

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»  
Кафедра «Техника и технологии в металлургии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т.В. Баяндина  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 13.03.02.2018.825.ПЗ.ВКР

Руководитель ст. препод.  
\_\_\_\_\_ С.В. Борисов  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор работы  
студент группы ДО – 514  
\_\_\_\_\_ А.А. Немчинов  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер  
к.и.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Т.Н. Наволокина  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИУ)»  
Кафедра «Техника и технологии в металлургии»  
Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.В. Баяндина  
\_\_\_\_\_ 2018г.

ЗАДАНИЕ  
на выпускную квалификационную работу студента  
Немчинова Андрея Александровича

Группа ДО – 514

1 Тема работы:

Модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А  
утверждена приказом по университету от 04.04.2018 г. № 650

2 Срок сдачи студентом законченной работы 02.07.2018 г.

3 Исходные данные к работе

1	Задание для выполнения выпускной квалификационной работы
2	Нормативно-техническая литература
3	Материалы курсовых проектов
4	Отчеты по производственной и преддипломной практикам

4 Содержание расчетно-пояснительной записки

1	Титульный лист
2	Задание на выпускную квалификационную работу
3	Аннотация
4	Содержание
5	Введение
6	Описание машины на предприятии. Технические характеристики ЭКГ-5А

7	Аналитический обзор
8	Технико-экономическое обоснование сущности модернизации экскаватора
9	Выбор элементов, построение структурной схемы и статических механических характеристик системы электропривода на постоянном токе
10	Выбор структуры системы управления ЭП постоянного тока и расчет статических режимов их работы
11	Разработка системы управления электроприводом поворота
12	Расчет динамических процессов в электроприводе поворота
13	Составление принципиальной схемы системы. Описание схемы. Спецификация
14	Экономический раздел
15	Безопасность жизнедеятельности
16	Заключение
17	Библиографический список
18	Приложения в виде графической части

#### 5 Перечень вопросов, подлежащих разработке

1	Анализ отечественных и передовых зарубежных технологий и решений
2	Сбор исходных данных для разработки выпускной квалификационной работы
3	Изучение технической литературы и нормативной документации
4	Анализ технологического процесса объекта
5	Разработка структуры системы управления объектом
6	Разработка мероприятий по технике безопасности
7	Расчет технико-экономических показателей

#### 6 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в виде презентаций в программе Power Point)

1	Модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А студент: Немчинов Андрей Александрович руководитель: Борисов Станислав Валентинович
2	Цель работы, назначение разработки, ее актуальность
3	Анализ технического задания, результаты сравнения отечественных и передовых зарубежных технологий и решений
4...7	Основная часть разработки. Приводятся структурные, функциональные и электрические схемы проектируемого объекта, основные расчеты узлов и блоков, результаты экспериментальных исследований и модернизации и т.п.

8	Экономическая часть (сетевой график, стоимость затрат на разработку, экономический эффект)
9	Разработанные мероприятия по БЖД
10	Основные результаты работы. Возможные пути дальнейшего решения вопросов (развития работы)

### 7 Календарный план выполнения ВКР

№ п/п	Наименование этапов выполнения выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы
1	Поиск и исследование литературы по теме выпускной квалификационной работы	28.04.2018 – 06.05.2018
2	Разработка и согласование с руководителем 1 и 2-го разделов ВКР	07.05.2018 – 15.05.2018
3	Подбор, изучение и проработка практических материалов, разработка и согласование с руководителем 3 и 4-го разделов ВКР	16.05.2018 – 15.06.2018
4	Согласование с руководителем введения, выводов и предложений	16.06.2018 – 20.06.2018
5	Сдача ВКР для нормоконтроля	21.06.2018 – 29.06.2018
6	Проверка ВКР на заимствование в системе «Антиплагиат»	29.06.2018 – 01.07.2018
7	Представление ВКР на кафедру	02.07.2018
8	Подготовка доклада и графического материала	03.07.2018 – 09.07.2018
9	Проведение предварительной защиты ВКР	10.07.2018
10.	Защита выпускной квалификационной работы	12.07.2018 – 14.07.2018

### 8 Дата выдачи задания 04.04.2018 г.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ С.В. Борисов  
(подпись) (И.О. Ф.)

Задание принял к  
Исполнению \_\_\_\_\_ А.А. Немчинов  
(подпись студента) (И.О. Ф.)

## АННОТАЦИЯ

Немчинов А.А. Модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А. – Челябинск: ЮУрГУ, ТТМ; 2018, 112 с., 15 ил., 28 табл., 7 прил., 7 л. графической части в виде презентаций в программе Power Point, 7 прил., библиографический список – 10 наим.

В выпускной квалификационной работе рассмотрена технология модернизации электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А. Электрооборудование экскаватора работает в весьма тяжелых условиях тряски, ударов, вибраций, большой запыленности. Электропривод поворота работает в интенсивном повторно-кратковременном режиме, с большой частотой включений, при изменяющейся в широких пределах нагрузке на валу двигателя. Предложены решения по замене системы Г-Д на ТП-Д, которая построена по принципу подчиненного регулирования с последовательной коррекцией. Тиристорный преобразователь обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с генератором.

Сделан расчет технико-экономических обоснований сущности модернизации экскаватора. Проведена работа по выбору элементов, характеристик, построения схем, структуры системы управления ЭП (электропривода).

Основным вопросом работы является надежность электропривода, на основании чего проработана стоимостная оценка результатов исследования.

А также рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности при эксплуатации такого рода машин, как экскаватор ЭКГ-5А.

					<b>13.03.02.2018.825.00.00.ПЗ</b>			
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Немчинов А.А.		29.06.18	<b>Модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А</b>	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		Борисов С.В.				<i>ВКР</i>	<i>5</i>	<i>112</i>
						<b>ЮУрГУ Кафедра ТТМ</b>		
<i>Н.контр.</i>		Наволокина Т.Н						
<i>Утв.</i>		Баяндина Т.В.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 ОПИСАНИЕ МАШИНЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-5А.....	14
2 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	21
2.1 Литературный анализ имеющихся систем привода поворота.....	21
2.2 Сравнение привода Г-Д с ТП-Д.....	26
2.3 Патентное исследование и анализ его результатов.....	27
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СУЩНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-5А.....	35
4 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ, ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И СТАТИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ.....	39
4.1 Выбор электродвигателя и расчет главных параметров.....	39
4.1.1 Выбор электродвигателя.....	39
4.1.2 Проверка двигателя по нагреву.....	43
4.2 Расчет параметров цепи якоря.....	47
4.3 Выбор тиристорного преобразователя (ТП) для электропривода постоянного тока.....	47
4.4 Расчет мощности и параметров питающего трансформатора.....	49
4.5 Выбор сглаживающего дросселя.....	51
4.6 Определение коэффициентов передачи и постоянных времени силовых элементов.....	54
5 ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА И РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ.....	56
5.1 Выбор структуры системы автоматического управления (САУ) и ее элементов.....	56
5.2 Построение функциональной схемы САУ.....	56

5.3	Выбор задающего устройства.....	59
5.4	Выбор тахогенератора.....	59
5.5	Выбор операционных усилителей для построения регуляторов.....	60
5.6	Выбор датчика тока.....	60
5.7	Выбор блока токоограничения.....	61
5.8	Расчет параметров обратной связи.....	62
<b>6 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОВОРОТА.....</b>		
6.1	Составление передаточных функций элементов САУ.....	64
6.2	Построение структурной динамической схемы САУ и выбор настроек регуляторов.....	66
6.2.1	Оптимизация токового контура.....	68
6.2.2	Оптимизация скоростного контура.....	69
<b>7 РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОВОРОТА.....</b>		
7.1	Выбор метода исследования динамики привода.....	71
7.2	Составление расчетной структурной схемы привода.....	71
7.3	Результаты расчета переходного процесса.....	79
<b>8 СОСТАВЛЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ. ОПИСАНИЕ СХЕМЫ. СПЕЦИФИКАЦИЯ.....</b>		
8.1	Составление принципиальной схемы.....	80
8.2	Составление спецификации электрооборудования системы.....	80
8.3	Расчет капитальных вложений в электропривод (расчет себестоимости).....	81
8.4	Расчет эксплуатационных расходов.....	84
8.4.1	Расчет затрат на ремонт и обслуживание.....	84
8.4.2	Расчет трудоемкости ремонтов.....	85
8.4.3	Расчет плановых потребностей в рабочей силе и фонда зарплаты.....	86

8.4.4 Расчет стоимости потребляемой электроэнергии.....	88
8.5 Расчет надежности электропривода.....	89
8.6 Стоимостная оценка результатов исследования.....	93
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	95
9.1 Анализ производственных вредности и опасности при эксплуатации экскаватора ЭКГ-5А.....	95
9.2 Техника безопасности и противопожарная профилактика при эксплуатации экскаватора ЭКГ-5А.....	97
9.3 Расчет защитного заземления экскаватора ЭКГ-5А.....	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	104
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	105
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	107
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	112



## ВВЕДЕНИЕ

Экскаваторы ЭКГ-5А используются на открытых горных разработках по добыче руды для предприятий черной и цветной металлургии, в угольных карьерах, промышленности строительных материалов, а в то же самое время при выполнении больших объемов земельных работ в промышленном строительстве. Одноковшовые карьерные экскаваторы есть главные машины, которые применяются на угольных и рудных карьерах, как наиболее удовлетворяющие требованиям работы в самых тяжелых горно-геологических и климатических условиях.

Экскаваторный парк периодически пополняется новыми современными машинами. Однако наряду с новыми типами экскаваторов на карьерах в эксплуатации находится много машин прежних выпусков. Поэтому для повышения производительности труда и безаварийной работы экскаваторов имеет большое значение их модернизация. То есть замена устаревшего оборудования экскаватора современным, новым оборудованием, применение более новых разработок в технике, могли бы улучшить производительность экскаватора, уменьшить его энергоемкость, сократить простои, увеличить межремонтный цикл экскаваторов.

Тема настоящего дипломного проекта – это модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А. Электрооборудование экскаватора работает в весьма тяжелых условиях тряски, ударов, вибраций, большой запыленности. Электропривод поворота работает в интенсивном повторно-кратковременном режиме, с большой частотой включений, при изменяющейся в широких пределах нагрузке на валу двигателя.

В дипломном проекте я заменяю систему Г-Д на ТП-Д, которая построена по принципу подчиненного регулирования с последовательной коррекцией. Тиристорный преобразователь обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с генератором. К главному из них имеется возможность отнести:

высокий КПД, малая мощность управления, высокое быстродействие, малые габариты и вес, более высокая надежность и другие.

Применяемая структурная 3-х контурная система подчиненного регулирования имеет два главных достоинства, определяющих ее широкое распространение.

Простота расчета и настройки. Система разбивается на ряд контуров. Каждый контур включает в себя регулятор, за счет придания которому определенных динамических свойств получают стандартные характеристики. Настройка в процессе наладки системы ведется, сначала с внутреннего контура. Поскольку регулятор имеет простую передаточную функцию, а качество настройки имеет возможность быть легко оценено по результатам сравнения реакции контура на скачок управляющего воздействия со стандартной переходной характеристикой, наладка системы оказывается простой.

Удобство ограничения предельных значений промежуточных координат системы. Поскольку выходной сигнал регулятора внешнего контура есть предписанный значением для внутреннего контура, ограничение выходной координаты внутреннего контура достигается за счет ограничения определенным значением выходного сигнала регулятора внешнего контура.

Модернизацией привода поворота экскаватора хочется повысить его надежность, срок службы, сократить сроки ремонта и технического обслуживания, увеличить межремонтный цикл, сократить затраты на ремонтные работы.

Добыча полезных ископаемых открытым способом непрерывно развивается и совершенствуется. Успехи горнодобывающей промышленности в этой области в значительной степени обусловлены развитием отечественного машиностроения, которое обеспечивает высокий уровень механизации открытых разработок, и оснащающего эти разработки комплексом надежных и высокопроизводительных механизмов. Одно из важных мест среди этих механизмов занимают одноковшовые экскаваторы средней и большой производительности.

Современный мощный экскаватор – это сложная высокопроизводительная землеройная машина, которая по своей насыщенности электрооборудованием, по общей установленной мощности электрических машин сравнима со средним промышленным предприятием. Все главные механизмы таких экскаваторов оборудуются индивидуальным электроприводом по системе управляемый преобразователь-двигатель с той или иной схемой автоматического управления, как правило, представляющей собой замкнутую систему автоматического регулирования. Маневренность главных механизмов экскаватора, надежность их работы и производительность машины в целом зависят от технических возможностей системы электропривода, качества ее наладки и условий эксплуатации.

Отечественные одноковшовые экскаваторы средней и большой производительности оборудуются индивидуальным электроприводом главных механизмов. Главные электроприводы – это электроприводы подъема, напора и поворота.

Режим работы электроприводов главных рабочих механизмов характеризуется большим числом включений, резким изменением нагрузки, частыми изменениями направления вращения (реверсированием). Иными словами, электроприводы работают главным образом в неустановившемся режиме. Поэтому к электроприводу экскаватора предъявляются особые требования. Например, одно из требований, которые предъявляются к электроприводу поворота – это обеспечение протекания переходных процессов в минимально возможное время с ограниченным ускорением или замедлением, в особенности при торможении. Такое требование вызвано тем, что механизм поворота работает исключительно в переходных процессах пуска и торможения. Кроме того, вследствие большого передаточного отношения редуктора механизма поворота могут быть люфты в передачах, что требует плавного разгона во избежание резких ударов в передачах. Разработками в управлении электроприводом считаем цель частично сгладить эти недостатки в управлении электроприводом экскаватора.

В электроприводе механизма поворота одноковшового экскаватора используются двигатели постоянного тока с независимым возбуждением, управляемые изменением напряжения в цепи якоря. С этой целью якорь двигателя подключается к индивидуальному источнику питания – управляемому преобразователю (система УП-Д). В качестве управляемого преобразователя имеет возможность быть использован генератор постоянного тока (система Г-Д) или тиристорный преобразователь (система ТП-Д).

В настоящий момент внедряются тиристорные преобразователи в качестве возбудителя генераторов на мощных экскаваторах и в системе ТП-Д на относительно небольших машинах. Преобразователи, которые предназначены для возбуждения генераторов, снабжаются системами импульсно-фазового управления (СИФУ) с фазовращающими мостами, в которых в качестве управляемой индуктивности используются дроссели насыщения. Более мощные преобразователи, которые предназначены для питания якорных цепей двигателей, имеют полупроводниковые СИФУ, построенные по вертикальному принципу.

Динамические свойства преобразователя отличаются своеобразием, которое связано с дискретностью импульсно-фазового способа регулирования напряжения и с неполной управляемостью тиристоров.

Второй фактор, который определяет динамические свойства вентильного преобразователя, есть быстродействие его СИФУ. Полупроводниковые СИФУ, построенные по вертикальному принципу, обладают высоким быстродействием практически считаются безинерционными.

В системе Г-Д используют магнитный усилитель в качестве возбудителей генераторов с независимым возбуждением. Важнейшая особенность режима работы магнитных усилителей в схеме Г-Д с самовозбуждением генератора – это возможности изменения тока нагрузки усилителя скачком.

Магнитный усилитель с выходом на постоянном токе обладает реальным КПД около 30 – 35 % и комплектуются двух одно-контактными магнитными усилителями. Эти факторы определяют их относительно высокие габариты, в особенности при применении наиболее надежных в настоящее время селеновых

выпрямителей. При полной выходной мощности усилителя около 2 – 3 кВт установленная мощность его дросселей и выпрямителей составляет 12 – 15 кВт. Целесообразность использования еще более мощных усилителей в экскаваторных, да и в других электроприводах вызывает сомнения. При этом преимущества явно на стороне тиристорных преобразователей.

С помощью тиристорov имеется возможность конструировать силовые управляемые преобразователи, по ряду показателей выгодно отличающиеся от электромашинных преобразовательных агрегатов. Тиристор представляет собой полупроводниковый вентиль, снабженный дополнительным управляющим электродом, с помощью которого имеется возможность изменять его запирающие свойства.

**1 ОПИСАНИЕ МАШИНЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ. ТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-5А**

Таблица 1.1 – Технические характеристики экскаваторов ЭКГ-5 и его модификаций

Параметры	ЭКГ-5А	ЭКГ-5В	ЭКГ-5Д	ЭКГ-5А-УС
Основного ковша, м <sup>3</sup>	4,6-6,3	5	4,6-6,3	4,6
Вместимость сменного ковша, м <sup>3</sup>	3,2;4,6;6,3; 7;	-	-	-
Расчетная продолжительность цикла, сек	23	26	23	29
Наибольшее усилие на подвеске ковша, кН	500	500	500	500
Номинальная мощность сетевого двигателя, кВт	250	250	-	250
Номинальная мощность трансформатора, кВА	250	400	-	250
Напряжение сети (3-х фазная, 50 Гц), В	3; 3,3; 6; 6,6	3; 3,3; 6;6,6	-	3; 3,3; 6;6,6
Скорость передвижения, км/час	0,55	0,55	0,55	0,55
Наибольший преодолеваемый угол подъема, рад (град)	0,2 (12)	0,2 (12)	0,2 (12)	0,2 (12)
Среднее удельное давление на грунт (1100 мм звенья), кПа	313	316	320	306
Среднее удельное давление на грунт (1400 мм звенья), кПа	224	226	230	218

Окончание таблицы 1.1

Параметры	ЭКГ-5А	ЭКГ-5В	ЭКГ-5Д	ЭКГ-5А-УС
Рабочая масса с ковшом, т	395,0	402,0	405,0	386,0
Масса основного ковша, т	16,2	19,5	14,4	8,6
Масса противовеса, т	45-50	55-60	55-60	45-50

Краткое описание экскаватора ЭКГ-5А

Экскаваторы на базе ЭКГ-5А предназначены для разработки и погрузки в транспортные средства полезных ископаемых и пород вскрыши на открытых горных разработках, для отвалообразования, а в то же самое время для погрузочных работ на складах.

Экскаваторы с удлиненным рабочим оборудованием могут быть использованы для проходки пионерных траншей, а в то же самое время погрузки в транспортные средства, которые расположены на вышележащих горизонтах.

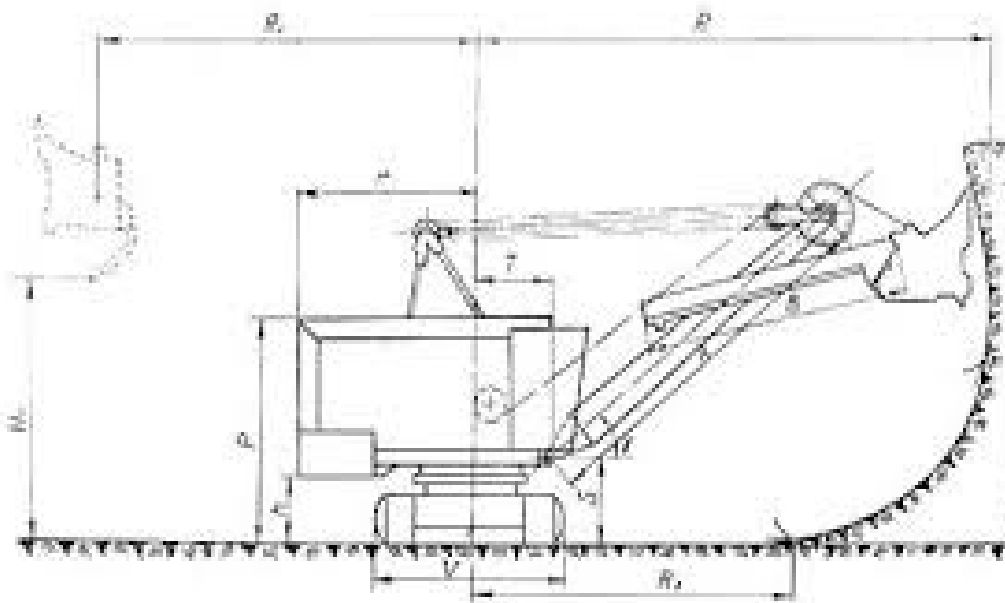


Рисунок 1.1 – Схема рабочих размеров экскаватора ЭКГ-5А

Таблица 1.2 – Параметры рабочих размеров экскаватора ЭКГ-5 и его модификаций

Параметры	ЭКГ-5А	ЭКГ-5В	ЭКГ-5Д	ЭКГ-5А-УС
А – Радиус черпания наибольший, м	14,5	14,5	14,5	15,5
В – Радиус черпания на уровне стояния, м	9,04	9,04	9,04	10,5
С – Высота черпания наибольшая, м	10,3	10,2	10,3	12,9
Д – Радиус выгрузки наибольший, м	12,65	12,65	12,65	13,7
Е – Высота выгрузки наибольшая, м	6,7	6,5	6,7	5,9
Ф – Радиус хвостовой части, м	5,25	6,5	6,7	9
Г – Просвет под поворотной платформой, м	1,85	1,89	1,89	1,85
Н – Длина гусеничного хода, м	5,83	5,83	5,83	5,83



Продолжение таблицы 1.2

Параметры	ЭКГ-5А	ЭКГ-5В	ЭКГ-5Д	ЭКГ-5А-УС
Ширина гусеничной ленты, мм	900/1100/ 1400	900/1100/ 1400	900/1100/ 1400	900/1100/ 1400
Среднее удельное давление на грунт при передвижении, кгс/см <sup>2</sup>	2,1/1,72/1,3	2,19/1,79/ 1,52	2,1/1,72/1,3	2,26/1,85
Среднее удельное давление на грунт при передвижении, кПа	205/162/127	215/176/149	205/162/127	221/181
Расчетная продолжительность цикла на угол 900, с	23	26	23	29
Наибольший преодолеваемый угол подъема, рад (град)	0,2(12)	0,2(12)	0,2(12)	0,2(12)
Скорость передвижения по горизонтальной площадке, км/час	0,55	0,55	0,55	0,55

Окончание таблицы 1.2

Параметры	ЭКГ-5А	ЭКГ-5В	ЭКГ-5Д	ЭКГ-5А-УС
Напряжение питающей сети, кВ	3; 3,3; 6; 6,6	3; 3,3; 6; 6,6	-	3; 3,3; 6; 6,6
Тип электропривода	Г-Д с МУ	Г-Д с МУ	Дизель-электрический	Г-Д с МУ
Мощность Сетевого двигателя, кВт (трансформатора, кВА)	250	250 (400)	-	250
Масса рабочая, т	196	207	195	211

Электрооборудование экскаватора ЭКГ-5А

Экскаватор получает питание от высоковольтного приключательного пункта. Качество электроснабжения должно обеспечиваться потребителем по нормам действующей нормативно-технической документации. Потребляемая мощность экскаватора в получасовом режиме составляет 250-275 кВт при средневзвешенном коэффициенте мощности 0,6. Для питания экскаватора от приключательного пункта рекомендуется высоковольтный кабель КШВГ-3х16+1х6 для условий умеренного климата или КШВГ-Т-3х25+1хЮ для условий тропического климата.

Для управления высоковольтным электродвигателем Аг-М (пятимашинного преобразовательного агрегата) и силовым трансформатором собственных нужд Тр1 применено малогабаритное высоковольтное комплектное распределительное устройство РУ с общим разъединителем, масляным выключателем на ток отключения 1,25 кА, имеющими ручной привод, и предохранителями на 8 А или 16 А при напряжении питающей сети 6000 В или 3000 В соответственно.

Экскаватор ЭКГ-5А (и его модификации) оборудован современной электронной системой управления на базе тиристорных преобразователей, которые обеспечивают независимое бесступенчатое регулирование главных приводов и формирование оптимальных статических и динамических характеристик по схеме «генератор-двигатель».

Система управления снабжена необходимыми блокировками для обеспечения надежной и безопасной работы экскаватора. Блочное исполнение преобразователей облегчает обнаружение неисправностей и их ремонт.

Таблица 1.3 – Габаритные размеры экскаватора. Главные узлы

Наименование узла (агрегата)	Номер чертежа	Масса, тн	Длина, м	Ширина, м	Высота, м
Ковш	-	9,935	2,45	2,19	2,56
Рукоять	-	7.950	7.915	1.774	-
Стрела с головными блоками	-	17.14	11.15	-	-
Двуногая стойка	-	3.48	6.45	1.4	-
Преобразовательный агрегат	-	8.0	4.76	1.12	1.6
Двигатель подъема	-	3.5	1.85	0.96	-
Двигатель поворота	-	0.93	1.32	0.57	-
Двигатель хода	-	0.86	1.28	0.59	-
Двигатель напора	-	0.86	1.28	0.59	-
Редуктор поворота	-	2.01	1.32	0.85	0.62
Редуктор хода	-	2.95	1.34	1.09	0.88
Редуктор подъемной лебедки	-	3.12	1.78	1.14	1.69
Поворотная платформа	-	18.9	8.1	5.0	1.2
Нижняя рама	-	10.5	3.0	3.0	1.68

Окончание таблицы 1.3

Наименование узла (агрегата)	Номер чертежа	Масса, тн	Длина, м	Ширина, м	Высота, м
Гусеничная рама	-	5.45	5.5	0.75	1.0
Зубчатый венец	-	2.77	3.37	-	-
Роликовый круг	-	1.78	3.05	-	-
Центральная цапфа	-	0.64	1.22	0.33	-
Кабина	-	1.1	2.36	1.35	2.76

## 2 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

### 2.1 Литературный анализ имеющихся систем привода поворота

Экскаваторы – один из главных механизмов для выполнения строительных работ. Существует много разных видов экскаваторов: с малой вместимостью ковша, экскаваторов на автошасси, гидравлических 3-й размерной группы, гусеничные экскаваторы и другие. Современный экскаватор – это не просто землеройная машина, а многофункциональный комплекс, который способен выполнять очень широкий спектр общестроительных и дорожных работ, а в то же самое время мелиоративных, металло- и лесозаготовительных, мусороперерабатывающих, сельскохозяйственных и т.д. Гусеничные экскаваторы успешно работают на сносе зданий и при аварийно-спасательных работах.

