

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90

УДК 62-83-523:621.879.064

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Султанкулов Элмурод Бегмурат угли		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
 И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ
 _____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Султанкулову Элмуроду Бегмурат угли

Тема работы:

Регулируемый электропривод механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; принципиальная электрическая схема,

	защита и сигнализация; социальная ответственность проекта; Финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	схема кинематическая; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - схемы электрические принципиальные; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Султанкулов Элмурод Бегмурат угли		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

РЕФЕРАТ

В данной работе произведён расчёт и выбор силового оборудования для электропривода подъема одноковшового экскаватора ЭШ 20/90.

Для управления электроприводом принята двухконтурная система автоматического регулирования с последовательной коррекцией.

Проведены исследования в области статики и динамики системы с помощью программы Matlab

В разделе социальная ответственность рассмотрены вопросы охраны труда и окружающей среды при работе с электрооборудованием электропривода механизма подъема.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение рассмотрены вопросы: анализа и оценки проектов, методы поиска творческих решений в процессе создания новых продуктов (технологий), методы управления проектами, а также технико-экономическая оценка проекта и управление риском.

**ЭКСКАВАТОР, ПОДЪЕМ, СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ,
СИСТЕМА Г-Д, ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ИМИТАЦИОННАЯ
МОДЕЛЬ.**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1 Основы проектирования автоматизированного электропривода механизма подъема ЭШ 20/90	13
1.1 Назначение и технические данные объекта автоматизации.....	13
1.2 Устройство экскаватора	15
1.3 Подъемная лебедка	21
1.4 Технологический процесс	32
1.5 Общие требования к электроприводу механизма подъема	34
1.6 Техническое задание.....	43
2 Выбор электрооборудования. Проверка электродвигателей по скорости, мощности и нагреву.....	43
2.1 Система пуска агрегата и возбуждения приводного синхронного двигателя экскаватора ЭШ 20/90.....	43
2.2 Проверка электродвигателя по мощности и техническим условиям.....	45
2.3 Определение масс и линейных размеров конструктивных элементов экскаватора.....	46
2.4 Определение нагрузок механизма подъема	47
2.5 Определение скорости вращения двигателей	49
2.6 Проверка электродвигателей по нагреву. Расчет нагрузок привода подъема.....	50
3 Электромеханическая система электропривода механизма подъема.....	54
3.1 Обоснование выбора структуры системы регулирования электропривода механизма подъема.....	55
3.2 Математическое описание. Определение параметров электромеханической системы	59
3.2.1 Электродвигатель механизма подъема.....	60
3.2.2 Расчетные параметры электродвигателя	61
3.2.3 Генератор механизма подъема	62
3.2.4 Расчет параметров генератора ГПЭ2500-750УХЛЗ	63
3.2.5 Якорная цепь системы генератор-двигатель электропривода .	64
3.2.6 Расчет параметров якорной цепи системы генератор-двигатель	65
3.2.7 Предельная область работы электропривода.....	66
3.2.8 Выбор тиристорного преобразователя возбуждения генератора	66
3.2.9 Выбор тиристорного преобразователя возбуждения двигателя	69
3.3 Механическая система электропривода подъема.....	71
3.4 Структурная схема силового канала электропривода подъема ...	77
4 Система управления электропривода механизма подъема	79
4.1 Синтез линеаризованной САУ РЭП.....	79
4.2 Оптимизация контура тока в двухконтурной САУ	81
электропривода по системе ТПВГ - Д	81

4.3	Оптимизация контура напряжения	83
4.4	Оптимизация контура возбуждения двигателя.....	84
4.5	Статические характеристики электропривода механизма подъема	85
4.5.1	Режим стабилизации скорости	85
4.5.2	Режим стабилизации тока	87
4.5.3	Статические характеристики	87
5	Исследование нелинейной САУ электропривода.....	88
5.1	Структурная схема нелинейной САУ	88
5.2	Исследование нелинейной структурной схемы.....	90
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	93
6.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	94
6.1.	SWOT анализ по разработке проекта регулируемого электропривода механизма подъема экскаватора.....	94
6.2.	Организация работ технического проекта	97
6.3.	Структура работ в рамках технического проектирования	97
6.4.	Определение трудоемкости выполнения ТП	98
6.5.	Разработка графика проведения технического проекта.....	99
6.6.	Составление сметы затрат на разработку ТП.....	101
6.6.1.	Расчет материальных затрат	101
6.6.2.	Расчет полной заработной платы исполнителей темы.....	102
6.6.3.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	103
6.6.4.	Накладные расходы	103
6.7.	Формирование сметы затрат технического проекта	104
6.8.	Определение ресурсоэффективности проекта	104
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	107
7.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	109
7.1	Правовые и организационные вопросы.	109
7.2	Производственная безопасность ЭШ 20/90.....	112
2.1	Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	113
7.2	Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	117
7.3.	Экологическая безопасность.....	118
7.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	120
	Заключение	122
	THE CONCLUSION.....	124
	Список используемой литературы	125

Введение

В практике открытых горных работ используют различные виды выемочного оборудования с широким диапазоном технологических качеств.

Удельный вес затрат на выемочно-погрузочные работы в общих затратах на открытую разработку составляет 15 - 40%.

Техническая возможность и эффективность использования того или иного вида выемочного оборудования зависят в первую очередь от экскавируемости пород, а также от типа разрабатываемых месторождений, требуемой производительности одной машины и карьера в целом, способа выемки (валовый или раздельный), механизации смежных процессов (подготовка породы к выемке и транспортирование), размеров карьера и его элементов, климатических условий и других факторов.

Наиболее характерными представителями выемочно-погрузочных машин, эксплуатируемых на открытых разработках, являются одноковшовые и многоковшовые экскаваторы.

Рабочий цикл одноковшового экскаватора складывается из четырех последовательных операций: наполнения ковша (черпания), перемещения его к месту разгрузки (транспортирования), разгрузки и перемещения порожнего ковша к месту зачерпывания для воспроизведения нового цикла. Поэтому одноковшовые экскаваторы являются машинами циклического (прерывного) действия. В отличие от них многоковшовые экскаваторы, у которых все элементы рабочего цикла осуществляются одновременно (совмещенно), являются машинами непрерывного действия.

Существующие типы экскаваторов в общем виде классифицируются типажом по следующим признакам: назначению и роду выполняемой работы; емкости ковша ($E, \text{м}^3$ - одноковшовые) или теоретической производительности ($Q_T, \text{м}^3/\text{ч}$ - многоковшовые); видам рабочего, ходового и силового оборудования.

Одним из типов карьерных экскаваторов являются шагающие экскаваторы (драглайны).

Шагающие экскаваторы-драглайны основное применение нашли при бестранспортной системе разработки месторождений открытым способом. Драглайны малой мощности используются на строительстве ирригационных сооружений и рекультивационных работах. Обладая технологическими и экономическими преимуществами по сравнению с экскаваторами мехлопатами, драглайны являются более габаритными и сложными конструкциями.

Шагающие экскаваторы составляют около 30% парка одноковшовых экскаваторов в стране. Большая их часть используется на открытых разработках угольных месторождений.

В настоящее время наиболее распространенными драглайнами являются ЭШ 10/70, ЭШ 15/90 и ЭШ 20/90.

Экскаваторы ЭШ 10/70А и ЭШ 15/90А находятся в эксплуатации по 18 - 25 лет, прошли по два - три капитальных ремонта и большинство из них эксплуатируется по настоящее время.

Шагающие экскаваторы, являющиеся полноповоротными машинами циклического действия, по своей конструкции относят к типу экскаваторов с шагающим ходом и гибкой связью ковша с машиной (драглайны).

Драглайн эксплуатируют:

- на породах легких, средней крепости или взорванных крепких, когда целесообразно разрабатывать забои как нижним (преимущественно), так и верхним черпанием при бестранспортной системе разработки с непосредственной разгрузкой гордой массы в отвал;

- на отвалах с малой несущей способностью грунта основания, при переэкскавации горной массы;

- на погрузке транспортных сосуды или бункер (главным образом при небольшой вместимости ковша) с производительностью более низкой, чем у карьерной лопаты;

- при строительстве карьеров или проходке траншей и каналов, когда проектное сечение выработки мало и не допускает размещения в нем экскаватора.

На горных предприятиях в настоящее время эксплуатируют шагающие драглайны производства ПО «НКМЗ» и ПО «Уралмаш» с ковшами вместимостью от 5 до 100м³ при стрелах длиной от 45 до 100м и массе от 208 до 10800 т.

Основные преимущества этих экскаваторов: возможность черпания как выше, так и ниже уровня стояния; большая длина стрел (на 90 - 180% превышает длину стрел механических лопат той же массы); небольшое давление на грунт. Развитие этих машин идет по пути увеличения вместимости ковша и в меньшей мере длины стрел, определяющих массу экскаваторов. Существенно сказывается масса экскаватора на время цикла экскавации, т. е. это скорости и ускорения рабочих движений, что в свою очередь, влияет на мощность приводов, массу лебедок и механизмов поворота, а также на нагрузки узлов конструкций машин.

Шагающие экскаваторы малой и средней мощности с кривошипнорычажным механизмом шагания изготавливает ПО «Ново-

Краматорский машзавод» (ПО «НКМЗ»); мощные и сверхмощные - ПО «Уралмаш». В настоящее время драглайнами серийного производства являются ЭШ 11/70 и ЭШ 20/90.

Управление главными приводами осуществляется по системе Г - Д с тиристорным возбуждением всех электрических машин постоянного тока и синхронного двигателя, обеспечивающим необходимые форсировки в обмотках возбуждения генераторов для обеспечения минимального времени переходных процессов.

Экскаватор ЭШ 20/90. Технологические параметры экскаватора аналогичны параметрам экскаватора ЭШ 15/90А, а рабочая масса нового экскаватора превышает ЭШ 15/90А на 2,5%. Снижение удельной металлоемкости экскаватора на 22% достигнуто усовершенствованием конструкции и узлов экскаватора, применением высокопрочных сталей, более рациональным расположением оборудования на поворотной платформе.

Основные новые технические решения следующие:

- компоновка механизмов на поворотной платформе с размещением преобразовательного агрегата на хвостовой части платформы, что улучшает уравновешенность машины и обслуживание оборудования;

- ковш вместимостью 20м³ арочного типа, усиленной конструкции для разработки наиболее тяжелых пород, с оптимальными геометрическими параметрами;

- трехгранная трубчатая вантовая стрела с предварительным натяжением верхнего пояса, что превышает усталостную прочность стрелы;

- надстройка из трубчатых элементов с соединением на валиках, что повышает монтажепригодность и снижает трудоемкость монтажа;

- подъемная и тяговая лебедки с усовершенствованными эластичными муфтами, соединением валов на эвольвентных шлицах, бандажированными усиленными зубчатыми колесами барабанов и редукторов;

- четырехдвигательный механизм поворота со среднескоростными двигателями с косозубыми зубчатыми передачами двухступенчатых редукторов, что повышает надежность и плавность работы;

- зубчатый венец из кованных секторов с закалкой зубьев токами высокой частоты;

- усовершенствованный гидравлический механизм шагания, обеспечивающий повышение скорости передвижения до 80 м/ч, по сравнению с 60 м/ч у экскаватора ЭШ 15/90А;

- опорная рама и поворотная платформа с соединением секций на высокопрочных болтах, обеспечивающих более прогрессивную технологию монтажа и ремонта;

- две комфортабельные кабины машиниста, оборудованные установками для кондиционирования воздуха, с тепловым обогревом лобового стекла, на амортизаторах, с обеспечением санитарно-гигиенических норм по шуму, вибрации, запыленности и освещению;

- система вентиляции с встроенными фильтрами инерционного типа для подачи необходимого объема очищенного воздуха внутрь кузова;

- комплект новых унифицированных электрических машин главных приводов и преобразовательного агрегата повышенной на 30% мощности по сравнению с электрическими машинами экскаватора ЭШ 15.90А;

- система подчиненного регулирования с использованием тиристорных возбuditелей и система управления на базе высокочастотных магнитных усилителей, оптимизирующая переходные процессы главных электроприводов;

- наличие локальных систем автоматизации рабочих процессов, в том числе усовершенствованная система плавного выбора зазоров в передачах поворотного механизма, бесконтактная сельсинная защита стрелы от ударов ковша при растяжке канатов, система автоматического подъема и спуска ковша, автоматическое включение обогрева гидрожидкости механизма шагания и жидкой смазки поворотных редукторов;

Для обеспечения плавного выбора зазора в зубчатых передачах, снижения динамических нагрузок и резонансных колебаний испытываются различные системы приводов главных механизмов экскаваторов ЭШ 20.90: тиристорный привод на машине № 32, привод на переменном токе с частотным регулированием на машине № 38, безредукторный привод поворота по системе Г-Д на машине № 41, микропроцессорное управление главными приводами БМСУ на машине № 56.

На ряде угольных разрезов страны производительность экскаваторов ЭШ 20.90 достигает 400-500 тыс. м³ в месяц, и более 4 млн. м³ в год.

1 Основы проектирования автоматизированного электропривода механизма подъема ЭШ 20/90

1.1 Назначение и технические данные объекта автоматизации

Шагающий экскаватор ЭШ 20/90 изготовлен Уральским заводом тяжелого машиностроения ОАО «Уралмаш». ЭШ 20/90 с ковшом вместимостью 20м³ и длиной стрелы 90м является сложной крупногабаритной вскрышной машиной с рабочим оборудованием драглайна, имеет рабочую массу 1710 тонн. Общий вид экскаватора приведен на рисунке 1.

Экскаватор предназначен для использования в горнодобывающей промышленности для выемки грунтов до IV категории включительно (по шкале "Единых норм выработки на открытых горных работах") на вскрышных работах по бестранспортной системе с укладкой породы в выработанное пространство или на борт траншеи. При разработке грунтов III и IV категорий требуется соответственно частичное или сплошное рыхление взрыванием.

Экскаватор рассчитан для работы в диапазоне температур от + 40°С до - 40°С, категория размещения I, группа условий эксплуатации 5 по ГОСТ I5I50-69.

Экскаватор рассчитан для работ, при скорости ветра не более 25 м/сек на уровне 10 метров от земли.

Значительные габариты не позволяют осуществить на заводе изготовителе полную сборку экскаватора. Изготовителем производится поузловая сборка и приемо-сдаточные испытания сборочных единиц по утверждённой программе. На заводе выполняется также контрольная сборка крупногабаритных конструкций, в том числе опорной рамы, опорно-поворотного устройства, зубчатого венца, передней части поворотной платформы совместно с опорами механизма шагания, хвостовой части поворотной платформы и др. Экскаватор поставляется на монтаж в разобранном виде максимально укрупнёнными блоками. Габариты и масса отгружаемых узлов указаны в товаросопроводительной документации изготовителя, а также на транспортной маркировке.

Общая сборка экскаватора производится потребителем на монтажной площадке.

Таблица 1.1 - Технические данные

Экскаватор в целом	
Вместимость ковша, м ³	20
Длина стрелы, м	90
Угол наклона стрелы, град	32
Наибольший радиус выгрузки, м	83
Наибольшая высота выгрузки, м	38,5
Наибольшая глубина копания, м	42,5
Радиус вращения хвостовой части, м	19,7
Просвет под поворотной платформой, м	1,61
Среднее удельное давление на грунт при шагании, МПа (кгс/см ²)	0,24(2,4)
Среднее удельное давление на грунт при работе, МПа (кгс/см ²)	0,115(1,15)
Максимальный преодолеваемый подъем или уклон при передвижении, град	7
Максимальный допустимый угол крена при передвижении, град	3
Допустимый угол наклона экскаватора при работе, град	2
Скорость передвижения, м/час	80
Длина шага, м	2
Диаметр опорной рамы, м	14,5
Наибольшая масса груженого ковша, т	63
Масса экскаватора без противовеса, запчастей и приспособлений, т	1645
Мощность сетевого двигателя, кВт	2500
Напряжение подводимого тока при частоте 50.герц, в	6000
Расчетная продолжительность цикла при повороте на 120 град. и концевом проходе, при средней глубине копания до 25м в грунтах I категорий, сек	60
Расчетная производительность в грунтах I категории, м ³ /час	965
Подъемная и тяговая лебедки	
Мощность электродвигателя, кВт	1120
Номинальное число оборотов, об/мин	630
Число электродвигателей, шт	2
Диаметр барабана, м	1,8
Диаметр каната, мм	64
Скорость подъема ковша, м/сек	2,64
Передаточное число лебедки	22,53

1.2 Устройство экскаватора

Шагающий экскаватор ЭШ 20/90 мощная одноковшовая полноповоротная машина на шагающем ходу с рабочим оборудованием драглайна. Общий вид экскаватора, его габаритные размеры и расположение оборудования показаны на рисунках 1, 2, 3.

Основанием экскаватора служит опорная рама 1, (см. рисунок 3). Она представляет собой плиту диаметром 14,5м и высотой 1,1м. Опорная рама состоит из центральной и 4 крайних секций, сваренных из легированной стали. Соединение секций между собой производится высокопрочными болтами. Опорная рама принимает на себя и передает на грунт вес всего экскаватора. В центральную секцию опорной рамы вмонтирована центральная цапфа, вокруг которой вращается поворотная часть экскаватора. На верхнем настиле опорной рамы укреплены зубчатый венец и нижний кольцевой рельс. К наружной поверхности рамы приварен круговой опорный пояс, которым рама опирается на захваты при шагании.

Поворотная часть экскаватора, к которой относится поворотная платформа с установленным на ней механическим и электрическим оборудованием, надстройка, кузов, рабочее и вспомогательное оборудование, опирается на опорную раму и вращается относительно нее на опорно-поворотном устройстве.

Опорно-поворотное устройство 2, (см. рисунок 3) состоит из нижнего кольцевого рельса, установленного на опорной раме, верхнего кольцевого рельса, установленного на нижнем настиле поворотной платформы и расположенного между ними роликового круга.

Поворотная платформа 3 (см. рисунок 3) совместно с надстройкой является основанием, на котором установлены все механизмы, кузов, рабочее и вспомогательное оборудование. Поворотная платформа представляет собой прямоугольную раму с размерами 11,6х28,7 м, высотой 1,5м, состоящую из сварных секций соединенных между собой высокопрочными болтами.

Надстройка представляет собой пространственную стержневую систему, предназначена для восприятия нагрузок от подвески стрелы от усилий в тяговых и подъемных канатах, от нагрузок опор механизма шагания во время шагания, а также для размещения на передней стойке блоков тяговых и подъемных канатов.

В хвостовой части поворотной платформы (см. рисунок 2) расположены преобразовательный агрегат 7, подъемная 1 и тяговая 2 лебедки. Подъемная и тяговая лебедки имеют одну конструкцию и состоят

из барабанов с нарезкой для намотки канатов, электродвигателей постоянного тока и системы зубчатых передач. В систему зубчатых передач входят открытые барабанные пары с прямыми зубьями и шевронные редукторы. Лебедки предназначены для перемещения ковша при помощи подъемных и тяговых канатов.

Вращение поворотной части экскаватора осуществляется с помощью механизма поворота 3 (см. рисунок 2).

Механизм поворота состоит из четырех одинаковых симметрично расположенных вертикальных установок. Каждая установка состоит из двигателя МПВЭ 400 - 400, установленного на стойке, являющейся одновременно корпусом тормоза. Стойка, внутри которой находится эластичная муфта, устанавливается на крышке двухступенчатого редуктора, соединенного с вал - шестерней путем шлицевого соединения, установленной на подшипниках качения в гильзе поворотной платформы. Вал шестерня входит в зацепление с зубчатым венцом, закрепленным на опорной раме.

Передвижение экскаватора осуществляется при помощи гидравлического механизма шагания. Механизм шагания состоит из двух главных и двух вспомогательных гидравлических цилиндров, насосных установок и гидроаппаратуры. К нижним шарнирам цилиндров подвешены два опорных башмака коробчатой сварной конструкции. Перемещение экскаватора происходит при опоре на башмаки и кромку опорной рамы. Для защиты от атмосферных воздействий механизмов и электрооборудования служит кузов 1 (см. рисунок 1) экскаватора.

Элементы кровли и стенок кузова выполнены из листового проката, соединение между собой производится болтами. Лестницы и площадки, имеющиеся внутри и снаружи кузова служат для установки оборудования и обслуживания при ремонте и эксплуатации экскаватора.

Рабочее оборудование экскаватора состоит из стрелы, ковша с канатами, подвески стрелы, стреловой лебедки и блоков.

Стрела 11 (см. рисунок 1) представляет собой трехгранную ферму, выполненную из трех жестких трубчатых поясов, трубчатых распорок и раскосов из вантовых канатов. На стреле расположены головные блоки, поддерживающие блоки и ролики. В рабочем положении стрела удерживается с помощью замыкающих серег 5 подвески стрелы, присоединенных к надстройке.

Для подъема и опускания стрелы служит стрелоподъемная лебедка с канатоукладчиком.

Ковш 9 представляет собой сварнолитую конструкцию. При помощи упряжи, состоящей из цепей и соединительных деталей, ковш подвешен на двух подъемных и двух тяговых канатах.

Вспомогательное оборудование экскаватора состоит из вентиляции кузова, пневматической системы, смазки, грузоподъемных средств, кабин управления.

Вентиляция 11 (см. рисунок 3) служит для подачи очищенного воздуха в кузов экскаватора, охлаждения электрических машин, механизмов и создания избыточного давления внутри кузова. При наличии избыточного давления, воздух через щели и проемы вытесняется наружу, тем самым исключается возможность подсоса запыленного воздуха в кузов. В качестве фильтрующих элементов принимаются инерционные пылеотделители. Нагнетание воздуха производится центробежными вентиляторами. Вентиляционная установка находится на крыше кузова в его задней части.

Пневматическая система 5 (см. рисунок 2) состоит из двух компрессоров (один резервный), воздухосборника, трубопроводов и другой аппаратуры, предназначена для подачи сжатого воздуха к пневмоцилиндрам тормозов лебедок и поворотного механизма, к звуковому сигналу, а также для обдува электрооборудования и проведения некоторых работ при обслуживании экскаватора. Компрессоры и воздухосборник расположены на правой боковой площадке экскаватора.

Для смазки основных узлов и механизмов экскаватора применяется централизованная система смазки 6, (см. рисунок 2).

Централизованно смазываются роликовый круг, зубчатый венец, подшипники центральной цапфы, подшипники и открытые передачи подъемной и тяговой лебедок, подшипники моторных валов и нижние подшипники главных валов поворотного механизма.

Смазка подшипников и зубчатых передач редукторов поворота осуществляется подачей жидкой смазки под давлением.

Смазка прочих узлов осуществляется окунанием в масляную ванну или шприцем.

Грузоподъемные средства, имеющиеся на экскаваторе, предназначены для производства демонтажно-монтажных работ при ремонтах. Внутри кузова на подкрановых путях установлен мостовой электрический кран 10 (см. рисунок 3) грузоподъемностью 20000 кгс.

На верхней площадке передней стойки надстройки установлен кран поворотный 16, грузоподъемностью 3000 кгс и 5000 кгс при соответствующих вылетах крюковой обоймы 2,8м и 1,64м. Внутри кузова

по обеим сторонам установлены электрические тали 9 (см. рисунок 3) грузоподъемностью 3000 кгс.

Управление экскаватором возможно производить либо из правой, либо из левой кабины. Кабины оборудованы пультами управления главных приводов и пультом механизма шагания. Из кабин обеспечен хороший обзор забоя, узлов рабочего оборудования и механизмов шагания.

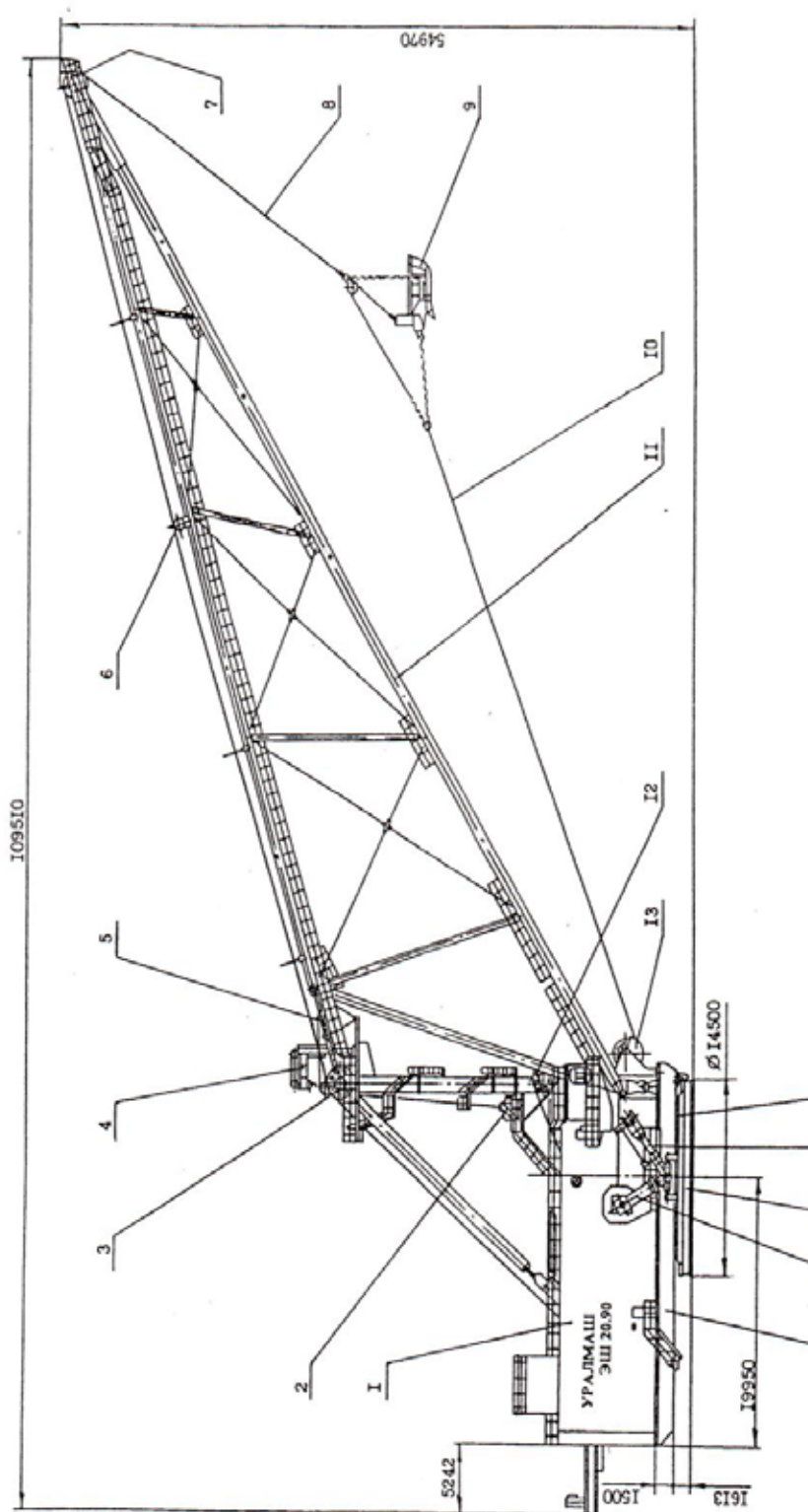


Рисунок 1. Общий вид экскаватора

- 1.Кузов; 2.Лебедка подъема стрелы; 3.Блоки подъемных канатов; 4.Кран поворотный; 5.Подвеска стрелы; 6. Устройство поддерживающее; 7.Блоки головные; 8.Канаты подъемные; 9.Ковш; 10.Канаты тяговые; 11.Стрела; 12.Блоки тяговых канатов; 13.Блоки направляющие; 14.Башмаки опорные; 15.Гидроцилиндр вспомогательный; 16. Рама опорная;

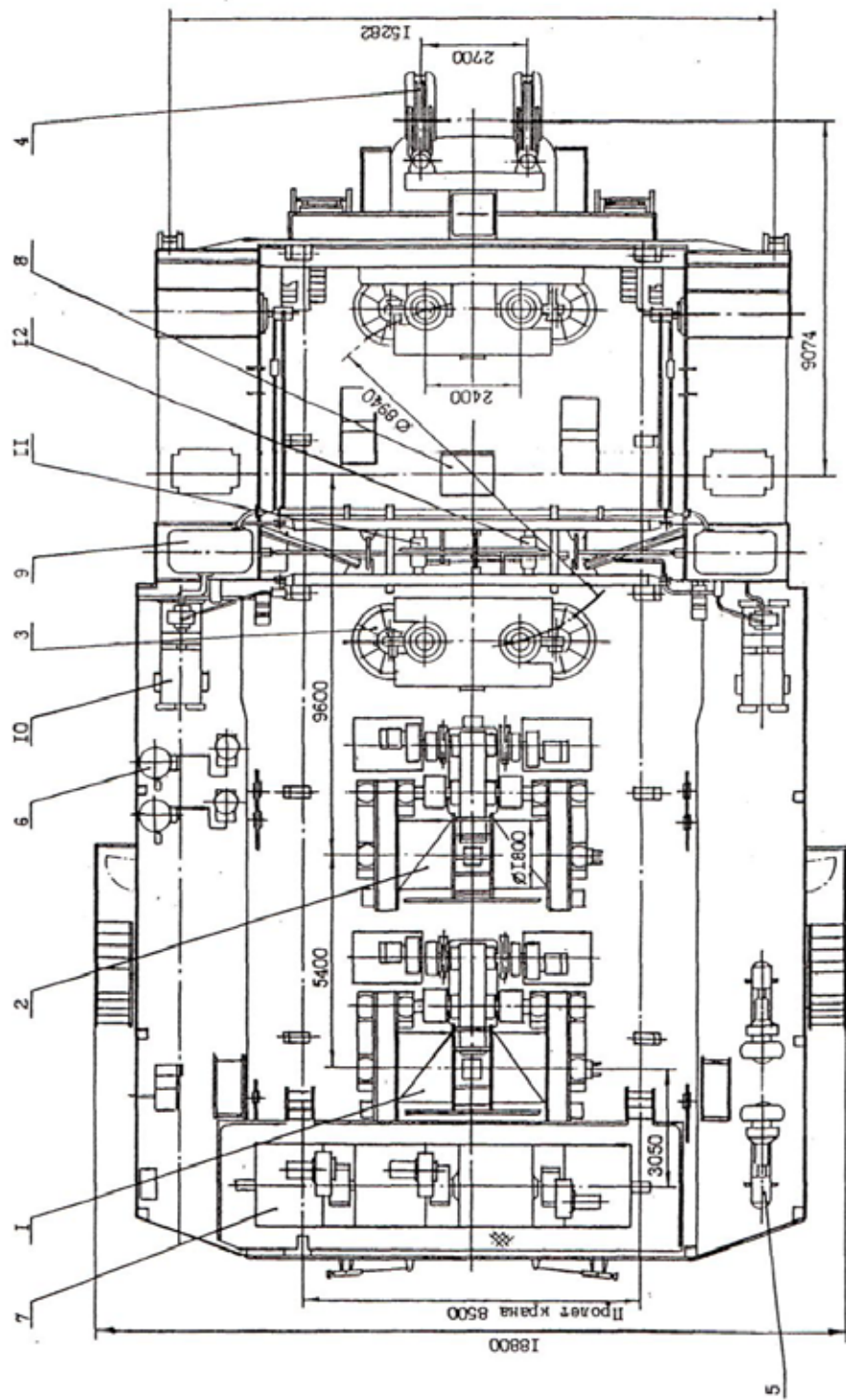


Рисунок 2. Механизмы и оборудование на платформе экскаватора

1. Лебедка подъемная; 2. Лебедка тяговая; 3. Установка механизма поворота; 4. Блоки направляющие; 5. Система пневматическая; 6. Система густой смазки; 7. Агрегат преобразовательный; 8. Токотриемник; 9. Установка бака; 10. Золотник реверсивный; 11. Золотник переливной трехпозиционный; 12. Золотник реверсивный.

