

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электропривода и Автоматизации

«Допущен к защите»

Заведующий кафедрой _____

Палмеева К.Н. к.т.н.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____ « _____ » 20__ г.

(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Автоматизированной электропривод шахтной подвальной установки

Выполнил (а) Жоңемзин Никита Андреевич ЗАТК-14-8
(Фамилия и инициалы студента) группа

специальность 53071800 «Электроэнергетика»

Научный руководитель Журмин Ю.В., старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

_____ « 15 » 06 2018 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

_____ « _____ » 20__ г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

Жакупов А.А. к.э.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « 18 » мая 2018 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Маманбаева С.Е.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « 30 » Июль 2018 г.
(подпись)

нормоконтролер:

Журмин Ю.В., старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ « 15 » 06 2018 г.
(подпись)

Алматы 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Институт Электроэнергетики и электротехники
Специальность 5В 07 38 00 «Электроэнергетика»
Кафедра Электропривода и Автоматизации

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент Монемзин Никита Андреевич
(фамилия, имя, отчество)

Тема работы Автоматизированной электропривод
шахтной подъемной установки

утверждена приказом ректора № _____ от «___» _____ 20__ г.

Срок сдачи законченной работы «___» _____ 20__ г.

Исходные данные, требуемые параметры результатов и исходные
данные $A_{г} = 2345 \text{ т} \cdot \text{с} / \text{год}$

- 1) Техническая документация конструкции скитов расположенных в корте сблока шахты;
- 2) Техническая документация параметров электропривода шахтной подъемной установки;
- 3) Основная техническая документация и параметры тиристорного преобразователя для электропривода

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание:

1. Расчет механической части электропривода
2. Силовые элементы электропривода
3. Выбор тиристорного преобразователя
4. Выбор тиристорного оборудования
5. Выбор тахогенератора в цепи ОС по скорости
6. Расчет системы автоматического регулирования координат электропривода
7. Экономический эффект от П-Д для шахтной подъемной установки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Эскиз расположения емкостей в корпусе машины газометра
2. Диаграмма скоростей двигателя ПД-800-255-8К4С
 $P_{ном} = 5000 \text{ кВт}$.
3. Диаграмма ускорений двигателя ПД-800-255-8К4С
 $P_{ном} = 5000 \text{ кВт}$.
4. Диаграмма усилий двигателя ПД-800-255-8К4С с $P_{ном} = 5000 \text{ кВт}$.
5. График для определения движения параметров нагрузки.
6. Кривые нагрузки двигателя электрогенератора ПД-800-255-8К4С
7. Структурная и функциональная схемы контроля регулирования тока возбуждения.
8. Структурная и функциональная схемы контроля регулирования тока скорости.
9. Структурная и функциональная схемы контроля регулирования скорости.
10. Технико-экономические показатели.

Рекомендуемая основная литература

1. Кошмант М.М. «Электрогенераторы» - М. Академия, 2019г.
2. Денцель А.А. «Турбогенераторы электропривода рудничного транспорта», 1971г.
3. Каюминов В.Е., Денцель А.А. и Автоматизированный электропривод горных установок глубоких шахт, 1983г.
4. Мананбаева С.Е. «Электрооборудование в электроустановках», 2014г.
5. Шакиров А.А. «Экономическая часть вольтовой работы», 2016г.

Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов


| Раздел | Консультант | Сроки | Подпись |
|-----------------|-----------------|--------------------|---------|
| Экономическая 2 | Шакиров А.А. | 18.05.2018 | |
| Б. Н. А. | Мананбаева С.Е. | 11.05 - 30.05.18г. | |
| Спец. часть | Кульшич Н.В. | 10.05.2018 | |
| | Кульшич Н.В. | 28.05.2018 | |
| | Кульшич Н.В. | 12.06.2018 | |
| | | | |
| | | | |

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

| № п/п | Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления руководителю | Примечание |
|-------|---|----------------------------------|------------|
| | <i>Введение</i> | | |
| 1. | <i>Расчет механической части электропривода. Выбор многокатальной порвальной машины.</i> | <i>25.04.2018</i> | |
| 2. | <i>Силовые элементы электропривода. Выбор тиристорного преобразователя.</i> | <i>10.05.2018</i> | |
| 3. | <i>Автоматическое управление электроприводом. Расчет системы порциментного рекуприрования координат электропривода.</i> | <i>28.05.2018</i> | |
| 4. | <i>Раздел безопасности и энергетической экономии</i> | <i>30.05.2018</i> | |
| 5. | <i>Экономическая часть</i> | <i>18.05.2018</i> | |
| | <i>Заключение.</i> | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата выдачи задания « 17 » февраля 2018 г.


Заведующий кафедрой _____


(подпись)

Красова К.А.