Роторные экскаваторы относятся к экскаваторным машинам непрерывного действия. Рабочий орган такого экскаватора – это роторный ковш, то есть непрерывно вращающийся барабан с размещенными на нем ковшами, которые в одной точке цикла вращения зачерпывают сыпучие породы, а в противоположные выгружают их на транспортерную ленту, по которой породы перемещаются к отгрузочному сектору.

Диаметры роторных барабанов могут колебаться от двух до восемнадцати метров. Большинство роторных экскаваторов оснащаются гусеничным ходом, а особенно крупные экскаваторы имеют железнодорожный ход.

Производительность роторного экскаватора имеет возможность достигать пятнадцати тысяч кубометров в час. Роторные экскаваторы, в большинстве случаев, работают в карьерах для добычи рыхлых пород и пород средней крепости. Роторные экскаваторы, которые предназначены для карьерной добычи угля, способны создавать большое усилие резания.

Условия залегания глин и каолинов определяют специфику работы добычных роторных экскаваторов и особые требования к их конструкции. Должна быть обеспечена полнота выемки сортовых слоев (марок) огнеупорных

глин и каолинов с минимальным засорением, разубоживанием и технологическими потерями, особенно на контактах с почвой и кровлей, а в то же самое время при удалении прослоек песка и некондиционных слоев.

Предлагается следующая классификация главных месторождений огнеупорного сырья:

1. Сложное строение пласта с 4 – 6 и более литологическими разновидностями, сложным напластованием и переменной мощностью слоя.

2. Менее сложное строение пласта с 2 – 4 литологическими разновидностями.

3. Простое строение пласта полезного ископаемого с одним или двумя литологическими разновидностями выдержанной мощности и преимущественным распространением одного сорта.

Селективная разработка пласта огнеупорного сырья с использованием роторных экскаваторов в зависимости от сложности строения продуктивной толщи имеет возможность осуществляться горизонтальными стружками, вертикальными однорядными стружками, вертикальными многорядными стружками.

На месторождениях первых двух типов разработку забоя ведут роторными экскаваторами горизонтальными стружками, так как этот способ есть наиболее приемлемый для отдельной разработки маломощных пластов. Третий тип месторождений разрабатывают одноковшовыми экскаваторами.

Разработка забоя горизонтальными стружками заключается в том, что исполнительным органом в забое пласта последовательно вынимаются горизонтальные стружки. Главные достоинства этого способа – низкий процент смешивания сортов сырья и меньшая длина суммарного пути перемещений ротора. К недостаткам этого способа следует отнести уменьшение обрабатываемой высоты уступа, то есть максимальная высота подъема стрелы применяется более эффективно при разработке вертикальными стружками.

Многолетний опыт подтверждает, что наиболее эффективные выемочно-погрузочными машинами на карьерах огнеупорных глин и каолинов есть

роторные экскаваторы. Решающие преимущества роторных экскаваторов перед одноковшовыми, а в то же самое время перед другими механизмами (бульдозеры, скреперы и пр.) – это следующие: высокая производительность, относительно небольшая металлоемкость, возможность селективной разработки пластов сложного строения, приспособленность рабочего оборудования к частым изменениям мощности пласта и отдельных его слоев, возможность применения в непрерывно-поточных технологических схемах, позволяющих автоматизировать процесс производства.

Отечественной промышленностью выпускаются роторные экскаваторы на базе дизель-электрических одноковшовых экскаваторов четвертой и шестой размерных групп для разработки грунта выше уровня стоянки до 7,5 м и ниже этого уровня до 3,5 м при радиусе копания до 11,5 м и технической производительности в грунтах I категории до 550 м<sup>3</sup>/ч. По удельной энергоемкости эти машины находятся на уровне лучших экскаваторов непрерывного действия (0,22...0,24 кВт-ч/м<sup>3</sup>), но уступают им по удельной материалоемкости (100...140 кг/ч).

От базовых одноковшовых экскаваторов в конструкциях роторных стреловых экскаваторов сохраняются ходовые и опорно-поворотные устройства, частично или полностью платформу, на которой располагают силовую дизель-генераторную установку (обычно в хвостовой части платформы с целью ее уравновешивания), насосную станцию, механизмы поворота, кабину с органами управления и две стойки-пилоны. В верхней части пилонов шарнирно закрепляют стрелу с ротором на конце и приемным ленточным конвейером, расположенным вдоль стрелы. Для работы на уступах различных уровней стрела имеет возможность поворачиваться относительно шарнира на пилоне в вертикальной плоскости посредством гидроцилиндра. Ротор с ковшами и тарельчатым питателем приводится во вращение от электродвигателя через систему карданных валов и зубчатых передач, а приемный конвейер мотор-барабаном. Последний представляет собой барабан со встроенным в него электродвигателем и зубчатым редуктором. Отвальный конвейер опирается на центрально установленный

подпятник с индивидуальным электрическим приводом, обеспечивающим конвейеру независимый поворот в плане относительно поворотной платформы. Вертикальное положение отвального конвейера в зависимости от высоты разгрузки регулируют гидроцилиндром, шарнирно закрепленным на кронштейнах стоек-пилонов с возможностью соосного вращения с отвальным конвейером. Привод отвального конвейера осуществляется мотор-барабаном на его дальнем конце.

Для работы верхним копанием (выше уровня стоянки экскаватора) машину располагают перед забоем на расстоянии вылета стрелы. Отвальный конвейер устанавливают по высоте и в плане в положение разгрузки. Вертикальными перемещениями стрелы при вращающемся роторе последний заглубляют в грунт на высоту уступа. Фиксируя в этом вертикальном положении стрелу, одновременным поворотом платформы и вращением ротора при движении ковшей снизу вверх разрабатывают грунт, отделяя его от массива, вынося ковшами вверх и разгружая на тарельчатый питатель, выполненный в виде наклонного вращающегося диска.

С помощью скребка грунт ссыпается с тарельчатого питателя на приемный ленточный конвейер, транспортируется им и перегружается в центральной части поворотной платформы на отвальный конвейер, которым выносятся и разгружаются в транспортное средство или в отвал. При разгрузке в транспортные средства положение отвального конвейера в плане неизменно, а при разгрузке в отвал конвейер имеет возможность находиться в одном положении или поворачиваться для распределения отсыпанного грунта ровным слоем в пределах отведенной полосы. В конце поворотного перемещения платформы, ограниченного шириной захватки забоя, ротор со стрелой опускают до уровня следующего уступа и реверсивным движением поворотной платформы при прежнем направлении вращения ротора повторяют экскавацию грунта. После разработки последнего уступа, чаще всего соответствующего уровню стоянки экскаватора, машину перемещают в направлении к забою на новую стоянку и повторяют землеройный процесс.



Для работы нижним копанием ковши на роторе переставляют, поворачивая их на 180°, для возможности разработки грунта вращением ротора в направлении обратном прежнему направлению. Опустив стрелу, экскавацию грунта осуществляют по описанной выше схеме для верхнего копания. Для надежного транспортирования грунта круто наклоненным приемным конвейером используют прижимной конвейер, который устанавливают над приемным конвейером. Грунт перемещается между лентами двух конвейеров, движущимися в одном направлении.

Для добычи полезных ископаемых открытым способом, а в то же самое время для вскрышных работ применяют мощные роторные комплексы производительностью до 5000 м<sup>3</sup>/ч в составе роторного экскаватора и накопительно-перегрузочных устройств с железнодорожными или автомобильными транспортными средствами на карьерно-добычных работах или транспортного отвального оборудования непрерывного действия на вскрышных работах. По своей структуре эти экскаваторы сходны с описанными выше строительными экскаваторами, но отличаются от них размерами и конструктивными решениями отдельных узлов. Фактическая, эксплуатационная производительность этих комплексов в значительной мере зависит от типа транспортных средств, которыми в основном определяются размеры вынужденных простоев экскаватора, меньшие для отвального оборудования непрерывного действия и большие для железнодорожного транспорта, особенно одноколейного.

## 2.2 Сравнение привода Г-Д с ТП-Д

Сравнивая, реверсивный тиристорный преобразователь, с генератором постоянного тока, имеется возможность установить существенные различия:

Таблица 2.1 – Сравнение Г-Д с ТП-Д

Генератор постоянного тока обладает большой электромагнитной инерцией, и как правило в системе Г-Д требуется ускорение (форсирование) процессов его возбуждения	Тиристорный преобразователь есть быстродействующий и в электроприводе чаще всего требуется замедление протекания его переходных процессов
Электромашинные преобразователи есть громоздкие вращающиеся установки	Тиристорные преобразователи есть статические устройства, не требующие тяжелых фундаментов
Синхронный двигатель преобразовательного агрегата обычно работает с опережающим $\cos \varphi$ , осуществляя компенсацию потребляемой другими нагрузками реактивной мощности	Тиристорный преобразователь обладает более высоким КПД, чем электромашинный преобразовательный агрегат. В то же время его коэффициент мощности при глубоком регулировании напряжения уменьшается
Генератор постоянного тока органически обладает двусторонней проводимостью	В тиристорном преобразователе это свойство нереверсивных преобразователей в реверсивную схему с согласованным управлением
Способом управления напряжением генератора в принципе более прост, чем способ управления напряжением тиристорного преобразователя	Способом управления напряжением тиристорного преобразователя сложнее

Составляя перечисленные особенности, имеется возможность убедиться в том, что по одним показателям тиристорный преобразователь существенно превосходит генератор постоянного тока, а по другим показателям выигрывает последний. Первые две отмеченные выше особенности и высокий КПД тиристорного преобразователя определяет тенденцию к замене электромагнитных агрегатов статическими преобразователями.

Система тиристорный преобразователь-двигатель обладает высокими регулировочными свойствами как в установившихся, так и в переходных процессах. Ограничение тока двигателя во всех режимах за счет следования ЭДС двигателя за ЭДС преобразователя определяет минимальные потери энергии во всех режимах, вплоть до стопорных.

### 2.3 Патентное исследование и анализ его результатов

Под патентными исследованиями понимаются исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности и патентной чистоты на базе патентной и другой научно-технической информации.

Патентные исследования есть, как правило, составная часть научно-исследовательских, конструкторских и технологических работ, предусмотренных документами, которые регламентируют разработку, производство и реализацию объектов техники.

Цель патентных исследований – это получение исходных данных для обеспечения высокого технического уровня и конкурентоспособности объектов техники, использования современных научно-технических достижений и исключения неоправданного дублирования исследований и разработок.

Патентные исследования проводятся на различных этапах создания новой техники, в том числе в процессе разработки технической документации – с целью применения имеющихся достижений при решении поставленной задачи и возможности подачи заявки на изобретение по данному техническому решению. Патентные исследования проводятся в то же самое время при совершенствовании

и модернизации выпускаемой продукции с той же целью, что и при создании новой техники.

Патентные исследования проводятся на базе изучения, анализа и обработки данных, сосредоточенных в патентной документации.

Наиболее полно и доступно сущность изобретения излагается в описании к изобретению. Более же оперативная для патентного исследования – это реферативная информация, публикуемая в официальных патентных бюллетенях до публикации полных описаний. В частности, сведения об изобретениях, признанных в стране, публикуются в бюллетене изобретений (БИ) "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки". Бюллетень снабжен справочно-поисковым аппаратом, в который входят:

а) систематический указатель номеров авторских свидетельств и патентов, классифицированный по системе Международной классификации изобретений (МКИ);

б) нумерационный указатель заявок с приведенными в порядке возрастания номерами соответствующими авторским свидетельствам, рефераты которых опубликованы в данном бюллетене.

Таблица 2.2 – Информация о поиске

Предмет поиска (тема, объекта, его составные части)	Цель поиска информации (для решения поиска технических систем)	Страна поиска	Классификационные индексы (УДК, МПК, МПИ, МКПО, НКИ)	Ретроспективность поиска	Наименование источников информации
Экскаватор ЭКГ-5	Анализ технических решений с целью выбора оптимального варианта для модернизации машины	РФ, СССР	E02F3/40 E02F3/60	5 – 30 лет	Описания к изобретениям и патентам, реферативные журналы, научно-техническая литература

Таблица 2.3 – Патентные документы для привода поворота, которые косвенно имеют отношение к проекту (поиск патентной информации)

Предмет поиска	Страна выдачи, вид, № охранного док-та, классификационного индекса	Сущность заявленного технического решения и цели его создания, формула изобретения	Заявитель, страна, № заявки, дата приоритета, публикации	Сведения о действии охранного док-та или причина его аннулирования
	2	3	4	5
Экскаватор ЭКГ-5	СССР, описание изобр-ия к авторскому свидет-ву № 718561, кл. Е 02F 3/40, 1980	Ковш экскаватора, включающий боковые стенки, днище и ножевую систему с режущей кромкой, привод поворота ковша, отличающийся тем, что, с целью улучшения разгрузки ковша, ковш снабжен тросами, на которые надеты Т-образные пластины, при этом одни концы тросов шарнирно присоединены к режущей кромке, а другие концы, направляемые посредством двойных поворотных блоков, прикреплены к рычагам привода ковша. Использование гибкого днища позволяет производить принудительную разгрузку ковша, более полно очищать днище и снизить энергоемкость рабочего процесса	Могилевский машиностроительный институт Заявлено 17.06.91. Опубликовано 10.03.95	Прекратил действие

Продолжение таблицы 2.3

Предмет поиска	Страна выдачи, вид, № охранного док-та, классификационного индекса	Сущность заявленного технического решения и цели его создания, формула изобретения	Заявитель, страна, № заявки, дата приоритета, публикации	Сведения о действии охранного док-та или причина его аннулирования
	2	3	4	5
Экскаватор ЭКГ-5	СССР, описание изобр-ия к авторскому свидет-ву № 718561, кл. Е 02F 3/40, 1980	<p>Ковш экскаватора, включающий боковые стенки, ножевую систему с зубьями и гибкое днище, выполненное в виде набора пластин, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности гибкого днища, гибкое днище имеет тросы, к которым прикреплены пластины, выполненные Т-образной формы, при этом тросы одними концами шарнирно присоединены к ножевой системе ковша, а другими – шарнирно к верхней части ковша.</p> <p>Наличие гибкого днища обеспечивает принудительную очистку ковша экскаватора при работе на липких грунтах и повышение производительности экскаватора, снижение энергоемкости процессов</p>	Могилевский машиностроительный институт Заявлено 17.06.91. Опубликовано 10.03.95	Прекратил действие

Продолжение таблицы 2.3

Предмет поиска	Страна выдачи, вид, № охранного док-та, классификационного индекса	Сущность заявленного технического решения и цели его создания, формула изобретения	Заявитель, страна, № заявки, дата приоритета, публикации	Сведения о действии охранного док-та или причина его аннулирования
	2	3	4	5
Экскаватор ЭКГ-5	СССР, описание изобр-ия к авторскому свидет-ву SU 771254 А, 25.10.80 № 1008362	Рабочее оборудование гидравлического экскаватора, включающее рукоять, ковш, связанные механизмом поворота, состоящим из гидроцилиндра, рычага и тяги, дополнительный рабочий орган, шарнирно установленный на рукояти с закрепленными на нем шарнирными тягами, отличающееся тем, что дополнительный рабочий орган, выполненный в виде Т-образной рамы, оснащен двумя дисковыми ножами с зубчатой режущей кромкой, установленными с возможностью свободного вращения на расстоянии, превышающем ширину ковша, и посредством свободных концов шарнирных тяг соединен с механизмом поворота	Ярославский государственный технический университет Заявлено 19.06.97 Опубликовано 20.05.99	Прекратил действие



Окончание таблицы 2.3

Предмет поиска	Страна выдачи, вид, № охранного док-та, классификационного индекса	Сущность заявленного технического решения и цели его создания, формула изобретения	Заявитель, страна, № заявки, дата приоритета, публикации	Сведения о действии охранного док-та или причина его аннулирования
	2	3	4	5
Экскаватор ЭКГ-5	СССР, описание изобр-ия к авторскому свидет-ву SU 746048 А, 12.07.80	Рабочее оборудование одноковшового экскаватора, включающее рукоять, на которой при помощи шарнирного многозвенника подвешен ковш, состоящий из подвижной задней стенки, днища и боковых стенок, отличающееся тем, что на подвижной задней стенке ковша имеются гнезда, в которые входят фиксаторы, установленные на боковых стенках ковша	Тюменский государственный нефтегазовый университет Заявлено 21.05.97 Опубликовано 27.10.98	Прекратил действие

Таблица 2.4 – Научно-техническая документация, отобранная для последующего анализа

Наименование информации	Автор	Год, место и орган издания (утверждения, депонирование источника)
Строительные машины и оборудование: справочное пособие	Белецкий Б.Ф.	Ростов н/д: Феникс, 2002

Окончание таблицы 2.4

Наименование информации	Автор	Год, место и орган издания (утверждения, депонирование источника)
Строительные машины и средства автоматизации	Волков Д. П.	Москва: Мастерство, 2002
Строительные машины и основы автоматизации	Доценко А. И.	Москва: Высшая школа, 1995
Технические основы создания машин	Богомолов А. А.	Белгород: БГТУ, 2008

### 3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СУЩНОСТИ МО- ДЕРНИЗАЦИИ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-5А

Цель модернизации – это есть расширение функциональной возможности экскаватора и применение его для разрушения асфальтобетонных покрытий, мерзлых и уплотненных грунтов и упрощение конструкции привода рабочих органов.

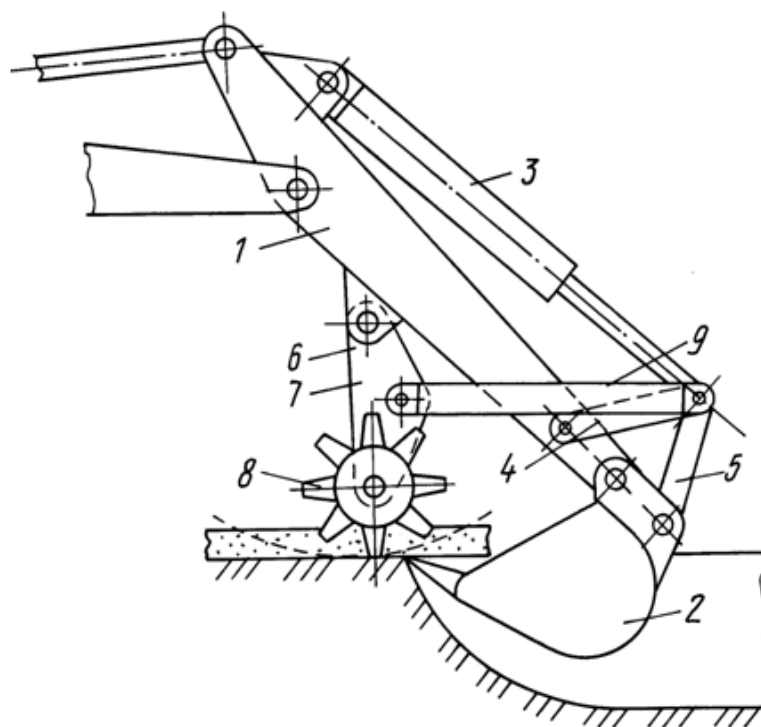


Рисунок 3.1 – Рабочее оборудование гидравлического экскаватора, вид сбоку

Для достижения данной цели в рабочем оборудовании гидравлического экскаватора, которое состоит из стрелы, рукояти и ковша установлен дополнительный рабочий орган, который шарнирно связан с рукоятью. Дополнительный рабочий орган, выполненный в виде Т-образной рамы, оснащен двумя дисковыми ножами с зубчатой режущей кромкой, которые установлены с возможностью свободного вращения на расстоянии, которое превышает ширину ковша, и посредством свободных концов шарнирных тяг соединен с механизмом поворота.

Рабочее оборудование гидравлического экскаватора (рисунок 3.1) состоит из рукояти 1, ковша 2, его механизма поворота, который состоит из гидроцилиндра 3, рычага 4 и тяги 5, которые шарнирно связаны между собой, и дополнительного рабочего органа 6, Т-образная рама 7 которого шарнирно закреплена на рукояти 1. На консолях Т-образной рамы 7 с возможностью свободного вращения установлены два дисковых ножа 8, которые оснащены зубчатыми режущими кромками, на расстоянии друг от друга, которое превышает ширину ковша 2 (рисунок 3.2). При этом механизм поворота ковша 2, например, в шарнире, соединяющем гидроцилиндр 3 с рычагом 4 и тягой 5, связан с Т-образной рамой 7 посредством двух шарнирных тяг 9.

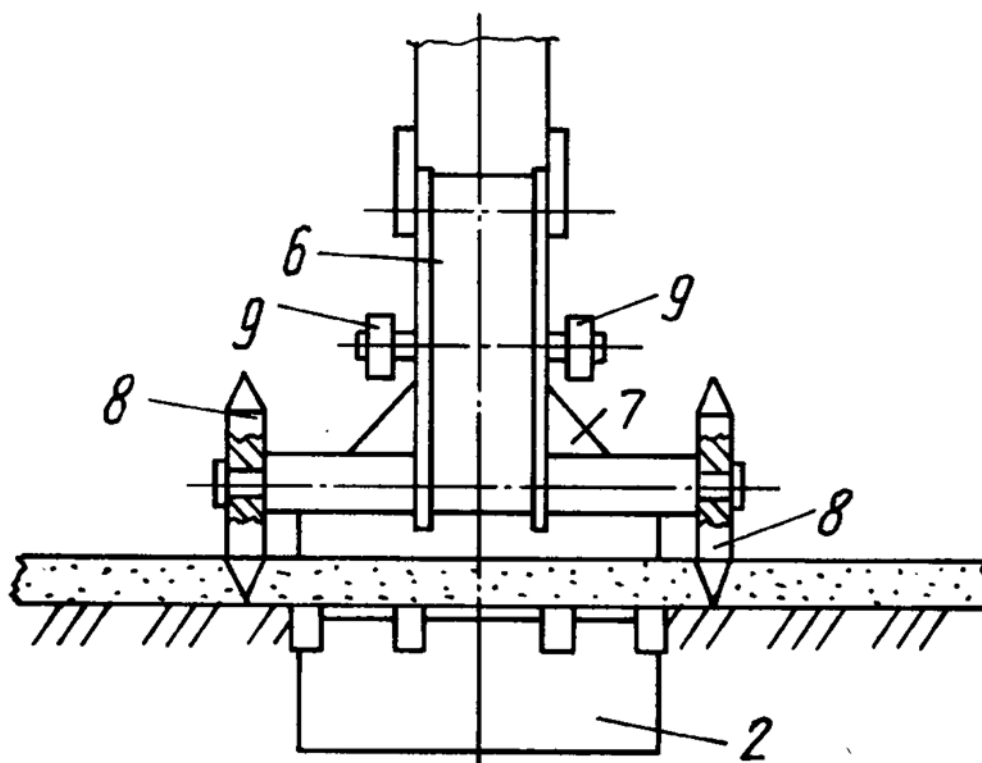


Рисунок 3.2 – Рабочее оборудование гидравлического экскаватора, вид спереди

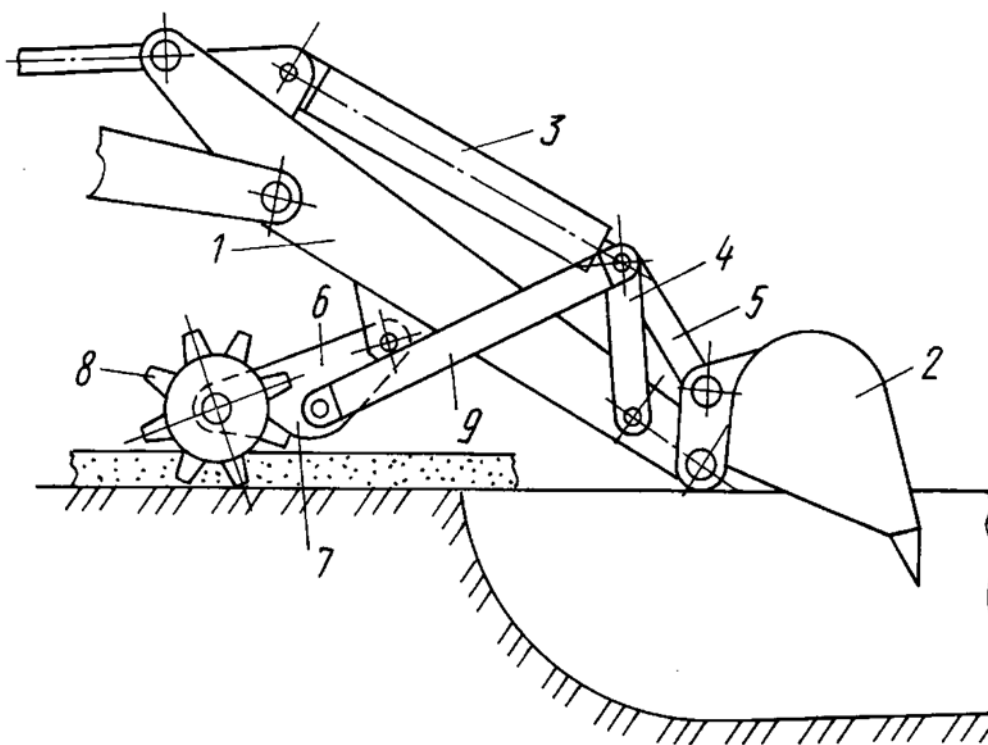


Рисунок 3.3 – Положение рабочего оборудования при производстве насечек

Оборудование работает следующим образом. При выдвижении гидроцилиндра 3 ковш 2 посредством рычага 4 и тяги 5, а дополнительный рабочий орган 6 под действием тяг 9, поворачиваясь относительно соответствующих шарниров на рукояти 1, движутся навстречу друг другу, делая осуществление защемления разрабатываемого слоя асфальтобетона. При этом дисковые ножи 7, внедряясь зубчатыми режущими кромками в асфальтобетон, приходят во вращение и производят его насечку, тем самым облегчая процесс разрушения покрытия ковшом 2. В зависимости от толщины разрушаемого покрытия имеется возможность производить предварительную его насечку путем качения дисков 8 по поверхности асфальтобетона при повороте рукояти 1 или при движении экскаватора своим ходом, как это показано на рисунке 3.3. Отрывка первоначального приямка при разработке траншеи ковшом 2 в то же самое время имеет возможность сопровождаться созданием на поверхности покрытия предварительной насечки.