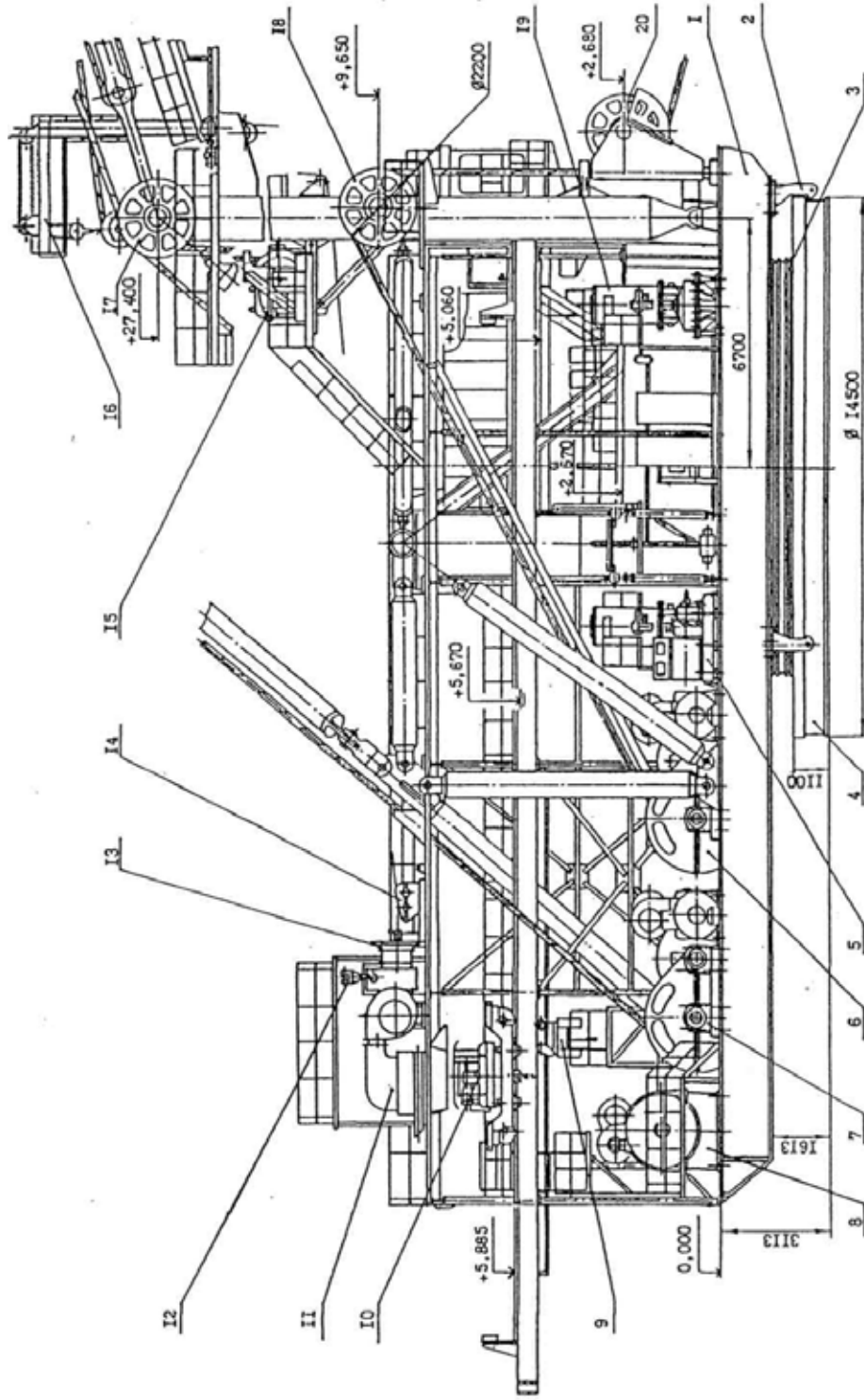


Рисунок 3. Механизмы и оборудование на платформе экскаватора ЭШ20/90 (продольный разрез) 1.Платформа поворотная; 2.Захват опорной рамы; 3.Устройство опорно-поворотное; 4.Рама опорная; 5.Установка насоса НР-1250/32; 6.Лебедка тяговая; 7.Лебедка подъемная; 8.Агрегат преобразовательный; 9.Тельфер г/п 3,2 тс; 10.Кран мостовой г/п 20 тс; 11.Система вентиляции; 12.Тельфер г/п 1 тс; 13.Система охлаждения

1.3 Подъемная лебедка

Подъемная и тяговая лебедки расположены в хвостовой части поворотной платформы симметрично относительно продольной оси экскаватора. Лебедки полностью унифицированы, тяговая лебедка отличается только величиной максимального усилия. Дальнейшее описание узлов лебедки относится в равной мере как к подъемной, так и тяговой лебедкам. Общий вид и кинематическая схема лебедки показаны на рисунках 4 и 5.

Привод лебедки осуществляется от двух электродвигателей 1, рис.4, постоянного тока типа МПЭ1120-630. Лебедка состоит из двух эластичных муфт 2, двух колодочных тормозов 3, шевронного редуктора 4, эластичной муфты 5, механизма переключения 6, промежуточных вал-шестерен 7 и 8, двух барабанов 9 с колесами 10, стопорного устройства 11, ограждений 12 и защитных кожухов, установки сельсинов 13.

Муфта 2, состоит из двух полумуфт с шестью пазами, расположенными радиально на кольцевых выступах, шести резинометаллических сухарей, установленных в совмещенные пазы полумуфт и защитного обода. Полумуфта моторная насажена на конусный конец вала электродвигателя и затянута гайкой. Полумуфта совмещенная с тормозным шкивом, напрессована на цилиндрический конец вал-шестерни редуктора и закреплена шайбой и болтами.

Тормоз колодочный 3, по характеру работы стопорный, с пружинным замыканием и пневматическим размыканием. Тормоз предназначен для затормаживания подъемного или тягового механизма при перерывах в работе, обесточивании лебедок, срабатывании системы защиты стрелы от растяжки ковша.

При обесточивании экскаватора замыкание тормоза осуществляется автоматически пружиной. На время перерывов в работе замыкание тормоза осуществляется с пульта кабина машиниста.

Редуктор (рисунок 6), одноступенчатый шевронный состоит из корпуса 1 сварнолитой конструкции со съемной ванной 3 для заливки масла и сварнолитой крышкой 2 и зубчатой шевронной пары 6. Шевронное колесо 6 состоит из кованного бандажа (см.рисунок 7) из высоколегированной стали, литого из углеродистой стали центра 9, напрессованного на вал 10 из высоколегированной стали, концы которого снабжены эвольвентными шлицами. Вал установлен на двухрядных роликовых сферических подшипниках. Конструкцией подшипниковых узлов вала 10 обеспечивается

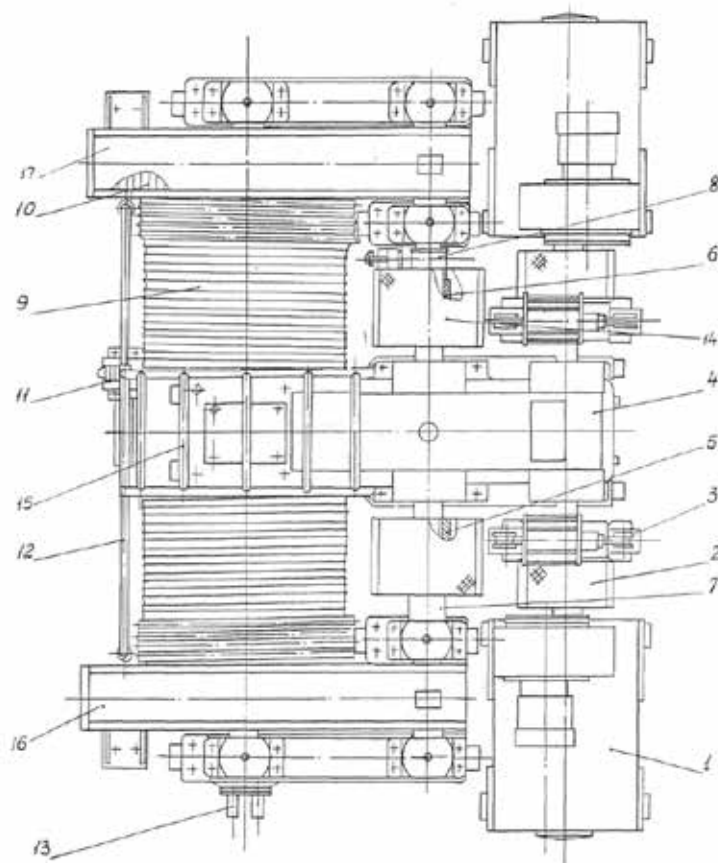


Рисунок 4. Подъемная (тяговая) лебедка

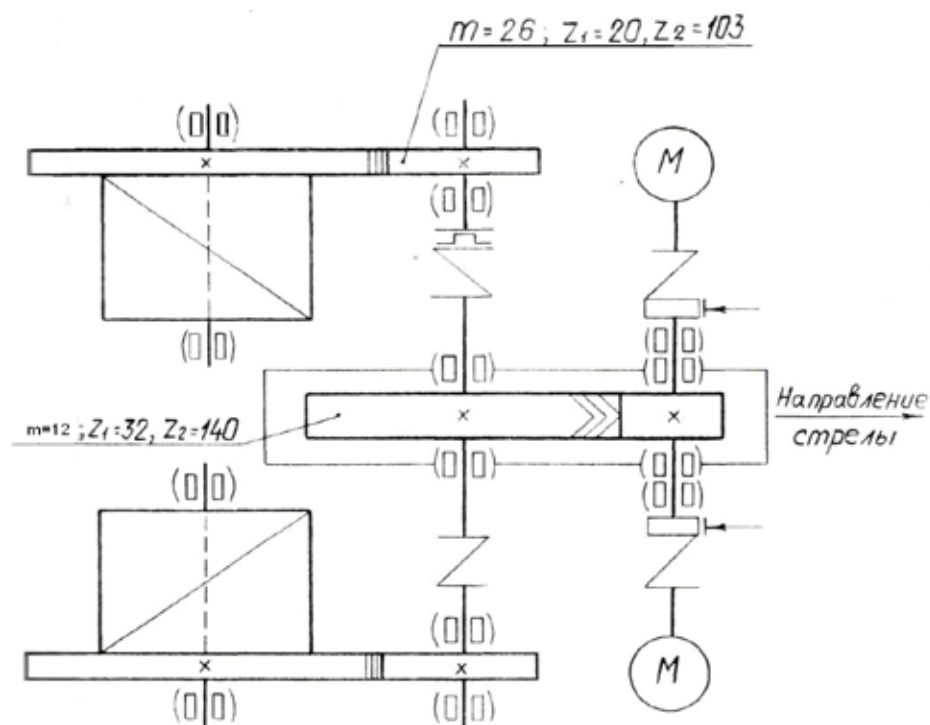


Рисунок 5. Кинематическая схема подъемной (тяговой) лебедки

осевой люфт в пределах 0,6мм, который регулируется прокладками 11. Ко всем подшипникам редуктора обеспечен подвод консистентной смазки. Все уплотнения подшипниковых узлов - лабиринтного типа. Разъемы корпуса по контуру имеют канавки с уплотнением в виде резинового шнура. В масляную ванну заливается 450 литров жидкой смазки, в соответствии с инструкцией по смазке. Для проверки уровня масла предусмотрен маслоуказатель 15 (см. рисунок 6). В нижней части ванны имеется сливная труба 13, снабженная краном 14.

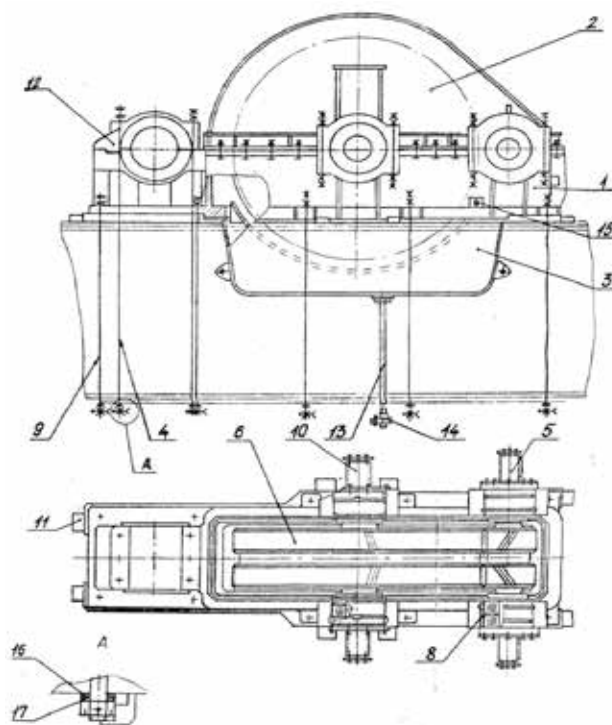


Рисунок 6. Редуктор

Крепление корпуса редуктора к поворотной платформе осуществляется шпильками 9: на нижнем конце каждой шпильки установлены коническая 16 и сферическая 17 шайбы, предохраняющие шпильки от изгиба. Сдвигающие нагрузки воспринимают упорами 11, приваренными к платикам поворотной платформы. Корпус редуктора включает в себя также опору осей барабанов, которая имеет дополнительное крепление шестью шпильками 4, обеспечивающими одновременно и крепление крышки 12. Промежуточные вал-шестерни 5 и 14 (рисунок 7), установлены на двухрядных сферических роликовых подшипниках 7. Один из подшипников каждого вала зафиксирован от продольного перемещения с помощью втулок 3 и 4, крышкой 1 и регулировочными прокладками 2.

Опоры каждой из вал-шестерен объединены в общем корпусе 6 и 13, одновременно включающем в себя опору от барабана. Вал-шестерни 5 и 14 изготовлены из высоколегированной стали и отличаются одна от другой конструкцией свободного конца, снабженного эвольвентными шлицами. На конец вал-шестерни 5 насажена эластичная муфта 8, на конец вал-шестерни 14 - детали механизма переключения 12. Гайка 15 предназначена для крепления на валу подшипника 7.

Муфта эластичная, состоит из двух полумуфт, двенадцати резино-металлических сухарей и защитной обечайки. Конструкция полумуфты в месте установки сухарей выполнена аналогично моторной муфте.

Механизм переключения, предназначен для отключения одной стороны лебедки (одного барабана) при выравнивании длин канатов.

Барабаны 1 и 2 (см. рисунок 8), сварной конструкции отличаются друг от друга направлением нарезки и наличием скосов на реборде барабана 1 для стопорного устройства.

Крепление каната осуществляется с помощью прижимных планок 3. К внешним торцам барабанов с помощью шести призонных и шести стяжных болтов закреплены литые центры 7 зубчатых колес. К литым центрам с помощью шести призонных и шести стяжных болтов закреплены кованные зубчатые венцы 6, изготовленные из высоколегированной стали. Зубчатые венцы 6 входят в зацепление с промежуточными вал-шестернями. Литые центры 7 и ступицы барабанов напрессованы на оси 4, которые через роликовые сферические подшипники установлены в опорах 5 и 8.

Устройство стопорное, служит для торможения барабана, разъединенного с приводом. Ковш должен находиться на земле. Устройство представляет собой клиновой упор, приводимый в действие посредством гайки, перемещающейся в направляющих корпуса при помощи винта, установленного в расточке корпуса.

Устройство устанавливается у реборды барабана после окончания монтажа и выверки лебедки.

Ограждения барабанов, защищают узлы лебедки от ударов при соскакивании каната с барабана и канаты - от защемления. Зубчатые пары защищены кожухами, образующими ванну. Муфты эластичные защищены съемными ограждениями облегченного типа.

Установка сельсинов, является составной частью системы защиты стрелы от растяжки ковша подъемными и тяговыми канатами и затягивания коушей канатов в наводки головных и направляющих блоков при различных режимах работы экскаватора. Она представляет собой трехступенчатый понижающий редуктор, на крышке которого закреплены два сельсиновых датчика 13 (см. рисунок 4).

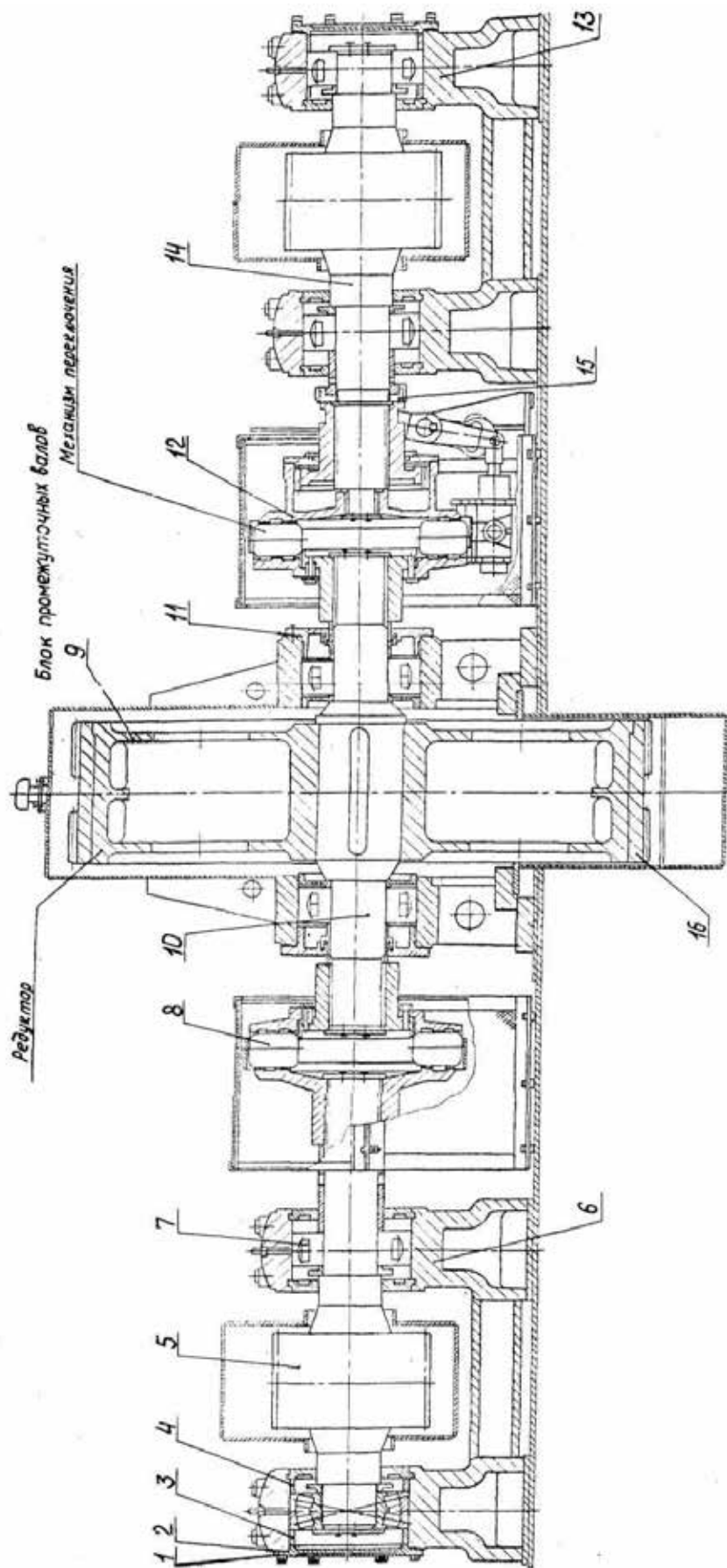


Рисунок 7. Блок промежуточных валов

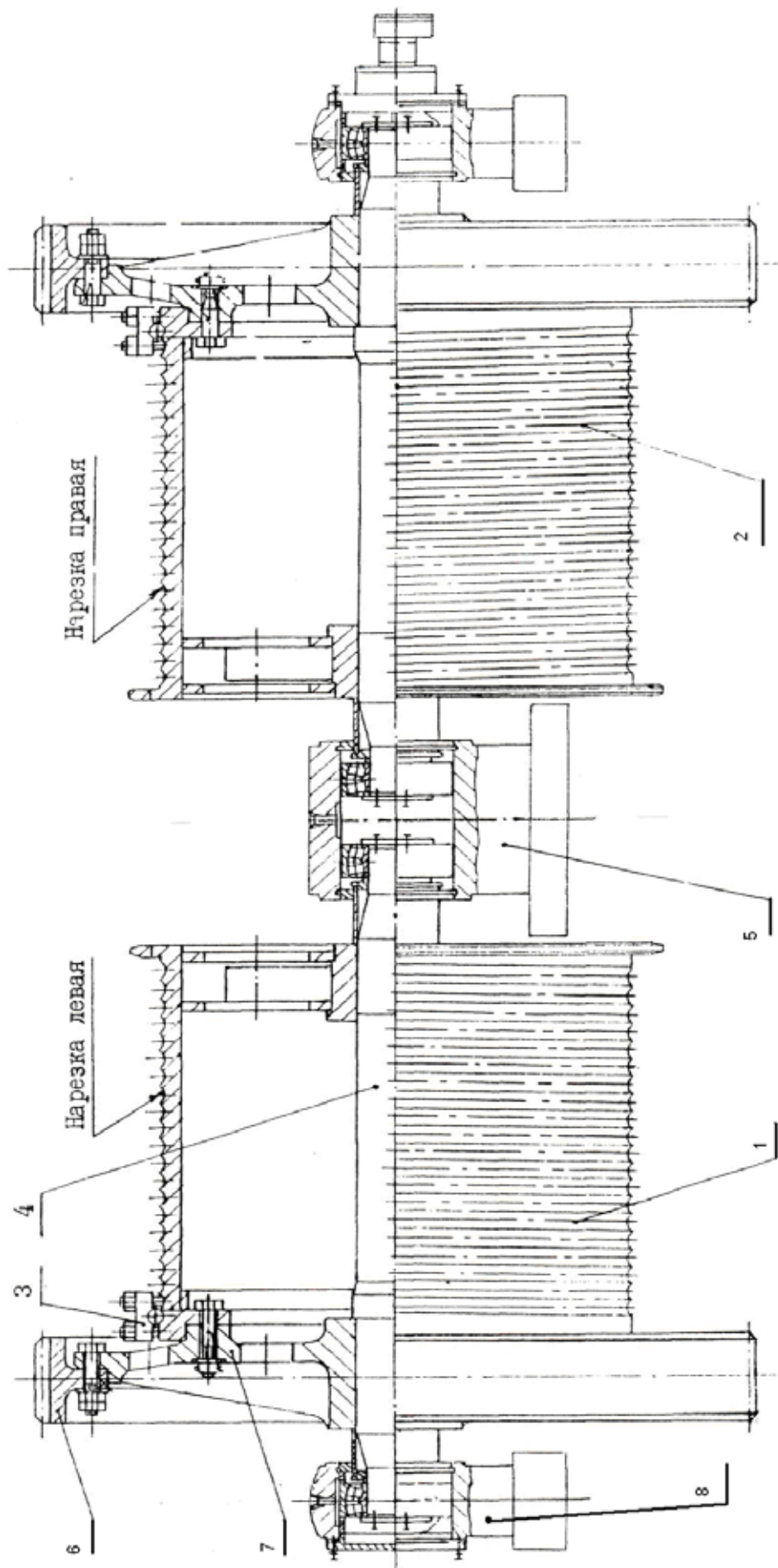


Рисунок 8. Блок барабанов

Схема навески рабочих канатов изображена на рисунке 9. Ковш подвешен на двух подъемных и двух тяговых канатах правой односторонней свивки, с линейным касанием проволок в прядях, нераскручивающийся, с металлическим сердечником. Один конец каждой ветви закреплен на барабанах подъемной 1 и тяговой 2 лебедок с помощью прижимных планок. С барабанов лебедок проходят сквозь окна в кровле кузова на блоки 4 и 6 передней стойки надстройки. Подъемные канаты с блоков на надстройке проходят через головные блоки 7 к ковшу, где своими концами закрепляются в конических втулках верхней подвески. Тяговые канаты с блоков на надстройке проходят к направляющим блокам 3 и дальше к ковшу, где закрепляются в конических втулках тяговой упряжи.

Наматывая канат на барабан лебедки, необходимо следить за тем, чтобы он укладывался плотно в ручьи барабана. Необходимо, чтобы рабочая длина каждой пары совместно работающих канатов была одинакова. Проверкой правильности регулировки длины канатов может служить следующее: для подъемных канатов - перпендикулярность балансира верхней подвески подъемной упряжи к ветвям каната при поднятом груженом ковше (определяется на глаз); для тяговых канатов - движение ковша в плоскости действия тягового усилия при черпании (без перекосов), отсутствии перекоса у балансира тяговой упряжи, одинаковое провисание обеих ветвей при натяжении канатов лебедкой.

Ковш изображен на рисунке 10, вместимостью 20 м^3 обеспечивает разработку [грунтов до IV категории крепости включительно (по шкале "Единых норм выработки на открытые горные работы"), с предварительным рыхлением взрыванием грунтов III и IV категорий.

Ковш состоит из корпуса ковша, тяговой упряжи, подъемной упряжи, подвески ковша, разгрузочного устройства, зубьев и соединительных элементов. Корпус ковша представляет собой пространственную трех конусную конструкцию, боковые стенки, задняя стенка, козырек и днище которой обеспечивают быстрое заполнение и разгрузку грунта. Корпус ковша сварно-литая конструкция с режущей частью из марганцовистой стали 75Г13Л, литым днищем в стали 25Л, аркой коробчатого сечения, боковыми и задней стенками из листовой стали 10ХСНД. Места повышенного износа оснащены износостойкими накладками, а также наплавкой твердым сплавом. Передняя часть корпуса представляет собой замкнутую раму и обеспечивает ковшу необходимую жесткость. Рама

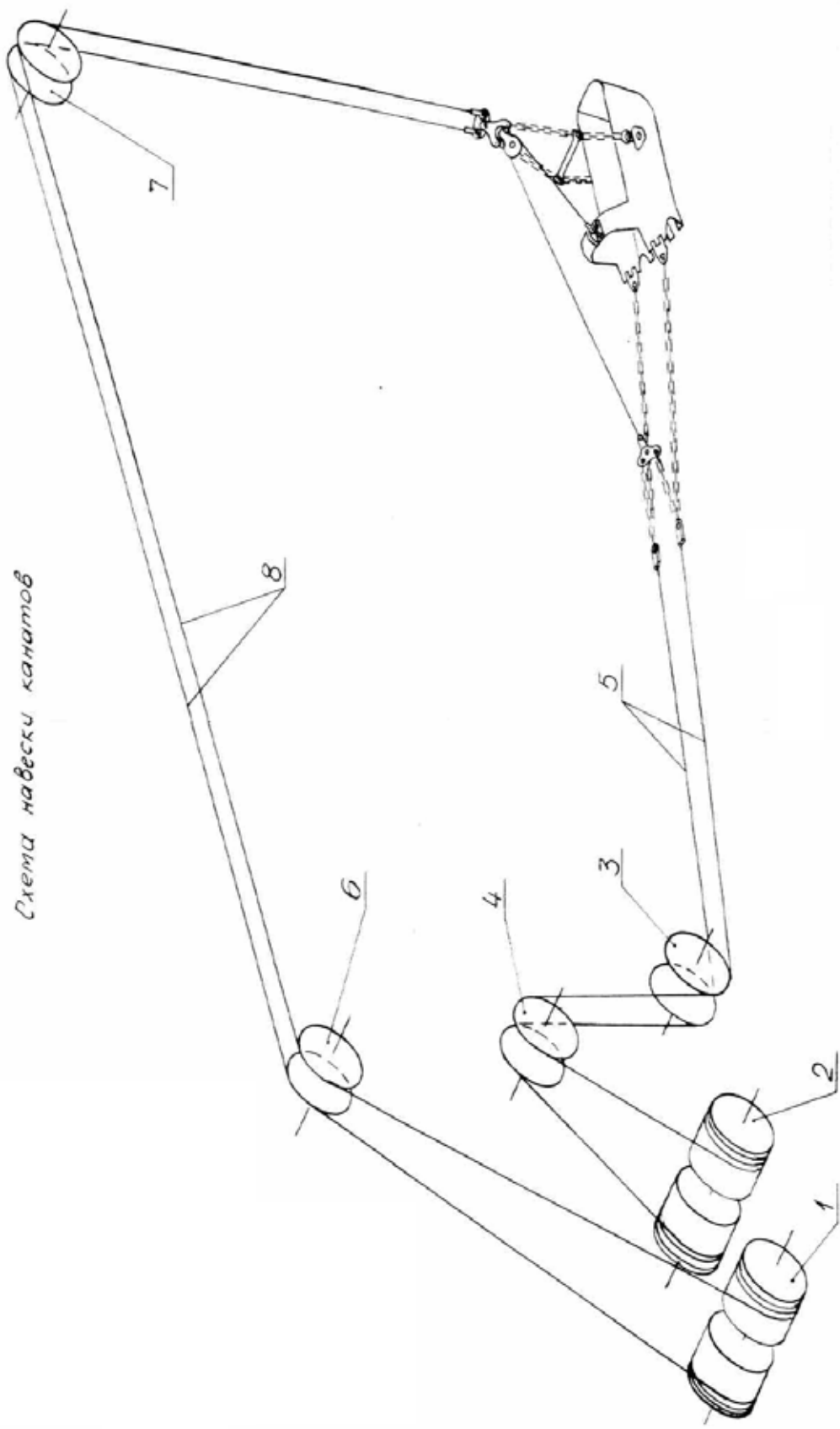


Схема навески канатов

Рисунок 9. Схема навески канатов

образована козырьком 10, щеками 21, а сверху - аркой 19. Днище корпуса 12, для предохранения его от быстрого износа, снабжено полозьями, являющимися продолжением зубьев ковша. Эти полозья соединяются с полозьями на задней стенке корпуса.

