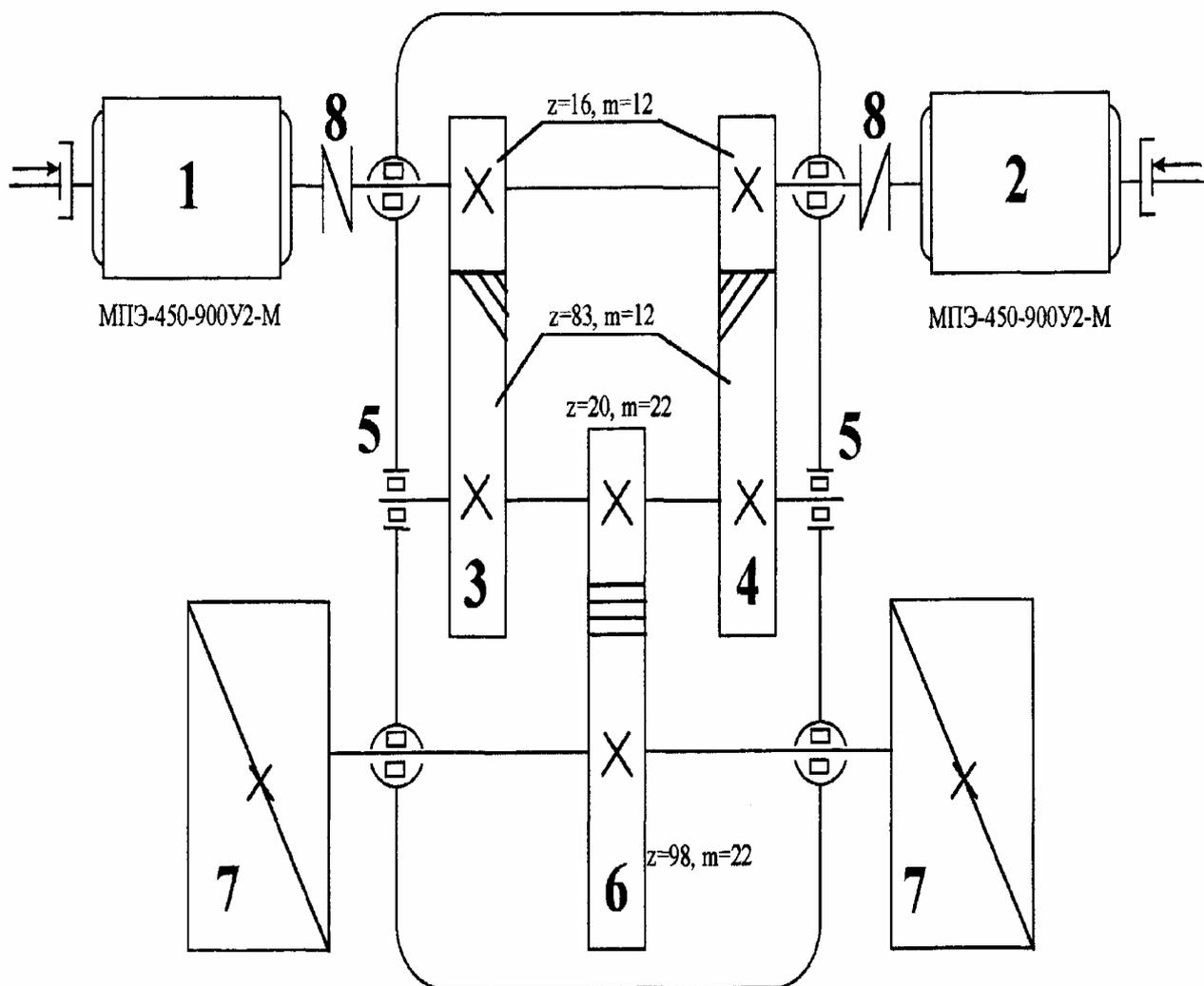
Экономический эффект получился положительным чего и требовалось получить от внедрения новой системы автоматического регулирования электропривода подъёма экскаватора ЭЖГ-15.

## 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. Ценник на монтаж оборудования №8.
17. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ Общие санитарные требования к воздуху рабочей зоны.
18. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ Вредные вещества и их классификация
19. СНиП 11-33-75. Загрязнение сточных вод. Загрязнение почвы.
20. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ Шум. Общие требования безопасности
21. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Система стандартов безопасности труда
22. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение
23. Правила пожарной безопасности
24. ГОСТ 12.1.003-83 ШУМ. Общие требования безопасности
25. ГОСТ 12.1.012. Гигиенические нормы уровней вибростороности. .
26. ГОСТ 12.2.003. Пожарная безопасность на открытых горных разработках.
27. ПТЭ и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей до 220 кВ включительно.
28. ГОСТ 12.1.005 ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ
29. 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