Преимущество предлагаемой конструкции оборудования есть то, что оно имеет возможность быть смонтировано на базе стандартного оборудования

обратной лопаты одноковшового гидравлического экскаватора с минимальными затратами на его модернизацию и использоваться для выполнения работ по разрыхлению грунта с целью уменьшения трудоемкости работ экскаватора при копании.

Тиристорный преобразователь есть быстродействующий и в электроприводе чаще всего требуется замедление протекания его переходных процессов. Тиристорные преобразователи есть статические устройства, не требующими тяжелых фундаментов. Тиристорный преобразователь обладает более высоким КПД, чем электромашинный преобразовательный агрегат. В то же время его коэффициент мощности при глубоком регулировании напряжения уменьшается. В тиристорном преобразователе это свойство нереверсивных преобразователей в реверсивную схему с согласованным управлением. Способ управления напряжением тиристорного преобразователя сложнее.

Составляя перечисленные особенности, имеется возможность убедиться в том, что по одним показателям тиристорный преобразователь существенно превосходит генератор постоянного тока, а по другим показателям выигрывает последний. Первые две отмеченные выше особенности и высокий КПД тиристорного преобразователя определяет тенденцию к замене электромагнитных агрегатов статическими преобразователями.

Система тиристорный преобразователь-двигатель обладает высокими регулировочными свойствами как в установившихся, так и в переходных процессах. Ограничение тока двигателя во всех режимах за счет следования ЭДС двигателя за ЭДС преобразователя определяет минимальные потери энергии во всех режимах, вплоть до стопорных.

## 4 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ, ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И СТАТИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

### 4.1 Выбор электродвигателя и расчет главных параметров

#### 4.1.1 Выбор электродвигателя

Электрооборудование экскаватора работает в повторно-кратковременном режиме, характерная особенность, которого есть частые пуски и остановки двигателя. Считается известным, что потери энергии в переходных процессах непосредственно зависят от момента инерции электропривода, главную долю которого, если исключить инерционные механизмы, составляют момент инерции двигателя. Поэтому при повторно-кратковременном режиме желательно применять двигатели, которые при требуемой мощности и угловой скорости имеют, возможно, меньший момент инерции.

По условиям нагрева допустимая нагрузка двигателя при повторно-кратковременном режиме выше, чем при длительном. При пуске с повышенной статической нагрузкой двигатель должен развивать и повышенный пусковой момент, который превосходит статический на значение требуемого динамического момента. Поэтому в повторно-кратковременном режиме необходимо более высокая перегрузочная способность двигателя, чем при длительном.

Статическая нагрузка привода поворота определяется за счет трения опорных роликов и составляет около 20 % номинального момента двигателя.

Главная нагрузка привода поворота обуславливается инерционными массами вращающихся частей экскаватора. Наибольшие нагрузки электромеханическая система привода поворота испытывает в переходных процессах – разгона и торможения платформы с грузеным и порожним ковшом экскаватора. При поворотах платформы в пределах время разгона и торможения имеет возможность составлять 90 – 95 %, и лишь 5 % времени двигателя работают с установившейся

скоростью. При углах, меньше, установившееся движение имеет возможность вообще отсутствовать.

По кинематической схеме (рисунок 4.1) механизма поворота приступим к выбору двигателя. Кинематическая схема поворотного механизма одноковшового экскаватора ЭЖГ-5А состоит из двухступенчатого редуктора и открытой шестерней передачи с венцовой шестерней.

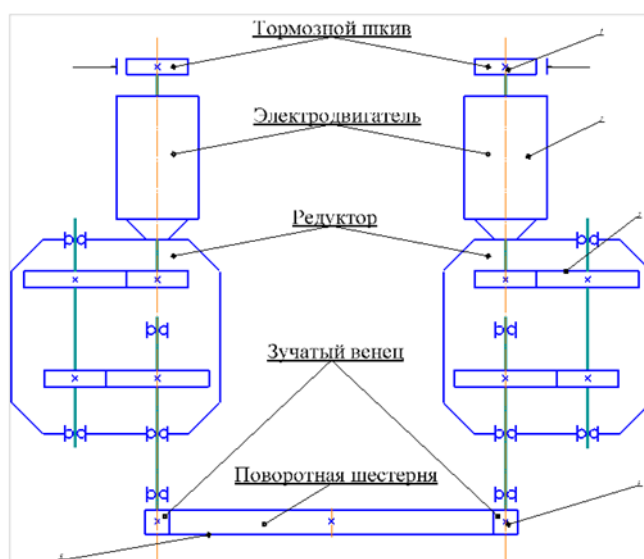


Рисунок 4.1 – Кинематическая схема механизма поворота

1 – тормозной шкив; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – Зубчатый венец;  
5 – поворотная шестерня

Таблица 4.1 – Исходные данные

Частота вращений поворотной платформы, об/мин	2,5
Момент инерции платформы с груженым ковшом, $\text{т} \cdot \text{М}^2$	$15 \cdot 10^6$
Момент инерции платформы с порожним ковшом, $\text{т} \cdot \text{М}^2$	$10 \cdot 10^6$
Время цикла, с	27



Окончание таблицы 4.1

Общее передаточное число	300
Количество двигателей	2

Найдем мощность привода поворотного механизма по формуле, представленной ниже:

$$P_{np.n.} = \frac{(J_2 + J_n) \cdot \omega_n^2}{t_{в.р.}} \cdot 10^{-3}; \quad (1)$$

где:  $J$  – это момент инерции вращающихся частей экскаватора с груженым ковшом,  $кг \cdot м^2$  ;

$J$  – это момент инерции вращающихся частей экскаватора с порожним ковшом,  $кг \cdot м^2$  ;

$\omega_n$  – это расчетная угловая скорость платформы, рад/с;

$t_{в.р.}$  – это время поворота платформы с груженым ковшом на разгрузку, с;

$$t_{в.р.} \approx t_{в.з.} = 9с$$

Угловая скорость платформы находится по выражению, представленному ниже:

$$\omega_n = 0,105 \cdot n_в, \quad (2)$$

где:  $n_в$  – это частота вращений поворотной платформы, об/мин.,  $n_в=2,5$ ;

$$\omega_n = 0,105 * 2,5 = 0,26 \text{ (рад/с)}.$$

Мощность двигателя поворотного механизма при вращении платформы с груженым и порожним ковшом находится по выражению, представленному ниже:

$$P_{np.n.} = \frac{(15+10) \cdot 10^6 \cdot 0,26^2}{9} \cdot 10^{-3} = 193 \text{ (кВт)}$$

При двух двигателях в поворотном механизме мощность каждого двигателя находится по выражению, представленному ниже:

$$P'_{np.n.} = \frac{193}{2} \approx 97 \text{ (кВт)}$$

По полученной мощности делаем выбор электрического двигателя и проверяем его по нагреву.

Делаем выбор ближайший по мощности двигатель ДЭВ-812 с основными параметрами, приведенными в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Технические данные двигателя

Данные двигателя поворота	ДЭВ-812
Номинальная мощность, кВт	100
Номинальная скорость вращения, об/мин	750
Номинальная напряжение, В	305
Номинальная ток якоря, А	360
КПД (ном.), %	93,4
Продолжительность включения, ПВ %	80
Ток независимого возбуждения, А	17,2
Число полюсов	4
Сопротивление обмотки якоря при $t = 20 \text{ C}$ , Ом	0,014
Сопротивление обмотки независимого возбуждения при $t = 20 \text{ C}$ , Ом	4,76
Сопротивление обмотки дополнительных полюсов при $t = 20 \text{ C}$ , Ом	0,009
Момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	8,25
Число секций обмотки якоря	35
Соединение обмотки якоря	
Соединение катушек независимой обмотки возбуждения	

#### 4.1.2 Проверка двигателя по нагреву

Произведем вычисление номинального момента двигателя поворота по выражению, представленному ниже:

$$M_{ном.в.} = 9550 \frac{P_n}{n_{н.и.}} = 9550 \frac{100}{750} = 0,127 \cdot 10^4 = 0,13 \cdot 10^4 \quad (\text{Н* м}). \quad (3)$$

Общее передаточное число двигателя поворота находится по выражению, представленному ниже:

$$i_g = \frac{n_{ном.в.}}{пв.} = \frac{750}{2.5} = 300 \quad (4)$$

Суммарный момент инерции платформы с грузным ковшем, приведенный к валу двигателя находится по выражению, представленному ниже:

$$J'_{\Sigma_2} = \frac{J_{\Gamma}}{K \cdot i_g^2} + J_{я} = \frac{15 \cdot 10^6}{2 \cdot 300^2} + 8.25 = 91.5 (\text{кг} \cdot \text{м}^2); \quad (5)$$

где: К – количество двигателей.

Суммарный момент инерции платформы с грузным ковшем, приведенный к валу двигателя находится по выражению, представленному ниже:

$$J'_{\Sigma_1} = \frac{J_{\Gamma}}{K \cdot i_g^2} + J_{я} = \frac{10 \cdot 10^6}{2 \cdot 300^2} + 8.25 = 63.5 (\text{кг} \cdot \text{м}^2); \quad (6)$$

В соответствии с рекомендациями [5] возьмем моменты двигателя:

стопорный:  $M_{ст.в.} = 1.8 \cdot M_{ном.в.} = 1.8 \cdot 0.13 \cdot 10^4 = 0.23 \cdot 10^4 (\text{Н} \cdot \text{м}), \quad (7)$

отсечки:  $M_{от.в.} = 0.9 \cdot M_{ст.в.} = 0.9 \cdot 0.23 \cdot 10^4 = 0.21 \cdot 10^4 (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (8)$

Динамический момент при разгоне двигателя с грузным и порожним ковшем находится по выражению, представленному ниже:

$$M_{дин.} = (M_{от.в.} - 0.1 \cdot M_{ном.в.}) + \frac{M_{ст.в.} - M_{отс.в.}}{2} = (0.21 - 0.1 \cdot 0.13) \cdot 10^4 + \frac{(0.23 - 0.21) \cdot 10^4}{2} = 0.212 \cdot 10^4 = 0.21 \cdot 10^4 (\text{Н} \cdot \text{м}); \quad (9)$$

где:  $0.1 \cdot M_{ном.в.} = 0.1 \cdot 0.13 \cdot 10^4 \approx 0.013 \cdot 10^4 (\text{Н} \cdot \text{м})$  – момент сопротивления платформы, преодолеваемый каждым двигателем при работе с установившейся скоростью.

Среднее значение момента, развиваемого двигателем при разгоне с грузным и порожним ковшем, находится по выражению, представленному ниже:

$$M_{cp.p.} = \frac{M_{ct.в.} + M_{om.в.}}{2} = \frac{(0.23 + 0.21) \cdot 10^4}{2} = 0.225 \cdot 10^4 = 0.23 \cdot 10^4 (H \cdot m) \quad (10)$$

Время разгона двигателя до установившейся скорости с грузным ковшем находится по выражению, представленному ниже:

$$t_p = J'_{\Sigma_z} \frac{\omega_{н.в.}}{M_{дин}} = 91.5 \frac{78}{2120} = 3.5 (с) \quad (11)$$

Угол, на который платформа повернется при разгоне двигателя с грузным ковшем находится по выражению, представленному ниже:

$$\alpha_{cp.p.} = \frac{a_{cp.p.} \cdot t_p^2}{2}; \quad (12)$$

где:  $a_{cp.p.}$  – ускорение при разгоне двигателя с грузным ковшем;

$$a_{cp.p.} = \frac{\omega_{н.в.}}{i_g \cdot t_p} = \frac{78}{3.5 \cdot 300} = 0.075 (рад/с^2) \quad (13)$$

$$\alpha_{cp.p.} = \frac{a_{cp.p.} \cdot t_p^2}{2} = \frac{0.075 \cdot 3.5^2}{2} = 0.46 \text{ рад} \quad \text{или } 26^\circ$$

Время торможения платформы с грузным ковшем находится по выражению, представленному ниже:

$$t_{тор} = J'_{\Sigma_z} \frac{\omega_{н.в.}}{M_{тор}} = 91.50 \frac{78}{2300} = 3.1 \approx 3 (с) \quad (14)$$

Средний момент, развиваемый двигателем при торможении с грузным и порожним ковшем находится по выражению, представленному ниже:

$$M_{cp.тор} = M_{тор} - 0.1M_{ном} = 0.23 \cdot 10^4 - 0.013 \cdot 10^4 = 0.225 = 0.23 \cdot 10^4 (H \cdot m); \quad (15)$$

Угол, на который платформа повернется при торможении с грузным ковшем, находится по выражению, представленному ниже:

$$\alpha_{cp.m.} = \frac{a_{cp.m.} \cdot t_{тор}^2}{2}; \quad (16)$$

где:  $a_{cp.m.}$  – это ускорение при торможении с грузным ковшем;

$$a_{зр.м.} = \frac{\omega_{н.в.}}{t_{мор} i_{в}} = \frac{78}{3 \cdot 300} = 0.084 (\text{рад} / \text{с}^2); \quad (17)$$

$$\alpha_{зр.мор} = \frac{0,084 \cdot 3^2}{2} = 0,378 \text{ рад, или } 23^{\circ}$$

Возьмем за расчетный угол поворота платформы на разгрузку  $90^{\circ}$ , найдем угол, на который платформа повернется с установившейся скоростью, и время поворота на этот угол:

$$\alpha_{зр.у} = 90^{\circ} - (26^{\circ} + 23^{\circ}) = 41^{\circ}, \text{ или } 0,72 \text{ рад};$$

$$t_{нов} = \frac{\alpha_{зр.у}}{\omega_{н.в} / i} = \frac{0,72}{78 / 300} = 2,85 \approx 3 (\text{с}).$$

Время разгона двигателя до установившейся скорости с порожним ковшом находится по выражению, представленному ниже:

$$t_{раз.у} = J'_{\Sigma} \frac{\omega_{н.в.}}{M_{дин}} = 63,5 \frac{78}{2120} 2,5 (\text{с}) \quad (18)$$

Угол, на который платформа повернется при разгоне двигателя с порожним ковшом находится по выражению, представленному ниже:

$$\alpha_{нор} = \frac{a_{нор} \cdot t_{раз.у}^2}{2}; \quad (19)$$

где:  $a_{нор}$  – это ускорение при разгоне с порожним ковшом;

$$a_{нор} = \frac{\omega_{н.в.}}{t_{раз} \cdot i_{в}} = \frac{78}{2,5 \cdot 300} = 0,104 (\text{рад} / \text{с}^2).$$

$$\alpha_{нор.р.} = \frac{0,104 \cdot 2,5^2}{2} = 0,325 \text{ рад, или } 18^{\circ}$$

Время торможения двигателя с порожним ковшом находится по выражению, представленному ниже:

$$t_{мор.н.} = J'_{\Sigma_n} \frac{\omega_{н.в.}}{M_{мор}} = 63,5 \frac{78}{2300} 2 (\text{с}); \quad (20)$$

Угол, на который платформа повернется при торможении с порожним ковшом, находится по выражению, представленному ниже:

$$\alpha_{мор.н} = \frac{a_{мор.н} \cdot t_{мор.н.}^2}{2}; \quad (21)$$

где:  $a_{\text{тор.н}}$  – это есть ускорение при разгоне с порожним ковшом;

$$a_{\text{тор.н}} = \frac{\omega_{\text{н.в.}}}{t_{\text{тор.н}} \cdot i_6} = \frac{78}{2 \cdot 300} = 0,12(\text{рад}/\text{с}^2);$$

$$\alpha_{\text{тор.н}} = \frac{0,12 \cdot 2^2}{2} = 0,24 \text{ рад, или } 14^0;$$

Угол поворота платформы с установившейся скоростью находится по выражению, представленному ниже:

$$\alpha_{\text{нов.у}} = 90^0 - (\alpha_{\text{тор.п}} + \alpha_{\text{тор.н}}) = 90^0 - (18^0 + 14^0) = 58^0, \text{ или } \approx 1 \text{ рад}; \quad (22)$$

время поворота на этот угол

$$t_{\text{нов}} = \frac{\alpha_{\text{нов.у}}}{\omega_{\text{н.в.}} / i_6} = \frac{1}{78/300} = 3,85 \approx 3,9(\text{с})$$

Найдем эквивалентный момент двигателя поворота, находится по выражению, представленному ниже:

$$M_э = 10^4 \sqrt{\frac{0,225^2 \cdot 3,5 + 0,013^2 \cdot 3 + 0,225^2 \cdot 3 + 0,225^2 \cdot 2,5 + 0,013^2 \cdot 3,9 + 0,225^2 \cdot 2}{27}} = 0,128 \cdot 10^4 =$$

$$= 0,13 \cdot 10^4 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Эквивалентный момент не должен превышать номинального, т.е. находится по выражению, представленному ниже:

$$M_э \leq M_n,$$

$$0,13 \cdot 10^4 = 0,13 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Коэффициент продолжительности включения двигателя находится по выражению, представленному ниже:

$$ПВ_{\text{расч.}} = \frac{t_{\text{раб}} \cdot 100}{T_{\text{ц}}} = \frac{18 \cdot 100}{27} = 67\% \quad (23)$$

$$ПВ_{\text{расч}} \leq ПВ_{\text{ном}}$$

$$67\% \leq 80\%$$

По расчетам видно, что выбранный двигатель удовлетворяет требованиям поворотного механизма.

## 4.2 Расчет параметров цепи якоря

Индуктивность цепи якоря постоянного тока приближенно имеет возможность быть найдена по выражению Линвиля-Уманского:

$$L_{я} = \frac{U_{я.н} \cdot K_{к}}{I_{я.н} \cdot \omega_{н} \cdot P_{н}}; \quad (24)$$

где:  $I_{я.н}$  – это номинальное значение тока якоря, А;

$\omega_{н}$  – это номинальное значение угловой скорости двигателя, рад.;

$P_{н}$  – это число пар полюсов;

$K_{к}$  – это коэффициент компенсации (при наличии компенсационной обмотки

$K = 0,25 \dots 0,3$ ),  $K = 0,3$ ;

$U_{я.н}$  – это номинальное значение напряжения якоря, В;

$$L_{я} = \frac{305 \cdot 0,3}{360 \cdot 78 \cdot 2} = 0,00163 = 1,63 \cdot 10^{-3} (\text{Гн})$$

Активное сопротивление якорной цепи двигателя  $R$  в нагретом состоянии, произведем расчет по его паспортным данным:

$$R_{я} = R_{\lambda 20^{\circ}C} (1 + \alpha \cdot \Delta t); \quad (25)$$

где:  $\lambda = 0,004$  – это температурный коэффициент;

$$\Delta t = t_p - 200 \text{ C} = 1150 - 200 = 950 \text{ C}$$

$$R_{\lambda 20 \text{ C}} = 0,014 + 0,009 = 0,02 (\text{Ом})$$

$$R_{я} = 0,02 (1 + 0,00495) = 0,0195 = 0,02 (\text{Ом})$$

Активное сопротивление якорной цепи двигателя  $R_{я} = 0,02 \text{ Ом}$ .

## 4.3 Выбор тиристорного преобразователя (ТП) для электропривода постоянного тока

В экскаваторных электроприводах находят применение главным образом полноуправляемые реверсивные схемы тиристорных преобразователей. Наиболее благоприятными статическими характеристиками и регулировочными свойствами обладают преобразователи с согласованным управлением.

Тиристорный преобразователь обладает значительно более высоким коэффициентом усиления по мощности, несравненно более высоким быстродействием и повышенной за счет введения сглаживающих дросселей и уравнивающих реакторов индуктивностью силовых цепей.

Делаем выбор с учетом допустимой перегрузки по току и напряжению. Номинальное напряжение тиристорного преобразователя, который работает на якорь двигателя, делаем выбор ближайшим большим к напряжению  $I_{ан}$ :

$I_{ан} = 360 \text{ А}; I_{ан} = 305 \text{ В}.$

По этим данным делаем выбор ТП, тиристорного преобразователя;

Выходные параметры ТП серии ТП4-360/460Н-2-2УХЛ-4:

- Номинальный ток  $I_{нтп} = 360 \text{ А};$
- Максимальный ток  $I_{махтп} = 1280 \text{ А};$
- Номинальное напряжение  $I_{нтп} = 460 \text{ В};$
- Т – тиристорный;
- П – принудительное возбуждение;
- Ч – перегрузка  $2,5 I_n$  длительностью  $10 \text{ с};$
- 360 – номинальный выход тока;
- 460 – номинальный выход напряжения;
- Н – непосредственное подключение к сети;
- 2 – конструктивное исполнение двигателя – защищенное;
- 2УХЛ – климатическое исполнение;
- 4 – категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Найдем динамическое сопротивление тиристорного преобразователя:

$$R_{дтп} = (0,2 \dots 0,3) \frac{I_{дн}}{I_{тт}}, \quad (26)$$

где:  $U_{тл}$  – падение напряжения на тиристоре:

$U_{тл} = 0,5 \dots 1,5 \text{ В};$

$I_{тп}$  – среднее значение тока тиристора:

$$I_{тп} = \frac{I_{дн}}{3},$$



где:  $I_{дн}$  – среднее значение номинального тока тиристора;

$$I_{тп} = \frac{360}{3} = 120 \text{ (А)},$$

$$R_{дтп} = 0,3 \frac{1,2}{120} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом)}.$$

#### 4.4 Расчет мощности и параметров питающего трансформатора

Необходимую мощность трансформатора найдем по номинальной мощности тиристорного преобразователя  $P_{тр}$  по выражению, представленному ниже:

$$P_{тр} = P_{тп} \cdot K_{и}, \quad (27)$$

где:  $K_{и}$  – это коэффициент использования трансформатора по мощности ( $K_{и} = 1,45$ ) для трехфазной мостовой схемы).