Сменные коронки 4 крепятся к козырьку корпуса ковша болтами 5 и гайками 6. Работа ковша без коронок запрещается. Для продления срока службы коронок рекомендуется периодически восстанавливать наплавку твердого сплава.

На боковых щеках 21 приварены вилки 22, через которые с помощью скоб 9, корпус соединяется с тяговой упряжью. Тяговая упряжь состоит из двух якорных цепей 7, соединительных звеньев 3, колец 8, траверсы 2, с помощью которых она соединяет корпус ковша с тяговым канатом 1. К боковым стенкам корпуса приварены проушины 11 для присоединения подъемной упряжи. Подъемная упряжь состоит из двух вертикальных и двух наклонных якорных цепей 15, соединительных звеньев, скоб 14, вилок 13, распорки 23 и верхней подвески 16, к которой присоединяются подъемные канаты 17.

Разгрузочное устройство предназначено для удержания груженого ковша от саморазгрузки при его транспортировке на выгрузку. Оно состоит из двух якорных цепей 20, соединительных звеньев, скоб, балансира 24, уравнительного каната 18 и концевых деталей, при помощи которых разгрузочное устройство соединяет арку ковша с тяговой упряжью через разгрузочный блок верхней подвески.

Крепление концов разгрузочного каната производится на монтаже после регулировки его длины в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

Ковш 20 м³

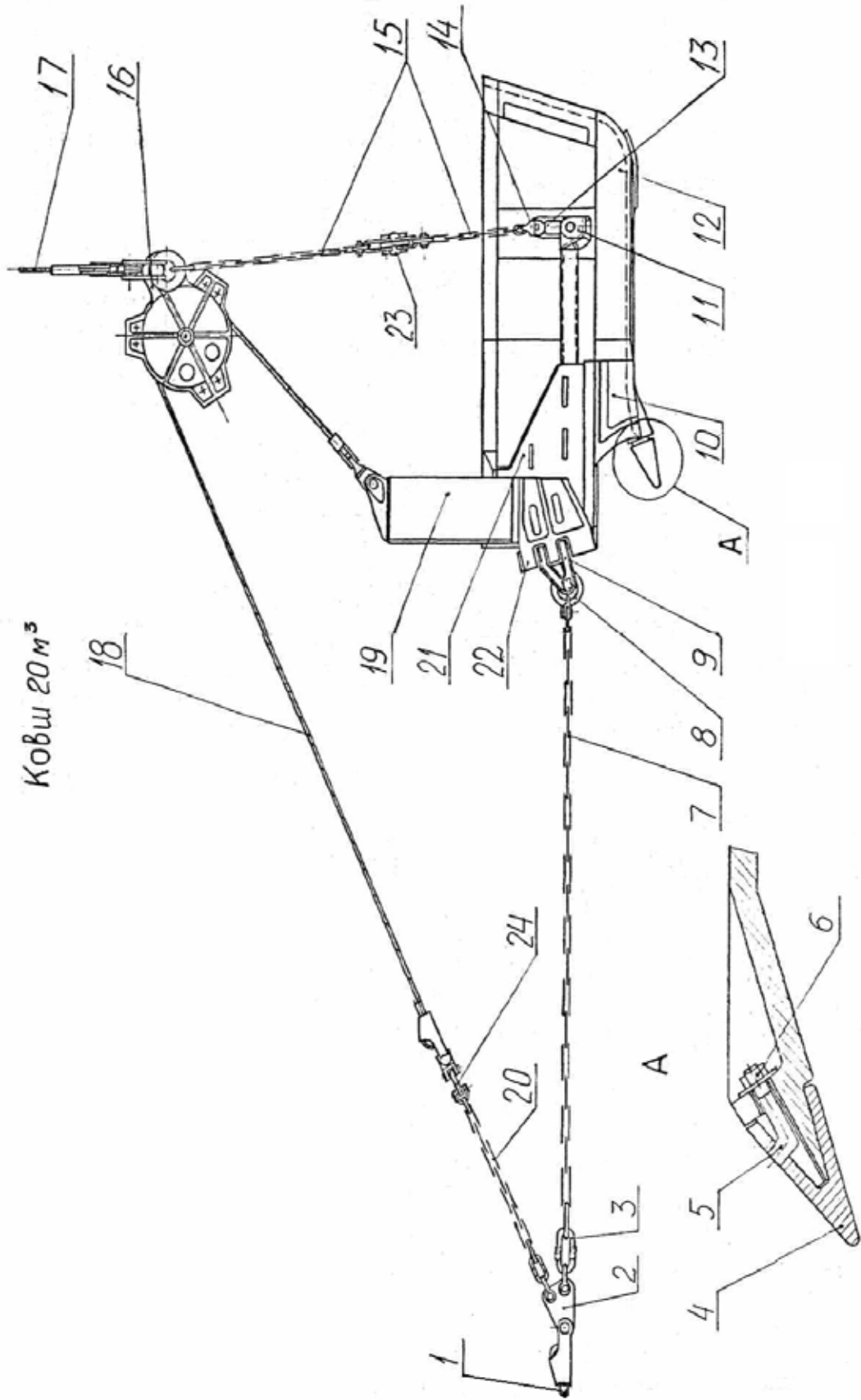


Рисунок 10. Ковш 20 м³

1.4 Технологический процесс

Драглайны применяют при разработке угольных, железорудных и других месторождений, главным образом для перевалки мягких пород. Широко используются они на земляных работах при строительстве каналов, дорог, гидросооружений и т.д. Драглайнами выполняется около 20% объемов горных и земляных работ.

Драглайны с ковшом емкостью более 10 - 20м³ применяются для обработки полускальных и скальных хорошо разрыхленных пород.

Ковш по забою перемещается с помощью тягового и подъемного канатов, отделяя (срезая) стружку породы и заполняется, а за тем поднимается к голове стрелы. Угол между горизонталью и днищем ковша при его подъеме должен составлять 15 - 20°. При большей или меньшей величине этого угла положение ковша становится неустойчивым. Данный угол регулируется изменением длины разгрузочного каната. Разгрузка ковша происходит при свободном опускании тягового каната.

Минимальная толщина стружки должна быть такой, чтобы ковш заполнялся за одно черпание. Толщину стружки регулируют изменением длины разгрузочного каната и места крепления тяговых цепей. С уменьшением длины разгрузочного каната и поднятием точки крепления тяговых цепей толщина срезаемой стружки при черпании ковша будет увеличиваться, но при этом увеличивается сопротивление грунта, что может привести к опрокидыванию ковша. Поэтому оптимизация этих параметров является важной частью работы экскаватора.

Продолжительность поворота экскаватора зависит главным образом от места выгрузки породы. При перемещении породы в отвал ковш иногда разгружается на ходу, без остановки экскаватора, поворачивающегося на 360°. Продолжительность рабочего цикла при этом минимальная, так как разгрузка совмещается с поворотом и происходит без опускания ковша и остановки экскаватора для перемены направления движения.

При погрузке горной массы в кузов транспортного сосуда необходимы остановки и опускание ковша, что значительно увеличивает время всего цикла.

Основные рабочие параметры драглайнов (см. рисунок 11, таблицу 1.2) $R_{ч}$ и $R_{р}$ - радиусы черпания и разгрузки, определяемые длиной стрелы и углом ее наклона; $R_{ч.з}$ - радиус черпания с забросом ковша (дальность заброса зависит от модели драглайна и опыта машиниста и достигает 1/4 длины стрелы (2,5 - 15м); отклонение подъемного каната от вертикали при забросе ковша составляет 15 - 20°); $R_{ч.у}$ - радиус черпания на уровне

стояния драглайна; $H_{ч}$ - глубина черпания, зависящая от длины и угла наклона стрелы, расположения драглайна в забое, экскавируемости породы, длины канатов и квалификации машиниста; $H_{р}$ - высота разгрузки, определяемая длиной стрелы и углом ее наклона; $R_{к}$ - радиус вращения кузова драглайна; $H_{э}$ и $H_{к}$ - размеры по высоте верхней стойки и кузова драглайна.

Наклон стрелы драглайна составляет $20-35^\circ$, как и у мехлопаты, он может изменяться с соответствующим изменением рабочих параметров. Ход мощных драглайнов - шагающий. Преодолеваемый уклон до $7-12^\circ$. Удельное давление на грунт $1-2 \text{ кгс/см}^2$.

Основной тип забоя драглайна - торцовый. Возможные параметры забоя зависят от места расположения драглайна и связанного с этим способа черпания.

Форма и размеры забоя драглайна определяются схемой его работы и рабочими параметрами. Драглайн, установленный на кровле уступа, обрабатывает его нижним черпанием, а драглайн установленный на промежуточном горизонте уступа, обрабатывает его верхним и нижним черпанием.

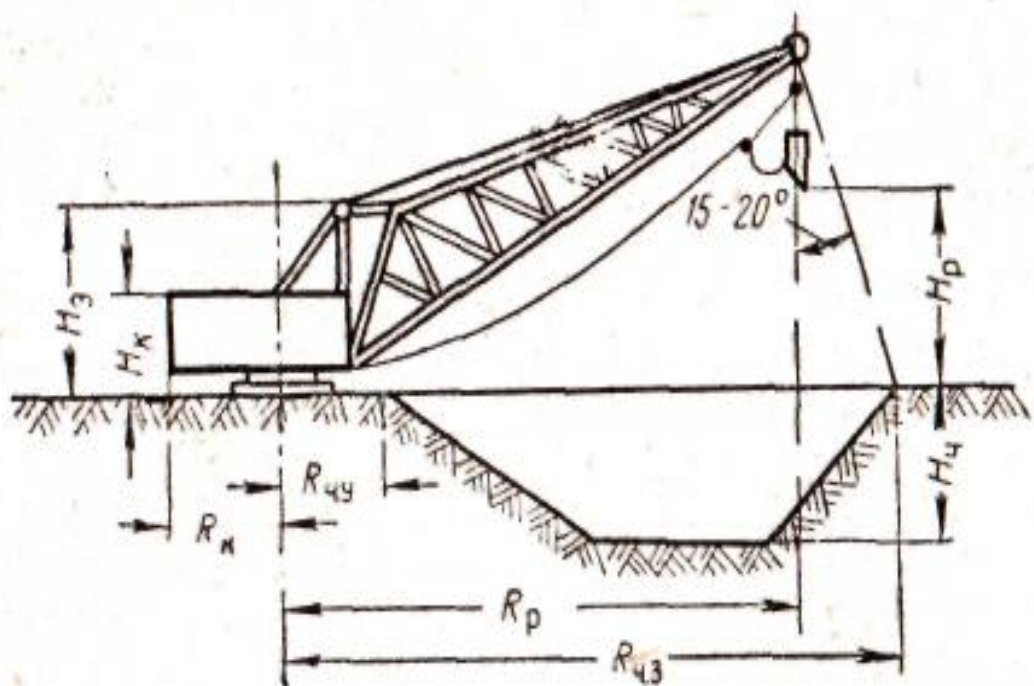


Рисунок 11. Основные рабочие параметры драглайна

Высоту забоя при нижнем черпании H_n устанавливают по глубине черпания. При этом следует учитывать, что драглайн, расположенный на кровле уступа, должен находиться вне призмы обрушения. Ширина заходки драглайна ЭШ 20/90 составляет 45м.

Таблица 1.2 - Основные рабочие параметры драглайна

Вместимость ковша, м ³	20
Длина стрелы, м	90
Угол наклона стрелы, град	32
Наибольший радиус выгрузки, м	83
Наибольшая высота выгрузки, м	38, 5
Наибольшая глубина копания, м	42, 5
Радиус вращения хвостовой части, м	19, 7
Расчетная продолжительность цикла при повороте на 120 град. и концевом проходе, при средней глубине копания до 25м в грунтах I категорий, сек	60

1.5 Общие требования к электроприводу механизма подъема

Электрооборудование одноковшовых экскаваторов работает в весьма тяжелых условиях тряски, ударов, вибраций, большой запыленности. Электроприводы основных механизмов экскаватора работают в интенсивном повторно-кратковременном режиме, с большой частотой включений, при изменяющейся в широких пределах нагрузке на валу двигателя. Наряду с этим основные механизмы экскаватора содержат упругие механические связи, обусловленные ограниченной жесткостью канатов, рабочего оборудования и валов передач, а также имеют значительные зазоры в передачах. Поэтому в отношении сложности требований, предъявляемых к электроприводу, основные механизмы экскаватора занимают во всем многообразии современных производственных механизмов одно из первых мест.

Важнейшей особенностью рабочего режима механизмов экскаватора, непосредственно участвующих в процессе копания (подъем и тяга драглайна), является систематическое возникновение механических перегрузок при копании, которые при благоприятных условиях

своевременно устраняются машинистом путем уменьшения толщины стружки, снимаемой ковшем. Однако при нечетких действиях машиниста, а особенно при неожиданной встрече ковша с препятствием (крупный валун в относительно мягком грунте, участок не взорванной скалы при копании в плохо взорванном скальном грунте и т. д.), создаются условия для возникновения недопустимых нагрузок, способных, с одной стороны, вызвать поломки рабочего оборудования машины, а с другой стороны, опасных для электропривода.

При встрече ковша с препятствием происходит так называемое, резкое стопорение экскаваторных электроприводов. При этом остановка ковша влечет за собой быструю остановку связанных с ним элементов электропривода и механизма. Запасенная во всех поступательно и вращательно движущихся частях кинетическая энергия при быстрой остановке переходит в основном в потенциальную энергию упругих деформаций элементов механизма. Чем выше жесткость элементов механизма и рабочего оборудования, тем быстрее снижается скорость застопоренного механизма и тем выше его динамические нагрузки.

Условия стопорения механизма подъема и тяги драглайна существенно облегчаются упругостью канатов. Из этих механизмов наиболее резкие стопорения характерны для подъема.

Реакция электропривода при резких стопорениях, также неблагоприятна. На увеличение нагрузки на валу электрический двигатель реагирует увеличением развиваемого движущего момента. Увеличение момента привода создает дополнительные нагрузки в элементах механизма и рабочем оборудовании. Если не принять ограничивающих мер, неизбежны поломки механизма и выход из строя электрических двигателей.

Таким образом, важнейшим требованием, предъявляемым к электроприводу основных механизмов экскаватора, является необходимость ограничения момента электропривода при механических перегрузках и резких стопорениях допустимой величиной. Допустимое значение нагрузки определяется либо условиями работы механического оборудования, либо допустимой перегрузкой электродвигателей. Максимально допустимое значение момента экскаваторного электропривода принято называть стопорным моментом $M_{\text{стоп}}$. Ограничение момента электропривода стопорным значением во всех режимах может быть достигнуто двумя принципиально различными способами:

- 1) механическим путем за счет введения в кинематическую цепь механизма звена с ограниченным предельно передаваемым моментом;

2) путем ограничения предельным значением момента, развиваемого электроприводом при любой нагрузке на валу.

При механическом способе ограничения момента наиболее употребительными ограничивающими элементами являются муфты предельного момента и фрикционы с ограниченным значением предельно передаваемого момента. Этот способ является основным при групповом приводе механизмов, применяемом на универсальных экскаваторах-кранах, где муфты сцепления являются единственным средством индивидуального управления каждым механизмом.

Важнейшим достоинством механического способа ограничения момента является разобщение привода и механизма при возникновении нагрузок, превышающих стопорное значение. Это особенно важно при резких стопорениях: ковш и жестко связанная с ним часть рабочего оборудования и передач вплоть до ведомой части муфты предельного момента застопориваются, а привод продолжает работать с нагрузкой на валу, равной стопорному моменту, передаваемому муфтой. Соответственно кинетическая энергия, запасенная во вращающихся массах привода, при стопорениях остается практически неизменной и не влияет на динамические нагрузки в рабочем оборудовании. Необходимо учитывать, что при индивидуальном электроприводе механизмов подъема и тяги основную долю в суммарном приведенном моменте инерции системы занимает момент инерции двигателей. Поэтому разобщение привода и механизма, при резких стопорениях ковша в значительной степени снижает динамические нагрузки в рабочем оборудовании.

Однако применительно к экскаваторам средней и большой производительности механический способ ограничения момента обладает значительными недостатками. При средней и большой мощности привода габариты фрикционов велики, частые стопорения и перегрузки вызывают их нагревание и быстрый износ. Переходные процессы пуска, реверса и торможения механизма сопровождаются значительными потерями при пробуксовывании муфты, что вызывает дополнительный нагрев и износ, а также повышает расход энергии на кубометр вынутого грунта.

Поэтому на экскаваторах средней и большой производительности этот метод в качестве основного средства ограничения момента применения не находит. Другой способ является основным средством защиты от опасных нагрузок как механизма, так и двигателей. Ограничение момента электропривода обеспечивается автоматическим воздействием на систему управления.

Основным рабочим средством ограничения момента электропривода основных механизмов экскаватора является формирование так называемой экскаваторной механической характеристики электропривода. Этот способ лежит в основе всех применяемых систем индивидуального электропривода основных механизмов экскаваторов.

Для того чтобы электропривод при нормальных статических нагрузках развивал требуемую рабочую скорость, а при механических перегрузках обеспечивал ограничение момента, необходима специальная форма механической характеристики. В пределах изменения нагрузки от нуля до нормальной рабочей нагрузки (например, при подъеме груженого ковша) желательно иметь стабильную рабочую скорость механизма, т. е. соответствующий участок механической характеристики должен иметь высокую жесткость. В зоне перегрузок желательно значительное снижение скорости вплоть до нуля при нагрузке, равной стопорному значению. Соответствующую указанным требованиям механическую характеристику называют экскаваторной (см. рисунок 12). В статическом режиме такая характеристика обеспечивает ограничение момента при перегрузках.

Форму экскаваторной характеристики принято оценивать величиной коэффициента заполнения

$$k_{зап} = \frac{m_n m_M S_x}{n_0 M_{стоп}}$$

где m_n ; m_M - масштабные коэффициенты соответственно по оси n и по оси M , (об/мин)/мм, кГм/мм; S_x - площадь, ограниченная осями координат и механической характеристикой, мм².

Из приведенного выражения следует, что коэффициент заполнения равен отношению площади, ограниченной характеристикой и осями координат, к площади, ограниченной идеальной (прямоугольной) экскаваторной характеристикой (на рисунке 12 показана пунктирной линией 5).

Заполнение экскаваторной характеристики часто оценивают также с помощью коэффициента отсечки $k_{отс}$:

$$k_{отс} = \frac{M_{отс}}{M_{стоп}},$$

где $M_{отс}$ - граничное значение момента между жестким рабочим участком экскаваторной характеристики и ее падающим участком.

Очевидно, что для идеальной характеристики $k_{зап} = 1$ и $k_{отс} = 1$.

Для приводов всех копающих механизмов (подъема и тяги драглайна) при проектировании и наладке выбирают относительно невысокие коэффициенты отсечки. Чем более тяжелыми являются условия

ограничения момента при стопорениях, тем меньше требуемое заполнение экскаваторной характеристики. Так, для механизмов подъема принимают $k_{отс} = 0,75 - 0,85$ (кривая 1 на рисунке 12), а для механизма тяги $k_{отс} = 0,6 - 0,7$ (кривая 2 на рисунке 12), причем меньшие значения соответствуют карьерным экскаваторам. Эти требования вытекают из особенностей работы экскаватора при копании: машинист должен чувствовать по заметному снижению скорости увеличение загрузки механизма и вовремя предотвращать его возможное стопорение.

При высоком заполнении характеристики переход к быстрому снижению скорости даже при перегрузках в нормальном режиме копания является для машиниста неожиданным, и вероятность стопорений увеличивается. Слишком частые стопорения увеличивают продолжительность копания, снижают производительность экскаватора и увеличивают нагрев электрических машин.

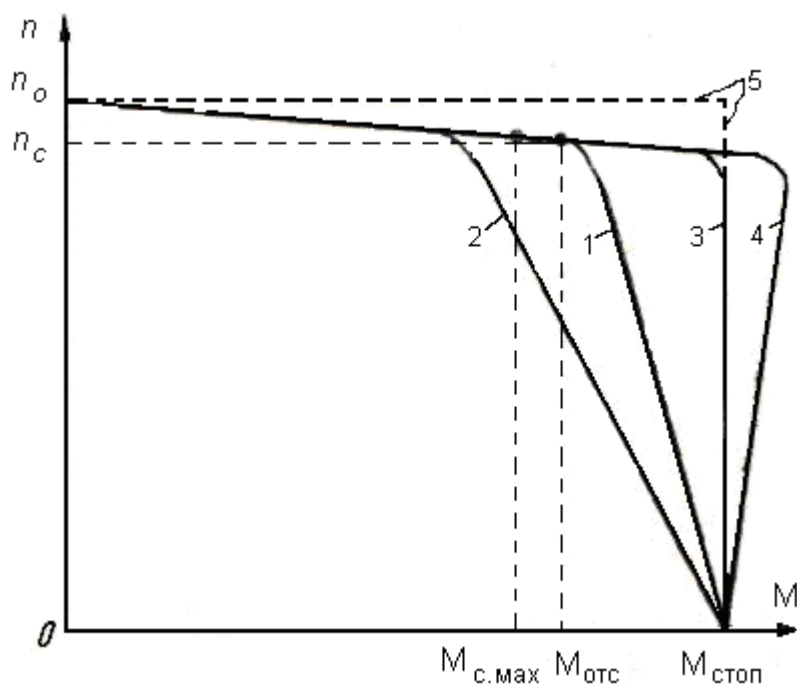


Рисунок 12. Экскаваторные механические характеристики

Экскаваторная характеристика электроприводов копающих механизмов является необходимым, но недостаточным условием ограничения момента. При неблагоприятных динамических свойствах системы электропривода в режимах резких стопорений возможно возникновение пиков момента, значительно превышающих стопорное значение, соответствующее статической экскаваторной характеристике.

Вероятность возникновения механических перегрузок характерна и для остальных основных механизмов, не участвующих непосредственно в процессе копания. Как выше указывалось, электропривод, подъема драглайна в процессе копания играет вспомогательную роль и имеет в этом режиме незначительную нагрузку. Однако опасные механические перегрузки могут возникать при отрыве ковша после копания, при подъеме груженого ковша в условиях большой растяжки и т. п. Хотя и в меньшей степени, но вероятны такие механические перегрузки и на механизме поворота, например при зачистке забоя. Поэтому требование ограничения момента при механических перегрузках предъявляется ко всем главным электроприводам экскаваторов, и основным средством ограничения момента является использование электропривода с экскаваторной характеристикой.

Однако требования к форме экскаваторной характеристики для механизмов, не участвующих в копании, существенно отличны.

Работа электроприводов экскаватора связана с частыми пусками, реверсами и торможениями, которые занимают значительную часть общего времени цикла экскавации. Поэтому качество переходных процессов приводов и их длительность существенно влияют на производительность машины в целом.

Характерной особенностью электропривода подъема драглайна является невысокое допустимое значение стопорного момента, ограничиваемое прочностью легкой упругой и длинной стрелы, в сравнении с максимальными статическими нагрузками при отрыве и подъеме груженого ковша. Статический момент при подъеме груженого ковша по обычной траектории достигает 60 - 70% стопорного момента. Поэтому возможные значения динамической составляющей момента привода при пуске с наибольшей нагрузкой ограничиваются 20 - 30% стопорного момента. Если динамические качества системы электропривода неблагоприятны, переходные процессы затягиваются, что в конечном счете может заметно увеличивать время рабочего цикла.

Предположим, что электропривод подъема драглайна имеет экскаваторную характеристику 1 (см. рисунок 12) и что в процессе пуска с $M_c = M_{c, \max}$ привод развивает при каждом значении скорости момент в соответствии с этой характеристикой. Известно, что при этом время пуска до скорости n_c приближенно можно оценить, если заменить фактические значения пускового момента, который в действительности будет меняться от $M_{\Pi} = M_{\text{стоп}}$ до $M_{\Pi} = M_{c, \max}$, средним пусковым моментом

$$M_{п.ср} = \frac{M_{стоп} + M_{с.мах}}{2}.$$

При этом время пуска в соответствии с выражением составит

$$t_{п.1} = \frac{GD^2}{375} \times \frac{n_c}{M_{п.ср} - M_{с.мах}}.$$

Очевидно, при идеальной экскаваторной характеристике $M_{п.ср} = M_{с.мах}$ и время пуска до скорости n_c уменьшится:

$$t_{п.2} = \frac{GD^2}{375} \times \frac{n_c}{M_{стоп} - M_{с.мах}} < t_{п.1}.$$

Приведенное сопоставление свидетельствует о том, что для получения минимальной длительности переходных процессов желательна экскаваторная характеристика с высоким заполнением. Поэтому при проектировании и наладке электропривода подъема драглайна стремятся к получению вертикально падающего участка экскаваторной характеристики при $M = M_{стоп}$ (кривая 3 на рисунок 12).

Рассмотрим требования, предъявляемые к экскаваторным электроприводам в отношении регулирования скорости.

Для электроприводов подъема и тяги драглайна необходимо регулирование скорости в диапазоне (3 - 4) : 1 вниз от основной для необходимой подрегулировки скорости в рабочем цикле главным образом при копании, а также для производства вспомогательных, подготовительных и монтажных работ (запасовка канатов, подъем и опускание стрелы и т. п.). Кроме того, при электроприводе постоянного тока на этих механизмах используется ослабление поля двигателя для увеличения скорости при спуске ковша, вытравливании тяговых канатов и т. д. на 25 - 50% по отношению к основной.

При регулировании скорости вниз от основной особых требований в отношении коэффициента заполнения характеристик не выдвигается. В частности, вполне удовлетворительны линейные промежуточные характеристики привода с независимым или мало меняющимся от положения командоконтроллера стопорным моментом. Специальные требования предъявляются к механической характеристике привода, соответствующей нулевому положению командоконтроллера. Они связаны с необходимостью удержания ковша в этом режиме почти в неподвижном состоянии без наложения механического тормоза.

Для этого необходимо, чтобы механическая характеристика, соответствующая нулевому положению командоконтроллера, имела в зоне нормальных нагрузок высокую жесткость.

Все изложенное позволяет заключить, что основные механизмы одноковшовых экскаваторов работают в тяжелых режимах и предъявляют к своим электроприводам комплекс весьма сложных требований. Система электропривода, удовлетворяющая этим требованиям, должна быть в то же время достаточно простой и надежной, так как в конечном счете производительность машины определяется не только длительностью цикла экскавации, но и безотказной работой всего оборудования.

Удовлетворить всем перечисленным требованиям может только система электропривода, обладающая высокой управляемостью, хорошими статическими и динамическими качествами.

Попытки использования на экскаваторах средней производительности асинхронного электропривода не дали положительных результатов. Причиной является невысокая управляемость асинхронного электропривода. Так как все главные приводы работают со сниженной средней скоростью либо вследствие механических перегрузок, либо при пусках и торможениях, потери на скольжение составляют значительную долю номинальной мощности приводов. Эти потери существенно увеличивают расход энергии на кубометр вынутого грунта.

Одно из основных технических направлений в развитии современного электропривода карьерных машин, это применение тиристорного электропривода постоянного тока. Широкие возможности применения привода по системе (ТП-Д) и (Г-Д) на экскаваторах. У каждого есть свои преимущества и недостатки.

По первоначальным капитальным затратам вариант Г-Д имеет большую общую стоимость. Сравнение по объему занимаемой площади показывает преимущества тиристорного привода. Тиристорный преобразователь не требует надзора, за исключением периодического осмотра. Агрегат Г-Д нуждается в периодической замене изнашиваемых деталей (подшипников, щеток и др.), контроле изоляции, очистке обмоток, шлифовке коллектора и т. д., что обуславливает наличие дополнительных эксплуатационных расходов.

Высокая отработанность конструкции агрегатов Г-Д обеспечивает их высокую надежность, тем не менее не исключены повреждения в подвижных частях - коллекторе, подшипниках, а также в обмотках. Ликвидация их требует большой затраты времени и средств. Опыт последних лет показал, что тиристорные преобразователи превосходят агрегаты Г-Д по уровню надежности. Блочная конструкция тиристорного преобразователя обеспечивает быструю замену поврежденных деталей и узлов.

Вариант с тиристорным преобразователем имеет преимущество перед вариантом Г-Д в потреблении активной электроэнергии. Привод ТП-Д имеет большие преимущества по сравнению с Г-Д и по своим динамическим характеристикам.

Наряду с большими преимуществами перед системой Г-Д привод ТП-Д имеет и ряд недостатков:

- сопоставление по потреблению реактивной мощности показывает преимущество варианта Г-Д с синхронным двигателем;

- в приводе ТП-Д все толчки нагрузки передаются в сеть, а все колебания сети вызывают колебания скорости двигателя;

- в приводе ТП-Д условия работы машины постоянного тока зависят от величины пульсаций выпрямленного тока преобразователя. Увеличение пульсаций тока приводит к ухудшению коммутации двигателя и возникновению дополнительных потерь. Для устранения этих явлений приходится принимать специальные меры, связанные с некоторыми осложнениями привода;

- относительно небольшая мощность тиристоров.

Перечисленные недостатки могут быть полностью или частично устранены в зависимости от правильного выбора силовой схемы преобразователя и метода управления им.

Общие требования к электроприводу механизма подъема ЭШ 20/90:

- 1.Обеспечение заданного технологического процесса и требуемой производительности.

- 2.Обеспечение требуемых условий пуска и торможения, а также реверсирования и регулирования скорости.

- 3.Ограничение перегрузок, динамических и ударных.

- 4.Автоматическое управление от заданных величин.

- 5.Требование по надежности (время наработки на отказ).

- 6.Требование по конструктивной защищенности электрооборудования (степени защиты оболочек), по условиям окружающей среды, климатическому исполнению.