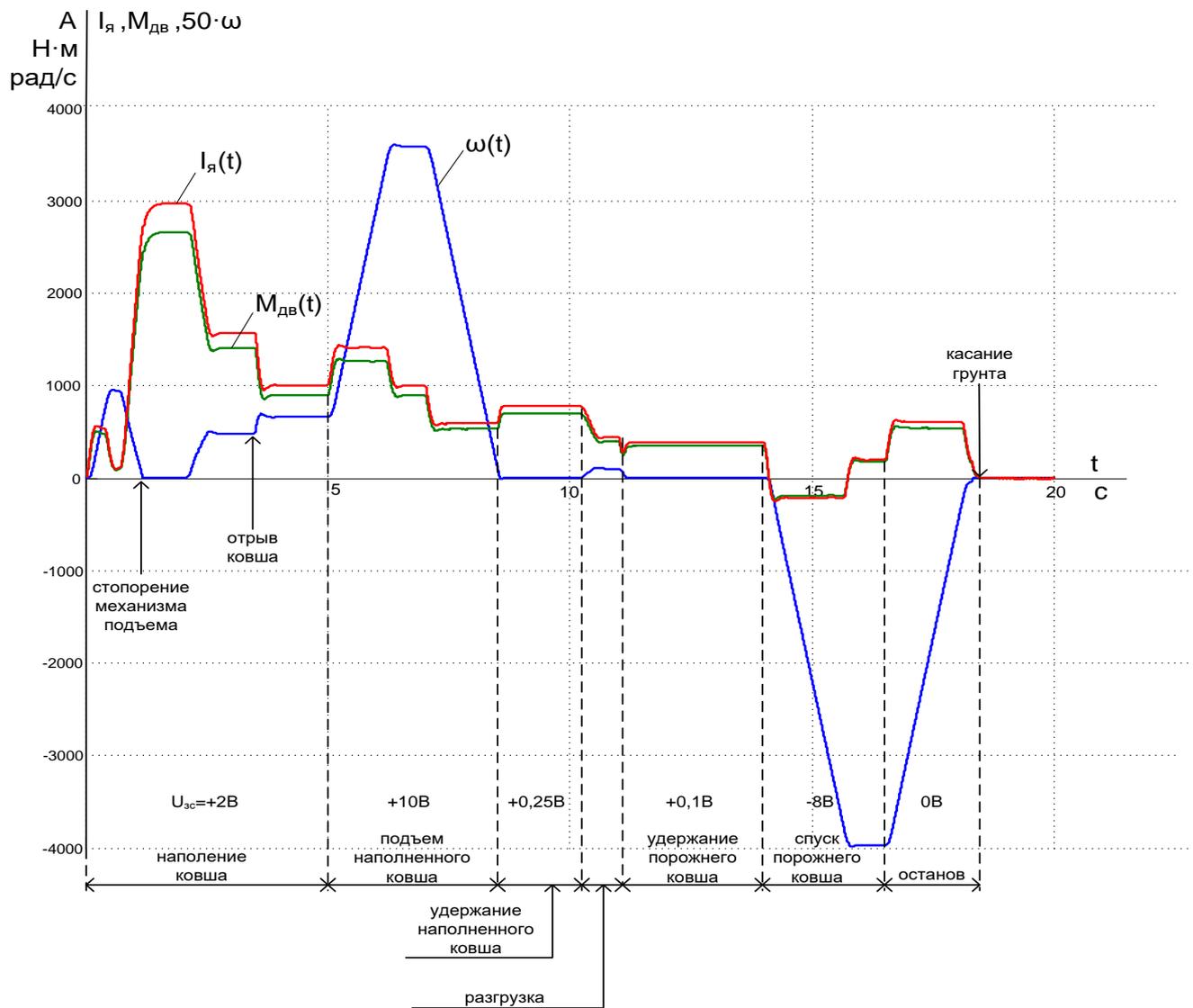


Кинематическая схема механизма подъема экскаватора ЭКГ-15



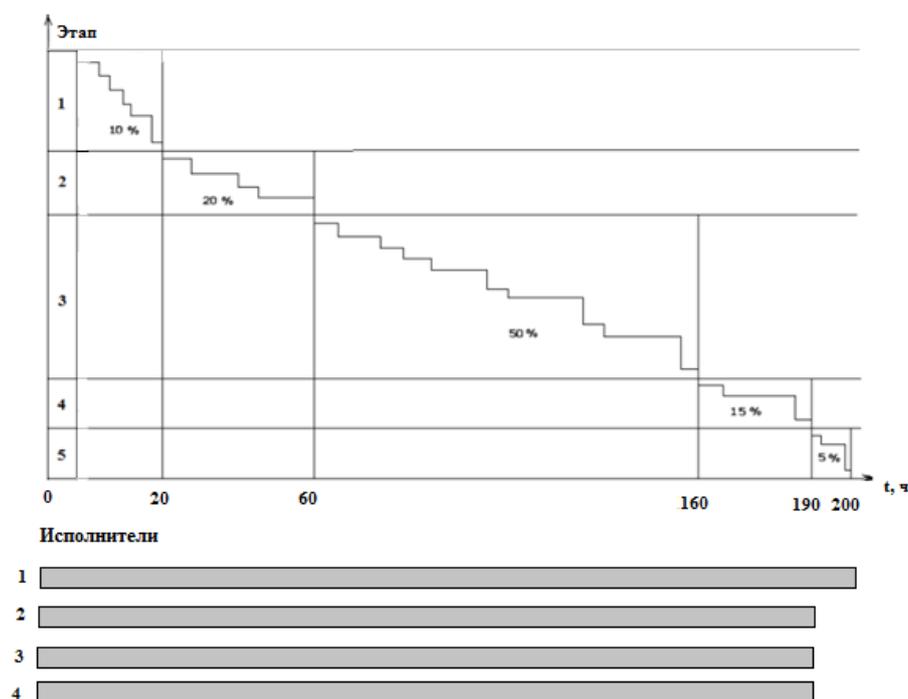


## ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Имитационный цикл работы электропривода механизма подъема

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д



Линейный график планирования этапов ПНР

№ п/п	Наименование статьи расходов	Сумма, руб.	Удельный вес затрат, %
1.	Затраты на оборудование	2040000	88.5
2.	Затраты связанные с ПНР		
2.1.	Полная заработная плата	159400	6.9
2.2.	Отчисление в социальные фонды	47800	2.1
2.3.	Накладные расходы	55450	2.5
3.	Итого затрат	2302650	100.0

Смета затрат на пуско-наладочные работы