Номинальная мощность ТП находится по выражению, представленному ниже:

$$P_{ма.н.} = \frac{U_{дн} \cdot I_{дн}}{\eta} = \frac{460 \cdot 360}{0.934} = 177 \text{ (кВ} \cdot \text{А)}; \quad (28)$$

$$P_{тр} = 177 \cdot 1.45 = 253 \text{ (кВ} \cdot \text{А)};$$

Делаем выбор питающий трансформатор серии ТСЗП:

Таблица 4.3 – Технические данные трансформатора

№	Технические данные трансформатора серии ТСЗП	Параметры
1	Номинальная мощность, кВт, А	253
2	Номинальное напряжение, В:	
	сетевой обмотки	380, 660
	вентильной обмотки	410
	преобразователя	460

Окончание таблицы 4.3

№	Технические данные трансформатора серии ТСЗП	Параметры
3	Номинальный ток, А:	
	переменной вентильной обмотки	200
	выпрямленный преобразователя	360
4	Напряжение короткого замыкания, %	5,8
5	Ток холостого хода, %	3
6	Потери, Вт:	
	холостого хода	470
	короткого замыкания	2700
7	Вторичное фазовое напряжение, В	237

Найдем номинальный фазовый ток вторичной обмотки трансформатора по выражению, представленному ниже:

$$I_{2H} = \frac{P_{mp}}{3U_{2\phi}} = \frac{253}{3 \cdot 237} = 360(A); \quad (29)$$

Активное сопротивление, приведенное к вторичной обмотке трансформатора находится по выражению, представленному ниже:

$$R_{mp.\phi} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{3I_{2H}^2} = \frac{2700}{3360} = 0.0006(Ом); \quad (30)$$

Полное сопротивление трансформатора находится по выражению, представленному ниже:

$$Z_{mp.\phi} = \frac{e_{к.з.} \cdot U_{2\phi}}{I_{2H}} = \frac{0.058 \cdot 237}{360} = 0.04(Ом); \quad (31)$$

Индуктивное сопротивление фазы трансформатора находится по выражению, представленному ниже:

$$X_{mp.\phi} = \sqrt{Z_{mp.\phi}^2 - R_{mp.\phi}^2} = \sqrt{0.04^2 - 0.0006^2} = \sqrt{0.0016} = 0.04(Ом); \quad (32)$$

Найдем индуктивность фазы трансформатора, приведенной к вторичной обмотке по выражению, представленному ниже:

$$L_{mp.\phi} = \frac{X_{mp.\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.04}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.127 \cdot 10^{-3} = 0.13 \cdot 10^{-3} (\text{Ом}); \quad (33)$$

Полное активное сопротивление трансформатора находится по выражению, представленному ниже:

$$R_{тр} = 2 R_{тр\phi} = 2 \cdot 0,0006 = 0,0013 (\text{ом}), \quad (34)$$

Полное сопротивление цепи тиристорного преобразователя находится по выражению, представленному ниже:

$$R_{ТП} = R_{тр} + 2R_{дт} + R_k, \quad (35)$$

где:  $R_{дт}$  – это сопротивление тиристорных:

$$R_{дт} = 0,0001 \text{ Ом};$$

$R_k$  – это коммутационное сопротивление:

где:  $L_a$  – это индуктивность анодной цепи тиристора;

$$L_a = L_{mp.\phi} = 0.13 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$m$  – это число пульсаций,  $m = 3$ ;

$$R_k = 0,13 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 3 = 0,018 (\text{Ом}),$$

$$R_{ТП} = 0,0013 + 2 \cdot 0,0001 + 0,018 = 0,019 (\text{Ом}).$$

#### 4.5 Выбор сглаживающего дросселя

Для ограничения зоны прерывности токов до допустимого значения необходимо предусмотреть сглаживающий дроссель. Главные расчетные параметры дросселя есть его номинальный ток  $I_{др.н}$  и индуктивность. При выборе дросселя по току надо обеспечить условие  $I_{др.н} \gg I_{дн}$ .

Индуктивность дросселя находится по выражению, представленному ниже:

$$L_{др.} = L_{яц} - (L_{mn} + L_{ов.}); \quad (36)$$

где:  $L_{яц}$  – полная индуктивность якорной цепи системы ТП-Д.

Требуемое значение рассчитаем по условию ограничения пульсации тока до допустимого для машины уровня, находится по выражению представленному ниже:

$$L_{яц} = e_e \cdot E_{do} / i_e \cdot \omega_1 \cdot I_{ян}; \quad (37)$$

где:  $e_e$  – относительная величина эффективного значения первой гармоники выпрямленного напряжения, определяемая из графика [6] при угле управления;

$E_{do}$  – это максимальная выпрямленная ЭДС ТП;

$\omega_1 = 2\pi f m$  – это угловая частота пульсаций;

$i_e$  – это относительная величина эффективного значения первой гармоники выпрямленного, для двигателя поворота ДЭВ-812  $i_e = 0,04$ .

Найдем максимально выпрямленную ЭДС ТП по выражению, представленному ниже:

$$E_{do} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{он} \cdot m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{m} = \frac{\sqrt{2} \cdot 305 \cdot 6}{3.14} \cdot \sin \frac{180^\circ}{6} = 410.90(B) \approx 410(B); \quad (38)$$

$$E_{do} = E_{do} \cdot \cos \alpha;$$

Таблица 4.4 – Параметры к расчету

L	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
cos L	1	0,98	0,94	0,86	0,78	0,64	0,54	0,34	0,17	0
Edl	410	401,8	385,4	352,6	319,8	262,4	221,4	139,4	69,7	0

Найдем угловую частоту пульса по выражению, представленному ниже:

$$\omega_1 = 2\pi f m = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 6 = 1885(c^{-1}); \quad (39)$$

Поскольку пульсации растут с увеличением угла регулирования L, то требуемое значение найдем на нижней скорости электропривода по выражению, представленному ниже:

$$\omega_{max} = \omega_n / \Lambda = 78/10 = 7,8(рад/с); \quad (40)$$

соответствующей максимальному углу регулирования.

$$L_{max} = \arccos \frac{E_{d \min}}{E_{do}}, \quad (41)$$

где:  $E_{d \min} = K\Phi \omega_{\min} + I_{яц} R_{яц};$

$R_{яц} = R_\delta + R_{mn} + R_{op}$  – полное активное сопротивление якорной цепи ТП-Д.

Найдем величину КФ для двигателя по выражению, представленному ниже:

$$K\Phi = \frac{U_n - I_n \cdot R_{\text{об}}}{\omega_{\text{об}}} = \frac{305 - 360 \cdot 0.02}{78} = 3.82 (B/c^{-1}); \quad (42)$$

Так как сглаживающий дроссель еще не выбран, то его сопротивление  $R_{\text{др}}$  находится по выражению, представленному ниже:

$$R_{\text{др}} = \Delta U_{\text{др}} / I_{\text{ян}}; \quad (43)$$

где:  $\Delta U_{\text{др}} = (0,005 \dots 0,04) U_{\text{ян}}$  – падение напряжения на дросселе;

$$\Delta U_{\text{др}} \approx 0,04 \cdot 305 = 12,2 (B);$$

$$R_{\text{др}} = \frac{12,2}{360} = 0,03 (Ом);$$

Найдем полное сопротивление якорной цепи ТП-Д по выражению, представленному ниже:

$$R_{\text{яц}} = 0,02 + 0,019 + 0,03 = 0,069 (Ом);$$

$$E_{d \min} = 3,82 \cdot 7,8 + 360 \cdot 0,069 = 36,6 (Ом);$$

$$L_{\max} = \arccos \frac{36,6}{410} = 85^{\circ};$$

По графику №6 найдем  $e_e = 0,24$ .

Тогда индуктивность якорной цепи находится по выражению, представленному ниже:

$$L_{\text{яц}} = \frac{0,24 \cdot 410}{0,04 \cdot 1885 \cdot 360} = 3,625 \cdot 10^{-3} = 3,62 \cdot 10^{-3} (Гн);$$

Найдем индуктивность двигателя по выражению, представленному ниже:

$$L_{\text{об}} = \frac{U_n K_{\kappa}}{I_n \omega_n P} = \frac{305 \cdot 0,6}{360 \cdot 78 \cdot 2} = 3,26 \cdot 10^{-3} (Гн); \quad (44)$$

Индуктивность сглаживающего дросселя по выражению, представленному ниже:

$$L'_{\text{др}} = L_{\text{яц}} - (L_{\text{mn}} + L_{\text{об}}) = 3,62 \cdot 10^{-3} - (0,13 + 3,26) \cdot 10^{-3} = 0,013 (Гн); \quad (45)$$

Найденное значение проверим по условию ограничения зоны прерывистых токов по выражению, представленному ниже:

$$I_{ягр.} \leq I_{я. \min},$$

где:  $I_{я. \min}$  – это минимальный рабочий ток двигателя, соответствующий моменту сопротивления:

$$M_{с. \min} = 0.2 \cdot M_{ном} = 0.2 \cdot 1270 = 254 (Н \cdot м);$$

$$I_{я. \min} = \frac{M_{с. \min}}{K\Phi} = \frac{254}{3.82} = 66.49 (А);$$

Гранично-непрерывный ток растет с увеличением угла регулирования, поэтому его найдем при угле по выражению, представленному ниже:

$$I_{я. гр} = \frac{E_{до}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \left(1 - \frac{\pi}{m} \cdot ctg \cdot \frac{\pi}{m}\right) \cdot \sin \alpha_{\max} = \frac{410}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(1 - \frac{3,14}{6} \cdot ctg \cdot \frac{180}{6}\right) \cdot \sin 85^{\circ} = 39,9 (А);$$

Условие  $I_{ягр.} \leq I_{я. \min}$ , выполняются  $39,9 А < 66,49 А$

Делаем выбор сглаживающего дросселя по требуемой индуктивности  $L_{др} \geq L'_{др}$  и по условию  $I_{др.н} \geq I_{я.н}$ ;

Технические данные сглаживающего дросселя ДФ-Ф:

- Тип: ДФ-Ф;
- Номинальная сила тока – 360 А;
- Индуктивность – 1,5 мГ.

Уточняем значение индуктивности якорной цепи:

$$L_{яц} = L_{др} + L_{тр} + L_{дв} = 0.0015 + 0.127 \cdot 10^{-3} + 3.26 \cdot 10^{-3} = 3.39 \cdot 10^{-3} (Гн);$$

#### 4.6 Определение коэффициентов передачи и постоянных времени силовых элементов

Найдем коэффициент передачи двигателя постоянного тока по выражению, представленному ниже:

$$K_{дв} = \frac{1}{K\Phi} = \frac{1}{3,8} = 0,26 (рад / В \cdot С);$$

Коэффициент передачи тиристорного преобразователя находится по выражению, представленному ниже:

$$K_{mn} = \frac{\Lambda E_{mn}}{\Lambda U_y}; \quad (46)$$

На основании каталожных статических характеристик системы управления и силовой части тиристорного преобразователя  $K_{mn} = 30$ ; найдем электромеханическую постоянную времени привода по выражению, представленному ниже:

$$T_{эм} = J_{\Sigma} R_{яц} / K\Phi^2; \quad (47)$$

$$\text{где: } J_{\Sigma} = J_{об} + J_{пр}; \quad J_{пр} = m \frac{1}{i^2} = \frac{38000}{9,81^2} \cdot \frac{1}{300} = 1,18 (\text{кг} \cdot \text{м}^2);$$

$$J_{\Sigma} = 8,25 + 1,18 = 9,43 (\text{кг} \cdot \text{м}^2);$$

$$T_{эм} = \frac{9,43 \cdot 0,069}{3,82^2} = 0,2 (\text{с});$$

Найдем электромагнитную постоянную величину цепи ТП-Д по выражению, представленному ниже:

$$T_{я} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{3,39 \cdot 10^{-3}}{0,069} = 0,05 (\text{с});$$

Эквивалентную постоянную времени тиристорного преобразователя как непрерывного устройства найдем по выражению:

$$T_{mn} = T_{\phi} \cdot \tau; \quad (48)$$

где:  $T_{\phi} = 1/2\pi \cdot f$  – это постоянная времени фильтра на входе СИФУ;

$$T_{\phi} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,2 \cdot 10^{-3} (\text{с});$$

$\tau = 0,5 / m \cdot f$  – это среднее статическое запаздывание;

$$\tau = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 1,67 \cdot 10^{-3}$$

$$T_{mn} = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,67 \cdot 10^{-3} = 4,9 \cdot 10^{-3} (\text{с});$$

## 5 ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА И РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ

### 5.1 Выбор структуры системы автоматического управления (САУ) и её элементов

Автоматическое управление электроприводами осуществляется без непосредственного участия человека. Автоматизированный электропривод представляет собой систему автоматического управления большей или меньшей сложности.

Автоматическое управление электроприводами сводится к выполнению САУ без непосредственного участия оператора заданного объекту управления режима работы в статических и динамических условиях в соответствии с требованиями производственного процесса. В настоящее время автоматическое управление есть преобладающий способ управления промышленными электроприводами.

Развитие систем ЭП промышленных агрегатов характеризуется широким внедрением ТП и унифицированных систем подчиненного регулирования. В качестве элементной базы этих систем служит серия унифицированных блоков УБСР-АИ.

### 5.2 Построение функциональной схемы САУ

Функциональная система САУ позволяет определить главные функциональные связи между звеньями системы и существенные характеристики самих звеньев.

На основании проведенного анализа и задания на проектирование составляем схему САУ (рисунок 5.1).

На рисунке 5.1 введем следующие обозначения:

- ЗУ – это задающее устройство скорости ЭП;
- РС – это регулятор скорости;



- РЯ – это регулятор тока;
- ДС – это датчик скорости;
- ДЯ – это датчик тока;
- ТП – это тиристорный преобразователь;
- Д – это двигатель;
- Иу – это напряжение управления;
- Иос; Иот – это напряжения обратных связей по скорости и току, САР

содержит 2 контура регулирования скорости и тока (РС; РТ).

Контур тока внутренний. Выходное напряжение РТ Иря подается на систему управления ТП, которая питает якорную цепь двигателя. На входе регулятора скорости напряжения Иос обратной связи по скорости двигателя снимается с тахогенератора ВР и сравнивается с управляющим напряжением Иу. Напряжение обратной связи по току якоря Иот, которое получается с помощью датчика тока, в свою очередь сравнивается с выходным напряжением регулятора скорости Ирс, которое является задающим для подчиненного контура тока. Выходное значение сигнала регулятора скорости ограничено блоком БО. Назначение скоростного контура состоит в отработке с наименьшей погрешностью управляющих воздействий и стабилизации скорости электродвигателя при изменении момента сопротивления. Для ограничения максимального значения тока якоря выходное напряжение РС ограничено с помощью блока ограничения БО.

Задачи токового контура:

- жесткое ограничение максимального значения тока якоря двигателя в пусковых и переходных режимах, что особенно важно в тиристорных ЭП;
- компенсация электромагнитной постоянной времени Тя цепи ТП-Д;
- компенсация возмущающих воздействий в виде изменения напряжения сети переменного тока, от которой питается ТП.

Функциональная схема САУ

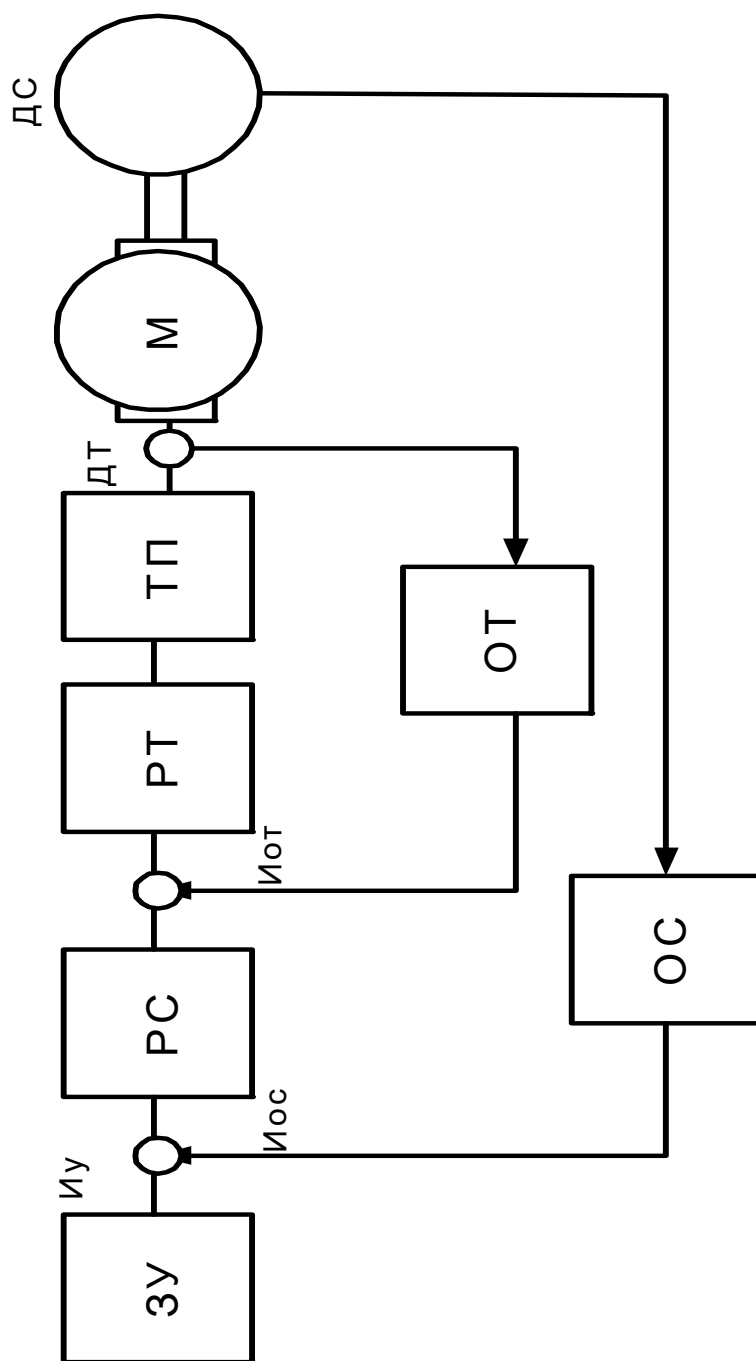


Рисунок 5.1 – Функциональная схема САУ

Рис 2

### 5.3 Выбор задающего устройства

В качестве задающего устройства возьмем потенциометр.

Делаем выбор на потенциометр ППБЗ.

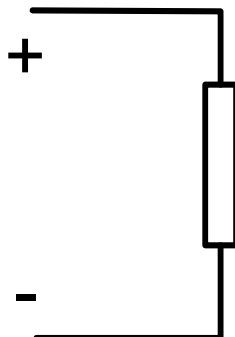


Рисунок 5.2 – Схема потенциометра ППБЗ

$$I = 30 \text{ мА};$$

$$R_{n.\text{min}} = \frac{12}{3 \cdot 10^{-3}} = 400 (\text{Ом});$$

### 5.4 Выбор тахогенератора

В качестве датчика скорости применяем тахогенератор постоянного тока типа ТД-103. Делаем выбор по номинальной скорости  $\omega_{\text{тгн}}$ , которая должна быть не ниже максимальной скорости двигателя.

Таблица 5.1 – Данные тахогенератора постоянного тока типа ТД-103

Удельная ЭДС, В / (об/с)	6,6
Сопротивление обмотки якоря, Ом	660
Максимальный ток нагрузки, А	0,1
Максимальная частота вращения, об/мин	1500
Номинальное напряжение возбуждения, В	110
Номинальный ток возбуждения, А	0,06

## 5.5 Выбор операционных усилителей для построения регуляторов

Применение элементов унифицированной блочной системы (УБСР) позволяет создавать системы регулирования электроприводами различных промышленных установок и агрегатов при использовании небольшого набора командных устройств, датчиков и регуляторов.

Структура САУ обуславливает использование аналоговых элементов, в связи с тем, что САУ обрабатывает не импульсные сигналы, а постоянные, применяют систему УБСР-АИ.

В качестве усилителя для регуляторов тока и скорости делаем выбор усилителя УА-АИ.

Таблица 5.2 – Технические данные операционного усилителя У2-АИ

Ивх, В	Rвх, кОм	Rн, кОм	Rм, кОм	$\Delta f_k$ , Гц	Питание	
					Ип, В	Ип, мА
+, - 10	150	2	Не менее 2000	5	+, - 12	30

## 5.6 Выбор датчика тока

В качестве датчика тока в системе УБСР-АИ применяются устройство-преобразователь напряжения типа ПН-1АИ, который предназначен для установок в цепях электропривода до 1000 В.

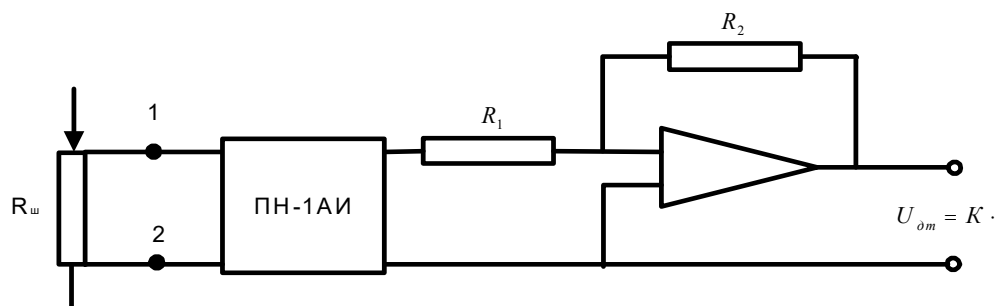


Рисунок 5.3 – Схема датчика тока в системе УБСР-АИ

Датчик тока состоит из двух трансформаторов Тр1 и Тр2, во вторичных обмотках которых включены двух полупроводниковые выпрямители на диодах В1 – В4, нагруженные на сопротивления R6, R7.

Выходные цепи ПН собраны на диодах В5 – В8, В9 – В12 и сопротивлениях R12, R13, включенных по дифференциальной схеме.

Установка нуля делается при отсутствии входного сигнала посредством потенциометра R9. Если входное напряжение не превышает 75 мВ, то оно подается непосредственно на резистор R8. При большом входном сигнале используется делитель напряжения R6 – R7.

Таблица 5.3 – Технические данные датчика тока ДТ-1АИ

И <sub>вх</sub> , В	R <sub>вх</sub> , кОм	R <sub>н</sub> , кОм	R <sub>м</sub> , кОм	δ, %	Δf, кГц	П и т а н и е	
						И <sub>п</sub> , В	И <sub>п</sub> , мА
0,075 ÷ 0,2	0,01	2	40-140	± 1	2	± 12,6 ≈ 12	50 25

Датчик тока подключается к стандартному шунту, сопротивление R<sub>ш</sub> которого определяется по падению напряжения на нем и номинальному току. Находится по выражению, представленному ниже:

$$R_{ш} = \frac{U_{ex}}{I_{омс}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{360} = 2,5 \cdot 10^{-4} (Ом); \quad (49)$$

Делаем выбор шунт 75 ШС:

И<sub>ш</sub> = 75Вт;

И<sub>ш</sub> = 300А.

### 5.7 Выбор блока токоограничения

Для выбора стабилитронов для блока ограничения тока рассчитаем ток управления регулятора.

Делаем выбор кремниевого стабилитрона типа Д814А с параметрами представленными ниже:

$$I_{ст} = 7 \div 8,5 \text{ В};$$

$$I_{max} = 40 \text{ мА}.$$

На вход включаем резисторы.

Сделаем расчет их по выражению, представленному ниже:

$$R = \frac{\Delta U}{I_{ex}} = \frac{10 - 7.2}{0.066 \cdot 10^{-3}} = 33(\text{кОм}); \quad (50)$$

Возьмем МЛТ 0,25 Вт; 33 кОм.

Для обеспечения нормальной работы электропривода сопротивление находится по выражению, представленному ниже:

$$R = \frac{7,2}{2 \cdot 0,066 \cdot 10^{-3}} = 55(\text{кОм});$$

Возьмем МЛТ 0,25 Вт; 56 кОм.

## 5.8 Расчет параметров обратной связи

Используем регуляторы с высоким статическим коэффициентом усиления серии УБСР-АИ, тогда коэффициент обратной связи по скорости в системе подчиненного регулирования находится по выражению, представленному ниже:

$$K_{oc} = \frac{U_{y\max}}{\omega_n}, \quad (51)$$

где:  $U_{умax}$  – это максимальное значение управляющего напряжения ЗУ,  
 $U_{умax} = 10 \text{ В};$

$$K_{oc} = \frac{10}{78} = 0,13(\text{В} / \text{рад} / \text{с});$$

Коэффициент передачи обратной связи по току находится по выражению, представленному ниже:

$$K_{om} = \frac{U_{pco}}{I_{яmax}}, \quad (52)$$

где:  $U_{рco}$  – это напряжение ограничения РС,  $|U_{рco}| \leq 10 \text{ В};$

$I_{яmax}$  – это номинальное значение тока якоря.

$$K_{om} = \frac{10}{360} = 0,03(\text{В} / \text{А});$$

Найдем коэффициент передачи тахогенератора  $K_{ТГ} = U'_{m\omega} / 2\pi$  по выражению, представленному ниже:

где:  $U'_{m\omega}$  – это удельное ЭДС тахогенератора;

$$U'_{m\omega} = \frac{6,6}{2 \cdot 3,14} = 1,05(B/c^{-1});$$

## 6 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПО- ВОРОТА

### 6.1 Составление передаточных функций элементов САУ

Разработанная функциональная схема дает возможность выделения отдельных динамических звеньев САУ. Для каждого динамического звена составим его передаточную функцию.

Тиристорный преобразователь вместе с системой управления и апериодическим фильтром на входе представим безинерционным звеном с передаточной функцией, описываемой по выражению, представленному ниже:

$$W_{ТП}(p) = \frac{K_{mn}}{T_{mn}p + 1}, \quad (53)$$

где:  $T_{ТП} = T_{ф} + \tau_{сн} = 4,9 \cdot 10^{-3} (с)$ ; – эквивалентная постоянная времени ТП.