- 7.Экономические показатели: стоимость электропривода и затраты электроэнергии на его работу.

- 8.Экологические требования: уровень шума и ограничение влияния электропривода на питающую сеть (искажение, вызванное высшими гармониками тока).

- 9.Параметры электроснабжения (величина напряжения, частоты, допустимые отклонения).

1.6 Техническое задание

Электропривод механизма подъема одноковшового экскаватора ЭШ 20/90, должен удовлетворять 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 - реактивная;
- работа в повторно-кратковременном режиме с переменной нагрузкой;
- время реверсирования не более 5с;
- максимальная линейная скорость ковша;
- экскаваторная характеристика;
- характеристика удержания в 0-м положении командоконтроллера;
- управление от сельсинного командоконтроллера без фиксированных положений;
- допустимая перегрузка двигателя в переходных режимах $I_{\text{МАКС}}/I_{\text{НОМ}} = 2,5 \text{ А}$.

Электропривод должен иметь систему сигнализации, блокировок и защиты, обеспечивающую надежную безаварийную и безопасную эксплуатацию оборудования.

2 Выбор электрооборудования. Проверка электродвигателей по скорости, мощности и нагреву

2.1 Система пуска агрегата и возбуждения приводного синхронного двигателя экскаватора ЭШ 20/90

Основным элементом системы является шкаф разгона и возбуждения синхронного двигателя ШРВСДШ. В процессе разгона ШРВСДШ взаимодействует с другими шкафами и пультами.

Система обеспечивает два режима пуска агрегата: пуск агрегата с разгоном и прямой пуск агрегата.

Пуск агрегата с разгоном является основным режимом пуска.

При разгоне осуществляется плавный разгон агрегата до скорости, близкой к подсинхронной, за счет момента создаваемого генератором

поворота, работающим в двигательном режиме. На время разгона контактор КМ в шкафу 1ШК1 отключает генератор от двигателей поворота.

Питание якорной цепи генератора осуществляется от тиристорного преобразователя, входящего в состав ШРВСДШ. В этом случае преобразователь получает питание непосредственно от сети -380V. Регулятор, реализуемый панелью микропроцессорной системы управления МСУ, входящей в шкаф ШРВСДШ, обеспечивает разгон с постоянным якорным током.

Обмотка возбуждения генератора поворота в процессе разгона питается от транзисторного возбудителя, входящего в состав ШВУ. Этот же возбудитель используется в приводе поворота экскаватора, поэтому никакой перекоммутации обмотки возбуждения генератора для обеспечения функции разгона не требуется. При разгоне возбуждение генератора регулируется блоком БМСУ, входящим в состав ШВУ. Этот блок по мере разгона обеспечивает ослабление поля генератора, с тем, чтобы при увеличивающейся скорости вращения агрегата ЭДС генератора соответствовала (с учетом падения напряжения от якорного тока) выходному напряжению тиристорного преобразователя ШРВСДШ.

Информация о достижении подсинхронной скорости поступает в ШРВСДШ от датчика скорости, установленного на четырехмашинном агрегате.

После поступления этого сигнала: снимаются импульсы с тиристорного преобразователя ШРВСДШ и затем - с возбудителя в ШВУ; тиристорный преобразователь переключается на питание от трансформатора, а по выходу - на обмотку возбуждения синхронного двигателя (далее СД).

На любой стадии может быть прекращен процесс разгона и СД отключается от сети ~ 6 kV, если вакуумный выключатель до этого был уже включен. Отключение СД от сети может быть также произведено из кабин кнопками SB 1 «Стоп агрегата» на пультах ПУ1 и ПУ2.

Параметры синхронного электродвигателя ДСЭ 2500-6-750 У3 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры синхронного электродвигателя ДСЭ 2500-6-750

Наименование параметров	Примечание
Мощность, кВт	2500
Напряжение, В	6000
Частота, Гц	50
Частота вращения, об/мин	750
Коэффициент мощности $\cos f$	0.95
Кратность пускового момента	1.05
Кратность максимального момента	2.2
Ток статора, А	259
Кратность пускового тока, А	5.8
Ток возбуждения (амп), А:	
при ХХ	191
при ном. нагрузки $\cos f = 0.95$	341
при ном. нагрузки $\cos f = 0$	397
Соединение фаз	У

2.2 Проверка электродвигателя по мощности и техническим условиям

Электропривод механизма подъема работает в повторно - кратковременном режиме, характерной особенностью которого являются частые пуски и остановки двигателя. Известно, что потери энергии в переходных процессах непосредственно зависят от момента инерции электропривода J_a , основную долю которого составляет момент инерции двигателя $J_{дв}$.

Поэтому для электроприводов экскаваторных механизмов применяются специальные электродвигатели, которые при требуемых мощности и скорости имеют небольшой момент инерции.

По условиям нагрева для механизма подъема требуется высокая перегрузочная способность двигателя, так как при пуске с повышенной статической нагрузкой двигатель должен развивать повышенный пусковой момент, превосходящий статический на значение требуемого динамического момента. Требование высокой перегрузочной способности определяется также необходимостью преодоления кратковременных механических перегрузок, возникающих при отрыве груженого ковша.

Методика проверки электродвигателей подъема сводится к определению требуемой средневзвешенной мощности двигателей и эквивалентного момента, который не должен превышать номинальный момент электродвигателя.

2.3 Определение масс и линейных размеров конструктивных элементов экскаватора

Главные параметры экскаватора задаются при проектировании машин; основные параметры экскаватора определяют в функции от главных, по эмпирическим зависимостям.

На основании опыта, накопленного при проектировании и испытаниях экскаваторов, установлено, что многие линейные, массовые, энергетические и скоростные параметры экскаваторов, а также время его рабочего цикла с достаточной для инженерных расчетов точностью могут быть определены в зависимости от емкости ковша E (m^3), длины стрелы (высоты черпания) и выбранного типа рабочего оборудования по эмпирическим зависимостям [2].

Масса экскаватора:

$$m_{\text{э}} = K_2 E L_C + b = 0.88 \times 20 \times 90 + 46 = 1630 \text{ т},$$

где $K_2 = 0.88$ и $b = 46$ – для трубчатой треугольной стрелы.

Радиус черпания, не более:

$$R_{\text{ч. max}} = 0.96 L_C = 0.96 \times 90 = 86.4 \text{ м}.$$

Высота черпания, не более:

$$H_{\text{ч. max}} = 0.45 L_C = 0.45 \times 90 = 45 \text{ м}.$$

Радиус разгрузки, не более:

$$R_{\text{р. max}} = 0.95 L_C = 0.95 \times 90 = 85.5 \text{ м}.$$

Высота разгрузки, не более:

$$H_{\text{р. max}} = 0.42 L_C = 0.42 \times 90 = 37.8 \text{ м}.$$

Линейные размеры ковша драглайна.

$$\text{Ширина: } B_{\text{к.д}} = 1.15 \sqrt[3]{E} = 1.15 \sqrt[3]{20} = 3.1 \text{ м}.$$

$$\text{Длина: } L_{\text{к.д}} = 1.2 \times B_{\text{к.д}} = 1.2 \times 3.1 = 3.8 \text{ м}.$$

$$\text{Высота: } h_{\text{к.д}} = 0.65 \times B_{\text{к.д}} = 0.65 \times 3.1 = 2.1 \text{ м}.$$

Масса ковша:

$$m_{\text{к.д}} = K_1 (K_2 + E) E^{\frac{2}{3}} = 0.0925 (20 + 20) 20^{\frac{2}{3}} = 27.3 \text{ т},$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты пропорциональности, соответственно 0.0925 и 20 для средних пород.

Вес ковша:

$$G_{\text{к.д}} = g m_{\text{к.д}} = 9.81 \times 27.3 \times 10^3 = 267800 \text{ Н}.$$

Масса породы в ковше:

$$m_{\Pi} = \frac{Eg}{K_p} = \frac{20 \times 3}{1.3} = 46.2 \text{ т,}$$

где, значения g - плотность породы и K_p - коэффициент разрыхления взяты из таблицы (табл.10.1прилож)

Масса ковша и породы:

$$m_{K+\Pi} = m_K + m_{\Pi} = 27.3 + 46.2 = 73.5 \text{ т.}$$

Вес ковша с породой:

$$G_{K.д} = gm_{K+\Pi.д} = 9.81 \times 73500 = 721000H.$$

2.4 Определение нагрузок механизма подъема

На рисунке 13 представлены расчетные схемы для определения усилий в главных механизмах драглайна и построены нагрузочные и скоростные диаграммы их двигателей.

Время, необходимое для поворота платформы драглайна с грузеным ковшом на разгрузку и с порожним ковшом к забою, составляет 70 - 80% времени полного цикла, поэтому при построении нагрузочных и скоростных диаграмм для определения средневзвешенной мощности приводов главных механизмов время цикла работы драглайна следует разбивать на следующие периоды: время копания $t_k = 0,3t_{ц}$, время поворота на разгрузку t_p и к забою t_3 , причем $t_p = t_3 = 0,35 t_{ц}$.

В процессе копания двигатель механизма подъема не нагружен

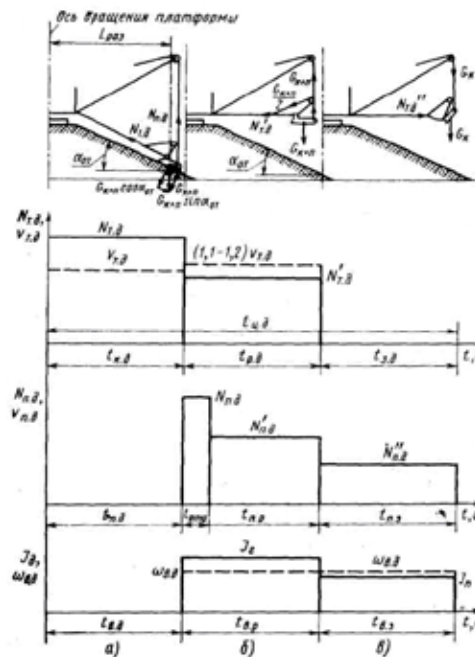


Рисунок 13. Схемы работы драглайна (а - копания; б - поворота грузеного ковша на разгрузку; в - поворот порожнего ковша на разгрузку; в - поворота порожнего ковша к забою) и диаграммы нагрузки (сплошная линия) и скорости (пунктирная линия) главных механизмов

($N_{п.д} @0$). При отрыве ковша от забоя, длительность которого не превышает $t_{отр} = 2 - 3$ с, усилие в подъемном канате определяется по формуле

$$N_{п.д} = (1.5, 1.7)G_{к+п} = 1.7 \times 721000 = 1226000H.$$

Частота вращения подъемного двигателя при этом близка к номинальной $v_{пд} = v_{пд.н}$.

При дальнейшем подъеме ковша с породой и повороте его к месту разгрузки усилие в подъемном канате равно

$$N_{п.д}^{\cdot} = G_{к+п} = 721000H.$$

Подъем груженого ковша должен происходить с номинальной скоростью $v_{пд.н}$, достаточной для прохождения пути от максимальной глубины черпания до максимальной высоты разгрузки ковша за время поворота экскаватора на 120° .

При повороте платформы к забою спуск ковша осуществляется в режиме ослабления поля возбуждения двигателя при скорости на 10 - 30% больше номинальной скорости подъема ковша. Усилие в подъемном канате при этом создается только массой порожнего ковша.

$$N_{п.д}^{\cdot\cdot} = G_k = 267800H.$$

Мощность двигателя подъемного механизма в момент отрыва ковша от забоя

$$P_{п.д} = \frac{N_{п.д} v_{п.д}}{h_{п.д}} = \frac{1226000 \times 2.64}{0.8} = 4046 \text{ кВт.}$$

Мощность двигателя подъемного механизма при повороте платформы на разгрузку

$$P_{п.д}^{\cdot} = \frac{N_{п.д}^{\cdot} v_{п.д}}{h_{п.д}} = \frac{721000 \times 2.64}{0.8} = 2379 \text{ кВт.}$$

При повороте платформы к забою спуск ковша осуществляется в режиме ослабления поля возбуждения двигателя при скорости на 10 - 30% больше номинальной скорости подъема ковша.

Мощность двигателя подъемного механизма в этот период

$$P_{п.д}^{\cdot\cdot} = \frac{N_{п.д}^{\cdot\cdot} v_{п.д}}{h_{п.д}} = \frac{267800 \times 2.64}{0.8} = 884 \text{ кВт.}$$

Расчетная продолжительность цикла при повороте на 120 град. и концевом проходе, при средней глубине копания до 25м в грунтах I категорий, 60 сек.

Принимаем: $t_{отр} = 3$ сек., время поворота на возвращение в забой $t_{з.д} = 0.35t_{ц.д}$ и время поворота на разгрузку $t_{р.д} = 0.35t_{ц.д} = t_{п.д} + t_{отр}$

(см. рисунок14).

Нагрузочные и скоростные диаграммы механизма подъема драглайна приведены на рисунке 14.

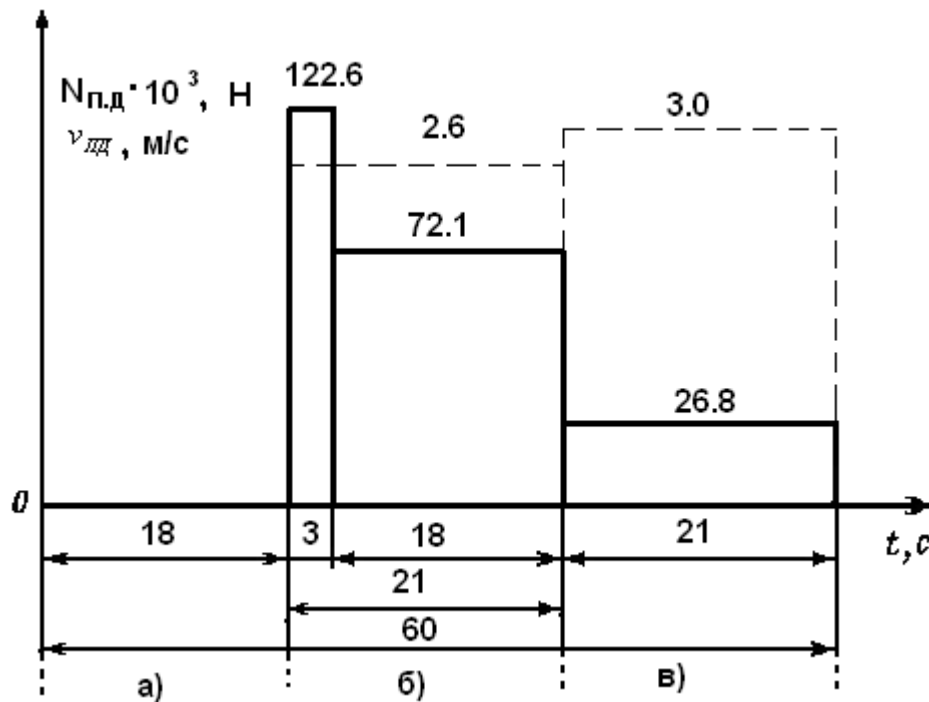


Рисунок 14. Нагрузочные (—) и скоростные (-----) диаграммы механизма подъема драглайна

а – период капания; б – период поворота груженого ковша на разгрузку; в – период поворота порожнего ковша к забою.

Средневзвешенная мощность двигателя подъемного механизма

$$P_{п.д(св)} = \frac{P_{п.д} t_{отр} + P_{п.д} t_{п.р} + P_{п.д} t_{п.з}}{t_{отр} + t_{п.р} + t_{п.з}} = \frac{4046 \times 3 + 2379 \times 18 + 884 \times 21}{3 + 18 + 21} = 1750 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенная мощность одного двигателя подъемного механизма при использовании двух двигателей на подъем

$$P_{п.д(св)} = \frac{P_{п.д}}{2} = \frac{1750}{2} = 875 \text{ кВт.}$$

2.5 Определение скорости вращения двигателей

Кинетическая схема механизма подъема (см.рисунок 5) и схема навески канатов подъема (см.рисунок 9) совместно образуют компоновочную схему механизма подъема.

Подъемный механизм двухступенчатый цилиндрический редуктор с барабаном на выходном валу.

Определим частоту вращения барабана подъемной лебедки

$$n_{\text{БАР}} = \frac{60v_{\text{КАН}}i_{\text{ПОЛ}}}{\rho D_{\text{БАР}}} = \frac{60 \times 2.64 \times 1}{3.14 \times 1.8} = 28 \text{ об / мин},$$

где $i_{\text{ПОЛ}} = 1$ определяется по схеме навеске канатов (см. рисунок 9).

Диаметр $D_{\text{БАР}}$ найден по эмпирической формуле

$$D_{\text{БАР}} = (25, 32)d_{\text{КАН}} \times 10^{-3} = 28 \times 64 \times 10^{-3} = 1.8 \text{ м}.$$

Диаметр каната $d_{\text{КАН}}$ принят [2] по расчетному усилию

$$N_{\text{КАН.Л}} = \frac{5N_{\text{П.Л}}}{a_{\text{ДВ}}i_{\text{ПОЛ}}0.75} = \frac{5 \times 72100}{2 \times 1 \times 0.75} = 2403 \text{ кН},$$

где $a_{\text{ДВ}} = 2$ – число двигателей подъемного механизма.

$$N_{\text{КАН.П(РАСЧ)}} \leq N_{\text{КАН.П(ВЫБР)}}.$$

Ближайший канат по разрывному усилию имеет диаметр $d_{\text{КАН}} = 64 \text{ мм}$

$$N_{\text{КАН.П(РАСЧ)}} = 2403 \text{ кН} \leq N_{\text{КАН.П(ВЫБР)}} = 2940 \text{ кН}.$$

Требуемая максимальная скорость вращения двигателя

$$n_{\text{ДВ}} = i_{\text{РЕД}} \times n_{\text{БАР}} = 22.53 \times 28 = 630.84 \text{ об / мин}.$$

2.6 Проверка электродвигателей по нагреву. Расчет нагрузок привода подъема

Механизм подъема экскаватора ЭШ 20/90 приводится в движение двумя электродвигателями постоянного тока типа МПЭ - 1120 - 630 УЗ, имеющие следующие технические параметры (таблица 2.2):

Таблица 2.2 – Технические параметры

Наименование параметров	Примечание
Мощность, кВт	1120
Напряжение, В	600
Частота вращения, об/мин	630
К.п.д при номинальной нагрузке	94.4
Номинальный ток, А	1980
Максимальный ток $I_{\text{МАХ}}$, А	$I_{\text{Н}} 2.5$
Ток отключения $I_{\text{ОТКЛ}}$, А	$I_{\text{Н}} 2.75$
Число полюсов 2р	6
Ток возбуждения $I_{\text{ВН}}$, А:	39
Напряжение возбуждения, В	141
Момент инерции якоря, $\text{кг} \times \text{м}^2$	134

Определяем номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{30P_{дв.н}}{\rho \times n_H} = \frac{30 \times 120000}{\rho \times 630} = 16977 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Момент инерции редуктора с барабаном и поступательно перемещающихся ковша и породы:

ковша

$$J_K = 91 \frac{m_{к.д} \times J_{п.д}^2}{a_{дв} \times n_{ном.п}^2} = 91 \frac{27300 \times 2.64^2}{2 \times 630^2} = 21.8 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

породы

$$J_{п} = 91 \frac{m_{п} \times J_{п.д}^2}{a_{дв} \times n_{ном.п}^2} = 91 \frac{46200 \times 2.64^2}{2 \times 630^2} = 36.9 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

редуктора

$$J_{ред.б} = 0.2 \times 134 = 26.8 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Моменты двигателя принимаем в соответствии с рекомендациями [см. подраздел 1.5]

стопорный

$$M_{ст.п} = 2.5M_{дв.н} = 2.5 \times 16977 = 42443 \text{ Н} \times \text{м},$$

отсечки

$$M_{отс.п} = 0.85M_{ст.п} = 0.85 \times 42443 = 36077 \text{ Н} \times \text{м},$$

Момент сопротивления при отрыве ковша от забоя

$$M_1 = \frac{N_{п.д} D_{бар}}{2 \times i_{ред} \times \eta_{п.д}} = \frac{1226000 \times 1.8}{2 \times 2 \times 22.53 \times 0.8} = 30609 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Динамический момент при разгоне двигателя

$$M_2 = M_{дв.п} - M_1 = 39260 - 30609 = 8651 \text{ Н} \times \text{м},$$

где $M_{дв.п} = \frac{M_{ст.п} + M_{отс.п}}{2} = \frac{42443 + 36077}{2} = 39260 \text{ Н} \times \text{м}.$

Время разгона двигателя

$$t_1 = \frac{J}{a} \frac{w_{п.д}}{M_2} = (21.8 + 36.9 + 26.8 + 134) \frac{66}{8651} = 1.67 \text{ с},$$

где $w_{п.д} = \frac{\rho}{30} \times n_{ном.п} = 0.105 \times 630 = 66 \text{ рад} / \text{с}.$

Момент, развиваемый двигателем при отрыве ковша с грунтом от забоя

$$M_3 = M_{дв.п} = 39260 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Момент при подъеме груженого ковша над забоем

$$M_4 = \frac{N_{п.д} D_{бар}}{2 \times i_{ред} \times \eta_{п.д}} = \frac{721000 \times 1.8}{2 \times 2 \times 22.53 \times 0.8} = 18000 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Момент торможения ковша при разгрузке

$$M_5 = M_{дв.п} - M_6 = 39260 - 11520 = 27740 \text{ Н} \times \text{м}.$$

где
$$M_6 = \frac{N_{п.д} D_{бар} h_{п.д}}{2 \times \eta_{ред}} = \frac{721000 \times 1.8 \times 0.8}{2 \times 2 \times 2.53} = 11520 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Время торможения

$$t_2 = \overset{\circ}{a} J \frac{W_{п.д}}{M_5} = (21.8 + 36.8 + 26.8 + 134) \frac{66}{27740} = 0.5 \text{ с}.$$

Момент двигателя при торможении

$$M_7 = M_{дв.п} - M_4 = 39260 - 18000 = 21260 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Время копания грунта в среднем от цикла $t_k = 0,3t_{ц} = 18 \text{ с}$ оно может быть меньше или больше и определяется технологией ведения работ и является усредненным в качестве расчетного. Время подъема ковша над забоем до начала поворота определяется технологией ведения работы. При повороте платформы с груженным ковшом к месту разгрузки подъемный механизм может работать как в режиме дальнейшего подъема ковша, так и в режиме его спуска. Наиболее тяжелый будет режим подъема груженого ковша. Поэтому этот режим принят в качестве расчетного. Подъем ковша совместно с поворотом платформы (считаем тип забоя позволяет начать поворот совместно с подъемом) продолжается до конца поворота платформы с установленной скоростью. Поэтому считаем в качестве расчетного продолжительность подъема равной продолжительности поворота с учетом времени отрыва и времени торможения $t_{п.д} = 0.35t_{ц.д} - t_1 - t_2 = 0.35 \times 60 - 1.67 - 0.5 = 18.8 \text{ с}$, также время

поворота на возвращение в забой $t_{3.д} = 0.35t_{ц.д}$, где время спуска ковша с учетом времени разгона и торможения $t_{с.д} = 0.35t_{ц.д} - t_3 - t_4 = 0.35 \times 60 - 0.3 - 0.4 = 20.3 \text{ с}.$

Момент сопротивления при спуске порожнего ковша в забой

$$M_8 = \frac{N_{п.д} D_{бар}}{2 \times \eta_{ред} \eta_{п.д}} = \frac{267800 \times 1.8}{2 \times 2 \times 2.53 \times 0.8} = 6686 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Динамический момент при разгоне двигателя на спуск порожнего ковша

$$M_9 = M_{дв.п} + M_8 = 39260 + 6686 = 45946 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Время разгона двигателя при спуске порожнего ковша

$$t_3 = \overset{\circ}{a} J \frac{1.1 W_{п.д}}{M_9} = (21.8 + 26.8 + 134) \frac{1.1 \times 66}{45946} = 0.3 \text{ с}.$$

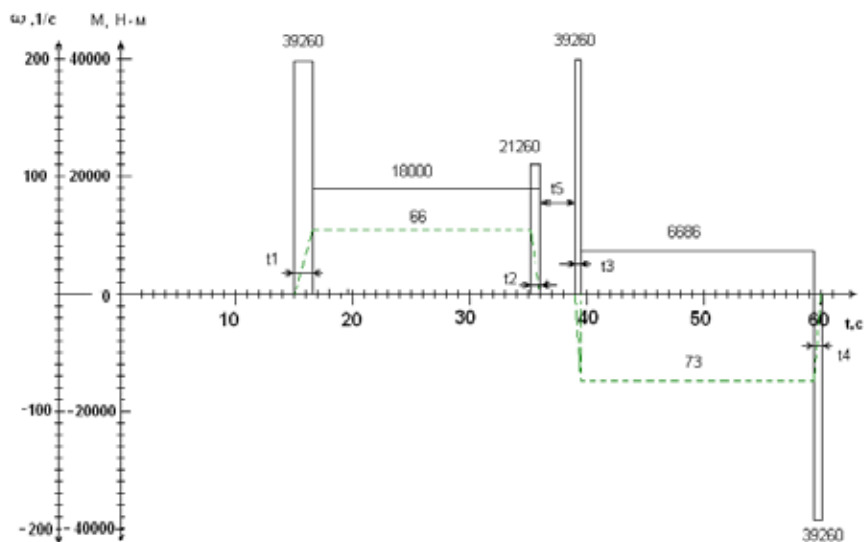


Рисунок 15. Нагрузочные (—) и скоростные (-----) диаграммы двигателя подъемного механизма драглайна.

$t_1 = 1.64\text{c}$ - время разгона двигателя; $t_2 = 0.5\text{c}$ - время торможения при разгрузке; $t_3 = 0.3\text{c}$ - время разгона двигателя при спуске порожнего ковша в забой; $t_4 = 0.4\text{c}$ - время торможения при спуске порожнего ковша в забой, $t_5 = 3\text{c}$ разгрузка ковша.

Момент развиваемый двигателем при спуске ковша

$$M_{10} = M_{\text{ДВ.П}} = 39260\text{H} \times \text{м}.$$

Момент торможения при спуске порожнего ковша в забой

$$M_{11} = M_{\text{ДВ.П}} - M_8 = 39260 - 6686 = 32574\text{H} \times \text{м}.$$

Время торможения

$$t_4 = \frac{J}{M_{11}} \frac{1.1W_{\text{П.Д}}}{\text{а}} = (21.8 + 26.8 + 134) \frac{1.1 \times 66}{32574} = 0.4\text{c}.$$

Момент двигателя, развиваемый при торможении

$$M_{12} = M_{\text{ДВ.П}} = 39260\text{H} \times \text{м}.$$

Нагрузочная и скоростная диаграмма подъемного механизма показана рисунке 15.

Эквивалентный момент двигателя подъема

$$M_{\text{ЭК.П}} = \sqrt{\frac{39260^2 \times 1.67 + 18000^2 \times 8.8 + 21260^2 \times 0.5 + 39260^2 \times 0.3 + 6686^2 \times 20.3 + 39260^2 \times 0.4}{60}} = 13464.5\text{H} \times \text{м} < M_{\text{НОМ.П}} = 16977\text{H} \times \text{м}$$

Из приведенных расчетов видно, что принятый двигатель отвечает требованиям подъемного механизма по нагреву.

3 Электромеханическая система электропривода механизма подъема

Автоматизированный электропривод механизма подъема представляет собой электромеханическую систему, электрическая и механическая части которой находятся в постоянном взаимодействии. В общем случае электрическая часть привода содержит ряд накопителей и преобразователей энергии, объединенных электрическими связями, а механическая часть имеет развитую инерционную многомассовую структуру с упругими механическими связями. Управляющие и возмущающие воздействия в такой системе вызывают переходные процессы, связанные с накоплением, отдачей энергии, а также с обменом энергией между ее элементами, переходные процессы обусловлены появлением динамических нагрузок электропривода.

Полная электромеханическая схема электрического привода, учитывающая все инерционные элементы, все связи между ними и все действующие силы, обычно весьма сложна. Анализ динамических процессов в такой системе представляет значительные трудности; на практике дополнительно осложняется отсутствием количественных характеристик всех элементов и связей. Поэтому на первом этапе изучения динамических процессов главной задачей является оценка влияния отдельных факторов, и на этой основе составление упрощенной расчетной электромеханической схемы, учитывающей лишь основные инерционные элементы, связи и силы. Можно без преувеличения утверждать, что успех при изучении сложных динамических систем в значительной степени определяется тщательным выбором достаточно простой расчетной схемы, удовлетворительно отражающей основные особенности изучаемого объекта.

Примем в начале, что в рассматриваемых динамических процессах момент двигателя можно полагать величиной постоянной. В подобном случае составление расчетной электромеханической схемы сводится к определению главных инерционных элементов и связей в механической части привода.

В системе электропривода рабочего органа одноковшового экскаватора можно выделить:

– систему автоматического управления частотой вращения электродвигателя, включающую: задающее устройство, регуляторы и датчики выходных координат;

- преобразователь напряжения для питания обмоток возбуждения генератора (тиристорный возбудитель);
- генератор;
- приводные электродвигатели;
- механическое оборудование, включающее устройство передачи движущего момента рабочему органу и рабочий орган.

3.1 Обоснование выбора структуры системы регулирования электропривода механизма подъема

Электропривод механизмов должен обладать, так называемой, экскаваторной электромеханической характеристикой – достаточно жесткой на участке рабочих нагрузок и крутопадающей при больших нагрузках. Форма экскаваторной характеристики определяется предельными возможностями электрических машин, чаще всего электродвигателя, и требованиями технологического процесса и механизма.

Современные системы управления электроприводов механизмов экскаваторов реализуются по двухконтурной структуре подчиненного регулирования. Поскольку в области рабочих нагрузок механизма подъема не требует высокой жесткости характеристик привода, то во внешнем контуре регулирования достаточно ограничиться обратной связью по напряжению двигателя и регулятором напряжения пропорционального типа П–РН. В системах подчиненного регулирования ограничение тока привода достигается ограничением выходного напряжения П–РН. Для получения крутопадающей части характеристики можно получить с использованием

П–РТ в сочетании и с гибкой обратной связью по току и токовой отсечкой. В этом случае настройка параметров тока, определяющих требуемый вид статической характеристики, достигается проще.

Функциональная схема электропривода механизма подъема экскаватора ЭШ-20/90 по системе Г-Д с тиристорным возбудителем электрических машин приведена на демонстрационном листе.

Из рассмотрения данной схемы видно, что для управления системой

Г-Д применена двухконтурная структура регулирования якорного тока (момента) и напряжения (скорости) двигателей. Эта структура формирует статические и динамические характеристики главных приводов экскаватора. При этом контур регулирования тока обеспечивает ограничение тока силовой якорной цепи (момента двигателей), контур

регулирования напряжения обеспечивает управление величиной скорости каждого из главных приводов.

Контур регулирования тока содержит регулятор тока РТ и узел управляемой токовой отсечки УТО (в ячейке ЯРТ), датчик якорного тока ДТ (в ячейке ЯГР). Кроме того, в контур регулирования тока входят тиристорный возбудитель ТВГ, генератор и силовая якорная цепь генератора и двигателей. На вход регулятора РТ поступают выходные сигналы узла УТО, регулятора РН и сигнал гибкой отрицательной связи по току di_a/dt после дифференцирования выходного сигнала датчика ДТ якорного тока i_a .

В узле УТО происходит сравнение сигналов: задания тока отсечки и жесткой отрицательной связи по току, поступающего с выхода датчика ДТ. При этом сигнал задания тока отсечки формируется как сумма сигналов: начального - $U_{нач}$, равного, примерно, 70% от максимальной величины задающего сигнала и не зависящего от положения командоконтроллера, дополнительного $-|U_{фвч}|$, поступающего на вход УТО с выхода ячейки ЯФЧВ, величина которого меняется в зависимости от положения командоконтроллера и достигает в крайних положениях командоконтроллера 25% от максимальной величины и сигнала $|U_d|$ пропорционального абсолютной величине скорости двигателя. При величине скорости двигателя, превышающей примерно 40% номинального значения, сигнал задания тока отсечки начинает уменьшаться, что обеспечивает снижение якорного тока при больших скоростях, улучшая условия коммутации электрических машин главных приводов. Выходной сигнал регулятора РН, поступая на вход РТ, является дополнительным заданием якорного тока, составляющим примерно 10% от величины начального задания тока отсечки. Однако основная роль выходного сигнала регулятора напряжения РН заключается не в задании дополнительной величины якорного тока, а в задании при максимальном выходном сигнале максимальной величины производной напряжения генератора и, следовательно, максимальной величины ускорения привода в переходных процессах пуска и торможения. Величина ускорения привода уменьшается под воздействием токовой связи при величинах якорного тока, больших тока отсечки, т.е. при существенных величинах нагрузки привода. Гибкая отрицательная связь по току якоря, di_a/dt , поступая на вход УТО, обеспечивает отсутствие перерегулирования по току, т.е. апериодический характер изменения тока в переходных процессах пуска и торможения. Гибкая отрицательная связь по току, поступающая на вход РТ, определяет величину производной тока в тех же переходных

процессах. В процессах отрыва и жесткого стопорения механизма подъема контур регулирования тока обеспечивает ограничение тока главной цепи величиной, которая не может превысить стопорное значение более, чем на 10 %. Это происходит благодаря тому, что система управления совместно с тиристорным возбудителем генератора обеспечивает, в свою очередь, равенство величин скорости спадания напряжения генератора и замедления привода (двигателя) в процессах жесткого стопорения уже при 10 %-м превышении якорным током стопорного значения.

В процессах копания и отрыва ковша при больших величинах нагрузок в механизмах подъема и тяги, превышающих заданную величину уставки, контур регулирования тока в системах управления электроприводами подъема и тяги автоматически замещается контуром регулирования (снижения) момента в механических передачах. Этот контур состоит из тех же элементов, что и контур регулирования тока (тиристорного возбудителя, генератора, силовой якорной цепи), за исключением регулятора тока, который в контуре регулирования момента заменяется регулятором момента (в ячейке ЯСМП), снижающим момент в механических передачах, когда сумма величин усилия и производной усилия в упругих элементах (канатах) механической передачи превысит величину уставки. В большинстве случаев переключение на регулятор момента происходит, когда под внешним воздействием, например, при столкновении ковша с препятствием, начинается замедление привода. Однако это переключение может произойти и при постоянной скорости привода, в процессе подъема, если величина сигнала на выходе регулятора момента меньше величины сигнала на выходе регулятора тока.

Выходные сигналы регуляторов тока и момента в схемах приводов подъема и тяги поступают на СИФУ тиристорного возбудителя через узел выделения минимального сигнала, расположенного в ячейке ЯСМП (ячейке снижения механических перегрузок). С помощью этого узла и происходит переключение с контура регулирования тока на контур регулирования момента и обратно.

При работе контура регулирования тока с высокой точностью обеспечивается ограничение величины тока главной цепи стопорным значением. При работе контура регулирования момента обеспечивается уменьшение усилий при перегрузках в механических передачах и канатах механизма подъема. Отдельной частью токового контура является узел, обеспечивающий гашение остаточных токов главной цепи при наложенных тормозах.

Работа этого узла обеспечивается действием непрерывной токовой связи, подключаемой с выдержкой времени через нелинейный элемент НЭ на вход регулятора напряжения после наложения тормозов и немедленно отключаемой после снятия тормозов. Необходимостью обеспечения удержания ковша при неисправных тормозах объясняется введение элемента НЭ в цепь токовой связи при отключенном питании тормозов. Контур регулирования напряжения содержит регулятор напряжения РН в ячейке ЯРН, регулятор тока РТ, тиристорный возбудитель ТВГ, генератор, силовую якорную цепь генератора и двигателей, датчик ДН напряжения двигателей в ячейке ЯГР.

На вход регулятора РН поступают сигналы: задания, жесткой и гибкой отрицательных связей по напряжению двигателей. Задающий сигнал на вход РН поступает с выхода ячейки фазочувствительного выпрямления ЯФЧВ, где формируется выпрямленное задающее напряжение U_z . В свою очередь, ячейка ЯФЧВ получает сигнал задания от сельсинного командоаппарата СКА через разделительный трансформатор TV2. Командоаппарат СКА получает питание от стабилизатора напряжения TS через понижающий трансформатор TV1. Сигнал жесткой отрицательной связи по напряжению поступает на вход РН с выхода датчика ДН, а сигнал гибкой отрицательной связи по напряжению поступает на вход РН после дифференцирования выходного сигнала ДН.

Сравнение сигналов задания и отрицательной связи по напряжению при большом коэффициенте усиления контура регулирования напряжения обеспечивает точное поддержание заданных величин напряжения и скорости двигателей.

Гибкая отрицательная связь по напряжению обеспечивает аperiodический характер протекания переходных процессов пуска и торможения приводов.

Возбуждение двигателей управляется отдельным замкнутым контуром регулирования, состоящим из тиристорного возбудителя ТВД, ячейки ЯВД, датчика тока возбуждения двигателей ДТВ (ЯГР).

Контур регулирования тока возбуждения двигателей обеспечивает поддержание заданного тока возбуждения с высокой точностью и ослабление поля двигателей механизма подъема в режиме спуска ковша и механизма тяги в режиме разгрузки. Дополнительная функция, выполняемая контуром регулирования тока возбуждения, заключается в поддержании стояночного тока возбуждения при наложенных тормозах с целью обеспечения тормозного момента двигателя, равного, примерно,

половине номинальной величины, для удержания привода на "ползучей" скорости при неисправных или изношенных механических тормозах.

Поддержание заданного тока возбуждения двигателей обеспечивается ячейкой ЯВД благодаря наличию сигнала $I_{вд}$ жесткой отрицательной связи по току возбуждения, получаемого с выхода, ячейки ДТВ (ЯГР) и поступающего на вход нелинейного элемента НЭ2 ячейки ЯВД. На входе НЭ2 происходит сравнение сигналов: задающего - $U_{зв}$ и жесткой отрицательной обратной связи по току возбуждения двигателей. Ослабление поля двигателей подъема обеспечивается, когда величина скорости спуска ковша (напряжения на двигателях подъема) достигнет величины, примерно равной 70% от номинальной, что, в свою очередь, обеспечивается сигналом $U_{д}$, поступающим с выхода датчика напряжения двигателей ДН (ЯГР) на вход нелинейного элемента НЭ1, выходной сигнал которого поступает на сумматор.

3.2 Математическое описание. Определение параметров электромеханической системы

Объектом управления системы автоматизации технологического процесса одноковшовых экскаваторов являются взаимосвязанные электропривода рабочего органа экскаватора. Поэтому при разработке системы автоматического управления электроприводом механизма тяги необходимо составление математической модели электропривода, начинающейся с разбиения функциональной схемы электропривода на структурные звенья, которые выполняют таким образом, чтобы структурное звено модели содержало не более одной большой постоянной времени.

Выделим следующие структурные звенья электропривода механизма подъема: регулятор тока цепи якоря РТ; регулятор напряжения генератора РН; тиристорный преобразователь для питания обмоток возбуждения генератора ТПВГ, двигателя ТПВД; генератор Г; якорная цепь двигателей и генератора ЯЦ; вращающиеся массы и жестко связанные с ним элементы - звено (упругие муфты, барабан - редуктор) - M_1 (первая масса); упругое звено УЗ (канат), связывающее вал двигателей и рабочий орган; движущаяся масса ковш и порода - M_2 (вторая масса).

Датчик тока цепи якоря, напряжения генератора будем считать отдельными структурными элементами.

Задачей решаемой при составлении математического описания, является получение алгоритмической структурной схемы электропривода,

для составления которой необходимо получить передаточные функции структурных звеньев.

3.2.1 Электродвигатель механизма подъема

В результате многолетнего опыта эксплуатации экскаваторов вообще и экскаватора ЭШ 20/90 в частности разработана и выпускается промышленностью серия специализированных экскаваторных машин (с индексом Э в обозначении). Для механизма подъема и тяги экскаватора ЭШ 20/90 электродвигатели серии МПЭ-1120-630 УХЛЗ (мощность 1120 кВт) и генераторы серии ГПЭ 2500-750 УХЛЗ (мощность 2500 кВт). Электропривод двухдвигательный, что уменьшает эквивалентный момент инерции привода. Двигатели включены последовательно, что обеспечивает выравнивание нагрузок между ними без применения дополнительных устройств.

В качестве электродвигателей механизма подъема выбраны два двигателя постоянного тока типа МПЭ–1120–630 УХЛЗ, параметры которых приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1- Справочные технические данные

№ п.п.	Наименование параметра, размерность	Обозначение	Данные
1.	Номинальная мощность, кВт	P_H	1120
2.	Номинальное напряжение, В	U_H	600
3.	Номинальный ток, А	I_H	1980
4.	Номинальный момент, $H \times m$	M_H	16977
5.	Номинальная скорость вращения, об/мин	n_H	630
6.	Максимальная скорость при ослаблении потока, об/мин	$n_{МАКС}$	1000
7.	Момент инерции, $т \times м^2$	$J_{ДВ}$	134
8.	Перегрузочная способность по току, А: $I_{МАХ}$ $I_{СТОП}$	$2.5 \times I_H$ $2.75 \times I_H$	4950 5445
9.	Номинальный КПД, %	η_H	94.4
10.	Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{ВН}$	141
11.	Номинальный ток возбуждения, А	$I_{ВН}$	39
12.	Ток возбуждения при максимальной	$I_{В.МИН}$	15

	скорости, А		
13.	Сопротивление обмотки якоря при +15°С, Ом	$R_{OЯ}$	0.00394
14.	Сопротивление обмотки добавочных полюсов при +15°С, Ом	$R_{ДП}$	0.00102
15.	Сопротивление компенсационной обмотки при +15°С, Ом	$R_{КО}$	0.00239
16.	Сопротивление обмотки возбуждения при +15°С, Ом	$R_{ОВ}$	2.7
17.	Число полюсов	2р	6
18.	Число параллельных ветвей обмотки якоря	2а	3
19.	Число витков обмотки возбуждения на полюс	W_B	226

3.2.2 Расчетные параметры электродвигателя

Расчетные параметры приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Расчетные параметры электродвигателя

№ п.п	Наименование расчетного параметра, размерность	Расчетная формула, обозначение	Данные
1.	Сопротивление двигателя (цепи якоря) при +15°С, Ом	$R_{ДВ} = R_{OЯ} + R_{ДП} + R_{КО}$	0.00735
2.	Сопротивление двигателя горячее (перегрев +75°С), Ом	$R_{ДВ.ГОР} = 1.3 \times R_{ДВ}$	0.00956
3.	Номинальная угловая скорость вращения, рад/с	$\omega_H = \frac{\rho}{30} \times n_H$	65.97
4.	Максимальная угловая скорость вращения при ослабленном поле, рад/с	$\omega_{MAX} = \frac{\rho}{30} \times n_{MAX}$	104.7
5.	Коэффициент ЭДС ($B \times c / рад$) и электромагнитного момента ($H \times м / А$) при номинальном потоке возбуждения	$c = k_{ДВ} \times \Phi_{ДВ.Н} = \frac{U_H - I_H \times R_{ДВ.ГОР}}{\omega_H}$	8.81
6.	Индуктивность двигателя (цепи якоря), Гн	$L_{ДВ} = g \times \frac{U_H}{I_H} \times \frac{1}{p \times \omega_H}$	0.000153 $g = 0.1, p = 3$
7.	Сопротивление обмотки возбуждения при последовательном включении, горячее, Ом	$R_{В.ГОР} = \frac{U_{ВН}}{I_{ВН}}$	3.62

3.2.3 Генератор механизма подъема

В качестве генератора в системе Г-Д механизма подъема выбран генератор типа ГПЭ–2500–750 ХЛЗ, паспортные данные которого приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Справочные технические данные

№ п.п.	Наименование параметра, размерность	Обозначение	Данные
1.	Номинальная мощность, кВт	P_H	2500
2.	Номинальное напряжение, В	U_H	1200
3.	Номинальный ток, А	I_H	2083
4.	Номинальная скорость вращения, об/мин	n_H	750
5.	Момент инерции, $\text{т}\cdot\text{м}^2$	$J_{ДВ}$	880
6.	Перегрузочная способность по току, А: $I_{МАХ}$ $I_{ОТКЛ}$	$2 \times I_H$ $2.75 \times I_H$	4166 5728
7.	Номинальный КПД, %	η_H	95
8.	Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{ВН}$	100
9.	Номинальный ток возбуждения, А	$I_{ВН}$	68
10.	Сопротивление обмотки якоря при $+15^\circ\text{C}$, Ом	$R_{ОЯ}$	0.00497
11.	Сопротивление обмотки добавочных полюсов при $+15^\circ\text{C}$, Ом	$R_{ДП}$	0.000745
12.	Сопротивление компенсационной обмотки при $+15^\circ\text{C}$, Ом	$R_{КО}$	0.003279
13.	Сопротивление противокомпаудной обмотки при $+15^\circ\text{C}$, Ом	$R_{ПК}$	0.000101
14.	Сопротивление обмотки возбуждения при $+15^\circ\text{C}$, Ом	$R_{ОВ}$	1.044
15.	Число витков обмотки возбуждения на полюс	W_B	153
16.	Номинальный магнитный поток на полюс, мВб	Φ_H	222
17.	Число полюсов	$2p$	6

3.2.4 Расчет параметров генератора ГПЭ2500-750УХЛЗ

Расчетные параметры приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Расчетные параметры генератора

№ п.п	Наименование расчетного параметра, размерность	Расчетная формула, обозначение	Данные
1.	Сопротивление генератора (цепи якоря) при +15°С, Ом	$R_{\Gamma} = R_{OЯ} + R_{ДШ} + R_{КО} + R_{ПК}$	0.00909
2.	Сопротивление генератора горячее (перегрев +75°С), Ом	$R_{\Gamma.ГОР} = 1.3 \times R_{\Gamma}$	0.0118
3.	Номинальная угловая скорость вращения, рад/с	$\omega_H = \frac{\rho}{30} \times n_H$	78.5
4.	Коэффициент ЭДС генератора ($B \times c / рад$)	$c = k_{\Gamma} \times \Phi_{\Gamma.Н} = \frac{U_H - I_H \times R_{\Gamma.ГОР}}{\omega_H}$	14.97
5.	Индуктивность генератора (цепи якоря), Гн	$L_{\Gamma} = g \times \frac{U_H}{I_H} \times \frac{1}{p \times \omega_H}$	0.0004892 $g = 0.2$, $p = 3$
6.	Сопротивление обмотки возбуждения при последовательном включении, горячее, Ом	$R_{В.ГОР} = \frac{U_{ВН}}{I_{ВН}}$	1.47
7.	Максимальное значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения на линейном участке кривой намагничивания, Гн	$L_{ВГ.МАКС} = 2p \times W_{ВГ} \frac{D\Phi}{DI_{ВГ}}$	см. ниже
8.	Индуктивность потока рассеяния обмотки возбуждения, Гн	$L_S = 2p \times W_{ВГ} \frac{0.7 \times 0.18 \times \Phi_H}{I_{ВН}}$	см. ниже

Характеристика намагничивания генератора приведена на рисунке 16 и в таблице 3.5.

Максимальное значение индуктивности основного потока обмотки возбуждения на линейном участке кривой намагничивания [4]:

$$L_{ВГ.МАКС} = 2p \times W_{ВГ} \frac{D\Phi}{DI_{ВГ}} = 6 \times 53 \times \frac{0.072}{10} = 6.61 \text{ Гн.}$$

Индуктивность потока рассеяния обмотки возбуждения [4]:

$$L_s = 2p \times W_{BГ} \frac{0.7 \times 0.18 \times \Phi_H}{I_{BH}} = 6 \times 153 \times \frac{0.7 \times 0.18 \times 0.222}{68} = 0.378 \text{ Гн.}$$

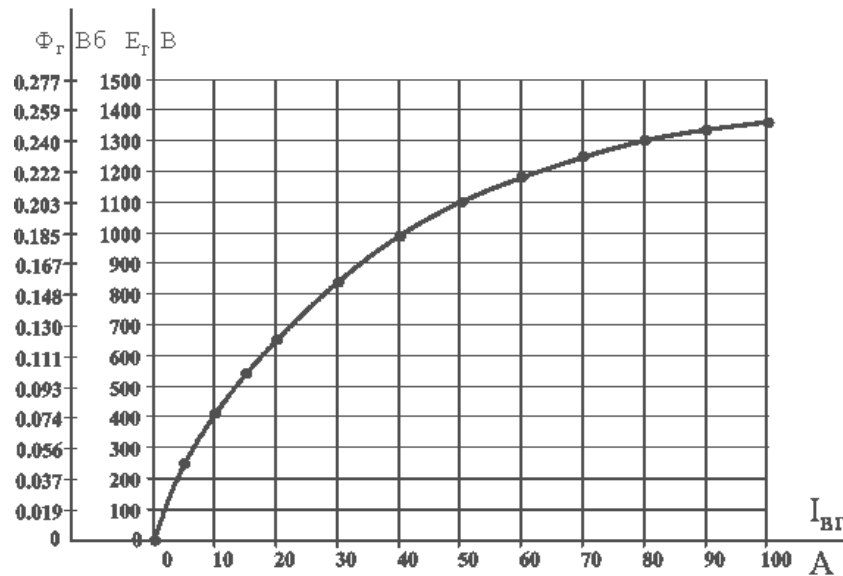


Рисунок 16. Характеристика намагничивания генератора

Таблица 3.5 - Параметры характеристики намагничивания генератора

I_{B} , А	0	5	10	15	20	30	40	50	63	70	80
$E_{Г}$, В	0	250	410	540	650	840	990	1100	1180	1246	1300
$\Phi_{Г}$, Вб	0	0.046	0.076	0.1	0.12	0.155	0.183	0.203	0.218	0.23	0.24

3.2.5 Якорная цепь системы генератор-двигатель электропривода

Электрическая схема системы Г – Д представлена на рисунке 17.

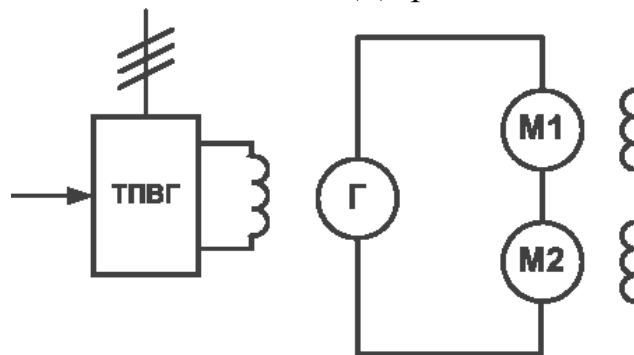


Рисунок 17. Электрическая схема системы Г – Д

Схема замещения силовой цепи генератора и двигателей приведена на рисунке 18.

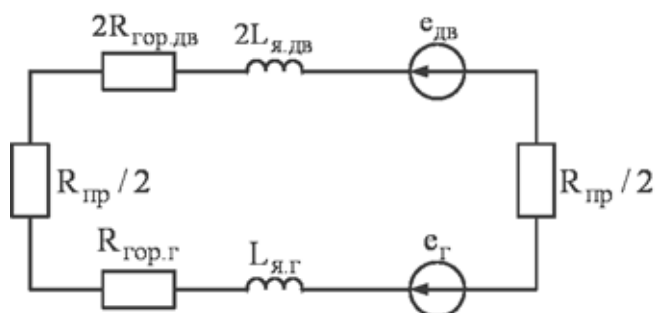


Рисунок 18. Схема замещения силовой цепи генератора и двигателей

Для цепи якоря справедливо следующее уравнение:

$$e_{\Gamma} - e_{дв} = i_{яц} \times R_{яц} + L_{яц} \frac{di_{яц}}{dt},$$

где e_{Γ} – ЭДС генератора,

$e_{дв}$ – ЭДС эквивалентного двигателя,

$R_{яц}$, $L_{яц}$ – сопротивление и индуктивность цепи якоря.

Для приведенного уравнения соответствует передаточная функция:

$$W_{я}(p) = \frac{i_{яц}(p)}{e_{\Gamma}(p) - e_{дв}(p)} = \frac{1/R_{яц}}{T_{яц}p + 1}.$$

3.2.6 Расчет параметров якорной цепи системы генератор-двигатель

Расчетные параметры приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Расчетные параметры системы генератор-двигатель

№ п.п	Наименование расчетного параметра, размерность	Расчетная формула, обозначение	Данные
1.	Сопротивление якорной цепи, Ом	$R_{яц} = 2R_{дв.гор} + R_{\Gamma.гор} + 0.1(2R_{дв.гор})$	0.03283
2.	Индуктивность якорной цепи, Гн	$L_{яц} = 2L_{дв} + L_{\Gamma}$	0.000795
3.	Электромагнитная постоянная времени якорной цепи, с	$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}}$	0.0242
4.	Постоянная времени цепи двигателя, с	$T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв.гор}}$	0.016
5.	Электромагнитная постоянная времени генератора, с	$T_{\Gamma} = \frac{L_{\Gamma}}{R_{\Gamma.гор}}$	0.041

3.2.7 Предельная область работы электропривода

Предельная область работы электропривода определяется предельными электромеханическими характеристиками разомкнутой системы Г – Д при $I_{ВГ} = \pm I_{ВГН}$. При этом со стороны тока, область ограничивается эквивалентной кривой, построенной с учетом допустимых токов генератора и двигателей. График предельной области работы электропривода показан на рисунке 19.

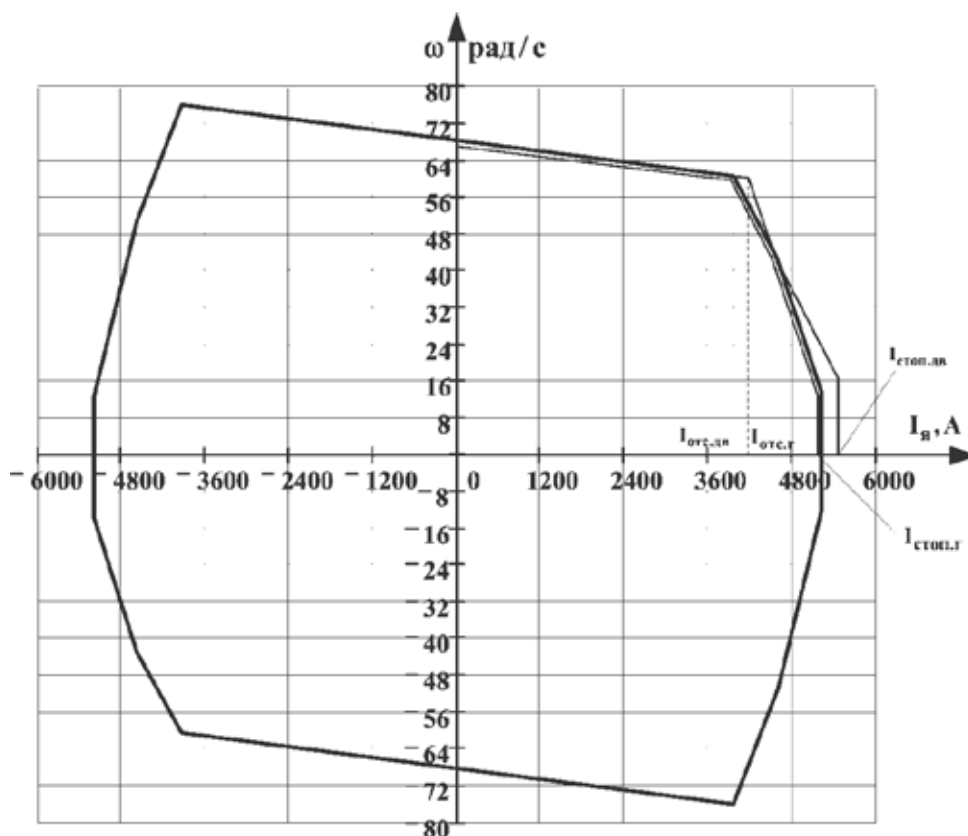


Рисунок 19. Предельная область работы электропривода

3.2.8 Выбор тиристорного преобразователя возбуждения генератора

При расчете параметров цепи обмотки возбуждения генератора пренебрегаем омическим сопротивлением и индуктивностью цепи тиристорного возбудителя.

Сопротивление цепи обмотки возбуждения с учетом возбудителя и соединительных проводов:

$$R_{ЦВГ} = 1.1R_{В.ГОР} = 1.1 \times 1.47 = 1.6170 \text{ Ом.}$$

ЭДС возбудителя при номинальном токе возбуждения:

$$U_{ТВГ.Н} = I_{ВГН} \times R_{ЦВГ} = 68 \times 1.617 = 109.95 В.$$

Максимальное значение ЭДС возбудителя с учетом форсировки:

$$E_{ТВГ.МАКС} = a \times U_{ТВГ.Н} = 2 \times 109.95 = 219.9 В.$$

где $a = 2$ – коэффициент форсировки возбуждения генератора.

Паспортные данные тиристорного преобразователя обмотки возбуждения генератора приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Технические параметры ТВГ

Наименование	Обозначение	Значение
Схема выпрямления	–	Трехфазная мостовая
Номинальное выпрямленное напряжение, В	$U_{дн}$	230
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{дн}$	100
Управление реверсивным преобразователем	–	раздельное
Начальный угол управления, град.	$a_{нач}$	90
Минимальный угол управления, град.	$a_{мин}$	30
Число фаз преобразователя	m_B	6
Максимальное напряжение управления на входе возбудителя, В	$U_{у.ТВГ.макс}$	10

Для питания преобразователя возбудителя выбираем согласующий трансформатор типа ТСЗП 25/0.7, параметры которого, из [4, таблица 4.5] представлены в таблице 3.8.

Постоянная времени основного потока цепи обмотки возбуждения генератора:

$$T_B = \frac{L_{ВГ}}{R_{ЦВГ}} = \frac{6.61}{1.617} = 4.088 с.$$

Постоянная времени потока рассеяния цепи обмотки возбуждения генератора:

$$T_S = \frac{L_{SG} + L_{ТПВГ}}{R_{ЦВГ}} = \frac{0.38}{1.617} = 0.235 с,$$

где значением индуктивности возбудителя пренебрегаем.

Постоянная времени контура вихревых потоков:

$$T_K \gg 0.1 \times T_B = 0.1 \times 4.088 = 0.409 с.$$

Постоянные времени эквивалентного апериодического звена второго порядка:

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

Таблица 3.8 - Технические расчетные параметры трансформатора ТСЗП 25/0.7

Параметр	Формула	Значение
Активное сопротивление фазы, Ом	$R_{TP.\Phi} = \frac{DP_{K3}}{m_2 \times I_{2\Phi H}^2}$	0.054
Полное сопротивление, Ом	$Z_{TP.\Phi} = \frac{U_{K3} \times U_{2\Phi}}{100 \times I_{2\Phi H}}$	0.079
Индуктивное сопротивление, Ом	$X_{TP.\Phi} = \sqrt{Z_{TP.\Phi}^2 - R_{TP.\Phi}^2}$	0.058
Эквивалентное сопротивление от коммутации анодных токов, Ом	$R_K = \frac{m_B \times X_{TP.\Phi}}{2\rho}$	0.055
Сопротивление силовой цепи преобразователя, Ом	$R_{ТПВ} = 2R_{TP.\Phi} + R_K$	0.164
Индуктивное сопротивление фазы трансформатора, Гн	$L_{TP.\Phi} = \frac{X_{TP.\Phi}}{\omega_C}$	0.000184
Индуктивное сопротивление силовой цепи преобразователя, Гн	$L_{ТПВ} = 2L_{TP.\Phi}$	0.000368

Большая постоянная времени:

$$T_1 = \frac{4.088 + 0.235 + 0.409}{2} + \sqrt{\frac{\frac{\omega}{\epsilon} 4.088 + 0.235 + 0.409}{2} \frac{\omega^2}{\phi} - 0.235 \times 0.409} = 4.712c,$$

малая постоянная времени:

$$T_2 = \frac{4.088 + 0.235 + 0.409}{2} - \sqrt{\frac{\frac{\omega}{\epsilon} 4.088 + 0.235 + 0.409}{2} \frac{\omega^2}{\phi} - 0.235 \times 0.409} = 0.021c.$$

Средняя выпрямленная ЭДС возбуждителя генератора:

$$E_{d0} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3} \times k_{U2}} = \frac{205}{\sqrt{3} \times 0.428} = 276.4B,$$

где $U_{2Л}$ – линейное выпрямленное напряжение вентильной обмотки.