Датчики скорости и тока рассмотрим, как апериодические звенья с передаточной функцией находится по выражению, представленному ниже:

$$W(p) = \frac{K}{T_p + 1}. \quad (54)$$

Возьмем  $T_{дс} = T_{дт} = 0,003 с$ .

Двигатель постоянного тока в зависимости от соотношения  $T_{я}$  и  $T_{эм}$  имеет возможность быть колебательным при  $T_{эм} \leq 4T_{я}$  или апериодическим звеном второго порядка  $T_{эм} \geq 4T_{я}$ .

Для нашего случая  $T_{эм} \geq 4T_{я}$ , т.е.  $0,2 \geq 0,008$ , следовательно, электродвигатель есть апериодическое звено второго порядка.

Передаточная функция по управляющему воздействию в режиме непрерывных токов имеет вид описываемый по выражению, представленному ниже:

$$W_{ов}(P) = \frac{K}{T_{я} \cdot T_{эм} p^2 + T_{эм} p + 1}, \quad (55)$$

$K_d = 0,26$ ;



$$T_{я} = 0,05;$$

$$T_{эм} = 0,2.$$

Найдем корни характеристического уравнения по выражению, представленному ниже:

$$T_{я} \cdot T_{эм} \cdot p^2 + T_{эм} p + 1 = 0; \quad (56)$$

$$P_{1,2} = \frac{-T_{эм} \pm \sqrt{T_{эм}^2 - 4T_{я} \cdot T_{эм}}}{2T_{я} \cdot T_{эм}}; \quad (57)$$

Найдем знак подкоренного выражения по выражению, представленному ниже:

$$T_{эм}^2 - 4T_{я} \cdot T_{эм} = 0,2^2 - 4 \cdot 0,05 \cdot 0,2 = 0,04 > 0;$$

следовательно, корни характеристического уравнения будут вещественными, это дает возможность определить передаточную функцию двигателя по управлению – изменению Етп (при  $M_c = 0$ ) в виде аperiodического звена второго порядка:

$$W_{об.}(p) = \frac{K_{об.}}{(T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)};$$

$$T_{1,2} = \frac{T_{эм}}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4T_{я}}{T_{эм}}}\right) = \frac{0,2}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,05}{0,2}}\right);$$

$$T_1 = 0,10 \text{ с}; T_2 = 0,08 \text{ с}.$$

Так как объект представляет собой аperiodическое звено с передаточной функцией по управлению  $W_0(p) = K_0(T_0 p + 1)$ , то применяем пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор [2].

Передаточная функция ПИ-регулятора, построенного на базе современных операционных усилителей, представим в виде:

$$W(p) = \beta \frac{\tau_p + 1}{\tau_p}, \quad (58)$$

где:  $\beta$  – это динамический коэффициент усиления;

$\tau$  – это постоянная времени настройки регулятора.

## 6.2 Построение структурной динамической схемы САУ и выбор настроек регуляторов

На основании функциональной схемы электропривода и дифференциальных уравнений для отдельных звеньев САУ составим структурную схему системы, на которой выделяем контуры и регулируем переменные.

На рисунке 6.1 приведена структурная динамическая схема САУ.

Для получения качественных переходных процессов в системе проводим оптимизацию динамики токового и скоростного контуров. При оптимизации динамики стремимся к получению малоколебательных и быстропротекающих переходных процесса при управляющем воздействии.

Оптимизацию динамики системы производим последовательно по контурам, начиная с внутреннего.

# Структурная схема САУ

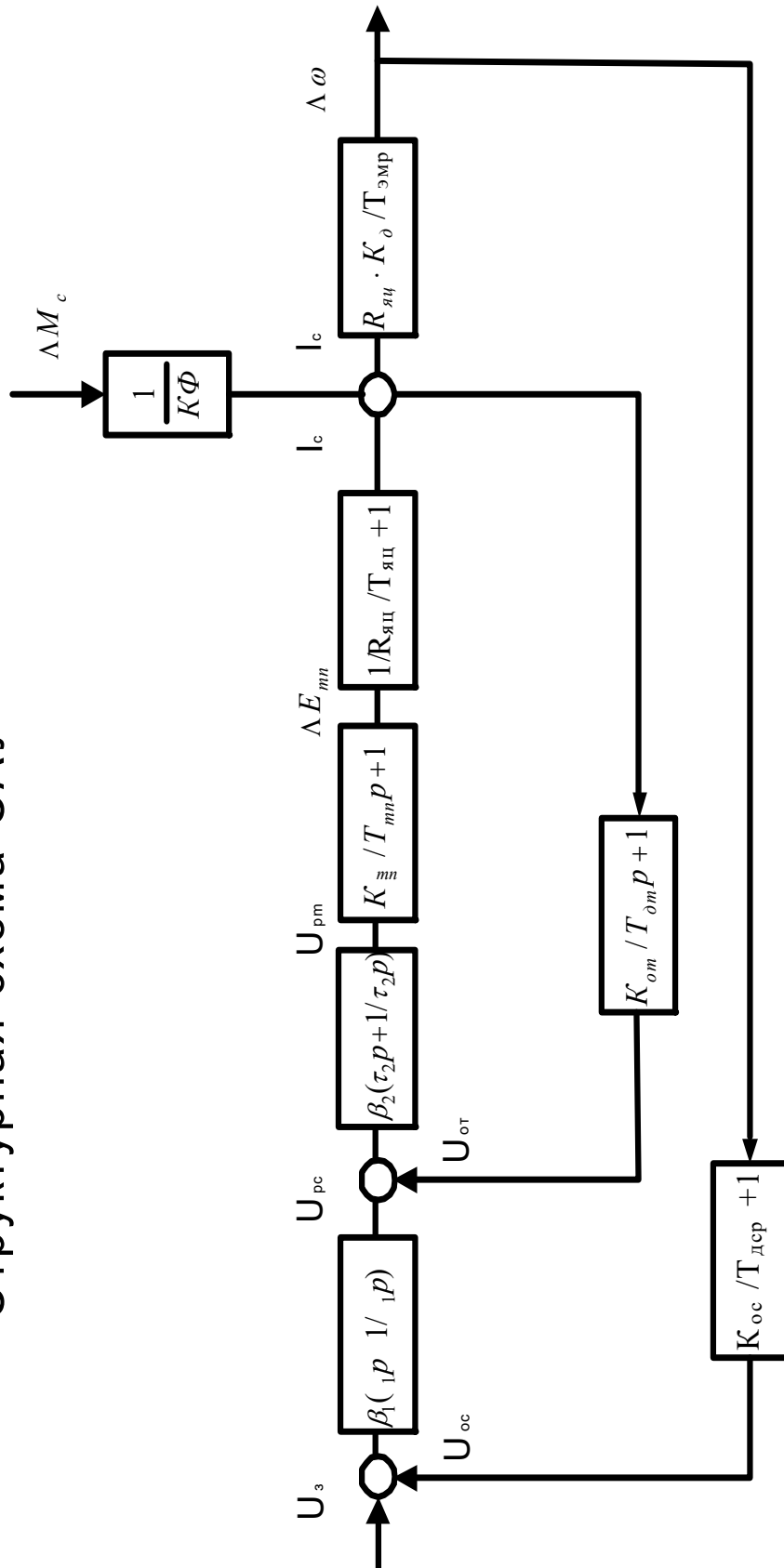


Рисунок 6.1 – Структурная схема САУ

Рис 3

## 6.2.1 Оптимизация токового контура

Анализ динамики токового контура производим при пренебрежении внутренней обратной связью по ЭДС двигателя.

$T_{эм} \gg T_{E2}$ ,  $T_{эм} \gg T_{я}$ .

В цепь обратной связи по току включаем ПИ-регулятор тока (пропорционально-дифференцирующее звено). При этом оптимизация контура делается без учета влияния ЭДС двигателя.

В большинстве случаев темп изменения скорости задается датчиком интенсивности, который включен на вход системы. При этом в период пуска и торможения электропривода контур скорости не размыкается, и величина динамического тока якоря поддерживается системой регулирования независимо от степени влияния ЭДС двигателя.

Токовый контур содержит ПИ-регулятор тока ( $R_{я}$ ) и объект регулирования с «большой» постоянной времени  $T_{я}$  и «малыми» постоянными времени  $T_{тг}$  и  $T_{дт}$ .

Передаточная функция разомкнутого контура находится по выражению, представленному ниже:

$$W_{p2}(p) = \beta_2 \frac{\tau_{2p} + 1}{\tau_{2p}} \cdot \frac{K_{02}}{(T_{яp} + 1)(T_{mnP} + 1)(T_{dmP} + 1)}; \quad (59)$$

где: 
$$K_{02} = \frac{K_{me} \cdot K_{om}}{R_{яц}}.$$

Два апериодических звена с постоянными времени  $T_{тг}$  и  $T_{дт}$  замыкаем одним апериодическим звеном с суммарной «малой» постоянной времени, которая находится по выражению, представленному ниже:

$$T_{\Sigma 2} = T_{mn} + T_{dm}, \quad (60)$$

$$W_{p2}(p) = \beta_2 \frac{\tau_{2p} + 1}{\tau_{2p}} \cdot \frac{K}{(T_{яp} + 1)(T_{\Sigma 2p} + 1)}.$$

При настройке  $R_\alpha$  на «оптимум по модулю» (ОМ), его параметры определяем в соответствии с условиями, представленными ниже:

$$\tau_2 = T_\alpha = 0,05c,$$

$$\beta_2 = \frac{T_\alpha \cdot R_\alpha}{a \cdot K_{mn} \cdot K_{om} \cdot T_{\Sigma 2}},$$

где:  $a = 2$ ;

$$T_{\Sigma 2} = 0,005 + 0,003 = 0,008(c);$$

$$K_{om} = \frac{1,0}{8K_{m2}} = \frac{1,0}{8 \cdot 1,05} = 0,12,$$

$$\beta_2 = \frac{0,0021,85}{2 \cdot 30 \cdot 0,12 \cdot 0,008} = 0,064.$$

Передаточная функция замкнутого токового контура при настройке на ОМ находится по выражению, представленному ниже:

$$W_{s2}(p) = \frac{T_{om}p + 1}{K_{om}(2T_{\Sigma 2}^2 p^2 + 2T_{\Sigma 2}p + 1)}. \quad (61)$$

Передаточная функция разомкнутого контура находится по выражению, представленному ниже:

$$W_{p2}(p) = \frac{1}{2T_{\Sigma 2}p(2T_{\Sigma 2}p + 1)}. \quad (62)$$

## 6.2.2 Оптимизация скоростного контура

Производим оптимизацию скоростного контура (СК).

Контур скорости содержит регулятор скорости РС с передаточной функцией  $W_{pc}(p)$ , интегрирующее звено с «большой» постоянной времени  $T_{эм}$ , замкнутый токовый контур и апериодическое звено с «малой» постоянной времени  $T_{тг}$ .

Так как привод предназначен для поддержания постоянства скорости, то ПИ – регулятор скорости настраиваем на симметричный оптимум (СО).

При этом находится по выражению, представленному ниже:

$$\tau_1 = T_{эм} = 0,2$$

$$\beta_1 = \frac{T_{эм} \cdot K_{\partial m}}{2K_{oc} \cdot K_{\partial} \cdot R_{яц} \cdot T_{\Sigma 1}},$$

$$T_{oc} = \frac{10}{750} = 0,01(c)$$

$$T_{\Sigma 1} = a \cdot T_{\Sigma 2} + T_{oc} = 2 \cdot 0,008 + 0,01 = 0,03,$$

$$\beta_1 = \frac{0,2 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,1 \cdot 0,26 \cdot 1,85 \cdot 0,03} = 90,7 = 91$$

Передаточная функция разомкнутого контура скорости при настройке Ря на СО находится по выражению, представленному ниже:

$$W_p(p) = \frac{(4T_{\Sigma 1}p + 1)(4T_{\Sigma 2}p + 1)(T_{\partial m}p + 1)}{8T_{\Sigma 1}^2 p^2 (T_{m2}p + 1)(2T_{\Sigma 2}p + 1)(4T_{\Sigma 2}^2 p^2 + 2T_{\Sigma 2}p + 1)}. \quad (63)$$

## 7 РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОВОРОТА

### 7.1 выбор метода исследования динамики привода

В соответствии с заданием производим расчет переходного процесса в оптимизированной системе по управлению.

Существует несколько методов расчета переходных процессов: (операторный, частотный и др.) – «ручной» метод, а в то же самое время машинный (на АВМ и ЦВМ).

Так как структурная схема, содержащая типовые динамические звенья, легко рассчитываются и есть наглядные математические описания динамики, то это дает возможность рассчитать переходный процесс на ЦВМ.

Расчет приводим на ДВК-3.

### 7.2 Составление расчетной структурной схемы привода

Так как расчет переходного процесса с помощью ДВК-3, составляем структурно расчетную схему двухконтурной системы подчиненного регулирования.

Представим каждое звено в виде по выражениям, представленным ниже:

$$W(p) = \frac{Mp + L}{Ap + B};$$

$$0 \text{ звено: } \frac{1/R_{яц}}{T_{яц}p + 1};$$

$$1 \text{ звено: } \frac{R_{яц} \cdot K_{\delta}}{T_{эм}p};$$

$$2 \text{ звено: } \frac{K_{ос}}{T_{ос}p + 1};$$

$$3 \text{ звено: } \frac{K_{\phi n}}{T_{\phi} p + 1};$$

$$4 \text{ звено: } \beta_1 \frac{\tau_1 p + 1}{\tau_1 p};$$

$$5 \text{ звено: } \beta_2 \frac{\tau_2 p + 1}{\tau_2 p};$$

$$6 \text{ звено: } \frac{K_{mn}}{T_{mn} p + 1};$$

$$7 \text{ звено: } \frac{K_{om}}{T_{om} p + 1}.$$

Записываем числовые значения всех коэффициентов в нормализованном виде, составим таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Числовые значения коэффициентов в нормализованном виде

Параметры звена	A	B	M	L
1 / Ряц / Тяц + 1	0,002	1	0	0,5
$R_{яц} \cdot K_{\phi} / T_{Эмр}$	0,2	0	0	0,48
Кос / Тдср + 1	0,003	1	0	0,13
Корп / Тфр + 1	0	1	0	1
$\beta_1(\tau_1 p + 1 / \tau_1 p)$	0,2	0	18	91
$\beta_2(\tau_2 p + 1 / \tau_2 p)$	0,002	0	0,001	0,06
$K_{mn} / T_{mn} p + 1$	0,005	1	0	30
$K_{om} / T_{om} p + 1$	0,003	1	0	0,03

С помощью методики расчета двухконтурной системы задаем программу. Расчет переходного процесса с помощью ДВК-3 приведен в таблицах 7.2 – 7.4. По полученному расчету строим графики переходного процесса рис. 7.1 – 7.6.

Из графика видно, что остаточное отклонение скорости при приложении нагрузки  $\Delta\omega = -11,66 \text{ с}^{-1}$ , что удовлетворяет режиму работы привода данного



механизма. Перерегулирование составляет 15 %, время переходного процесса 0,8 с.

Таблица 7.2 – Расчет переходного процесса с помощью ДВК-3

В р е м я	Т о к	С к о р о с т ь
0,05	319,711	– 9,39437
0,1	339,127	– 11,6568
0,15	330,857	– 9,69409
0,2	327,214	– 7,8517
0,25	323,929	– 6,65706
0,3	320,22	– 6,03112
0,349999	315,528	– 5,77561
0,399998	309,922	– 5,70006
0,449998	303,711	– 5,6789
0,499997	297,736	– 5,63756
0,549997	292,622	– 5,55339
0,599996	288,983	– 5,42894
0,649995	287,763	– 5,27732
0,699995	290,214	– 5,11985
0,749994	297,532	– 4,98705
0,799993	307,74	– 4,91126
0,849993	317,94	– 4,90681
0,899992	326,047	– 4,9701
0,949991	331,039	– 5,07923
0,999991	332,95	– 5,21059
1,04999	332,404	– 5,35113

По возмущению в большом

Управление – 0

Возмущение – 1200

Ограничение РС –10

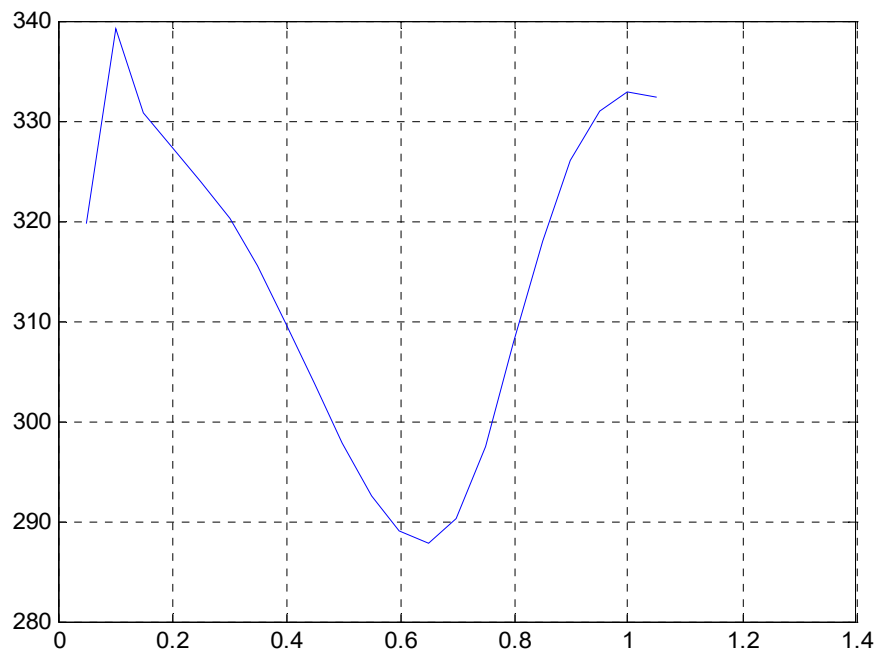


Рисунок 7.1 – Ток

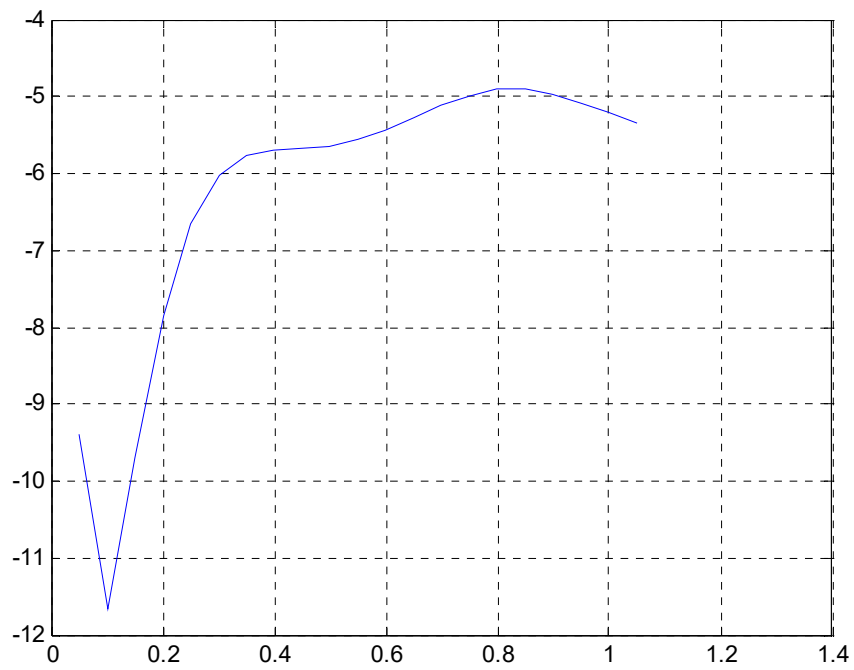


Рисунок 7.2 – Скорость

Таблица 7.3 – Расчет переходного процесса с помощью ДВК-3

В р е м я	Т о к	С к о р о с т ь
0,05	74,5756	7,34379
0,1	86,6061	17,0352
0,15	98,0697	28,135
0,2	85,3247	39,879
0,25	67,0026	49,0778
0,3	51,7886	56,151
0,349999	39,5985	61,5726
0,399998	30,403	65,7359
0,449998	23,4386	68,941
0,499997	18,0927	71,4125
0,549997	13,9837	73,3212
0,599996	10,8261	74,7976
0,649995	8,39388	75,9415
0,699995	6,51947	76,8293
0,749994	5,07198	77,5193
0,799993	3,95045	78,0564
0,849993	3,08367	78,4752
0,899992	2,40895	78,8022
0,949991	1,88471	79,0579
0,999991	1,47631	79,2581
1,04999	1,158	79,4151

По возмущению в большом

Управление – 10

Возмущение – 0

Ограничение – 10

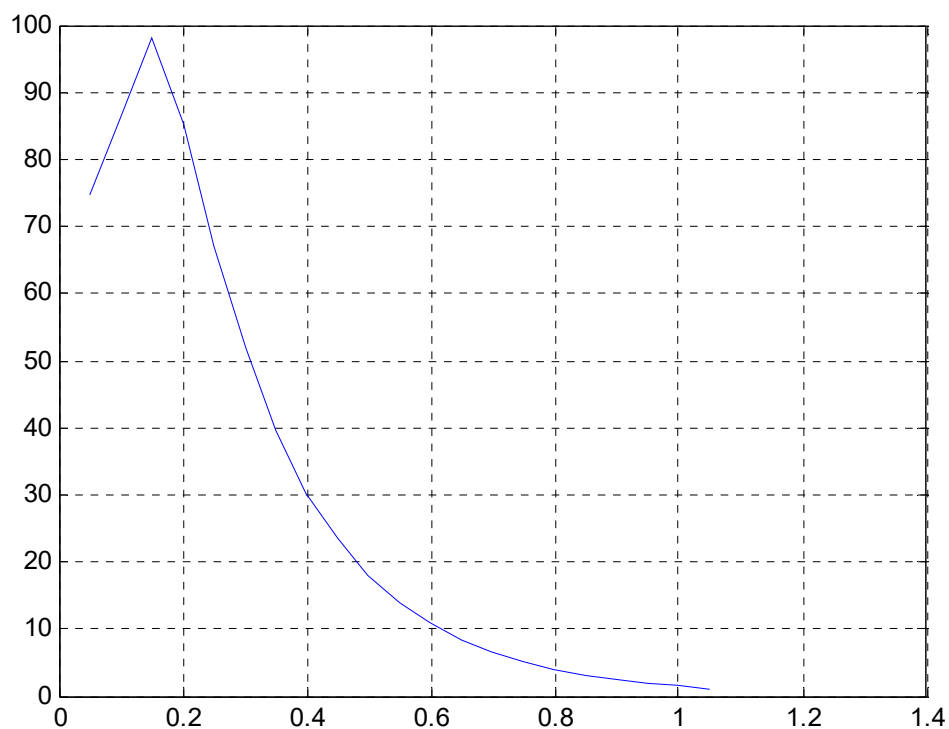


Рисунок 7.3 – Ток

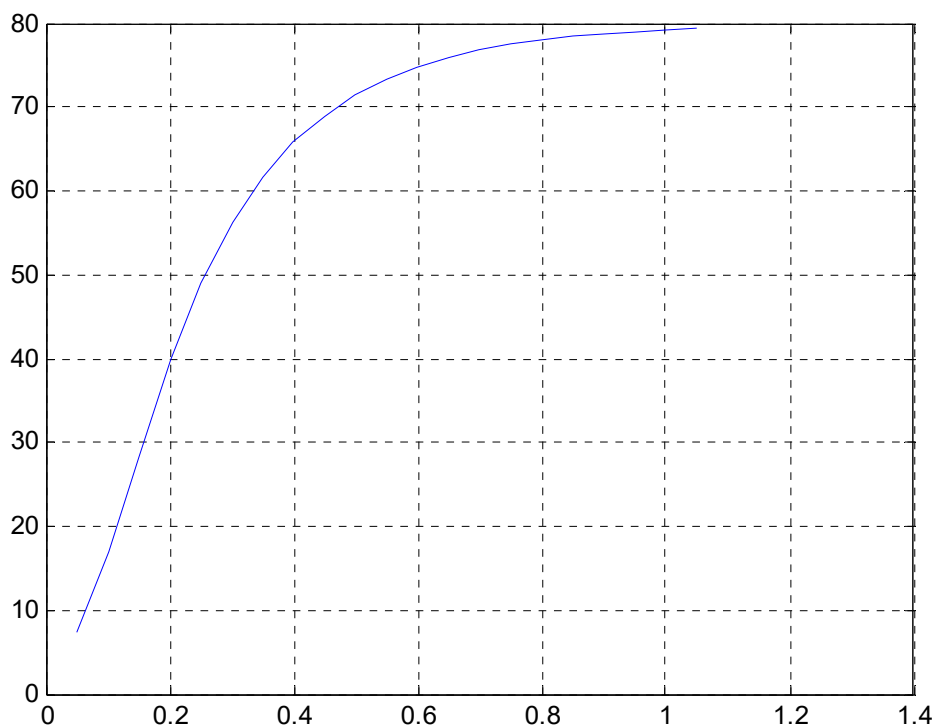


Рисунок 7.4 – Скорость

Таблица 7.4 – Расчет переходного процесса с помощью ДВК-3

В р е м я	Т о к	С к о р о с т ь
0,05	0,201914	– 3,02341E-03
0,1	0,283694	– 1,63186E-03
0,15	0,27247	– 5,39850E-04
0,2	0,261218	– 1,48183E-04
0,25	0,260701	6,06303E-05
0,3	0,26104	2,11244E-04
0,349999	0,260537	2,94434E-04
0,399998	0,26011	3,25641E-04
0,449998	0,259918	3,26809E-04
0,499997	0,259821	3,11015E-04
0,549997	0,259767	2,85738E-04
0,599996	0,259744	2,56017E-04
0,649995	0,259745	2,25206E-04
0,699995	0,259759	1,95343E-04
0,749994	0,259779	1,67576E-04
0,799993	0,259802	1,42480E-04
0,849993	0,259827	1,20258E-04
0,899992	0,25985	1,00880E-04
0,949991	0,259871	8,41953E-05
0,999991	0,259891	6,99610E-05
1,04999	0,259908	5,79139E-05