Максимальная выпрямленная ЭДС возбуждителя генератора при $\alpha_{МИН} = 30^\circ$:

$$E_{ТПВГ.МАКС} = E_{d0} \times \cos \alpha_{МИН} = 276.4 \cos 30^\circ = 239.85B,$$

Коэффициента усиления возбуждителя генератора:

$$k_{ТВ} = k_{CV.TB} \times k_{VB} = 6 \times 4.83 = 28.98 ,$$

$$k_{VB} = \frac{\rho \times E_{d0}}{180} = \frac{3.14159 \times 276.4}{180} = 4.83 \frac{B}{град},$$

$$k_{\text{СУ.ТВ}}^3 \frac{a_{\text{НАЧ}} - a_{\text{МИН}}}{U_{\text{УП.МАКС}}} = \frac{90 - 30}{10} = 6 \frac{\text{град}}{\text{В}}$$

Постоянная времени тиристорного возбудителя генератора:

$$T_{\text{ТВГ}} = \frac{0.5}{m_B \times f_C} = \frac{0.5}{6 \times 50} = 0.00167 \text{ с.}$$

3.2.9 Выбор тиристорного преобразователя возбуждения двигателя

При номинальном напряжении возбуждения $U_{\text{Д.В.Н}} = 141 \text{ В}$ и номинальном токе возбуждения $I_{\text{Д.В.Н}} = 39 \text{ А}$ двигателей принимаем решение о последовательном включении обмоток возбуждения, тогда требуемые параметры возбудителя двигателей:

$$U_{\text{дн}} = k_{\text{ИВ}} \times 2 \times U_{\text{В.Н}} = 1 \times 141 \times 2 = 282 \text{ В,}$$

где $k_{\text{ИВ}} = 1$ – при однозонном приводе (реверс осуществляется со стороны обмотки возбуждения генератора).

$$I_{\text{дн}}^3 I_{\text{Д.В.Н}} = 39 \text{ А.}$$

Выбираем тиристорный возбудитель с параметрами, представленными в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Параметры тиристорного возбудителя

Наименование	Значение
Схема выпрямления	Трехфазная мостовая полууправляемая с нулевым вентилем
Номинальное выпрямленное напряжение $U_{\text{дн}}$, В	460
Начальный угол $a_{\text{нач}}$, град	150÷160
Номинальный выпрямленный ток $I_{\text{дн}}$, А	50
Минимальный угол $a_{\text{мин}}$, град	30
Максимальное опорное напряжение, В	8
Максимальное напряжение управления, В	10
Число фаз преобразователя	3
Максимальное напряжение управления на входе преобразователя $U_{\text{у.ТВГ.макс}}$, В	10

Для питания преобразователя возбуждителя выбираем трансформатор ТСЗП – 25/07. Паспортные и расчетные параметры трансформатора приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Параметры расчетные трансформатора ТСЗП 25/07

Параметр	Формула	Значение
Активное сопротивление фазы, Ом	$R_{TP.\Phi} = \frac{DP_{K3}}{m_2 \times I_{2\Phi H}^2}$	0.218
Полное сопротивление, Ом	$Z_{TP.\Phi} = \frac{U_{K3} \times U_{2\Phi}}{100 \times I_{2\Phi H}}$	0.318
Индуктивное сопротивление, Ом	$X_{TP.\Phi} = \sqrt{Z_{TP.\Phi}^2 - R_{TP.\Phi}^2}$	0.231
Эквивалентное сопротивление от коммутации анодных токов, Ом	$R_K = \frac{m_B \times X_{TP.\Phi}}{2\rho}$	0.22
Сопротивление силовой цепи преобразователя, Ом	$R_{ТПВ} = 2R_{TP.\Phi} + R_K$	0.656
Индуктивное сопротивление фазы трансформатора, Гн	$L_{TP.\Phi} = \frac{X_{TP.\Phi}}{\omega_C}$	0.00074
Индуктивное сопротивление силовой цепи преобразователя, Гн	$L_{ТПВ} = L_{TP.\Phi}$	0.00074

Средняя выпрямленная ЭДС возбуждителя двигателя при угле управления $\alpha = 0$:

$$E_{d0} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3} \times k_{U2}} = \frac{410}{\sqrt{3} \times 0.428} = 553.9B.$$

Регулировочная характеристика возбуждителя двигателя выполненного по трехфазной мостовой полууправляемой схеме с нулевым вентилем имеет вид:

$$E_d = \frac{E_{d0}}{2} (1 + \cos \alpha).$$

Максимальная выпрямленная ЭДС возбуждителя двигателя при минимальном угле управления $\alpha_{МИН} = 30^\circ$:

$$E_{ТПВД.МАКС} = \frac{E_{d0}}{2} (1 + \cos \alpha_{МИН}) = \frac{553.9}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319.66B.$$

Коэффициента усиления тиристорного возбуждителя двигателя:

$$k_{ТВ} = k_{CV.TB} \times k_{VB} = 12 \times 9.66 = 115.9 ,$$

$$k_{VB} = \frac{\rho \times E_{d0}}{180} = \frac{3.14159 \times 553.9}{180} = 9.66 \frac{B}{град},$$

$$k_{св.тв}^3 \frac{a_{НАЧ} - a_{МИН}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{150 - 30}{10} = 12 \frac{град}{В}.$$

3.3 Механическая система электропривода подъема

Механическая часть

Механизм подъема осуществляет преобразование вращательного движения, в поступательное. Кинематическая реальная схема приведена на рисунке 20. Привод лебедки подъема осуществляется от двух электродвигателей постоянного тока М1 и М2 типа МПЭ1120-630 которые включены последовательно и питаются от общего преобразователя. Механизм подъема состоит из четырех эластичных муфт 1, шевронного редуктора 2, промежуточных вал-шестерен 3, двух барабанов 4 и канатов.

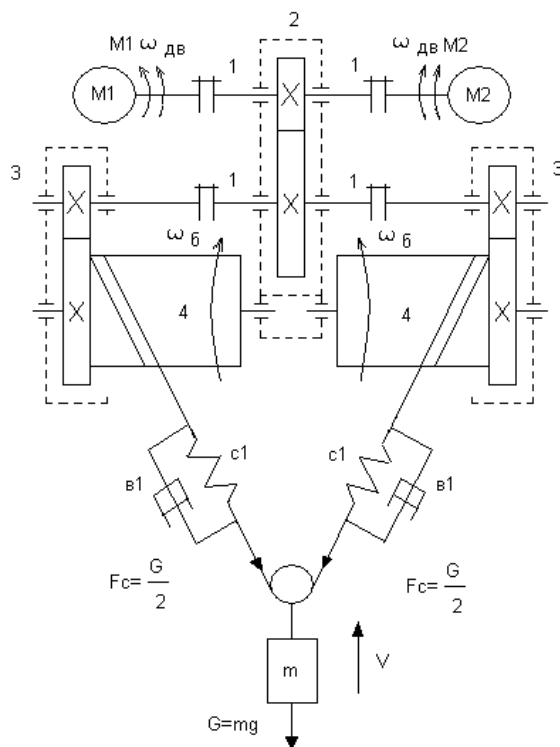


Рисунок 20. Реальная схема механизма подъема

Характерные особенности механизма подъема: податливость канатов, провисание канатов, наличие зазоров в зубчатых зацеплениях, возможность раскачивания груза.

Эквивалентная расчетная схема

Для упрощения расчета реальную схему упрощаем, так как используется два приводных двигателя с жестко связанными валами, идентичными параметрами и соединенные последовательно по якорным цепям, заменив его эквивалентным одним двигателем $M_{дв.э}$. Выходной вал редуктора имеет жесткую связь с промежуточными вал-шестернями, идентичными барабанами параллельно работающие, которые заменяем эквивалентными. Тяговые канаты подъема являются элементами с наименьшей жесткостью, и должны быть учтены. При этом механическая система привода подъема представляется как двухмассовая (см. рисунок 21,б).

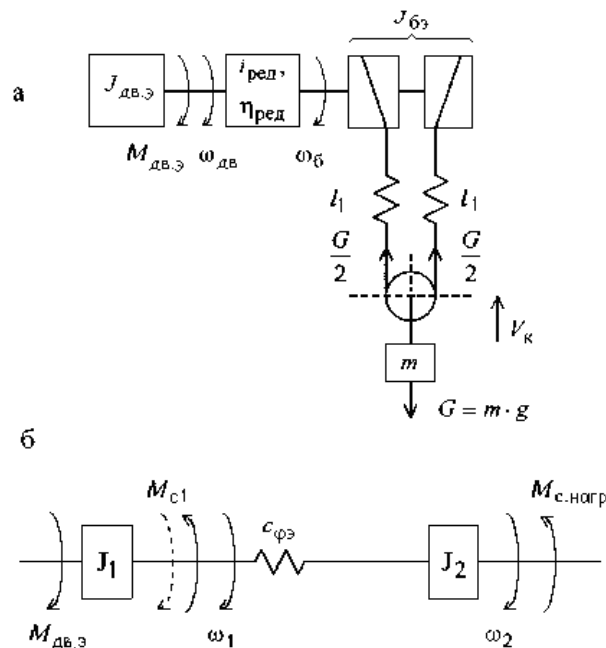


Рисунок 21. Механическая система привода подъема экскаватора

Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода

Эквивалентный момент инерции приводных двигателей

$$J_{дв.э} = 2 \times J_{дв} = 2 \times 134 = 268 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

$$J_{мех} = (0.15, 0.2) \times J_{дв.э} = 0.2 \times 268 = 53.6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции порожнего ковша

$$J_K = m_K \times \frac{D_B^2}{4 \times i_{РЕД}^2 \times i_{ПОЛ}^2} = 27.3 \times 10^3 \frac{1.8^2}{4 \times 22.53^2 \times 1^2} = 43.56 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции породы

$$J_{\Pi} = m_{\Pi} \times \frac{D_B^2}{4 \times i_{РЕД}^2 \times i_{ПОЛ}^2} = 46.2 \times 10^3 \frac{1.8^2}{4 \times 22.53^2 \times 1^2} = 73.72 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции каната

$$J_{КАН} = m_{КАН} \times \frac{D_B^2}{4 \times i_{РЕД}^2 \times i_{ПОЛ}^2} = 4113 \frac{1.8^2}{4 \times 22.53^2 \times 1^2} = 6.56 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Канат подъема ковша, диаметр 64мм ТУ-14-4-163-72 (длина каната 235м, масса 4113кг (2 ветви), количество проволок, шт (8´ 36+6´ 37+1´ 37) [10]).

Определение эквивалентных моментов инерции двухмассовой расчетной схемы

Эквивалентный момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{МЕХ} + J_{ДВ.Э} = 53.6 + 268 = 321.6 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции второй массы порожнего ковша:

$$J_{2\Pi} = J_K + J_{КАН} = 43.56 + 6.56 = 50.1 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции второй массы загруженного ковша

$$J_{23.К} = J_K + J_{\Pi} + J_{КАН} = 43.56 + 73.72 + 6.56 = 123.8 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Определение приведенной эквивалентной жесткости двухмассовой расчетной схемы

Эквивалентная линейная жесткость канатов для компоновочной схемы сдвоенный канат (см.рисунок 21,б) определяется по выражению

$$c_{\text{Э}} = 2 \times \frac{c_K}{l}, \frac{H}{M},$$

где $c_K = \frac{E_K \times S_K}{1} = \frac{1.4 \times 10^{11} \times 6.87 \times 10^{-3}}{1} = 9.61 \times 10^8 \text{ Н}$ - жесткость одного

погонного метра каната;

$E_K = (1.1, 1.4) \times 10^{11} \frac{H}{M^2}$ - модуль продольной упругости для канатов;

$S_K = n \frac{\rho \times d^2}{4} = 547 \frac{3.14 \times (4 \times 10^{-3})^2}{4} = 6.87 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ - площадь сечения

проволок;

$n = 547$ - число проволок;

$d = 4 \text{ мм}$ - диаметр проволок;

l - длина каната от барабана подъемной лебедки до ролика ковша, м.
 Определим ориентировочно следующие параметры подъемных канатов:

- длина запасочных концов каната

$$l_{\text{зап}} @ 0.1 \times L_K = 0.1 \times 235 = 23.5 \text{ м.}$$

- длина каната от барабана до блока ковша в его нижнем положении

$$l_H @ L_K - l_{\text{зап}} = 235 - 23.5 = 211.5 \text{ м.}$$

- длина каната от барабана до блока ковша в его верхнем положении

$$l_B @ l_H - D_l = 211.5 - 82.8 = 128.7 \text{ м,}$$

$$D_l = H_p + H_q = 37.8 + 45 = 82.8 \text{ м,}$$

где H_p и H_q - наибольшая высота разгрузки и наибольшая глубина черпания.

Эквивалентная линейная жесткость подъемных канатов при нижнем положении ковша

$$c_{l_{\text{ЭН}}} = 2 \times \frac{c_K}{l_H} = 2 \times \frac{9.61 \times 10^8}{211.5} = 9.08 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

и при верхнем положении ковша

$$c_{l_{\text{ЭВ}}} = 2 \times \frac{c_K}{l_B} = 2 \times \frac{9.61 \times 10^8}{128.7} = 14.93 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Приведенная эквивалентная угловая жесткость двухмассовой расчетной схемы при нижнем положении ковша

$$c_{f_{\text{ЭН}}} = c_{l_{\text{ЭН}}} \times \frac{D_B^2}{4 \times i_{\text{РЕД}}^2} = 9.08 \times 10^6 \times \frac{1.8^2}{4 \times 22.53^2} = 14489.3 \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{рад}},$$

и при верхнем положении ковша

$$c_{f_{\text{ЭВ}}} = c_{l_{\text{ЭВ}}} \times \frac{D_B^2}{4 \times i_{\text{РЕД}}^2} = 14.93 \times 10^6 \times \frac{1.8^2}{4 \times 22.53^2} = 23824.4 \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{рад}}.$$

Определение резонансной частоты двухмассовой механической системы привода подъема

Резонансная частота двухмассовой механической системы привода подъема, выполненной по схеме сдвоенный канат, при нижнем положении порожнего ковша

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\Pi}}{J_1 \times J_{2\Pi}}} \times c_{f_{\text{ЭН}}} = \sqrt{\frac{321.6 + 50.1}{321.6 \times 50.1}} \times 14489.3 = 18.28 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\text{или} \quad f_{12} = \frac{\omega_{12}}{2 \times \pi} = \frac{18.28}{2 \times 3.14} = 2.9 \text{ Гц,}$$

и при верхнем положении наполненного ковша

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{23.K}}{J_1 \times J_{23.K}}} \times c_{f_{\text{ЭВ}}} = \sqrt{\frac{321.6 + 123.8}{321.6 \times 123.8}} \times 23824.4 = 16.32 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\text{или } f_{12} = \frac{W_{12}}{2 \times \rho} = \frac{16.32}{2 \times 3.14} = 2.59 \text{ Гц.}$$

Структурная схема двухмассовой механической системы привода механизма подъема

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

Примем КПД передачи в прямом и обратном направлении одинаковыми, а постоянные и переменные потери при номинальной нагрузке механизма подъема равными. Тогда значение коэффициентов постоянных и переменных потерь определяется

$$a = b = \frac{1 - h_{МЕХ}}{2 \times h_{МЕХ}} = \frac{1 - 0.8}{2 \times 0.8} = 0.125,$$

где $h_{МЕХ}$ - КПД подъемного механизма имеет значение (0.8 - 0.85) [11].

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

$$M_{отс} = (0.75 - 0.85) M_{стоп}.$$

Расчеты моментов нагрузки

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{30 P_{дв.н}}{\rho \times \eta_n} = \frac{30 \times 120 \times 10^3}{\rho \times 630} = 16977 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Момент трения на валу двигателей

$$M_{с.дв} = 2 \times (c \times I_{дв.н} - M_{дв.н}) = 2 \times (8.81 \times 980 - 16977) = 934 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Момент постоянных потерь механизма подъема

$$M_{с.пост} @ a \times 2 \times M_{дв.н} = 0.125 \times 2 \times 16977 = 4244 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Момент трения на валу первой массы

$$M_{с1} = M_{с.дв} + M_{с.пост} = 934 + 4244 = 5178 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Максимальный момент на валу второй массы

$$M_{гр.привода} = \frac{F_{п.макс} \times D_B}{2 \times i_{ред} \times i_{пол}} = \frac{1226 \times 10^3 \times 1.8}{2 \times 22.53 \times 1} = 48974 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Момент нагрузки при подъеме груженого ковша - начальный

$$M_{СЭ1.НАГР} = \frac{F_{ОТР} \times D_B}{2 \times i_{РЕД} \times i_{ПОЛ}} = \frac{1226 \times 10^3 \times 1.8}{2 \times 2.53 \times 1} = 48974 \text{ Н} \times \text{м},$$

-конечный

$$M_{СЭ2.НАГР} = \frac{F_{ПОД} \times D_B}{2 \times i_{РЕД} \times i_{ПОЛ}} = \frac{721 \times 10^3 \times 1.8}{2 \times 2.53 \times 1} = 28801 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Момент нагрузки при опускании порожнего ковша

-начальный

$$M_{СЭ3.НАГР} = \frac{F_{СПУСК} \times D_B}{2 \times i_{РЕД} \times i_{ПОЛ}} = \frac{267.8 \times 10^3 \times 1.8}{2 \times 2.53 \times 1} = 10698 \text{ Н} \times \text{м},$$

-конечный равен нулю.

При проектировании системы управления электроприводом на начальном этапе может рассматриваться одностепенная механическая система, тогда ее эквивалентный момент инерции

$$J_{\text{Э}} = J_1 + J_2.$$

Эквивалентный момент инерции

при порожнем ковше

$$J_{\text{Э.МИН}} = J_1 + J_{2П} = 321.6 + 50.1 = 371.7 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

при полном ковше

$$J_{\text{Э.МАКС}} = J_1 + J_{23.К} = 321.6 + 123.8 = 445.4 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

На рисунках 22 и 23 приведены структурные схемы механической системы привода механизма подъема.

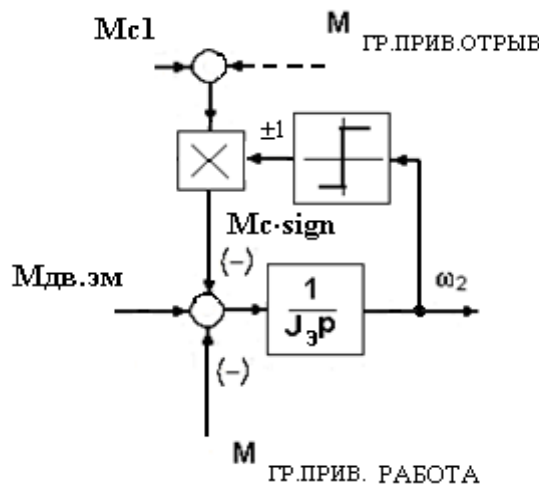


Рисунок 22. Структурная схема одностепенной механической системы привода механизма подъема

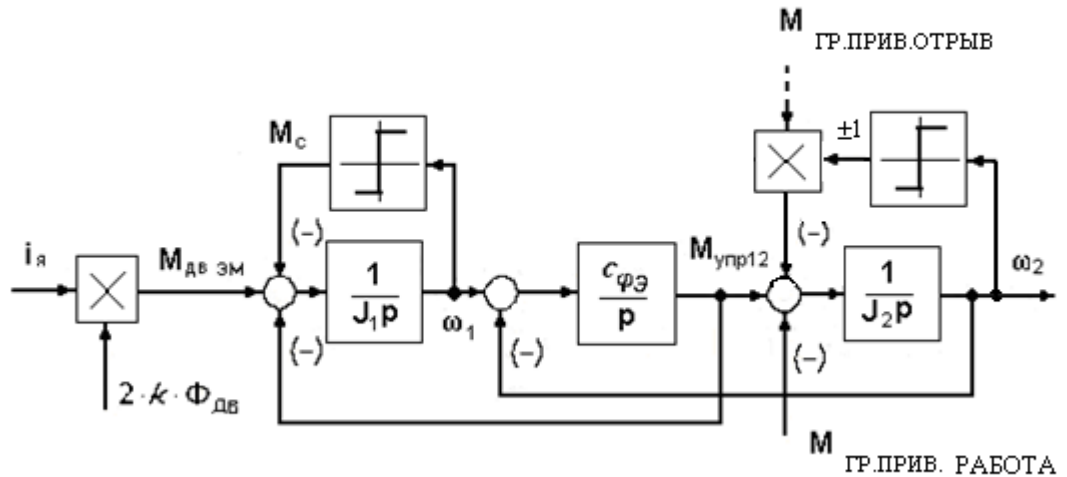


Рисунок 23. Структурная схема двухмассовой механической системы привода механизма подъема

Электромеханическая постоянная времени привода:

$$T_{M.МИН} = \frac{R_{ЯЦ} \times J_{Э.МИН}}{(2C)^2} = \frac{0.03283 \times 371.7}{(2 \times 8.81)^2} = 0.039c,$$

$$T_{M.МАКС} = \frac{R_{ЯЦ} \times J_{Э.МАКС}}{(2C)^2} = \frac{0.03283 \times 445.4}{(2 \times 8.81)^2} = 0.047c.$$

3.4 Структурная схема силового канала электропривода подъема

Структурная схема силового канала электропривода приведена на рисунке 24.

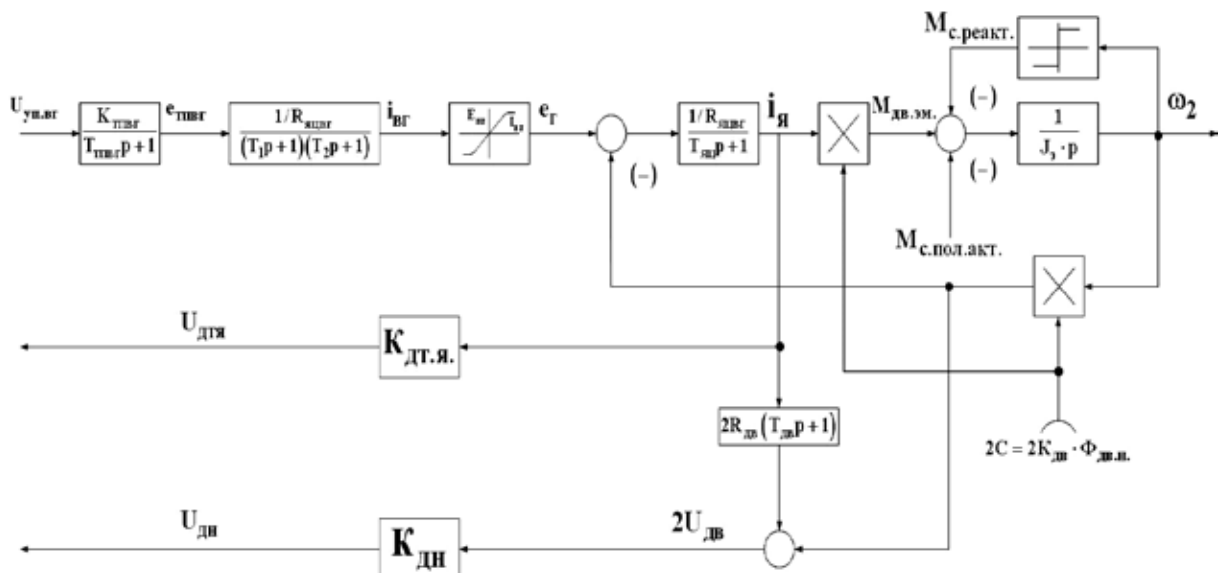


Рисунок 24. Структурная схема силового канала электропривода
Коэффициент передачи датчика напряжения двигателя:

$$k_{ДН} = \frac{U_{ДН.МАКС}}{U_{МАКС}} = \frac{10}{600} = 0.017.$$

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения:

$$k_{ДТВ} = \frac{U_{ДТВ.МАКС}}{I_{МАКС}} = \frac{10}{39} = 0.256.$$

В таблице 3.11 приведены параметры элементов силового канала.

Таблица 3.11 - Параметры элементов силового канала

$k_{ТВГ}$	$T_{ТВГ}, с$	$R_{ЯЦ}, Ом$	$L_{ЯЦ}, мГн$	$T_{ЯЦ}, с$	$T_{ДВ}, с$
28.98	0.00167	0.03283	0.795	0.0242	0.016
$J_{Э.МИН}, кЗ \times М^2$	$J_{Э.МАКС}, кЗ \times М^2$	$k_{Г}$	$\Phi_{ДВ.Н}, Вб$	$T_1, с$	$T_2, с$
371.7	445.4	20	0.0222	4.712	0.021
$R_{ЦВГ}, Ом$	$2R_{ДВ}, Ом$	$2C, \frac{В \times с}{рад}$	$k_{ДН}$	$k_{ДТВ}$	$M_{С1}, Н \times м$
1.617	0.02	17.62	0.017	0.256	5178
$M_{СЭ1}, Н \times м$	$M_{СЭ2}, Н \times м$	$M_{СЭ3}, Н \times м$	$c_{fЭН}, \frac{Н \times м}{рад}$	$c_{fЭВ}, \frac{Н \times м}{рад}$	$k_{ТВД}$
48974	28801	10698	14489.3	23824.4	115.9

4 Система управления электропривода механизма подъема

Система автоматического управления (САУ) электроприводом механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90 состоит из комплекса элементов, при помощи которых возможно управление по определенному выбранному закону.

Структурная схема САУ регулируемого электропривода (РЭП) постоянного тока механизма подъема представляет собой трехконтурную структуру подчиненного регулирования системы Г-Д с тиристорным преобразователем в качестве возбудителя (см.рисунок 25).

4.1 Синтез линеаризованной САУ РЭП

Задача синтеза САУ РЭП сводится к определению параметров корректирующих цепей. Эта задача не является однозначной, поэтому важен выбор метода расчета, который, обладая простотой и наглядностью, позволял бы рассмотреть несколько вариантов и выбрать наиболее рациональный. Использование методов численного моделирования позволяет определять параметры системы по заданным показателям качества и варьировать ими в широких пределах. В данной работе использована программа Матлаб.

На этапе предварительного синтеза САУ используем линеаризованные характеристики системы и ее элементов, и соответственно, методы синтеза линейных систем.

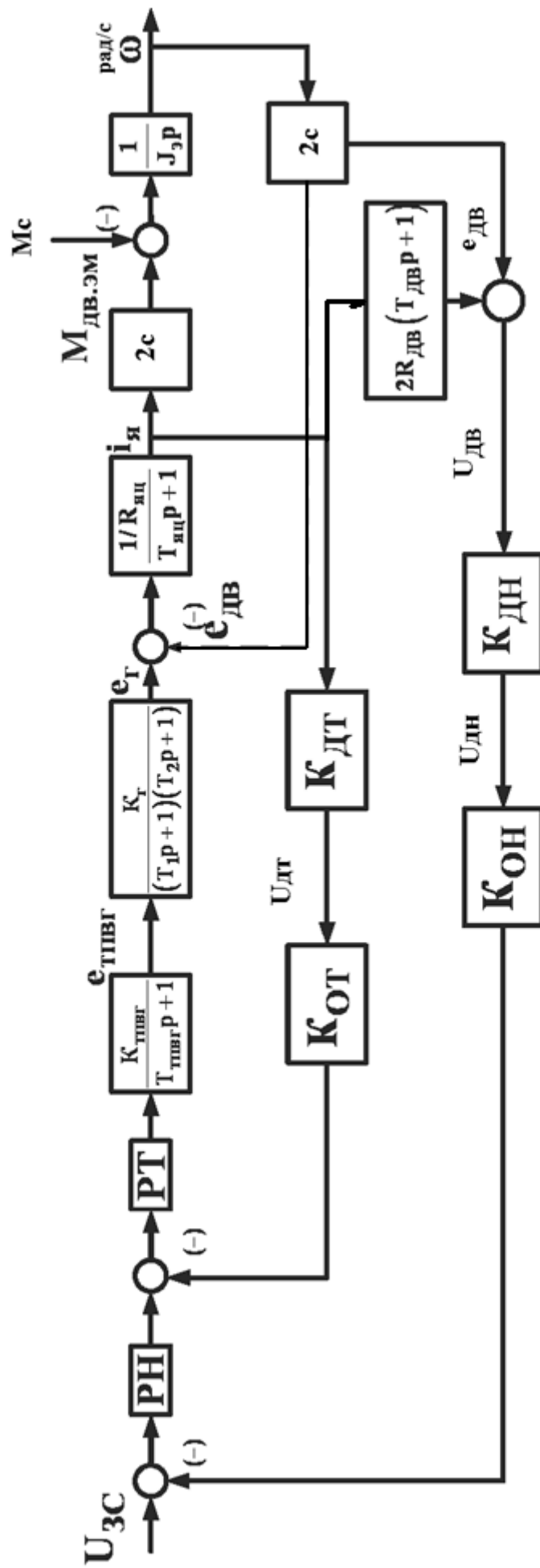


Рисунок 25. Структурная схема линейризованной САУ РЭП механизма подъема

4.2 Оптимизация контура тока в двухконтурной САУ электропривода по системе ТПВГ - Д

При оптимизации контура тока предположим, что влияние ЭДС двигателя на процессы в контуре тока незначительны. Тогда структурная схема контура тока будет иметь следующий вид:

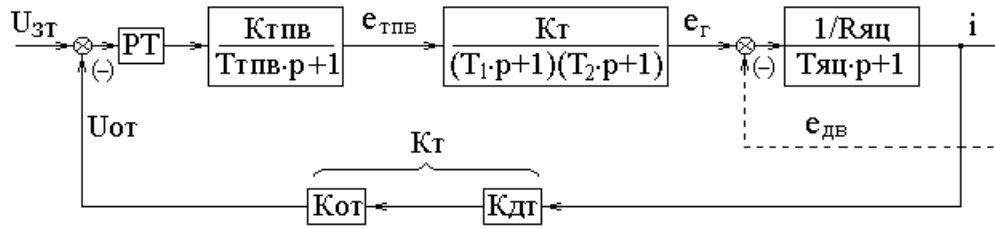


Рисунок 26. Структурная схема контура тока без учета влияния ЭДС двигателя

Контур содержит четыре постоянные времени, причем имеет место следующее соотношение:

$$\frac{T_1}{T_{ТВГ} + T_2 + T_{яц}} = \frac{4.712}{0.00167 + 0.0242 + 0.021} = 100.53.$$

Из этого соотношения можно принять:

$T_{пт} = T_{ТВГ} + T_2 + T_{яц} = 0.00167 + 0.021 + 0.242 = 0.047c$ – малая постоянная времени контура тока.

Так как соотношение $\frac{T_1}{T_{пт}} > 20$, то для оптимизации контура на модульный оптимум достаточно ограничится применением пропорционального регулятора тока [2.1].

С учетом принятого значения малой постоянной времени контура тока структурную схему контура можно преобразовать к следующему виду:

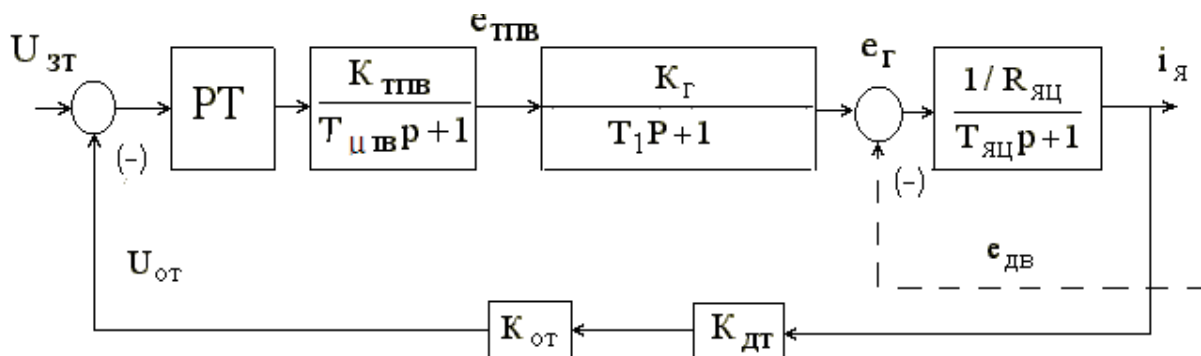


Рисунок 27. Упрощенная структурная схема контура тока

С учетом принятых обозначений коэффициент усиления РТ будет равен:

$$k_{РТ} = \frac{T_1 R_{ЯЦ}}{k_{ТВГ} k_{Г} k_{Т} a_{Т} T_{м}} \frac{\frac{\omega}{\sigma} + 1}{\frac{\omega}{\sigma} + 1} = \frac{4.712 \times 0.03283}{28.98 \times 20 \times 0.0024 \times 2 \times 0.047} \frac{\frac{\omega}{\sigma} + 1}{\frac{\omega}{\sigma} + 1} = 1.18$$

где $a_{Т} = 2$ коэффициент оптимизации на МО;

$$k_{Т} = k_{ОТ} k_{ДТ} = \frac{U_{ЗТ.МАКС}}{I_{Я.МАКС}} = \frac{10}{4116} = 0.0024 \frac{В}{А},$$

$$k_{ОТ} = \frac{k_{Т}}{k_{ДТ}} = \frac{0.0024 \times U_{Ш.Н}}{0.0025 \times I_{Ш.Н}} = \frac{0.075}{2000} = 0.0000375 \frac{В}{А},$$

$$k_{ДТ} = k_{Ш} \times k_{В.ДТ} = 0.0000375 \times \frac{10}{0.15} = 0.0025 \frac{В}{А}.$$

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока имеет вид:

$$W(p)_{Т.ЗАМ} = \frac{1 \times \frac{\frac{\omega}{\sigma} + 1}{\frac{\omega}{\sigma} + 1}}{\frac{2 \times T_{м}^2}{\frac{\omega}{\sigma} + 1} p^2 + \frac{2 \times T_{м}}{\frac{\omega}{\sigma} + 1} p + 1}.$$

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура равна:

$$T_{м\text{Э}} = \frac{T_{м}}{\frac{\omega}{\sigma} + 1} = \frac{0.047}{\frac{\omega}{\sigma} + 1} = 0.0465с.$$

Влияние ЭДС двигателя на процессы в контуре тока определяется отношением:

$$\frac{T_{M.МАКС}}{T_{мЭ}} = \frac{0.047}{0.0465} = 1.01 > 1,$$

имеет место влияние ЭДС на процессы в контуре тока.

Передаточная функция замкнутого контура тока с учетом $T_{мЭ}$ имеет вид:

$$W(p)_{Т.ЗАМ} = \frac{1}{\frac{k_T}{2 \times T_{мЭ}^2 p^2 + 2 \times T_{мЭ} p + 1}}.$$

Полоса пропускания замкнутого контура тока:

$$w_{\Pi}^{(\Phi)} = w_{\Pi}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{мЭ}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0.0465} = 15.22 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\text{или } f_{\Pi} = \frac{w_{\Pi}}{2 \times \pi} = \frac{15.22}{2 \times \pi} = 2.42 \text{ Гц}.$$

4.3 Оптимизация контура напряжения

Оптимизация контура напряжения проводится на МО с пропорциональным регулятором напряжения. Этот контур включает в себя замкнутый контур тока. Параметры контура напряжения рассчитываются для значения $J_{Э.МАКС} = 445.4 \text{ кВ} \times \text{м}^2$. Коэффициент усиления регулятора напряжения:

$$k_{PH} = \frac{J_{Э.МАКС} \times k_T}{k_H \times (2c)^2 \times T_H} = \frac{445.4 \times 0.0024}{0.0083 \times 17.62^2 \times 0.12} = 3.45,$$

$$\text{где } T_{HЭ} = 2T_{мИ} + T_{ДВ} - T_M = 2 \times 0.0756 + 0.016 - 0.047 = 0.12 \text{ с}$$

эквивалентная постоянная времени контура напряжения,

$$\text{где } T_M = \frac{J_{Э.МИН} \times 2 \times R_{ДВ}}{(2c)^2} = \frac{371.7 \times 0.02 \times 2}{17.62^2} = 0.047 \text{ с},$$

$$T_{мИ} = T_{мЭ} + 0.5 \sqrt{(2 \times T_{мЭ} + T_{ДВ} - T_M)^2 - T_M^2 + 2T_{ДВ} \times T_M + T_{ДВ}^2} =$$

$$0.0465 + 0.5 \sqrt{(2 \times 0.0465 + 0.016 - 0.047)^2 - 0.047^2 + 2 \times 0.016 \times 0.047 + 0.016^2} = 0.0756 \text{ с}.$$

$$k_{ДН} = \frac{U_{З.МАКС}}{U_{ДВ.МАКС}} = \frac{10}{1200} = 0.0083.$$

Так как отношение $\frac{T_{мИ}}{2T_{мЭ}} = \frac{0.0756}{2 \times 0.0465} = 0.81 < 1$ можно записать

передаточную функцию замкнутого контура напряжения:

$$W(p)_{Н.ЗАМ} = \frac{1}{\frac{k_H \times 2c}{2 \times T_{мИ}^2 \times p^2 + 2 \times T_{мИ} p + 1}}.$$

При моделировании контура напряжения были уточнены его параметры. Коэффициент усиления регулятора напряжения принят:

$$k_{PH} = 4.2.$$

Эквивалентная постоянная времени контура напряжения:

$$T_{\text{нЭ}} = 0.078\text{с}.$$

4.4 Оптимизация контура возбуждения двигателя

Структурная схема контура возбуждения приведена на рисунке 28. Контур содержит три постоянных времени, при этом имеет место следующее соотношение:

$$T_1 \gg (T_{\text{ПВ}} + T_2).$$

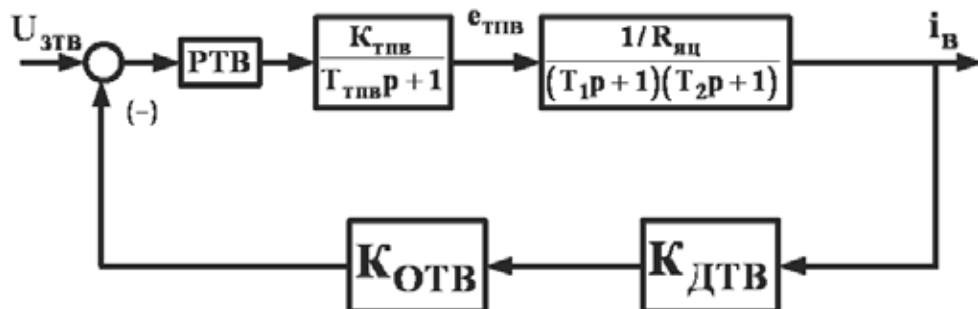


Рисунок 28. Структурная схема контура возбуждения
За малую постоянную времени примем:

$$T_{\text{ПВ}} = T_{\text{ТВ}} + T_2 = 0.0465 + 0.021 = 0.0675\text{с}.$$

Оптимизация контура на МО достигается применением ПИ регулятора, с передаточной функцией:

$$W(p)_{\text{P.TB}} = k_{\text{РТВ}} \frac{T_{\text{РТВ}} p + 1}{T_{\text{РТВ}} p}.$$

$$\text{где } k_{\text{РТВ}} = \frac{R_{\text{ЦВ}} \times T_1}{k_{\text{ТВ}} \times k_{\text{ТВ}} \times a_{\text{ТВ}} \times T_{\text{ПВ}}} = \frac{1.617 \times 4.712}{115.9 \times 2 \times 0.256 \times 0.0675} = 2.7 \text{ - коэффициент}$$

усиления регулятора;

$$T_{\text{P.TB}} = T_1 = 4.712\text{с} \text{ постоянная времени регулятора;}$$

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{U_{\text{з.ТВ.МАКС}}}{I_{\text{ВН}}} = \frac{10}{39} = 0.256 \frac{\text{В}}{\text{А}} \text{ коэффициент обратной связи по току}$$

возбуждения;

$$a_{\text{ТВ}} = 2 \text{ коэффициент настройки на модульный оптимум.}$$

$$W(p)_{TB.3AM} = \frac{1/k_T}{a_{TB} \times T_{TB}^2 \times p^2 + a_{TB} \times T_{TB} \times p + 1}$$

Показатели качества работы контура:

$$d = 4.3\%$$

$$t_{PY}^{(5)} = t_{PY}^{(5)} = 4.1 \times T_{\pi TB} = 4.1 \times 0.0675 = 0.276 \text{ с,}$$

$$W_{\Pi}^{(\Phi)} = W_{\Pi}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{\pi TB}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0.0675} = 10.53 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

4.5 Статические характеристики электропривода механизма подъема

В системе Г – Д имеют место два основных установившихся режима работы электропривода:

- режим стабилизации скорости (напряжения);
- режим стабилизации (ограничения) тока.

4.5.1 Режим стабилизации скорости

В режиме стабилизации скорости при токе двигателя $I_{я} < I_{отс}$ регулятор напряжения не насыщен, а токовая отсечка не работает. В результате действует только одна обратная связь по напряжению. Структурная схема электропривода в режиме стабилизации скорости представлена на рисунке 29.

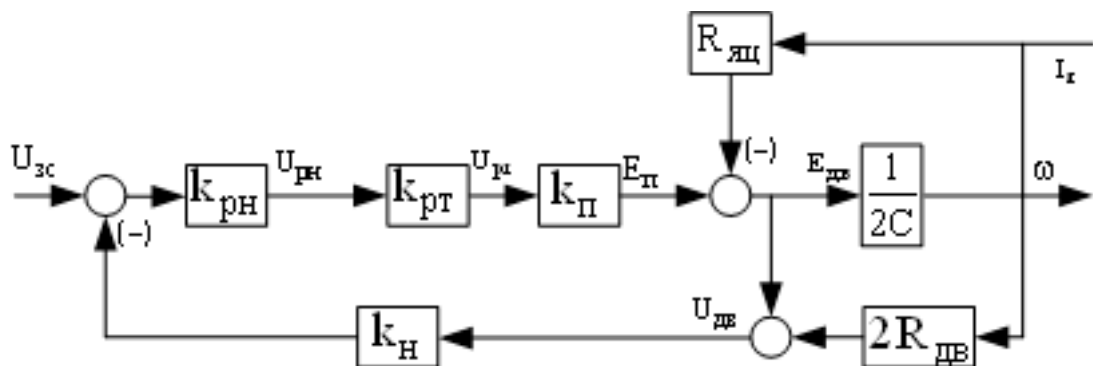


Рисунок 29. Структурная схема электропривода в режиме стабилизации скорости

Согласно структурной схеме можно записать следующую систему уравнений:

$$U_{pH} = (U_{zc} - k_H \times U_{дв}) k_{pH};$$

$$E_{\Pi} = U_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi};$$

$$E_{дв} = E_{\Pi} - I_{я} \times R_{яц};$$

$$U_{дв} = E_{дв} + I_{я} \times 2R_{дв};$$

$$E_{дв} = c \times w.$$

Решив данную систему уравнений относительно w , получим выражение электромеханической характеристики привода $w(I)$ в режиме стабилизации скорости:

$$\begin{aligned} w(I) &= \frac{k_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi} \times k_H}{1 + k_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi} \times k_H} \frac{\approx U_{zc}}{c k_H} \frac{\ddot{\phi}}{2C} - \\ &- \frac{1 + k_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi} \times k_H}{1 + k_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi} \times k_H} \frac{\approx R_{дв}}{c} \frac{\ddot{\phi}}{R_{яц}} \frac{\approx R_{яц} \times I_{я}}{c} \frac{\ddot{\phi}}{C} = \\ &= w_0(U_{zc}) - Dw(I) = a_1 \times U_{zc} - b_1 \times I_{я}, \end{aligned}$$

где $I_{я} < I_{отс}$;

$$\begin{aligned} w_0(U_{zc}) &= \frac{k_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi} \times k_H}{1 + k_{pH} \times k_{pT} \times k_{\Pi} \times k_H} \frac{\approx U_{zc}}{c k_H} \frac{\ddot{\phi}}{2C} = a_1 \times U_{zc} = \\ &= \frac{3.45 \times 0.632 \times 1080 \times 0.0083}{1 + 3.45 \times 0.632 \times 1080 \times 0.0083} \frac{\approx 10}{c \times 0.0083 \times 17.62} \frac{\ddot{\phi}}{C} = 66.715 \text{ рад/с} \end{aligned}$$

– скорость идеального холостого хода при заданном значении $U_{zc} = 10 \text{ В}$ и $I = 0$, рад/с;

$$w_{зад}(U_{zc}) = \frac{U_{zc}}{k_H \times 2 \times C} \text{ – заданное значение скорости}$$

электропривода, рад/с;

$$Dw(U_{zc}) = w_{зад}(U_{zc}) - w_0(U_{zc}) = \frac{\approx 1}{c k_H \times 2 \times C} - a_1 \frac{\ddot{\phi}}{C} U_{zc} -$$

статическая ошибка замкнутой системы электропривода по управлению, рад/с;

$$Dw_{раз}(I) = \frac{R_{яц} \times I_{я}}{2 \times C} \text{ – статизм электромеханической}$$

характеристики разомкнутой системы Г-Д, рад/с.

4.5.2 Режим стабилизации тока

При насыщении регулятора напряжения система автоматического управления привода переходит в режим стабилизации (ограничения) тока. Структурная схема для этого режима представлена на рисунке 30.

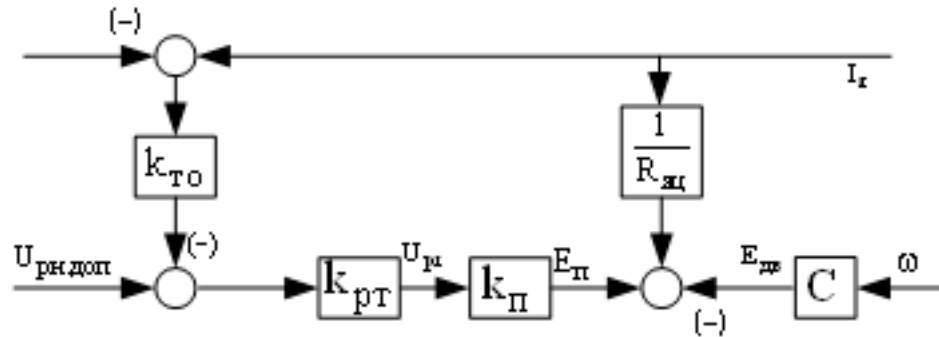


Рисунок 30. Структурная схема в режиме стабилизации скорости
Для приведенной схемы запишем систему уравнений:

$$E_{тп} = (U_{рн.доп} - (2I_{я} - I_{отс}) \times k_{от}) \times k_{рТ} \times k_{П};$$

$$E_{дв} = 2C \times \omega;$$

$$I_{я} = (E_{г} - E_{дв}) / R_{яц},$$

где $I_{я} > I_{отс}$.

Решив приведенную систему уравнений относительно тока, получим выражение характеристики $I_{я}(\omega)$ привода в режиме ограничения тока:

$$I_{я}(\omega) = \frac{(U_{рн.доп} + k_{то} \times I_{отс}) \times k_{рТ} \times k_{П}}{R_{яц} + k_{то} \times k_{рТ} \times k_{П}} - \frac{2C \times \omega}{R_{яц} + k_{то} \times k_{рТ} \times k_{П}} =$$

$$= I_{стоп} - D I_{я}(\omega) = I_{стоп} - b_2 \times \omega,$$

где

$$I_{стоп} = \frac{(U_{рн.доп} + k_{то} \times I_{отс}) \times k_{рТ} \times k_{П}}{R_{яц} + k_{то} \times k_{рТ} \times k_{П}} = \frac{(10 + 0.008019 \times 3960) \times 3.9 \times 1086}{0.03283 + 0.008019 \times 3.9 \times 1086} = 5180 \text{ А.}$$

– ток стопорения привода при $\omega = 0$.

4.5.3 Статические характеристики

Статические характеристики представлены на рисунке 31. Характеристики в область между током стопорения и током отсечки находим графически из условия:

$$w = w_{\text{зад}} - Dw_{\text{нас}};$$

$$I = I_{\text{стоп}} - b_2 \times w.$$

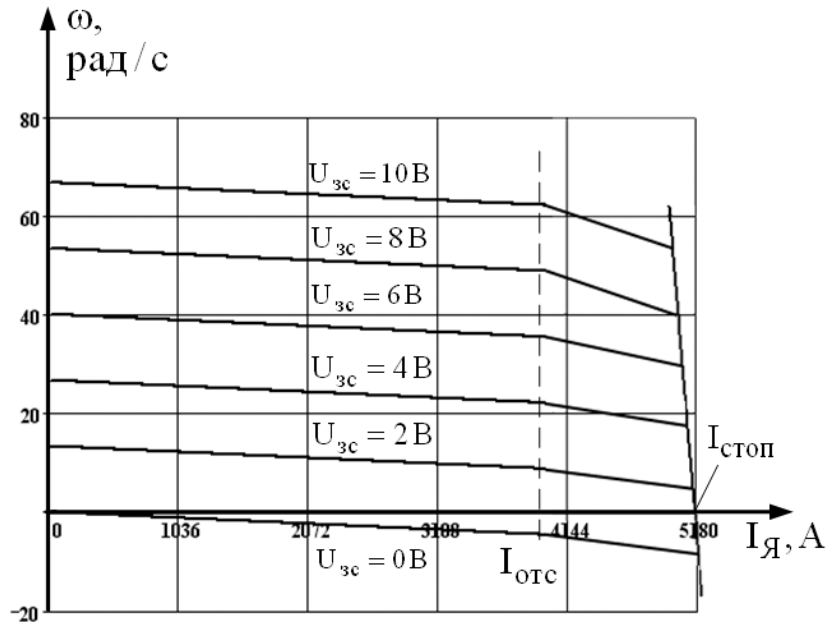


Рисунок 31. Статические характеристики электропривода подъема

5 Исследование нелинейной САУ электропривода

5.1 Структурная схема нелинейной САУ

К основным нелинейностям можно отнести насыщение регуляторов, ЭДС тиристорного преобразователя возбуждения генератора, кривую намагничивания генератора, управляемую токовую отсечку, реактивную нагрузку.

Структурная схема нелинейной САУ приведена на рисунке 32.

Исследования нелинейной САУ проводились на имитационной модели, с помощью программы Матлаб

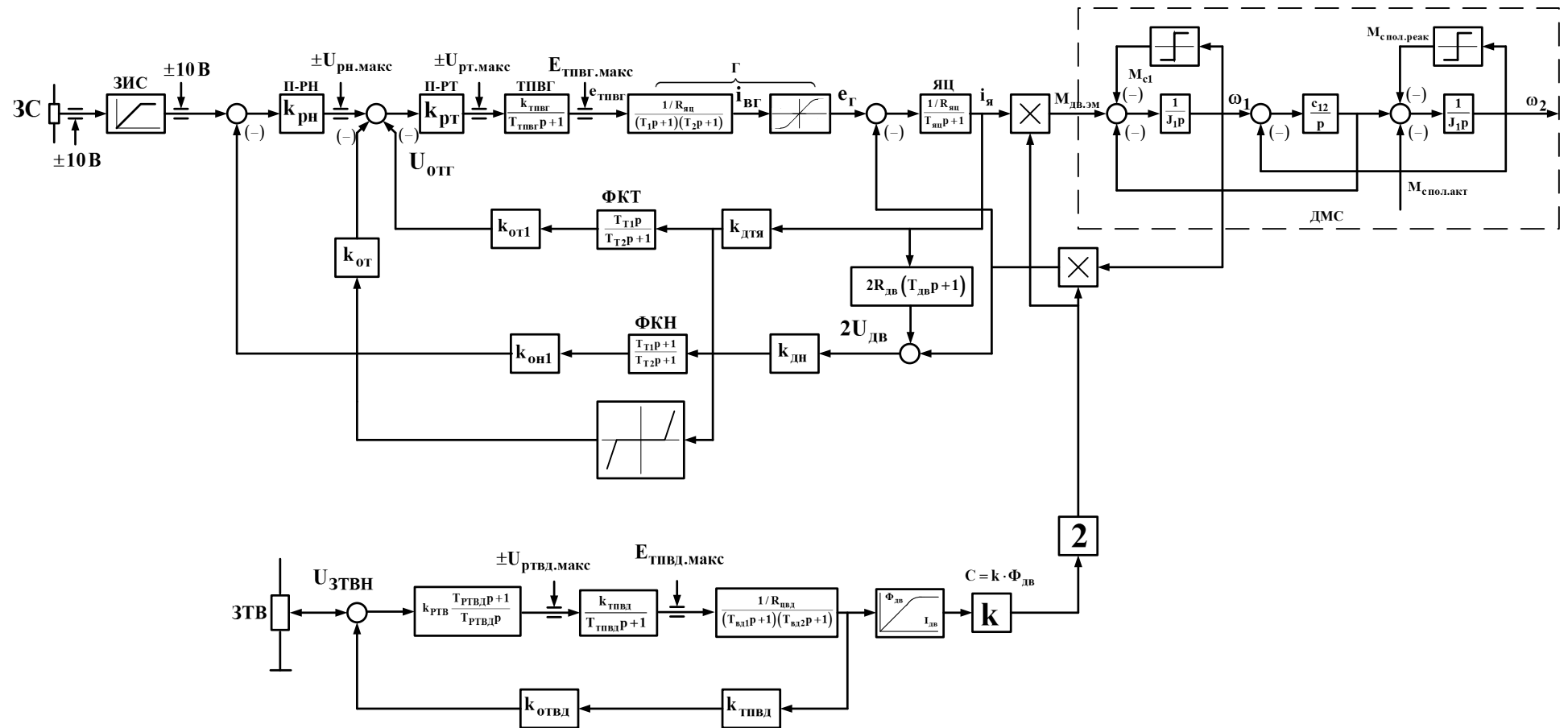


Рисунок 32. Структурная схема нелинейной САУ электропривода механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90.

5.2 Исследование нелинейной структурной схемы

Целью исследования является определение работоспособности спроектированного электропривода и определение его основных показателей качества работы.

Исследования проводились в следующих режимах:

- подъем со стопорением при различных сигналах задания;
- цикл механизма подъема.

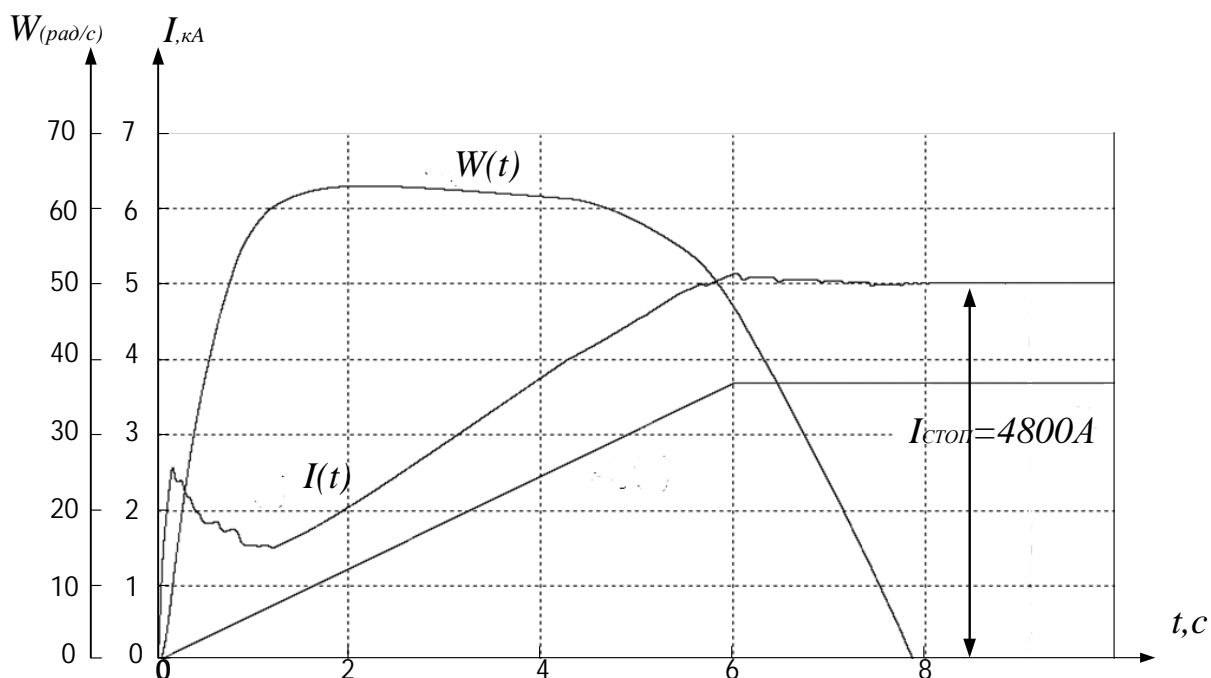


Рисунок 33. Переходные процессы скорости и тока механизма подъема при стопорении ($U_{3C} = 10B$)

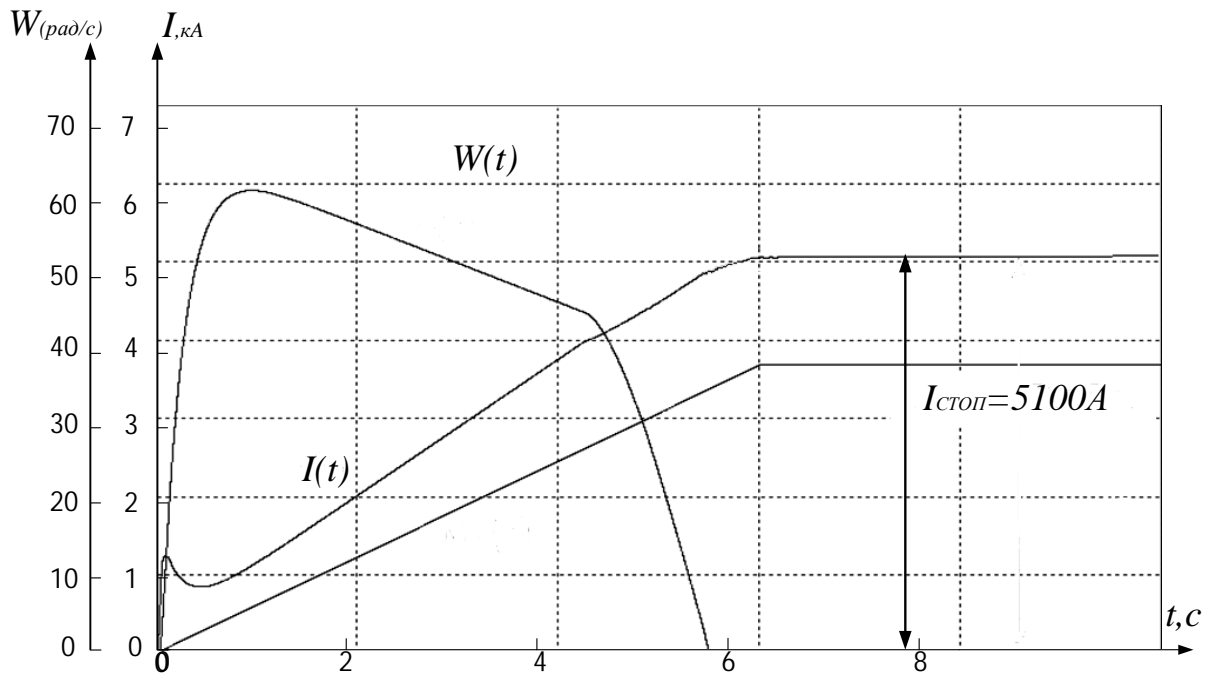


Рисунок 34. Переходные процессы скорости и тока механизма подъема при стопорении ($U_{3C} = 2В$)

В процессе моделирования были уточнены и приняты следующие параметры элементов структуры (см. рисунок 32):

- коэффициент усиления регулятора напряжения $k_{pH}^* = 4$;
- коэффициент усиления регулятора тока $k_{pT}^* = 0.5$;
- постоянные времени корректирующего звена контура тока

$$T_{T1}^* = 0.025 \text{ с};$$

$$T_{T2}^* = 0.1 \text{ с};$$

- постоянные времени корректирующего звена контура напряжения

$$T_{H1}^* = 0.2 \text{ с};$$

$$T_{H2}^* = 0.001 \text{ с};$$

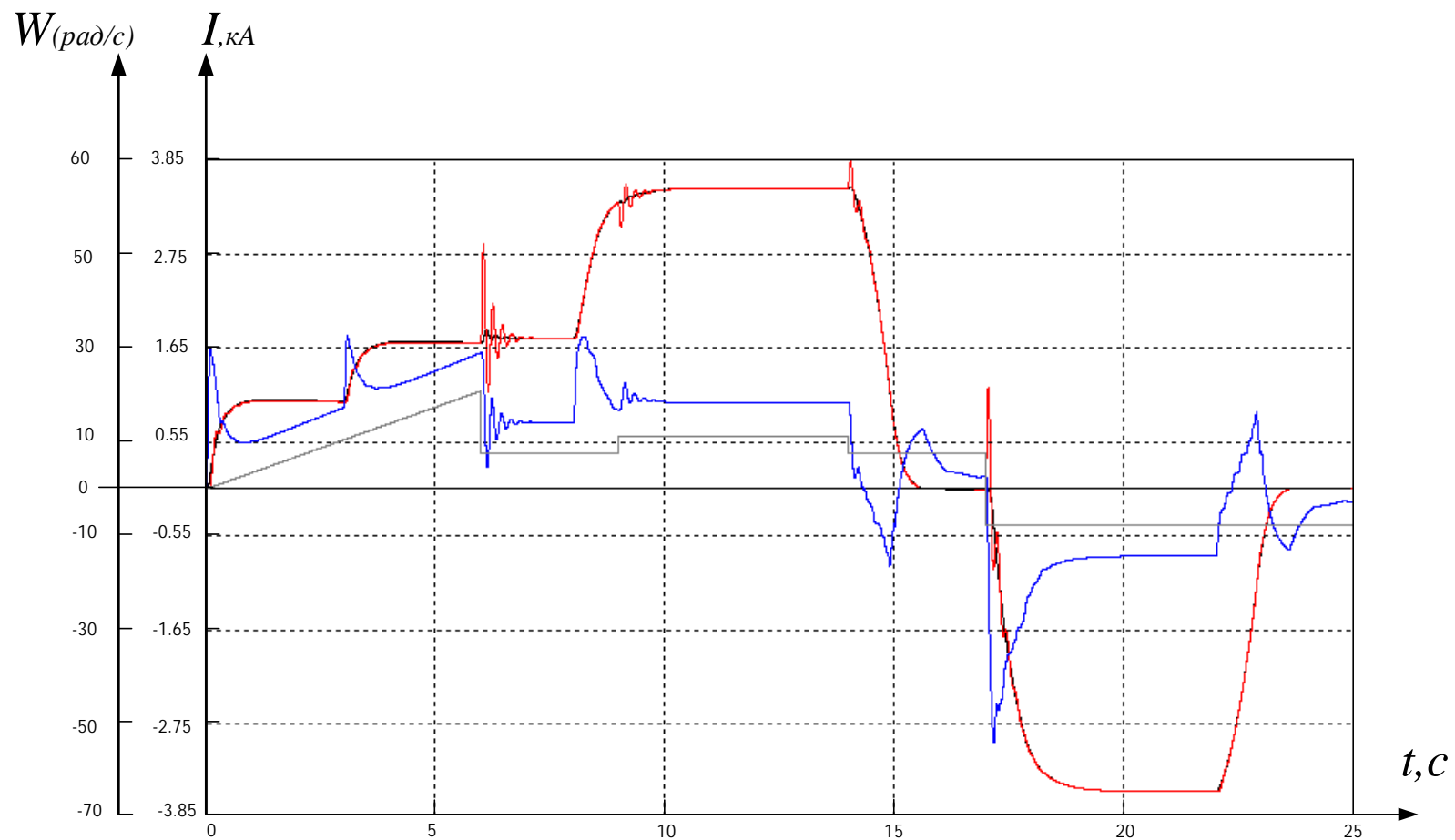


Рисунок 35. Переходные процессы за цикл работы привода подъема.