По возмущению в малом

Управление – 0

Возмущение – 1

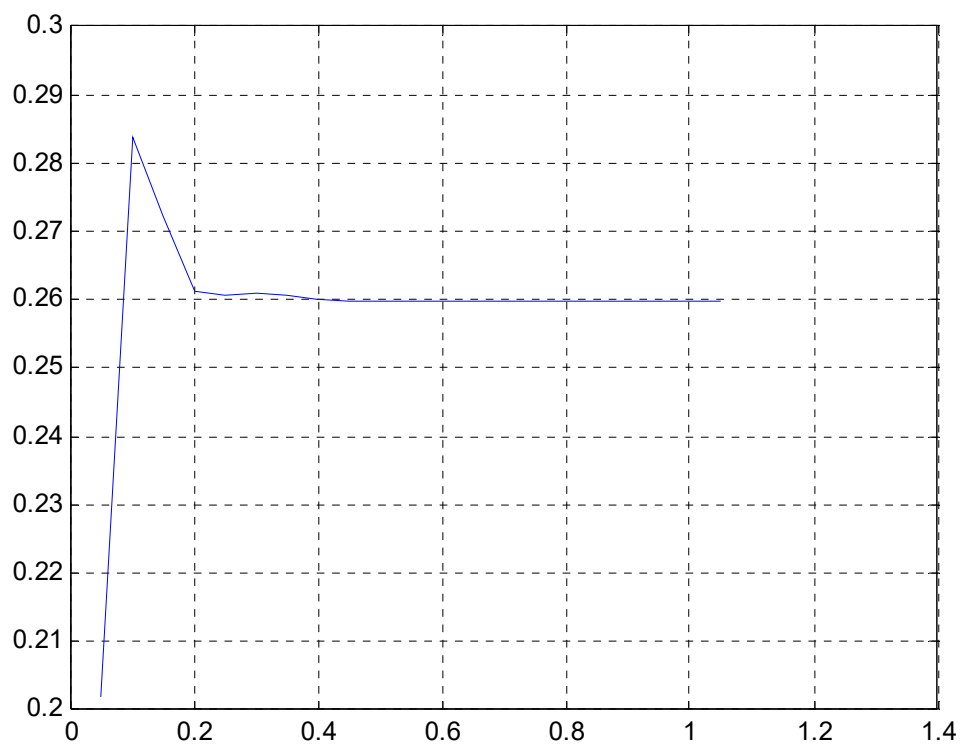


Рисунок 7.5 – Ток

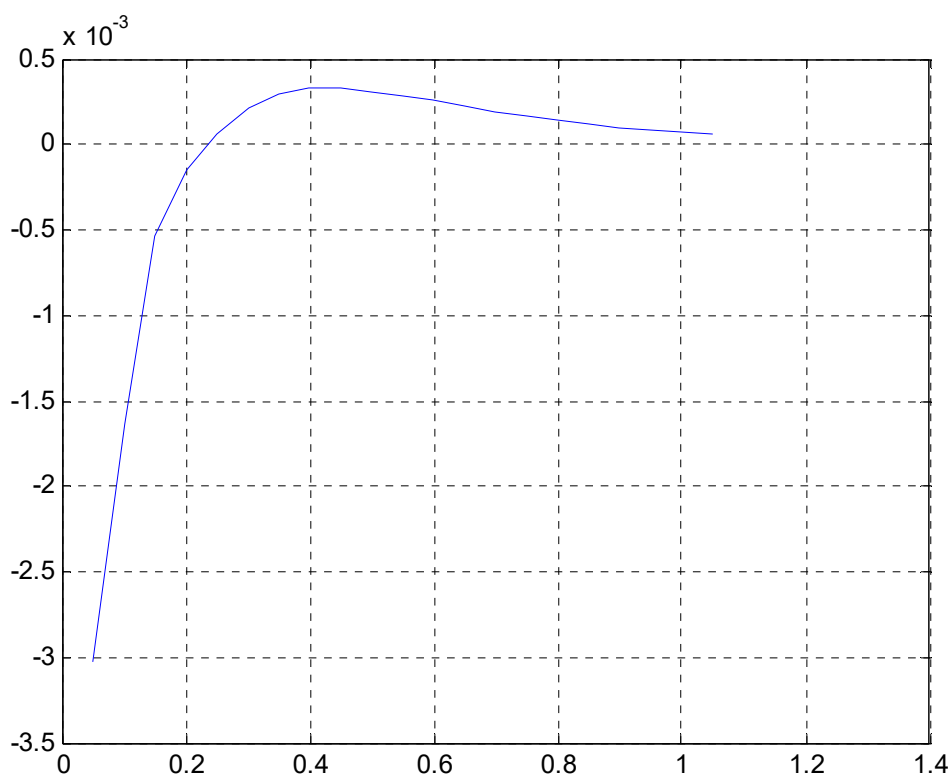


Рисунок 7.6 – Скорость

### 7.3 Результаты расчета переходного процесса

В динамических режимах качество регулирования определяется характером переходного процесса при изменении управляющего и возмущающего воздействий. Качество системы по характеру переходного процесса в динамических режимах оценивается прямыми показателями качества: быстродействием и плавностью протекания переходного процесса.

Плавность протекания переходного процесса оценивается в зависимости от характера кривой переходного процесса. В электроприводе механизма поворота экскаватора перерегулирование  $\sigma$  показывает максимальное отклонение регулируемой величины в переходном процессе от ее установившегося значения. Оно находится по выражению, представленному ниже:

$$\sigma = \frac{\omega_{max} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100, \quad (64)$$

где:  $\omega_{max}$  – это максимальное значение скорости;

$\omega_{уст}$  – это установившееся значение скорости;

$\sigma = 15 \%$ .

Из графика переходного процесса найдем время ПП:  $T_{пп} = 0,6$  с.

Полученные данные удовлетворяют заданным условиям.

## 8 СОСТАВЛЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ. ОПИСАНИЕ СХЕМЫ. СПЕЦИФИКАЦИЯ

### 8.1 Составление принципиальной схемы

Принципиальную схему системы строим на базе разработанной выше функциональной схемы САУ (рис.5.1).

На принципиальной схеме показываем элементы защиты силовой части привода, раскрываем R-цепи регуляторов, блоки ограничения выходных напряжений регуляторов и необходимую контактную и бесконтактную аппаратуру управления. Тиристорный преобразователь с отдельным управлением, логическую схему переключения групп.

### 8.2 Составление спецификации электрооборудования систем

Таблица 8.1– Спецификация электрооборудования систем

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	
		1	М	Двигатель	1	
		2	БР	Тахогенератор	1	
		3	L	Дроссель	1	
		4	ДТ	Датчик тока	1	
		5	Uz2	Тиристорный преобразователь	1	
		6	TV	Трансформатор	1	
		7	РС	Регулятор скорости	1	
		8	РТ	Регулятор тока	1	
		9	LM	Обмотка возбуждения	1	
		10	РОР	Реле обрыва поля	1	



Окончание таблицы 8.1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	
		11	Kk	Тепловое реле	2	
		12	Uz1	ТП для ОВ	1	
		13	QF	Автоматический выключатель	3	
		14	Z	Задающее устройство	1	
		15	RS	Шунт измерительный	1	

8.3 Расчет капитальных вложений в электропривод (расчет себестоимости)

Разметка проектной документации есть один их этапов конструкторской подготовки производства. В разработку входят: согласование технического задания на проектирование и само эскизное проектирование.

Произведем расчет затрат на этапы разработки, данные для расчетов приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Смета затрат на модернизацию

Наименование этапа	Исполнители	Ст-ть ч/час	Затраты ч/дн	Заработная плата
1	2	3	4	5
Разработка технического задания на проект.	Вед. инжен.	45	7	2520
	Инжен III р	35	7	1960
			Итого	4480
Обзор и анализ решений, выбор электрических элементов системы управления.	Вед. инжен.	45	10	3600
	Инжен III р	35	15	4200
			Итого	7800
Статический расчет схемы управления, разработка функциональной схемы.	Вед. инжен.	45	10	3600
	Инжен III р	35	20	5600
			Итого	9200
Динамические расчеты схемы управления, разработка принципиальной схемы.	Вед. инжен.	45	18	2880
	Инжен III р	35	15	4200
			Итого	7080
Разработка монтажной схемы, оформление.	Вед. инжен.	45	3	1080
	Инжен III р	35	7	1960
			Итого	3040

- Всего основная зарплата составит: 31600;
- Дополнительная з/п составляет 12 % от основной: 3792;
- Плановый фонд зарплаты: 40000;
- Отчисления 14 % от планового фонда на страхование: 5600.

Оптовая цена предприятия включает в себя себестоимость изделия и прибыль.

Себестоимость имеется возможность определить на базе укрупненных показателей стоимости покупного оборудования по формуле:

$$C_c = \frac{100 \cdot S_m}{M_c}, \text{ руб} \quad (65)$$

где:  $S_m$  – это стоимость главных покупных изделий (приведены в таблицах 8.1 и 8.2)

$M_c$  – доля затрат на покупные изделия и материалы в себестоимости аналогичных изделий в %.

Оптовую цену включает  $C_o$  изделия имеется возможность определить по формуле:

$$C_o = C_p + Пп, \quad (66)$$

где:  $Пп$  – плановая прибыль предприятия.

Таблица 8.3 – Смета затрат на главные покупные изделия по проектируемому варианту

Наименование изделия	Кол-во шт.	№ прејскуранта	Цена за изделие	Сумма на изделие
Тиристорный преобразователь постоянного тока	1	15-01	7600	7600
Шкаф управления	1	15-28	2700	2700
Выключатель автоматический	1	15-04	700	700
Реле промежуточное	1	15-04	240	240
Итого				11240

Таблица 8.4 – Смета затрат на главные покупные изделия по базовому варианту

Наименование изделия	Кол-во шт.	№ преЙскуранта	Цена за изделие	Сумма на изделие
Электродвигатель постоянного тока	1	15-01	2300	2300
Тахогенератор постоянного тока	1	15-01	2000	2000
Электродвигатель постоянного тока	1	15-01	2800	2800
Трансформатор тока	2	15-01	600	1200
Контроллер	4	15-04	1200	1800
Реле промежуточное	7	15-04	500	3500
Автоматические выключатели	4	15-04	280	1120
Итого				17720

Для серийно изготовленных изделий, на базе которых возможна разработка и выпуск более новых современных, устанавливается не менее 3 %, а для новых изделий, которые отвечают требованиям современных научно-технических достижений – 15 %.

Таким образом, имеем по новому устройству. Находится по выражению, представленному ниже:

$$C_{он} = \frac{100 \cdot S_m}{M_c} + \frac{100 \cdot S_m \cdot 10}{M_c} = \frac{100 \cdot 11240}{80} + \frac{100 \cdot 11240 \cdot 10}{80 \cdot 100} = 15455(\text{руб}); \quad (67)$$

По базовому варианту оптовая цена находится по выражению, представленному ниже:

$$C_{об} = \frac{100 \cdot 17720}{70} + \frac{100 \cdot 17720 \cdot 10}{70 \cdot 100} = 27845(\text{руб});$$

Сопутствующие капитальные вложения по вариантам Кн' и Кб' составляют затраты на монтажные работы и освоение (2,5 %), транспортно-заготовительные расходы, принимаемые одинаково по вариантам – 1,6 %.

Балансовая стоимость базового привода находится по выражению, представленному ниже:

$$Ц_{бб} = Ц_{об} + Кб', \quad (68)$$

$$К'_о = 0,025 \cdot Ц_{об} + 0,016 \cdot Ц_{об} = 0,025 \cdot 27845 + 0,016 \cdot 27845 = 1141(\text{руб});$$

$$Ц_{бб} = 27845 \cdot 1141 = 28936(\text{руб});$$

Аналогично найдем балансовую стоимость проектируемого привода по выражению, представленному ниже:

$$К'_н = 0,025 \cdot 15455 + 0,016 \cdot 15455 = 634(\text{руб});$$

$$Ц_{бн} = 15455 + 634 = 16089(\text{руб});$$

#### 8.4 Расчет эксплуатационных расходов

В эксплуатационные расходы по сравниваемым системам входят следующие элементы, а именно:

- затраты на ремонт и обслуживание;
- расходы на электроэнергию;
- зарплата обслуживающего персонала;
- амортизационные отчисления.

##### 8.4.1 Расчет затрат на ремонт и обслуживание

Текущий ремонт и техническое обслуживание должны выполняться в объеме не ниже предусмотренного типовыми объемами работ по техническому обслуживанию и ремонту и соответствовать требованиям ПТЭ и ПТБ.

Продолжительность ремонтного цикла  $T$ , лет или межремонтного периода  $t$ , мес. Найдем по таблицам в литературе [13] с учетом условий эксплуатации и применяемого оборудования.

Плановая продолжительность ремонтного цикла находится по выражению, представленному ниже:

$$T_{пл} = T_{табл.} \cdot \beta_k \cdot \beta_p \cdot \beta_u \cdot \beta_o \cdot \beta_e; \quad (69)$$

где:  $T_{табл}$  – это средняя нормативная продолжительность ремонтного цикла – 9 лет;

$$\beta_k = 0,75$$

$$\beta_p = 1$$

$$\beta_u = 1$$

$$\beta_o = 0,85$$

$\beta_e = 0,6$  – это коэффициенты для определения продолжительности ремонтного цикла;

$$T_{пл} = 9 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 3(\text{года});$$

Плановая продолжительность межремонтного периода находится по выражению, представленному ниже:

$$t_{пл} = t_{табл} \cdot \beta_k \cdot \beta_p \cdot \beta_u \cdot \beta_o \cdot \beta_e = 9 \cdot 0,75 = 6,8(\text{мес});$$

#### 8.4.2 Расчет трудоемкости ремонтов

Произведем расчет трудоемкости ремонтов (капитального, текущего и технического обслуживания).

Перечень элементов базовой и разрабатываемой системы возьмем из таблиц стоимостной оценки деталей.

Нормы трудоемкости возьмем из литературы [13]. Они описываются формулой, показанной ниже:

$$T_{кр} = \sum_{i=1}^R \sum_{i=1}^i t_{кр i} \cdot n_i, \quad (70)$$

где:  $R$  – это число наименований элементов в схеме управления;

$t_{кр i}$  – это табличные значения трудоемкости капитального ремонта  $i$ -го элемента;

$n_i$  – это число элементов в схеме.

$$T_{кр.б} = 1 \cdot 8 + 15 \cdot 0,2 + 1 \cdot 14,4 + 1 \cdot 8 + 3 \cdot 5 + 6 \cdot 12 + 4 \cdot 1,5 + 18 \cdot 0,2 = 130 \text{ч/час};$$

$$T_{кр.л.} = 1 \cdot 22 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 8 + 4 \cdot 15 = 98 \text{ч/час};$$

Трудоемкость текущего ремонта находится по выражению, представленному ниже:

$$T_{тр.б.} = 1 \cdot 10 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3,6 + 4 \cdot 1,5 + 4 \cdot 3 + 10 \cdot 0,2 + 6 \cdot 4 + 14 \cdot 0,2 = 62,4 \text{ч/час};$$

$$T_{тр.н.} = 1 \cdot 2 + 15 \cdot 0,2 + 1 \cdot 5,4 + 1 \cdot 3,6 + 3 \cdot 1,5 + 6 \cdot 4 + 4 \cdot 1,5 = 48,5 \text{ ч/час};$$

Трудоемкость технического обслуживания примем равной 10 % от трудоемкости текущего ремонта. Она находится по выражению, представленному ниже:

$$T_{тоб} = 13,0 \text{ ч/час};$$

$$T_{тон} = 9,8 \text{ ч/час}.$$

#### 8.4.3 Расчет плановых потребностей в рабочей силе и фонда зарплаты

Количество рабочих, необходимых для проведения всех видов работ: ремонта, осмотра, испытаний и технического обслуживания на год находится по выражению, представленному ниже:

$$H_{н.пр.} = \frac{T_{тр} + T_{кр} + T_{то}}{\Phi_o \cdot R_{вн}}; \quad (71)$$

где:  $T_{тр}$ ;  $T_{кр}$ ;  $T_{то}$  – годовая плановая трудоемкость соответственно капитального ремонта, технического обслуживания и текущего ремонта;

$\Phi_d$  – это эффективный годовой фонд зарплаты;

$R_{вн}$  – это коэффициент выполнения нормы.

В таблице [13]  $\Phi_d = 231$  (по 8 час.);  $R_{вн} = 0,98$ :

$$H_{н.пр.н.} = \frac{48,5 + 9,8 + 98}{231 \cdot 0,98} = 0,6(\text{чел});$$

$$H_{н.пр.б.} = \frac{130 + 62,4 + 13}{231 \cdot 0,98} = 0,91(\text{чел});$$

Планируемый фонд зарплаты ( $\Phi_z$ ) рабочих находится по выражению, представленному ниже:

$$\Phi_z = \Phi_{zt} + \Phi_{п} + \Phi_{сс}, \quad (72)$$

где:  $\Phi_{zt}$  – это годовой фонд зарплаты по тарифу;

$\Phi_{п}$  – это годовой премиальный фонд зарплаты;

$\Phi_{сс}$  – это годовой фонд дополнительной зарплаты и отчислений на соцстрах.

Выбираем годовую тарифную ставку по первому разряду электрослесаря – 15 руб. Тогда для базовой системы электропривода:

Для капитального ремонта находится по выражению, представленному ниже:

$$\Phi_{\text{зм}} = 15 \cdot 1,5 \cdot 190 = 4275(\text{руб});$$

$$\Phi_n = 0,254275 = 1068,75(\text{руб});$$

$$\Phi_{\text{дсс}} = 0,19 \cdot 427,5 = 812,25(\text{руб});$$

$$\Phi_{\text{зг.кр}} = 4275 + 1068,75 + 812,25 = 6156$$

Для текущего ремонта находится по выражению, представленному ниже:

$$\Phi_{\text{зм}} = 15 \cdot 72 \cdot 1,5 = 1620(\text{руб});$$

$$\Phi_n = 0,25 \cdot 1620 = 405(\text{руб});$$

$$\Phi_{\text{дсс}} = 0,19 \cdot 1620 = 307,8(\text{руб});$$

$$\Phi_{\text{зг.кр}} = 1620 + 405 + 307,8 = 2332,8$$

Для технического обслуживания находится по выражению, представленному ниже:

$$\Phi_{\text{зг.то}} = 6156 \cdot 0,1 = 615,6(\text{руб});$$

Отсюда годовой фонд заработной платы на все виды работ по разрабатываемой схеме управления находятся по выражению, представленному ниже:

$$\Phi_{\text{зг.(\text{баз})}} = 6156 + 2332,8 + 615,6 = 9104,4(\text{руб});$$

Найдем фонд заработной платы на все виды ремонта и обслуживания для разрабатываемой схемы управления приводом экскаватора по выражению, представленному ниже:

Для капитального ремонта находится по выражению, представленному ниже:

$$\Phi_{\text{зм}} = 15 \cdot 1,5 \cdot 176,2 = 3964,5(\text{руб});$$

$$\Phi_n = 0,25 \cdot 3964,5 = 991,125(\text{руб});$$

$$\Phi_{\text{дсс}} = 0,19 \cdot 3964,5 = 753,255(\text{руб});$$

$$\Phi_{\text{зм.кр}} = 3964,5 + 991,125 + 753,255 = 5709$$

Для текущего ремонта находится по выражению, представленному ниже:

$$\begin{aligned}\Phi_{зм} &= 15 \cdot 1,57 \cdot 0,8 = 1593(\text{руб}); \\ \Phi_n &= 0,25 \cdot 1593 = 398,25(\text{руб}); \\ \Phi_{occ} &= 0,19 \cdot 1593 = 302,67(\text{руб}); \\ \Phi_{з.мп} &= 1593 + 398,25 + 302,67 = 2294\end{aligned}$$

Для технического обслуживания находится по выражению, представленному ниже:

$$\begin{aligned}\Phi_{зм} &= 0,1 \cdot 5709 = 570,9(\text{руб}); \\ \Phi_{з.мо} &= 5709 + 2294 + 570,9 = 8574(\text{руб}).\end{aligned}$$

#### 8.4.4 Расчет стоимости потребляемой электроэнергии

Найдем стоимость потребляемой энергии для обоих вариантов по выражению, представленному ниже:

$$S_{iээ} = P_i \cdot T_p \cdot Z_{эн}, \quad (73)$$

где:  $P_i$  – это установленная мощность токоприемников;

$T_p$  – это число часов работы в год;

$Z_{эн}$  – это одноставочный тариф за 1 кВт/час электроэнергии.

Найдем затраты на электроэнергию для базовой системы управления электроприводом по выражению, представленному ниже:

$$S_{iб} = \frac{P_y}{Y_{\Sigma}} \cdot T_p \cdot Z_{эн} = \frac{45}{0,8} \cdot 5000 \cdot 1,2 = 337500(\text{руб} / \text{год});$$

Найдем затраты на электроэнергию разрабатываемой системы по выражению, представленному ниже:

$$S_{in} = \frac{P_y}{Y_{\Sigma}} \cdot T_p \cdot Z_{эн} = \frac{45}{0,8} \cdot 4500 \cdot 1,2 = 303750(\text{руб} / \text{год});$$

Таблица 8.3 – Сводная таблица эксплуатационных расходов

Плановая продолжительность ремонтного цикла	3 ч
Плановая продолжительность межремонтного периода	3 мес
Трудоемкость ремонтов: базовая система	130 ч/час
Капитально разрабатываемой системы	98 ч/час
Текущего базовой	62,4 ч/час



Окончание таблицы 8.3

разрабатываемой	48,5 ч/час
Техобслуживания базового	13,0 ч/час
разрабатываемой	9,8 ч/час
Планируемый фонд:	
Капитального базового	6156 руб.
разрабатываемой	5709 руб.
Текущего базовой	2332,8 руб.
разрабатываемой	229,4 руб.
Техобслуживания базового	615,6 руб.
разрабатываемой	570,9 руб.
Потребление электроэнергии:	
базовой	337500 руб.
разрабатываемой	303750 руб.

### 8.5 Расчет надежности электропривода

Под надежностью понимаем способность элементов или системы сохранять работоспособность за определенный период без снижения технико-экономических параметров. Надежность характеризуется рядом свойств: вероятностью безотказной работы, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью. В расчетах оценивается безотказность в работе и ремонтпригодность.

Найдем интенсивность отказа системы:

Все расчетные формулы и данные взяты из книги «Анализ и расчет надежности СУ и ЭП» Рипс и Соловьев.

При определении показателя надежности элементов введем поправочные коэффициенты:  $a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$ ;  $a_4$ , учитывающие влияние коэффициента электрической нагрузки  $K_n$  и температуры окружающей среды на показатель надежности.

Рекомендуемые коэффициенты нагрузки для повторно-кратковременного режима работы:

- Резисторы – 0,6;
- Диоды – 0,7;
- Транзисторы – 0,5;
- Конденсаторы – 0,5;
- Трансформаторы – 0,6;
- Реле, контакторы, пускатели – 0,8.
- Температуру окружающей среды возьмем + 30° С.

Для мощных реле, контакторов и магнитных пускателей уточненный коэффициент надежности  $K_i'$ :

$$K_i' = K_{io} \cdot a_4 + \left( \sum_{j=1}^n K_{jk} \cdot a \right) \cdot \frac{f_\phi}{f_n}, \quad (74)$$

где: [П1-2]  $K_{io} = 20$ ;  $K_{jk} = 25$  – номинальные коэффициенты надежности воспринимаемой и исполнительной части (на контактную группу);

$f_n = 10$  – это номинальное число срабатываний в час;

$f_n = 30$  – это фактическое число срабатываний в час;

$a_4 = 0,5$ ;  $a_3 = 0,75$ ; [П2-55];

$$K_i' = 20 \cdot 0,5 + (2 \cdot 250,75) \cdot \frac{30}{10} = 122,5$$

Для остальных элементов уточненный показатель надежности найдем по формуле:

$$K_i' = K_i \prod_{j=1}^e a_j \quad (75)$$

Таблица 8.4 – Система ТП-Д

Наименование	Ni	Ki	an	Ki	Ni Ki
1. Двигатель постоянного тока	1	-	-	165	165

Окончание таблицы 8.4

Наименование	Ni	Ki	an	Ki	Ni Ki
2. Трансформатор силовой	1	7,5	a1 = 0,3[П2-33]	2,25	2,25
3. Трансформатор импульсный	3	-	-	20	60
4. Тиристор	6	20	a1 = 0,65[П2-33]	13,0	78
5. Диоды	35	7,5	a1 = 0,65[П2-33]	4,9	171,5
6. Конденсаторы	50	11,0	a1 = 0,1[П2-22]	1,1	55
7. Сопротивления	75	1,7	a1 = 0,5[П2-5]	0,85	53,75
8. Сопротивления	40	5,5	a1 = 0,5[П2-5]	2,75	110
9. Транзисторы	15	25	a1 = 0,4[П2-36]	10	150
10. Транзисторы	12	17,5	a1 = 0,75[П2-38]	13,1	162,5
11. Выключатель быст-родействующий	1	-	-	173	173

$$\Sigma N_i \cdot K_i = 1250.5 \quad (76)$$

Общая вероятность отказов находится по выражению, представленному ниже:

$$\lambda_{mn} = \lambda_6 \Sigma N_i K_i = 0.04 \cdot 10^{-5} \cdot 1250.5 = 0.5002 \cdot 10^{-3}$$

Среднее время исправной работы находится по выражению, представленному ниже:

$$\bar{t}_n \frac{1}{\lambda_{mn}} = \frac{1}{0.5002 \cdot 10^{-3}} = 2000(\text{час});$$

Общая надежность системы за 100 часов находится по выражению, представленному ниже:

$$R(t) = 1 - Q(t), \quad (77)$$

$$Q(t) = \lambda_{mn} \cdot 100,$$

$$R(t) = 1 - \lambda_{mn} \cdot 100 = 1 - 0.5002 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0.959$$

Таблица 8.5 – Система Г-Д

Наименование	Ni	Ki	an	Ki	Ni Ki
1. Двигатель постоянного тока	1	-	-	165*	165,0
2. Трансформатор	1	7,5	a1 = 0,3[П2-44]	2,25	2,25
3. Генератор	1	-	-	122,5*	122,5
4. Сопротивления	9	47,7	a1 = 0,35[П2-5]	16.7	150.3
5. Диоды	6	7,5	a2 = 0,65[П2-33]	4.9	29.25
6. Реле	2	-	-	25*	50.0
7. Выключатель	1	-	-	-	-
быстродействующий	5	-	-	173*	173.0
8. Реле РП	5	-	-	100*	500
9. Реле времени	-	-	-	46.3*	92.6
10. Переключатели:					
диапазонов	1	-	-	4.0*	4,0
поворотные	1	-	-	9.0*	9.0
11. Микровыключатели	4	-	-	8.0*	32.0

\* – усредненные эксплуатационные данные.

$$\sum N_i \cdot K_i = 2064,9.$$

Общая вероятность отказов находится по выражению, представленному ниже:

$$\lambda = \lambda_0 \sum N_i \cdot K_i = 0.04 \cdot 10^{-5} \cdot 2064.9 = 0.826 \cdot 10^{-3}$$

Среднее время исправной работы находится по выражению, представленному ниже:

$$\bar{t}_n = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.826 \cdot 10^{-3}} = 1211$$

Общая надежность системы за 100 часов находится по выражению, представленному ниже:

$$R(t) = 1 - 0,0826 = 0,9174.$$

Таблица 8.6 – Сравнение вариантов

Наименование показателей	Г-Д	ТП-Д
1. Общая вероятность отказов	$0,826 \cdot 10^{-3}$	$0,5002 \cdot 10^{-3}$
2. Средний срок службы, час	1211	2000
3. Общая надежность системы за 100 час	0,92	0,96

Из приведенной таблицы 8.6 видно, что система ТП-Д более надежна, чем система Г-Д.

Для повышения надежности системы имеется возможность выполнить:

- Снять напряжение в работе отдельных узлов, потом завышения необходимой мощности;
- Применить более надежные элементы;
- Резервирование и дублирование наиболее ненадежных элементов;
- Сокращение количества используемых в системе элементов без снижения качества и производительности агрегата.

### 8.6 Стоимостная оценка результатов исследования

Экономический эффект от разработки новой схемы управления электроприводом по выражению, представленному ниже:

$$\mathcal{E}_{рез} = Ц_{б} \alpha + \frac{(U'_{б} - U'_н) - E_n (K'_н - K'_{б})}{P_{ам} + E_n} - Ц'_н, \quad (78)$$

где: Цб; Цн – это оптовые цены базовой и новой схемы управления;

$\alpha$  – это коэффициент эквивалентности,  $\alpha = 1$ ;

Кн'; Кб' – это сопутствующие капитальные вложения;

Ен – это нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,  $E_n = 0,15$ ;

Иб'; Ин' – это годовые текущие издержки у потребителя при использовании единицы базовой и новой схемы без учета отчислений на амортизацию и косвенные расходы;

Рам – коэффициент отчислений на амортизацию при использовании нового оборудования с учетом нормального износа, Рам = 0,1.

Находится по выражению, представленному ниже:

$$U_B' = 337500 + 67500 = 405000 \text{ (руб.)},$$

$$U_H' = 303750 + 63546 = 367296 \text{ (руб.)}.$$

Найдем годовой экономический эффект:

$$Э_{раз} = 27845 + \frac{(405000 - 367296) - 0,15(1141 - 634)}{0,1 + 0,15} - 1563 = 176793 \text{ (руб)} \quad - \quad \text{для одного}$$

экскаватора.

Таблица 8.7 – Стоимостная оценка результатов исследования

Наименование показателей	Ед. изм.	Базовая схема	Новая схема
Мощность привода	кВт	100	100
КПД	%	93,4	95
Эксплуатационные расходы: плата за электроэнергию	Руб./год	337500	303750
Капитальные затраты	Руб.	28986	16089
Годовой экономический эффект	Руб.	-	176793
Наработка на отказ	Час	1211	2000

## 9 Безопасность жизнедеятельности

### 9.1 Анализ производственных вредности и опасности при эксплуатации экскаватора ЭКГ-5А

Экскаватор ЭКГ-5А – карьерная полноповоротная электрическая лопата на гусеничном ходу – предназначен для разработки и погрузки в транспортные средства полезных ископаемых или пород на открытых горных работах в черной и цветной металлургии, в угольной промышленности и т.д.

Главные условия, при которых гарантируется нормальная работа экскаватора, следующие:

- Температура окружающего воздуха от – 40° С до + 45° С;
- Высота над уровнем моря – не более 100 м;
- Окружающая среда не должна быть взрывоопасной;
- Поперечный и продольный уклон рабочей площади экскаватора не более 3°.

Анализ возможных вредности и опасности проводим по основным элементам производства, которые есть рабочее место и рабочая зона.

Оформляем анализ в виде таблицы, в которой опасные и вредные производственные факторы группируем по элементам, которые характеризуют источник их возникновения.

Таблица 9.1 – Опасные и вредные производственные факторы

Фактор рабочей среды	Параметры, характеризующие главные свойства элементов
Санитарно – гигиенические элементы	
Освещенность	Отсутствие или недостаток естественного света на рабочей площадке и в кабине экскаватора
Вредные вещества	Повышенная концентрация нетоксичной пыли
Температура воздуха	Повышенная (до + 45° С) или пониженная (до – 45° С) Температура воздуха в кабине экскаватора

Окончание таблицы 9.1

Фактор рабочей среды	Параметры, характеризующие главные свойства элементов
Психофизические элементы	
Физическая нагрузка	Недостаточная двигательная активность
Травмоопасность	Наличие козырьков и уступов после выработки породы, наличие на рабочей площадке уклонов более 3°, отсутствие хороших подъездных дорог. Опасный уровень напряжения (питающая сеть 6 кВт). Кинетическая энергия движущихся, вращающихся частей экскаватора

Для снижения или исключения вредных и опасных факторов при эксплуатации экскаватора предусматриваются следующие мероприятия и устройства:

- на крыше кабины экскаватора устанавливается кондиционер;
- климат внутри рабочего помещения кабины машиниста определяется системой кондиционирования воздуха. Дополнительно устанавливаются два настольных вентилятора и печки обогрева;
- вентиляция кузова обеспечивается четырьмя вентиляторами, которые устанавливаются в отсеке в задней части кузова. Вентиляторы подают 60 тыс. м<sup>3</sup>/час очищенного воздуха, при этом в кузове создается избыточное давление, которое препятствует поступлению в кузов пыли из атмосферы через открытые двери, проемы для канатов и пр.;
- при работе в пыльных забоях периодически поливают разрабатываемый забой;
- наружное освещение экскаватора предусматривается производить с помощью прожекторов заливающего света, которые устанавливаются в кабине машиниста, на площадке на специальной стойке, на защитном кожухе



высоковольтного трансформатора и на кузове. Освещение кузова и кабины делается светильником от сети напряжением 220В.

## 9.2 Техника безопасности и противопожарная профилактика при эксплуатации экскаватора ЭКГ-5А

Требования к устройству экскаватора ЭКГ-5А, его эксплуатации и ремонту регламентированы:

- Правилами устройства и безопасности грузоподъемных механизмов;
- Правилами устройства электроустановок (ПЭУ);
- Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ).

На основании указанных выше правил разрабатывают и вручают экскаваторщикам, ремонтной бригаде или наладчикам местные инструкции. По мере появления новой техники в действующие Правила или нормы вносятся те или иные изменения.

Ответственность за исправное состояние экскаватора и всех приспособлений, механизмов на экскаваторе, возлагается на инженерно-технического работника, которому подчинен персонал, который обслуживает экскаватор.

Лицо, которое ответственно за состояние механизмов экскаватора обеспечивает:

- регулярные осмотры и ремонты экскаватора, своевременное устранение неисправностей;
- своевременную остановку и подготовку к техническому ремонту;
- нормальные условия труда экскаваторщику, ремонтным бригадам, наладчикам;
- средствами защиты, касающимися электробезопасности и пожарной безопасности.

Все работники, принимающие участие в ремонте или наладке электрооборудования проходят медицинский осмотр, изучают главные правила техники безопасности проходят проверку знаний.

К наладке или ремонту электрооборудования экскаватора ЭКГ-5А допускаются лица, которые изучили техническую документацию на электрооборудование экскаватора, инструкцию по наладке и эксплуатации и получившие наряд, если работы проводятся на частях электрооборудования экскаватора напряжением свыше 1000 В, и без наряда только с записью в журнале производства работ, если работы выполняются на частях электрооборудования до 1000 В.

Во время работы экскаватора или при производстве ремонтных работ посторонних лиц на экскаваторе нет.

Все включения и выключения высоковольтной аппаратуры, перенос высоковольтного кабеля, находящегося под напряжением, делается только в резиновых перчатках и ботах, испытанных высоким напряжением.

На поворотной платформе экскаватора положены резиновые коврики, вырезанные из диэлектрических ковров.

Допуск для ремонта, осмотра и переключений к высоковольтному токоприемнику, распределительному шкафу, высоковольтному трансформатору, синхронному электродвигателю, а в тоже самое время к вводной коробке высоковольтного кабеля делается только после выключения масляного выключателя и разъединителя на подключаемом пульте или подстанции, разрядку жил кабеля на землю и установки переносных заземлений на кабельном разъединителе со стороны подключительного пункта или подстанции и клеммах вводного ящика с обязательным вывешиванием плаката «Не включать – работают люди!».

При сдаче экскаватора в эксплуатацию не подают питающее напряжение на экскаватор без предварительного измерения сопротивления изоляции и сопротивления заземления экскаватора и его электрооборудования и оформления протоколов по результатам замеров.

Заземление экскаватора проверяют каждую смену путем наружного осмотра.

Ремонт электрооборудования (напряжением 380, 220, 127, 115 В) делается только при выключенном соответствующем установочном автомате и вывешивается предупредительная табличка: «Не включать – работают люди!». Ремонт электрооборудования и аппаратуры освещения, находящегося под напряжением, не делается.

Работа электрооборудования и аппаратов, конечных выключателей без защитных кожухов вращающихся соединительных частей не делается.

Переносные лампы включаются только в розетки, установленные в сети напряжением 12 В. При перерывах в работе, а в то же самое время после окончания какого либо этапа работы, рукоятки командоконтроллеров ставятся в нулевое положение.

Работа экскаватора с открытыми шкафами станций управления не делается.

Устранение неисправностей, особенно в схеме управления главными приводами, делается только сменным мастером-электриком.

При наладочных или ремонтных работах на экскаваторе рабочее место:

- располагается в непосредственной близости от налаживаемого оборудования, не мешает проходу людей;
- имеет прочный деревянный стол для размещения аппаратуры и сборки испытательных систем, около стола находится резиновый коврик или деревянная подставка.

Питание испытательных схем и вся внутренняя проводка выполнены изолированным проводом необходимого сечения и с надежной изоляцией. На деревянном столе устанавливается автомат или рубильник с предохранителями, к которому проводят провода питания:

- имеется хорошее освещение;
- все измерительные приборы имеют пояснительные надписи с указанием, в какие цепи схем они подключены.

Подача напряжения для наладки, пуск преобразовательного агрегата, опробование схемы управления электроприводом делается руководителем бригады.

При выполнении работ пользуются специальным инструментом с изолированными ручками. Вся бригада обеспечивается необходимыми защитными средствами: диэлектрическими перчатками, ботами, ковриками и т.д.

Не пользуются защитными средствами не прошедшими установленных испытаний, а в то же самое время, срок очередного испытания которого истек.

Лица, которые ответственны за состояние электроустановок, тоже отвечают и за пожарную безопасность на экскаваторе:

- следят за правильностью выбора и применения кабелей, двигателей, светильников в зависимости от класса пожароопасности помещения экскаватора и условий эксплуатации;
- систематически контролируют состояние аппаратов защиты от короткого замыкания, перегрузок, перенапряжений;
- следят за исправностью специальных установок и средств, предназначенных для ликвидации загорания и пожаров;
- организуют систему обучения и инструктажа по вопросам пожарной безопасности;
- участвуют в расследовании случаев пожара и загораний и осуществляют меры по их предупреждению.

Для обеспечения противопожарной безопасности на экскаваторе имеются огнетушители, ящики с песком. Огнетушители типа ОП-5-01 находится в кабине экскаватора на легкодоступном месте.

Легко воспламеняющиеся вещества (бензин, керосин и прочее) на экскаваторах не хранятся.

Топливо и смазочные материалы хранятся в специально оборудованных местах на расстоянии не менее 20 м от экскаватора.

Не курят и не пользуются открытым огнем для освещения при заправке баков горючим, а в то же самое время при контрольном осмотре топливных баков.

Паяльные, сварочные и другие работы, связанные с образованием пламени, производят только при невозможности демонтажа и выноса детали для выполнения работ вне зоны экскаватора. При этом выполнены все мероприятия для защиты работающих от ожогов и для предотвращения возникновения пожара.

Все средства тушения используются в строгом соответствии с инструкциями пожарной инспекции.

Перед началом работы смена осматривает и принимает экскаватор непосредственно от предыдущей смены. После осмотра экскаватора, перед пуском его в работу, машинист опробывает в холостую все механизмы на ходу, проверяет исправность действия механизмов электрооборудования, электроаппаратуры, тормозов, сигнальных устройств.

Содержание экскаватора в чистоте даст возможность своевременно обнаружить трещины на поверхности деталей и восстановить нарушенные соединения, предотвратить попадание грязи и абразивной пыли в масляные ванны и на поверхности трения.

### 9.3 Расчет защитного заземления экскаватора ЭКГ-5А

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей и ее эквивалентом.

Защитное заземление имеет возможность быть эффективно только в том случае, если ток замыкания на землю не увеличивается с уменьшением сопротивления заземления.

Эта возможность есть в сетях с изолированной нейтралью, которая использована на экскаваторе ЭКГ-5А:

$$I_3 = U[Y_e(1 - a^2) + Y_c(1 - a)]$$

В сетях до 1000 В ток однофазного замыкания на землю не превышает 10 А, т.к. сопротивление фазы относительно земли не бывает менее 100 Ом.

Отсюда ток замыкания на землю в сети напряжения 380 В будет равным:

$$I_3 = \frac{3 \cdot 220}{100} = 6.6 [A]$$

И в сети 660 В:

$$I_3 = 3 \cdot 380 / 100 = 11.4 [A]$$

По ПЭУ в электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление заземления должно быть не выше 4 Ом.

Заземлению подлежит электрооборудование, находящееся на экскаваторе. Экскаватор ЭКГ-5А – питание получает по гибкому кабелю КШВГ-3х35х1х10мм<sup>2</sup> напряжением 6 кВ, длина кабеля  $\ell_k = 0,5$  мм и воздушной линии  $\ell_v = 1,5$  км.

Силовой трансформатор ТМЭ-100-6/04кВ. Грунт – суглинок. Измерение производилось в нормальном грунте.

Имеется естественный заземлитель – это гусеницы экскаватор. Ширина гусеницы  $b = 0,9$  м; длина гусеницы  $\ell_g = 15$  м х 2.

Решение:

1. Найдем расчетный ток на землю со стороны 6 кВ:

$$I_3 = \frac{6/35 + 0.5 + 1.5/}{350} = 0.326 [A]$$

Так как к заземляющему устройству присоединяются корпуса оборудования напряжением до 1000 В и выше 400, 6000 В, сопротивление заземляющего устройства должно удовлетворять двум условиям:

$$10 \text{ Ом} \geq R_3 \leq 125 / I_3,$$

и правилами ПУЭ  $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$ .

По первому условию:

$$R_3 < 125 / 0.326 = 384 [Ом],$$

Возьмем  $R_3 = 4 \text{ ом}$ .

Т.к. климатический коэффициент  $\varphi = 1,5$ :

$$\rho_{рас} = 100 \cdot 1,5 = 150 [Ом \cdot м]$$

2. Сопротивление естественного заземления будем рассчитывать по формуле [22]:

$$R_e = \frac{\rho}{20\pi l} \ln \frac{4l}{b},$$

$$R_e = \frac{150}{2 \cdot 3.14 \cdot 30} \ln \frac{4 \cdot 30}{0.9} = 3.9 [\text{Ом}],$$

где:  $\rho$  – расчетное сопротивление грунта;

$l$  – длина естественного заземления;

$b$  – ширина естественного заземления.

Так как оба условия в нашем случае выполняются, то для экскаватора ЭКГ-5А не требуется дополнительных искусственных заземлителей.

Внутри экскаватора все электропривода заземлены стальной полосой 40х4 согласно правилам ПУЭ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Недостаточная эксплуатационная надежность карьерных экскаваторов снижает производительность труда, увеличивает себестоимость добываемой продукции.

Ремонт экскаваторов – один из трудоемких вспомогательных процессов на карьерах. Трудоемкость ремонта карьерных экскаваторов составляет до 25 – 40 % от общей трудоемкости вспомогательных процессов на карьерах. Исследованиями установлено, что на ремонтных работах, на рудных карьерах занято 25 % списочного состава рабочих. Производительная работа экскаватора составляет 50 – 60 % от общего числа рабочего времени и от 12 % до 25 % уходит на ремонтные работы.

Решение этой проблемы возможно на базе исследования и оценки факторов, которые влияют на эксплуатационную надежность экскаватора, обоснования системы их технического обслуживания с учетом уровня надежности.

На основании приведенных расчетов имеется возможность сделать следующие выводы:

- Выбранный электродвигатель обеспечивает заданный режим работы;
- Выполненная модернизация электропривода поворота экскаватора ЭКГ-5А оказалась эффективной в технико-экономическом отношении. В результате внедрения разработанной экскаватора системы повышается надежность, наработка на отказ, сокращаются сроки по ремонту и техническому обслуживанию, затраты на ремонтные работы, расход электроэнергии, увеличивается межремонтный цикл. Сокращаются капитальные затраты. Годовой экономический эффект составил 1908 рублей на один экскаватор. Повысится производительность труда, что принесет еще больший экономический эффект;
- В дипломном проекте рассмотрены вопросы по охране труда, технике безопасности и противопожарные мероприятия, обеспечивающие безопасность обслуживающего персонала и нормальную работу механизма.

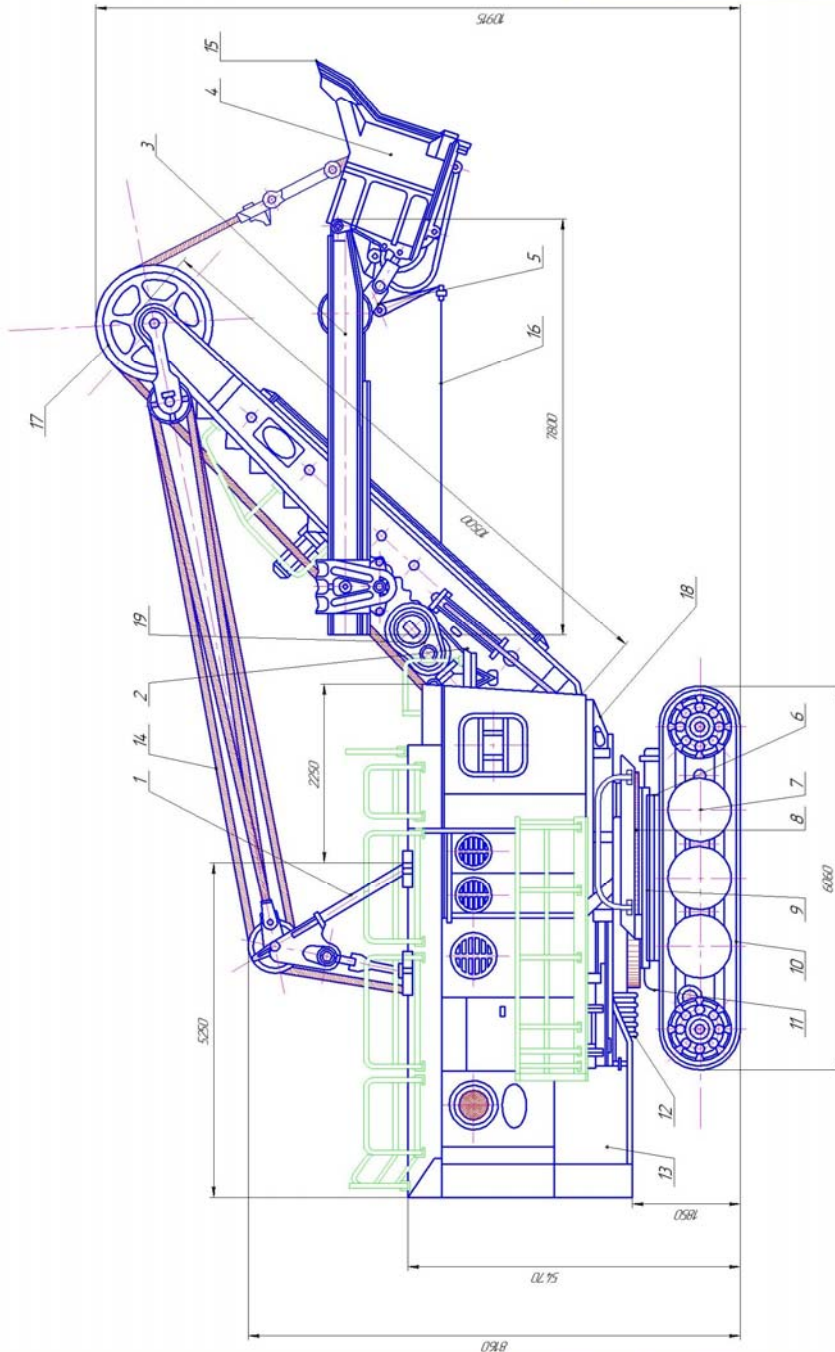


## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Гришко, А.П. Стационарные машины и установки: учебное пособие для вузов / А.П. Гришко, В.И. Шелоганов. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 328 с.
- 2 Ефимов, В.Н. Карьерные экскаваторы: справочник рабочего / В.Н. Ефимов, В.Н. Цветков, Е.М. Садовников. – М.: Недра, 1994. – 381 с.
- 3 Исаев, И.Н. Электропривод механизмов циклического действия / И.Н. Исаев, В.Г. Созонов. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 144 с.
- 4 Католиков, В.Е. Автоматизированный электропривод подъемных машин глубоких шахт / В.Е. Католиков, А.Д. Динкель, А.М. Седунин. – М.: Недра, 1983.
- 5 Ковчин, С.А. Теория электропривода: учебник для вузов / С.А. Ковчин, Ю.А. Сабинин. – СПб.: Энероатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2000. – 496 с.
- 6 Кочетков, В.П. Основы теории управления: учебное пособие / В.П. Кочетков. – Абакан: Изд-во ХГУ им. Н.Ф.Катанова, 2001. – 264 с.
- 7 Ляхомский, А.В. Управление электромеханическими системами горных машин / А.В. Ляхомский, В.Н. Фащиленко. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 296 с.
- 8 Петров, В.Л. Регулируемый электропривод переменного тока: учебное пособие / В.Л. Петров, В.Н. Фащиленко. – М.: МГГУ, 2001. – 37 с.
- 9 Петров, В.Л. Регулируемый электропривод постоянного тока: учебное пособие / В.Л. Петров, В.Н. Фащиленко. – М.: МГГУ, 2001. – 62 с.
- 10 Розанов, Ю.К., Электронные устройства электромеханических систем: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений / Ю.К. Розанов, Е.М. Соколова. – М.: «Академия», 2004. – 272 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Общий вид экскаватора ЭКГ-5А