I, II-наполнение ковша, III-подъем ковша над забоем, IV-подъем с поворотом ковша к месту разгрузки
 V-остановка привода начало разгрузки ковша, VI- поворот платформы к забою и спуск ковша, VII-
 остановка привода.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Султанкулов Элмурод Бегмурат угли

Школа	Инженерная школа энергетиков (ИШЭ)	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта	1. Для проекта необходимо два человека (руководитель, дипломник) Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранта. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию регулируемого электропривода механизма подъема экскаватора - SWOT анализ по разработке проекта регулируемого электропривода механизма подъема экскаватора - оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые, а также возможности и угрозы - определить трудоемкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая позволяет спланировать процесс реализации технического проекта
2. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат: - материальные затраты - полная зарботная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные фонды - накладные расходы
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Султанкулов Элмурод Бегмурат угли		

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

6.1. SWOT анализ по разработке проекта регулируемого электропривода механизма подъема экскаватора

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. .[13]

Применительно к проектируемому электрооборудованию и электроприводу механизма подъема экскаватора ЭШ 20/90, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.[13]

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

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

Матрица SWOT приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Матрица SWOT

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

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие). [13]

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

Таблица 6.2. Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 6.3. Интерактивная матрица угроз

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

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

Также не стоит исключать случай, когда какая-либо из слабых сторон окажет наиболее сильное негативное воздействие, влияющее на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл1 - «Наличие щеточно-коллекторного узла». У электропривода с двигателем постоянного тока при неправильно настроенной коммутации щеточно-коллекторного узла возможно возникновения «кругового огня», что приводит к выходу из строя двигателя. Но за счет появления новых возможностей, закупка такого оборудования становится целесообразной, так как их преимущества минимизируют влияние слабых сторон.

6.2. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

6.3. Структура работ в рамках технического проектирования

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

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

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

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

- № 3 – Выбор тиристорного возбуждателя генератора – расчет электрических характеристик, требуемых для технологического процесса, и выбор из каталога необходимых тиристоров;
- № 4 – Расчет параметров электродвигателя;
- № 5 – Исследование электропривода напора на имитационной модели;
- № 6 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо и энергоэффективности;
- № 7 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;
- № 8 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов инженером;
- №9 – Подготовка к защите ВКР – составление презентации, согласование презентации с руководителем.

6.4. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула.[14]

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

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

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

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

В таблице 6.4. приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 6.4 –Продолжительность работ

№	Название работы	Минимально возможная трудоемкость		Максимально возможная трудоемкость		Ожидаемая трудоемкость	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	5	-	3
3	Выбор тиристорного возбудителя генератора	-	20	-	25	-	23
4	Расчет параметров электродвигателя	1	25	1	30	1	27
5	Исследование электропривода напора на имитационной модели	1	30	1	34	1	32
6	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1	7	1	5
7	Составление пояснительной записки	-	7	-	14	-	10
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	1	1	1	1	1
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	2	2	2	2	2

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

6.5. Разработка графика проведения технического проекта

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.[13] На основе таблицы 5.4 строим план-график проведения работ (таблица 6.5).

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 7 дней, а инженера 103 дня.

Таблица 6.5 – План график выполнения работ

№	Вид работ	Исп-ли	T _{рб.} раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	3	■												
3	Выбор тиристорного возбудителя генератора	Инженер	23	■												
4	Расчет параметров электродвигателя	Инженер	27			■										
		Руководитель	1						■							
5	Исследование электропривода напора на имитационной модели	Инженер	32						■							
		Руководитель	1										■			
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	5										■			
		Руководитель	1											■		
7	Составление пояснительной записки	Инженер	10										■			
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель	1													■
		Инженер	1													■
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2													■
		Инженер	2													■

6.6 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.6.1. Расчет материальных затрат

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

где m – количество видов материальных ресурсов;

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

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

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

Таблица 6.6 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
Упаковка бумаги	1	300	300
Ручка	2	63	130
Папка	1	55	55
Калькулятор	1	475	475
Переплет	1	40	40
Флеш-карта	1	600	600
Итого			1600

6.6.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p,$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

$Z_{р.к.}$ – районная доплата, руб.;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Расчет основной заработной платы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн}$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{полн}}$, руб.
Руководитель	0,15	11781	1767	13548
Инженер	0,12	63350	7600	70950
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.		75130	9370	84498

6.6.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \times (75130 + 9370) = 25520 \text{ руб.}$$

6.6.4. Накладные расходы

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

6.7. Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,6	1,2
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	84,5	63,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,5	19,2
4. Накладные расходы	21,4	16
5. Итого	133	100,0

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

6.8. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:[1]

$$I_{pi} = \mathring{a} a_i \times b_i \quad (5.3)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

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

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

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 - Сравнительная оценка характеристик проекта

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-ucn1} = 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 = 4,75$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и производительности позволяют судить об эффективности системы.

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.
- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,75 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность технологического процесса электропривод экскаватор путем улучшения качества и экономичности при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Султанкулов Элмурод Бегмурат угли

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Регулируемого электропривода механизма подъема Эскаватора	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<i>Объектом исследования является электропривод подъёма ЭШ 20/90, выполняющего погрузочно-разгрузочные работы при экскавации руды на открытых горных работах.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации ЭШ 20/90, выполняющего погрузочно-разгрузочные работы при экскавации руды на открытых горных работах. 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1) Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); 2) Загазованность; 3) Повышенный шум; 4) Повышенная вибрация; 1) Движущие машины и механизмы; 2) Электроопасность;
3. Экологическая безопасность.	1) Воздействия на атмосферу (выбросы); 2) Воздействия на гидросферу (сбросы); 3) Воздействия на литосферу (сбросы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	1) Наиболее типичный ЧС на рабочем месте машиниста-пожар

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Султанкулов Элмурод Бегмурат угли		

7. 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 ЭШ – 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.

7.1 Правовые и организационные вопросы.

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

Для работ на ЭШ 20/90 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.

Мероприятиями, улучшающими условия и охрану труда, являются такие виды деятельности, которые направлены на предупреждение, ликвидацию или уменьшение отрицательного влияния вредных и опасных производственных факторов на работающих. Для снижения травматизма и улучшения условий труда предлагаются следующие организационные и технические мероприятия, разработанные на основании действующих нормативных документов.

В соответствии с действующим законодательством обязанности по обеспечению охраны труда в организации возлагаются на нанимателя. Общее руководство по обеспечению охраны труда возлагаются на руководителя организации или лицо, им уполномоченное.

В организации периодически необходимо проводить проверку, осуществлять контроль и оценку состояния охраны и условий безопасности труда.

При обнаружении нарушений норм и правил охраны труда работники должны принять меры к их устранению собственными силами, а в случае невозможности этого - прекратить работы и информировать должностное лицо.

Руководители организаций обязаны обеспечить своевременное обучение безопасным методам и приемам работы, проведение инструктажа по вопросам охраны труда и проверку знаний.

Лица, допущенные к управлению мелиоративными машинами, должны иметь соответствующую профессиональную подготовку и пройти обучение по охране труда в установленном законодательством порядке.

Машинисту необходимо работать в спецодежде, спецобуви и применять средства индивидуальной защиты в соответствии с характером выполняемой работы для предупреждения воздействия вредных производственных факторов (неблагоприятного микроклимата, шума, вибрации, пыли и вредных веществ в воздухе).

Перед запуском двигателя мелиоративной машины следует проверить нахождение рычагов управления и коробки перемены передач в нейтральном положении. Работа на мелиоративных машинах в ночное время без достаточного освещения рабочей зоны, при тумане на неосушенных болотах не допускается. Сидеть или стоять на любых частях машины во время работы или при их транспортировке, производить поворот машины с заглубленным рабочим органом (зубьями, отвалом, фрезами) не допускается.

Работа на мелиоративных машинах не допускается при:

- Ø наличии открытых вращающихся и движущихся частей машин вследствие отсутствия или неисправности их защитных ограждений;
- Ø наличии неисправности системы запуска двигателя;
- Ø наличии неисправности или отсутствии блокировочного устройства запуска двигателя при включенной передаче;
- Ø наличии неисправности тормозной системы;
- Ø наличии неисправности муфты сцепления;
- Ø наличии неисправности рулевого управления;
- Ø наличии неисправности или отсутствии осветительных и контрольных приборов;
- Ø отсутствии или неисправности реверса рабочих органов, подверженных забиванию;
- Ø протекании топлива, масла и других технологических жидкостей;
- Ø отсутствии устройств или приспособлений для предотвращения

попадания растительных остатков на поверхности радиаторов системы охлаждения и на элементы выпускной системы отработанных газов двигателя;

- Ø неисправности устройства для крепления (фиксации) поднятых рабочих органов мелиоративных машин и платформ тракторных прицепов при производстве ремонта и технического обслуживания;
- Ø отсутствии предохранительных решеток на стеклах кабин машин;
- Ø неисправности клыков ковшей экскаваторов.

7.2 Производственная безопасность ЭШ 20/90

Табл.7.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).			+	ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по обогащению и брикетированию углей (сланцев) [24]
2. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
3. Акустические колебаниями в производственной среде(шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
4. Движение машин и механизмов			+	Требуемая норма(расстояние) от двигающихся механизмов и машин 1м, согласно СНИП 10-01-93[33]. СТ СЭВ 790-77
5. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.			+	[ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.16] Наличие высокого напряжения на рабочем месте, ГОСТ Р МЭК 536-94- Средства защиты от поражения эл.током.

2.1 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 7.2.

Таблица 7.2 – Содержание вредных газов в воздухе

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

При сжигании различных видов топлива, работе двигателей транспортных средств, гальванических процессах, вовремя окрасочных, сварочных и термических работ, а также при других процессах на транспорте выделяется большое количество вредных газообразных 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 7.3.

Таблица 7.3 – Предельно – допустимая концентрация веществ

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

Пылевые частицы с зазубренными острыми краями металлическая, минеральная пыль оседают медленнее и в большем количестве попадают в дыхательные пути. При этом они могут травмировать слизистые оболочки.

Электрически заряженные частицы пыли быстрее захватываются организмом, и их количество, попадающее в трахею, бронхи, легкие, в 2 - 3 раза превышает количество нейтральной пыли. Частицы, несущие электрический заряд, являются агрессивными по отношению к внутренним органам человека.

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

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

Для защиты персонала ЭШ от воздействий вредных факторов на экскаваторе устанавливают системы очистки воздуха СПГО (система пылегазоочистки).

Вибрации на рабочий места

Источником вибрации при работе ЭШ 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 7.4 – 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;

Шум на рабочий месте

В кабине машиниста преобладает шум механического происхождения, возникающий в результате работы всех механизмов ЭШ, 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 7.5 – 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.

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

Движущиеся машины и механизмы.

Основными видами опасности, воздействующими на машиниста ЭШ, являются:

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

- Опасность, вызванная поступательным движением ЭШ: движение во время разгона двигателя; движение при отсутствии машиниста на своем месте; чрезмерно высокая скорость ЭШ при работах на склонах, движущийся автотранспорт; недостаточная способность ЭШ 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.

Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

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

7.3. Экологическая безопасность.

Воздействия на атмосферу (выбросы).

Самыми распространёнными вредными веществами, загрязняющими атмосферу карьера являются:

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

Погрузочно-разгрузочные работы сопровождаются значительным выделением пыли. Максимальное количество пыли выделяется при работе экскаваторов, несколько меньшее – при работе бульдозеров. Концентрация пыли при выемочно-погрузочных работах, также как и при буровзрывных, зависит от крепости и естественной влажности горных пород. На интенсивность пылевыведения оказывают влияние объёмодновременно 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.

7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

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 ЭШ 20/90 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.

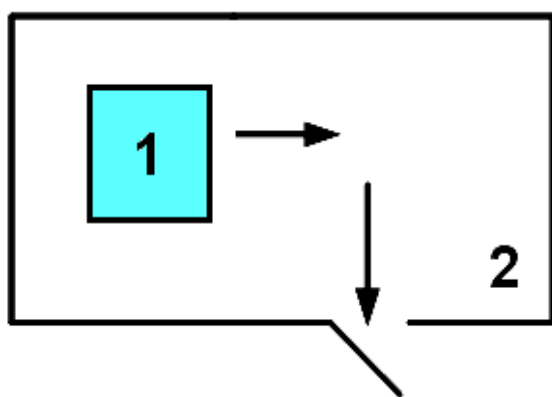


Рисунок 7.1 – План эвакуации машиниста из кабины экскаватора 1 – кресло-пульт машиниста; 2 – кабина экскаватора

Заключение

Разработанный электропривод механизма подъема одноковшового экскаватора ЭШ 20/90 полностью удовлетворяет всем техническим требованиям и особенностям технологического процесса.

Регулируемый электропривод механизма подъема представляет собой систему автоматического управления выполненную по двухконтурной системе подчиненного регулирования.

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, полученные с помощью 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.

Электропривод подъема обеспечивает работу в повторно-кратковременном режиме с резко-переменной нагрузкой; минимальное время реверсирования и достаточно широкий диапазон регулирования.

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

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

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

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

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

THE CONCLUSION

The developed electric drive of the mechanism of draft of a dredge 20/90 completely satisfies to all technical requirements and features of technological process.

The adjustable electric drive of the mechanism of draft represents system of automatic control executed on twoplanimetric structure of the subordinated regulation.

The application of the given structure with proportional regulators has allowed to receive family of the characteristics with an opportunity of adjustment of factor of filling and factor.

As a result of optimization the static system with optimum parameters of adjusting circuits was received. The parameters of transients received with the help of numerical modeling on the are close to parameters of system adjusted on a modular optimum.

The static mistake of system satisfies of the given error of maintenance of speed at the maximal loading. Idling mistake on speed practically is equal to zero. The electric drive of rise provides work in a repeatedly - short-term mode with sharp - variable loading; the minimal time and wide enough range of regulation.

Список используемой литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода.-М/. Энергоатомиздат, 1998.-704С.
2. Чулков. Н.Н. Расчет приводов карьерных машин.-М.: Недра, 1987.-196с.
3. Носырев М.Б., Карякин А.Л. Расчеты и моделирование САУ главных электроприводов одноковшовых экскаваторов. Учебное пособие.-Свердловск, изд. СГИ им. ВахрушеваД987.-88с.
4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока.-Томск, изд. ТПИ, 1991.-104с.
5. Панкратов С.А. Конструкция и основы расчета главных узлов экскаваторов и кранов.-М.: Машиностроение, 1962.-540с.
6. Сотников Л.Я. Укрупненный инженерный расчет экскаваторов.- Воронеж, 1973.
7. Сатовский Б.И., Ярцев Н.Г. и др. Современные карьерные экскаваторы.- М.: Недра, 1971.-480с.
8. Мартынов М.В., Переслегин Н.Г. Автоматизированный электропривод в горной промышленности.- М.: НедраД 977.-375е.
9. Бариев Н.Б. Электрооборудование одноковшовых экскаваторов.- М.: Энергия, 1980.-296С.
10. Бариев Н.Б. Электрооборудование и электропривод одноковшовых экскаваторов.- М.: НедраД 970.-248с.
11. Егурнов Г.П., Рейш А.К. Одноковшовые экскаваторы.- М.: НедраД 969.-472с.
12. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Седанов Л.В. Наладка электроприводов экскаваторов.- М.: Недра, 1975.-312с.
13. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
14. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений.
15. ГОСТ 12.2.007-75. Безопасность труда при работе на электрооборудовании и электроустановках.
16. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
17. Единые правила безопасности при разработке месторождений

полезных ископаемых открытым способом. - М.:Недра, 1987-96с.

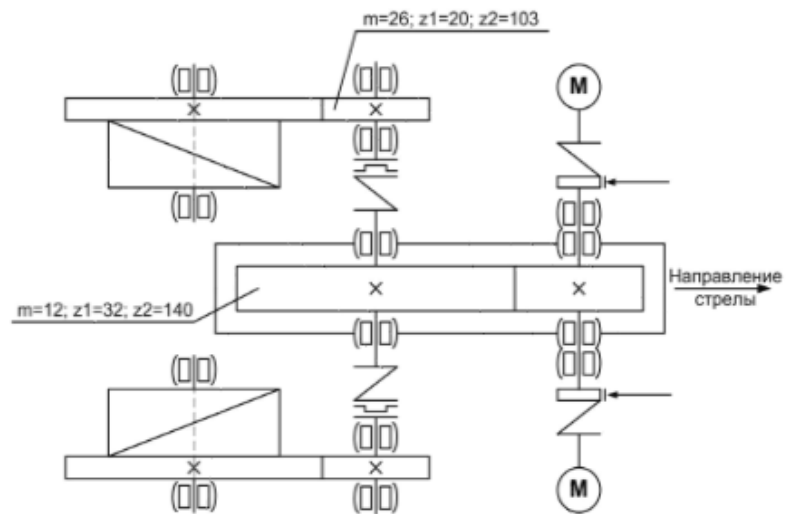
18. ГОСТ 12.1.003 -83 ССБТ. Шум, вибрация общие требования.

18. Лукичева Л.И. Управление организацией. – М.:ОМЕГА-Л, 2005.-
360с.

19. Бовин А.А. Управление инновациями в организации.-М.:ОМЕГА-
Л,2009.-415с.

Приложение А

Кинематическая схема
подъемной лебедки



Расчетная схема двухмассовой
механической системы

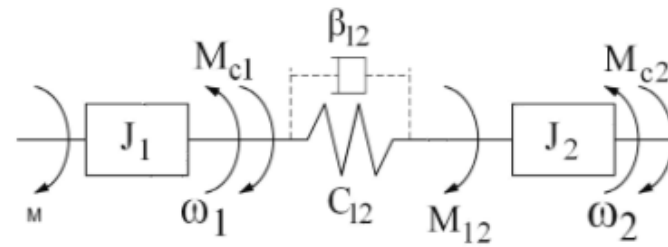
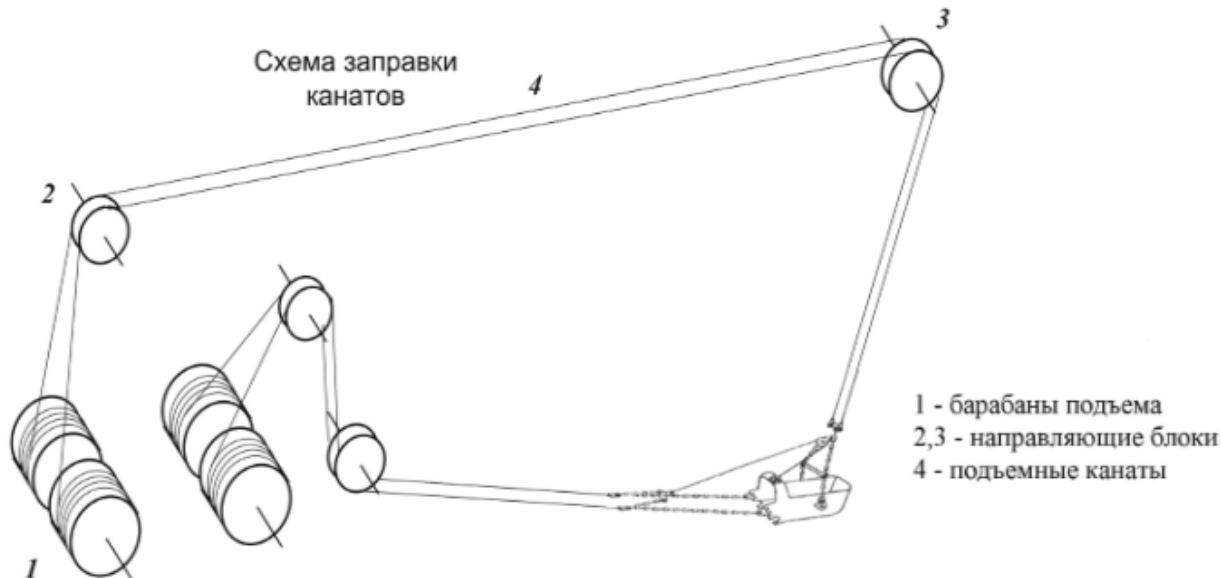
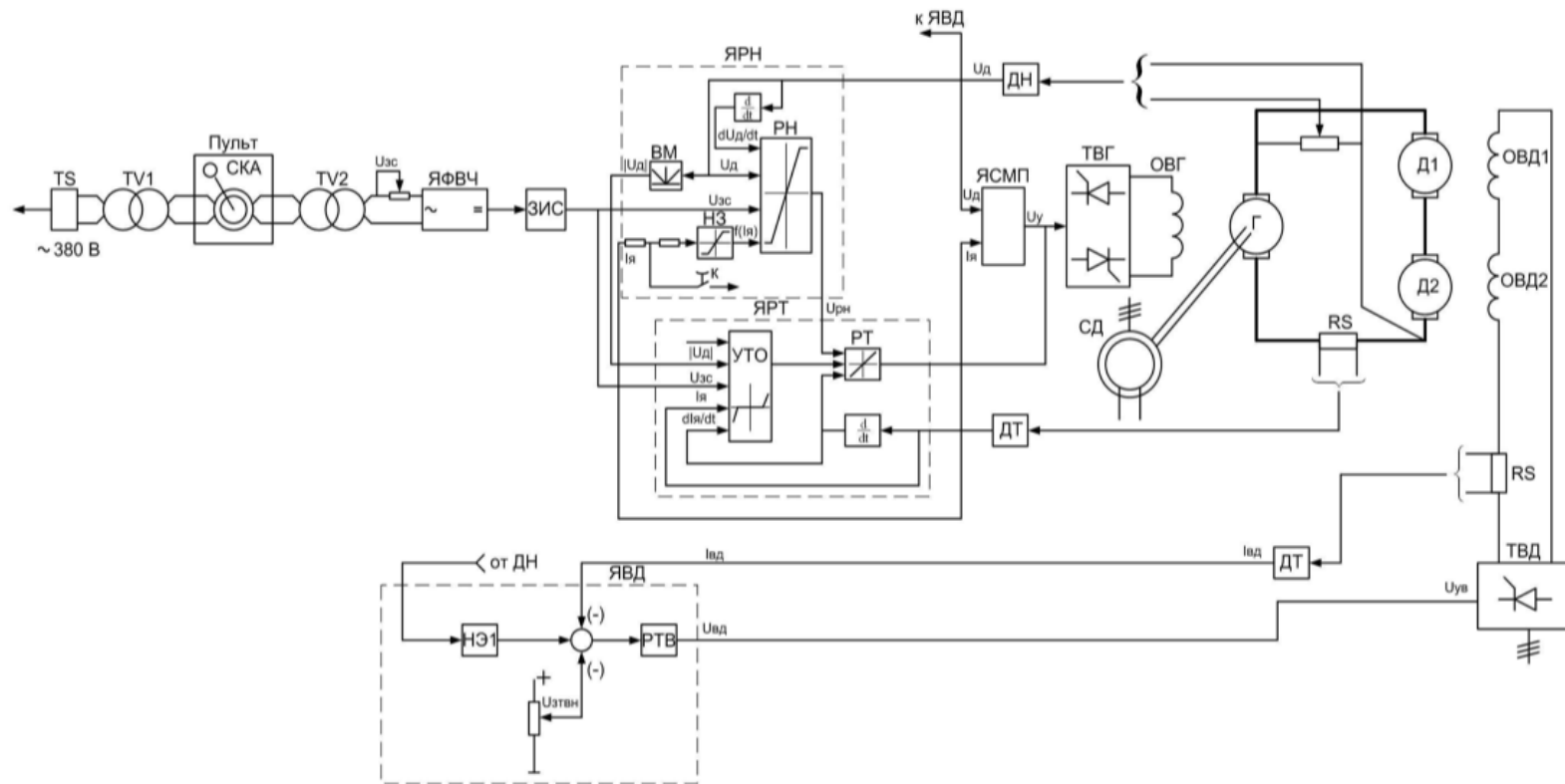


Схема заправки
канатов

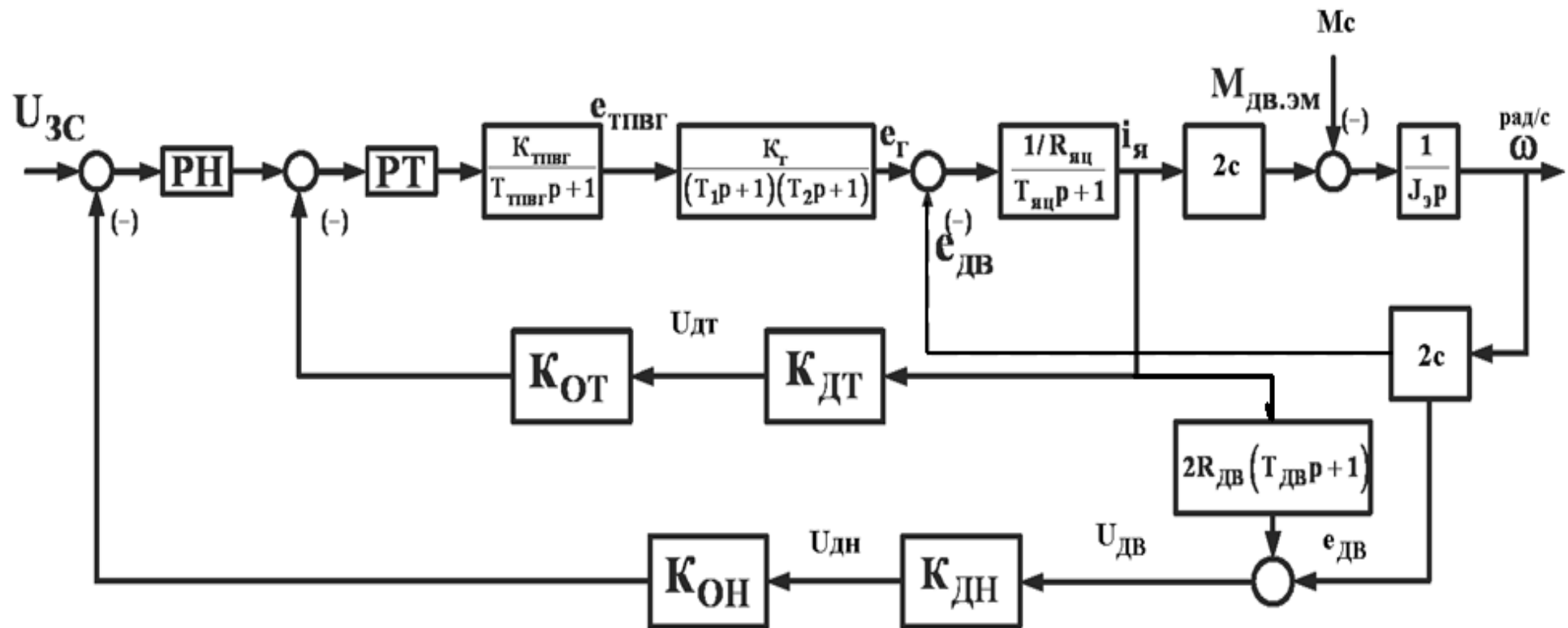


Функциональная электрическая схема электропривода механизма подъема экскаватора ЭШ20/90



- ЯРН - ячейка регулятора напряжения
- ЯРТ - ячейка регулятора тока
- ЯВД - ячейка возбуждения
- ЯФВЧ - ячейка фазочувствительного выпрямления
- ЯСМП - ячейка снижения механических перегрузок

Структурная схема линейризованной САУ РЭП



Переходные процессы за цикл работы привода подъема