№	Наименование	Примечание
1	Шаровая опора	
2	Спринг	
3	Ролик	
4	Ковш	
5	Механизм открывания днища ковша	
6	Зубчатый венец	
7	Хвостовик	
8	Кольцо разьес	
9	Зубчатый венец	
10	Гусеничный цепь	
11	Ролик	
12	Зубчатый венец	
13	Аморти	
14	Корпус	
15	Зубья ковша экскаватора	
16	Гусек	
17	Гидравлический цилиндр	
18	Гидравлический патрон	
19	Натяжной ролик	

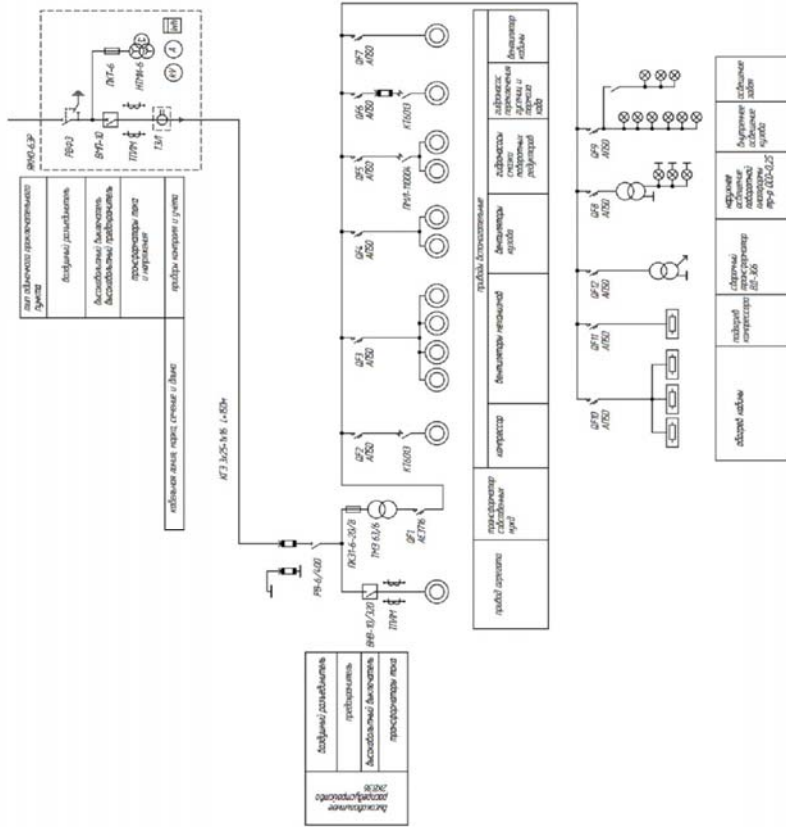
  

13.03.02.2018.825.00.01.74	
Объект	Объект
Эксплуатационный класс	ЭКГ-5А
Группа	Гидравлический чертёж
Код	140
Исполнитель	В.С.С.
Проверенный	И.С.С.
Согласованный	И.С.С.
Составитель	И.С.С.
Дата	13.03.02.2018.825.00.01.74
Лист	11

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Электроснабжение ЭКГ-5А

13.03.02.2018.825.00.00.ПЗ

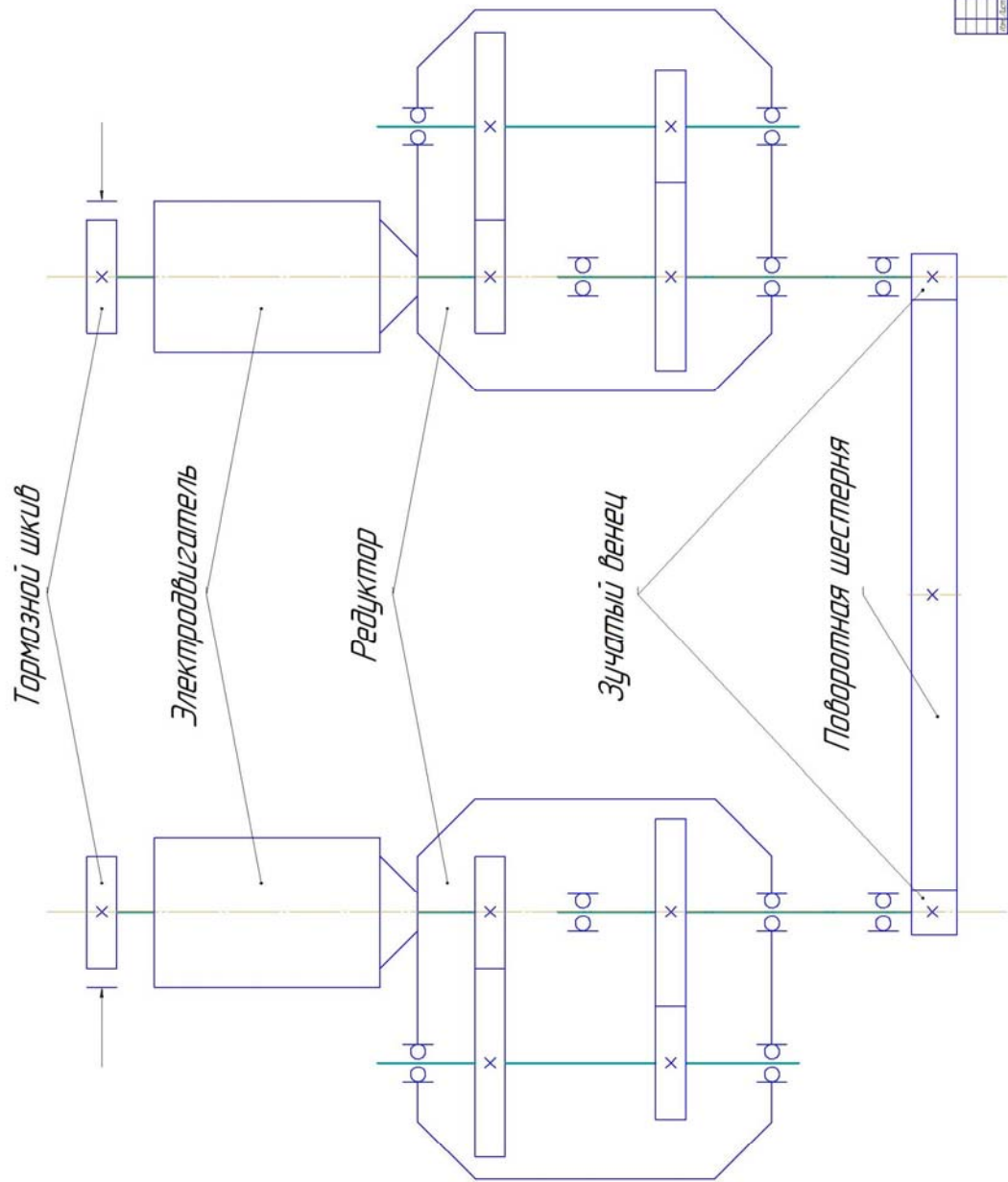


Исполнитель	Инженер	С.И.И.
Проверен	Инженер	В.В.В.
Инженер	Инженер	В.В.В.
Инженер	Инженер	В.В.В.
Инженер	Инженер	В.В.В.

13.03.02.2018.825.00.00.ПЗ	
Электроснабжение ЭКГ-5А	ЭКГ-5А
Лист для размещения элементов питания	Лист для размещения элементов питания
Инженер	Инженер
Инженер	Инженер
Инженер	Инженер
Инженер	Инженер
Инженер	Инженер
Инженер	Инженер
Инженер	Инженер

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

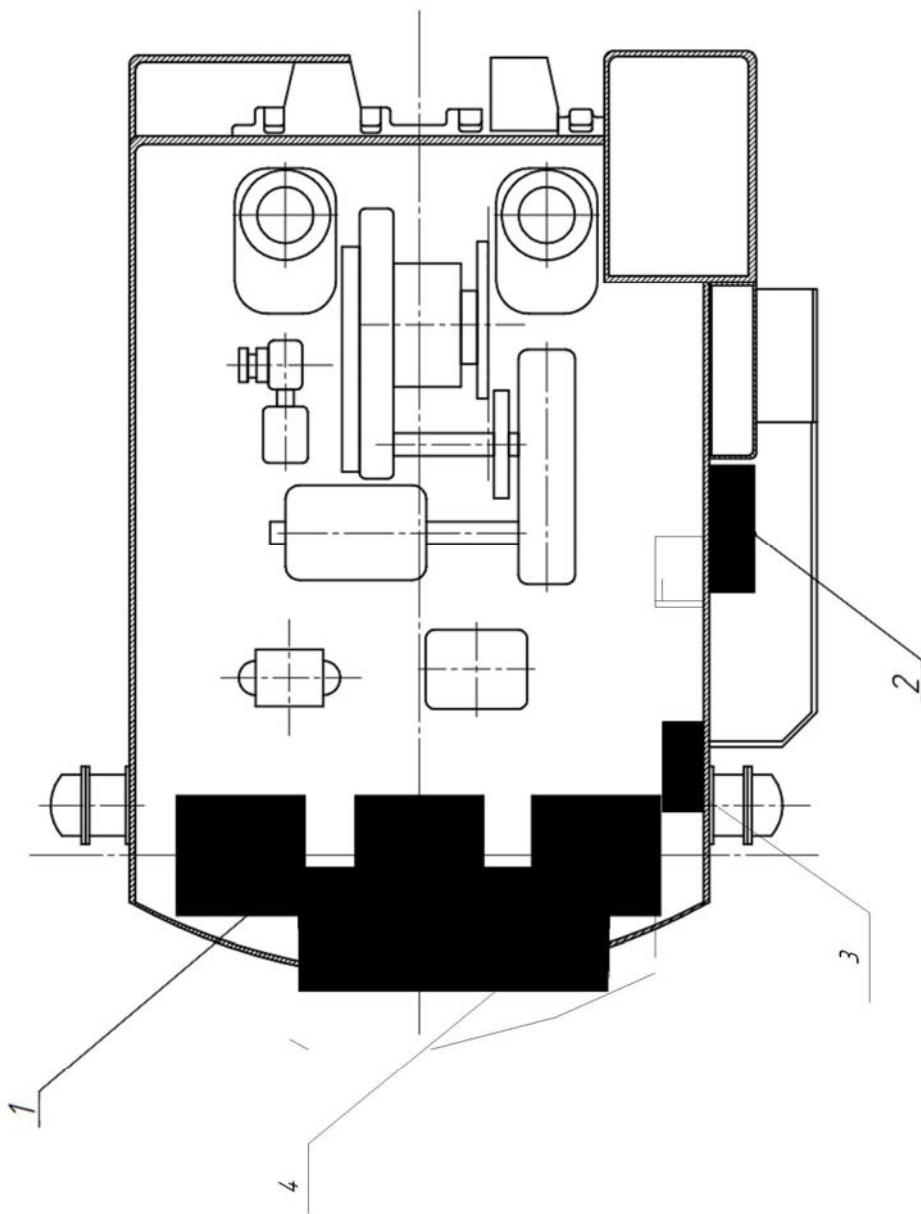
## Кинематическая схема механизма поворота



№ п/п	№ документа	№ документа	№ документа	№ документа	№ документа	№ документа	№ документа
1	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
2	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
3	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
4	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
5	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
6	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
7	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
8	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
9	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
10	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
11	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
12	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
13	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
14	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
15	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
16	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
17	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
18	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
19	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
20	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
21	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
22	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
23	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
24	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						
25	13.03.02.2018.825.00.00.03 КЗ						

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Размещение тиристорного преобразователя в кузове



13.03.02.2018.825.00.04 Т4

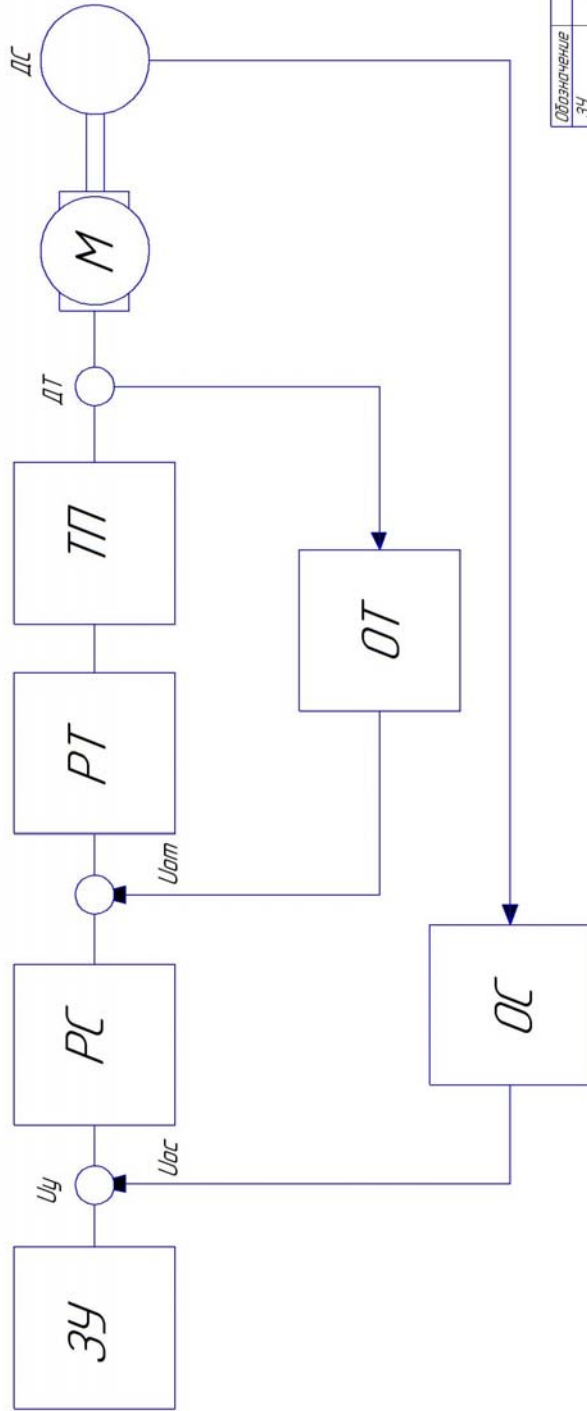
№ п/п	Обозначение	Наименование	Единица измерения	Количество
1		Силиконовый тиристор	шт.	1
2		Трансформатор	шт.	1
3		Соединительная шпилька	шт.	1
4		Элементы крепления	шт.	1

13.03.02.2018.825.00.04 Т4	
Лист	1
Всего листов	1
Исполнитель	
Проверенный	
Утвержденный	
Дата	
Место	
Спецификация	
Ссылка на документ	
Ссылка на чертеж	
Ссылка на спецификацию	
Ссылка на стандарт	
Ссылка на ГОСТ	
Ссылка на ИСО	
Ссылка на DIN	
Ссылка на JIS	
Ссылка на BS	
Ссылка на ASME	
Ссылка на ANSI	
Ссылка на NF	
Ссылка на AEN	
Ссылка на AFNOR	
Ссылка на UNI	
Ссылка на DIN EN	
Ссылка на ISO 9000	
Ссылка на ISO 14000	
Ссылка на ISO 26000	
Ссылка на ISO 31000	
Ссылка на ISO 45000	
Ссылка на ISO 50000	
Ссылка на ISO 60000	
Ссылка на ISO 70000	
Ссылка на ISO 80000	
Ссылка на ISO 90000	
Ссылка на ISO 100000	
Ссылка на ISO 110000	
Ссылка на ISO 120000	
Ссылка на ISO 130000	
Ссылка на ISO 140000	
Ссылка на ISO 150000	
Ссылка на ISO 160000	
Ссылка на ISO 170000	
Ссылка на ISO 180000	
Ссылка на ISO 190000	
Ссылка на ISO 200000	
Ссылка на ISO 210000	
Ссылка на ISO 220000	
Ссылка на ISO 230000	
Ссылка на ISO 240000	
Ссылка на ISO 250000	
Ссылка на ISO 260000	
Ссылка на ISO 270000	
Ссылка на ISO 280000	
Ссылка на ISO 290000	
Ссылка на ISO 300000	
Ссылка на ISO 310000	
Ссылка на ISO 320000	
Ссылка на ISO 330000	
Ссылка на ISO 340000	
Ссылка на ISO 350000	
Ссылка на ISO 360000	
Ссылка на ISO 370000	
Ссылка на ISO 380000	
Ссылка на ISO 390000	
Ссылка на ISO 400000	
Ссылка на ISO 410000	
Ссылка на ISO 420000	
Ссылка на ISO 430000	
Ссылка на ISO 440000	
Ссылка на ISO 450000	
Ссылка на ISO 460000	
Ссылка на ISO 470000	
Ссылка на ISO 480000	
Ссылка на ISO 490000	
Ссылка на ISO 500000	
Ссылка на ISO 510000	
Ссылка на ISO 520000	
Ссылка на ISO 530000	
Ссылка на ISO 540000	
Ссылка на ISO 550000	
Ссылка на ISO 560000	
Ссылка на ISO 570000	
Ссылка на ISO 580000	
Ссылка на ISO 590000	
Ссылка на ISO 600000	
Ссылка на ISO 610000	
Ссылка на ISO 620000	
Ссылка на ISO 630000	
Ссылка на ISO 640000	
Ссылка на ISO 650000	
Ссылка на ISO 660000	
Ссылка на ISO 670000	
Ссылка на ISO 680000	
Ссылка на ISO 690000	
Ссылка на ISO 700000	
Ссылка на ISO 710000	
Ссылка на ISO 720000	
Ссылка на ISO 730000	
Ссылка на ISO 740000	
Ссылка на ISO 750000	
Ссылка на ISO 760000	
Ссылка на ISO 770000	
Ссылка на ISO 780000	
Ссылка на ISO 790000	
Ссылка на ISO 800000	
Ссылка на ISO 810000	
Ссылка на ISO 820000	
Ссылка на ISO 830000	
Ссылка на ISO 840000	
Ссылка на ISO 850000	
Ссылка на ISO 860000	
Ссылка на ISO 870000	
Ссылка на ISO 880000	
Ссылка на ISO 890000	
Ссылка на ISO 900000	
Ссылка на ISO 910000	
Ссылка на ISO 920000	
Ссылка на ISO 930000	
Ссылка на ISO 940000	
Ссылка на ISO 950000	
Ссылка на ISO 960000	
Ссылка на ISO 970000	
Ссылка на ISO 980000	
Ссылка на ISO 990000	
Ссылка на ISO 1000000	

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## Функциональная схема САУ

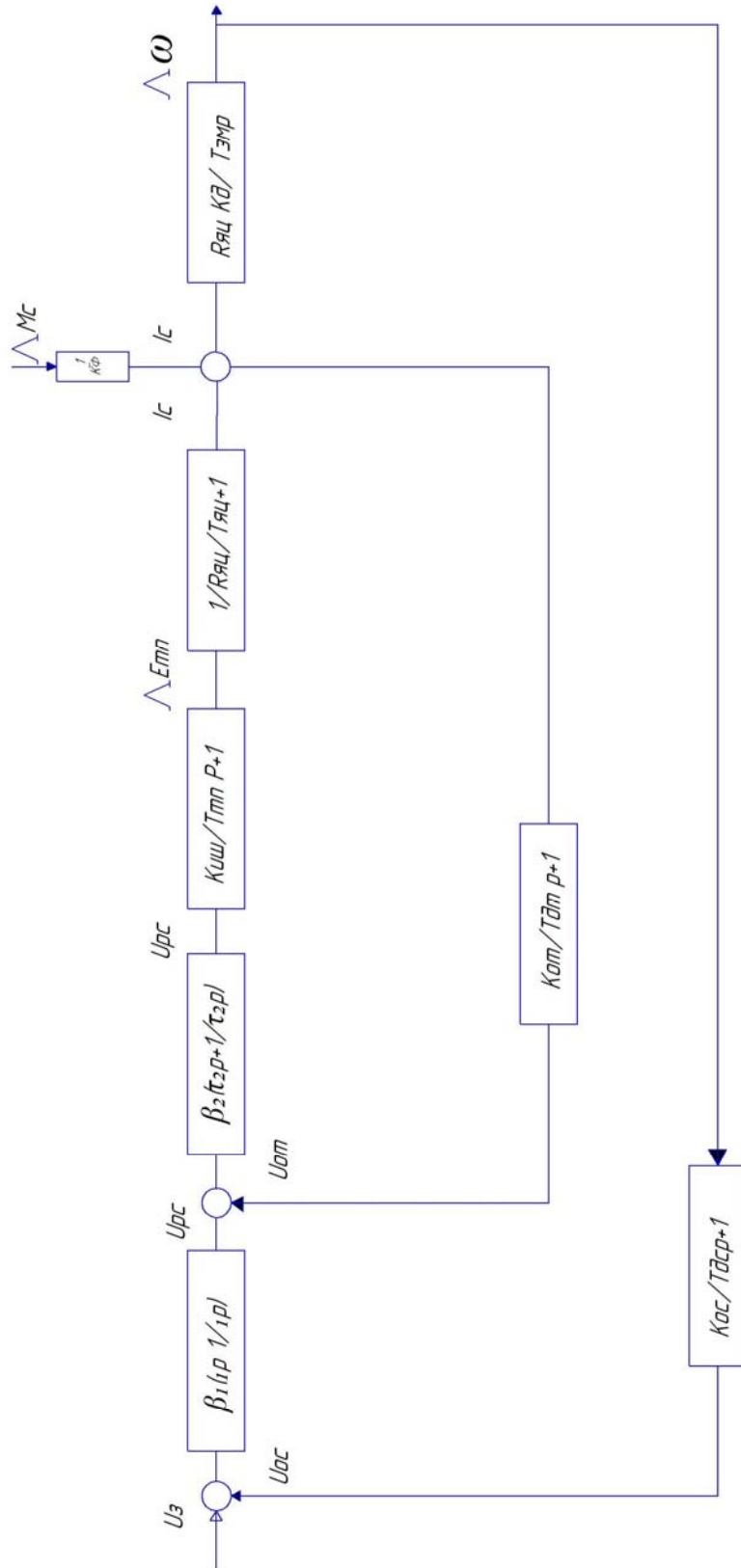


Обозначение	Наименование
ЗУ	Задающее устройство скорости
РС	Регулятор скорости
РТ	Регулятор тока
ТТ	Тиристорный преобразователь
ДТ	Датчик тока
ДС	Датчик скорости
М	Двигатель
Уц	Напряжение управления
Uом	Напряжение обратных связей по скорости
Uот	Напряжение обратных связей по току

13.03.02.2018.825.00.05.32

13.03.02.2018.825.00.05.32			
Исполнитель	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Проверенный	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Утвержденный	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Согласованный	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Исполнитель	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Проверенный	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Утвержденный	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.
Согласованный	М.С.А.	М.С.А.	М.С.А.

Структурная схема САУ



13.03.02.2018.825.00.06.31

13.03.02.2018.825.00.06.31		Дата	№ докум.	Изм.	Исполн.
Структурная схема САУ		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Генераторная установка		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль температуры		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль давления		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль расхода		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль уровня		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль частоты		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль фазы		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль тока		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль напряжения		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль температуры		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль давления		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль расхода		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль уровня		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль частоты		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль фазы		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль тока		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.
Контроль напряжения		13.03.02.2018	825.00.06.31	01	И.И.И.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДЕРНИЗАЦИИ

13.03.02.2018.825.00.07 ПЗ

Наименование показателей	Единицы измерения	Годовые затраты, рублей	
		Базовый вариант	Проектный вариант
Мощность прибора	кВт	100	100
КПД	%	93,4	95
Наработка на отказ	час	1211	2000
Общая надёжность системы за 100 часов		0,92	0,96
Затраты на электроэнергию	руб./год	337500	303750
Капитальные затраты	рублей	28986	16089
Годовой экономический эффект	рублей/экскаватор	-	176793

13.03.02.2018.825.00.07 ПЗ		Экономический анализ модернизации	
№ п/п	№ документа	Дата	Исполнитель
1	13.03.02.2018.825.00.07 ПЗ	13.03.2018	И.И.И.
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			
94			
95			
96			
97			
98			
99			
100			