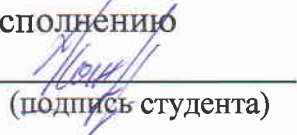
(Фамилия и инициалы)

Руководитель _____


(подпись)

Курочкин К.В.
(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению _____


(подпись студента)

Кочетков Н.А.
(Фамилия и инициалы)

Аннотация

Темой дипломного проекта является “Автоматизированный электропривод шахтной подъемной установки”.

В дипломной работе рассмотрены проблемы повышения эффективности и безопасности работы шахтных подъемных установок (ШПУ), наличие возможности оптимизации технологического процесса, а также диагностирования состояния оборудования.

Объект исследования – управляющее устройство электропривода в шахтной подъемной установке – тиристорный преобразователь, система автоматического регулирования скорости, задающие устройства, системы управления тиристорным электроприводом шахтной подъемной установки. Приведены результаты исследований динамики подъемной установки, Расчет системы подчиненного регулирования координат электропривода и расчет контура регулирования скорости.

В разделе “Безопасность жизнедеятельности” проведен анализ условий труда, произведены расчёты канатов шахтной подъемной установки и описаны основные мероприятия по безопасности труда.

В экономической части приводится технико-экономическое обоснование. Выполнены расчёты стоимости лабораторных исследований, экономической выгоды.

Андатпа

Дипломдық жобаның тақырыбы: «Шахталық көтергіш қондырғының автоматтандырылған электр жетегі» болып табылады.

Проблемалары бар диплом жұмысы мәмілелер, үлкен мүмкіндіктер шахталық көтергіш қондырғыларды (олардың шанақтарды бүкіл) болуы тиімділігі мен қауіпсіздігі стандартталған шарттарын жүзеге асырылып көшу процесі технологиясы процесін оңтайландыру мүмкіндігі болуы және минералдар жабдық арқылы интеграция бірқатар мемлекет диагностика, сондай-ақ атап мүмкіндік береді арттыру.

Зерттеу объектісі - білік лифт орнату электр бақылау құрылғы - тиристорлық электр түрлендіргіш, жылдамдығын автоматты басқару жүйесі Лифт орнату құрылғы басқару жүйесі тиристорлық жетекші білігін көрсетеді. лифт орнату динамикасын зерттеу нәтижелері, динамикасы есептеу тұрақты пульсация құл жүйесі бірақ жылдамдықты бақылау ілмектер, жетек координаталарын есептеу және реттейтін қозғалатын.

«Денсаулық және қауіпсіздік» еңбек жағдайларын талдау, есептеулер лифт орнату білігінің арқандар жасалған, және қауіпсіздігі бойынша негізгі іс-шаралар сипаттайды жатыр.



Экономикалық бөлім техникалық-экономикалық негіздемені қамтамасыз етеді. Зертханалық зерттеулердің құны, экономикалық пайдалар есептелді.

Annotation

The theme of the diploma project is "The automated electric drive of a mine hoisting installation".

In the thesis, the problems of increasing the conditions of unified realized efficiency and safety of work are great possibilities for the presence of mine lifting rigs (the whole of them from the silo), the possibility of technology transfer of the process optimization process, but allows the mineral to note also the diagnosis of the state of a number of integration thanks to equipment.

The object of the study is the control device of the electric drive in the mine hoisting system - thyristor converter, automatic speed control system, set devices, control systems of the thyristor electric drive of the mine hoisting system. The results of studies of the dynamics of a lifting installation, dynamics of a constant pulsation are given. Calculation of a system of subordinate but with moving adjustment of the coordinates of the electric drive and calculation of the speed control loop.

In the section "Safety of vital activity" the analysis of working conditions is carried out, the ropes of the mine hoisting installation are calculated and the main measures for labor safety are described.

The economic part provides a feasibility study. The cost of laboratory research, economic benefits has been calculated.



Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 8 |
| 1 Расчет механической части электропривода..... | 10 |
| 1.1 Основное понятие шахтной подъемной установки..... | 10 |
| 1.2 Исходные данные для проектирования многоканатной ШПУ..... | 11 |
| 1.3 Выбор скипа..... | 11 |
| 1.4 Выбор подъемных канатов..... | 13 |
| 1.5 Выбор многоканатной подъемной машины..... | 14 |
| 1.6 Условие не скольжения шкива по ведущему валу..... | 16 |
| 1.7 Продолжительность подъемной операции..... | 18 |
| 1.8 Кинематика подъемной установки..... | 19 |
| 1.9 Динамика подъемной установки..... | 21 |
| 2 Силовые элементы электропривода..... | 25 |
| 2.1 Исходные данные для расчета динамики электропривода..... | 25 |
| 2.2 Выбор тиристорного преобразователя..... | 26 |
| 2.3 Выбор силового трансформатора..... | 27 |
| 2.4 Расчет сглаживающего реактора..... | 28 |
| 2.5 Расчет автоматического выключателя в якорной цепи..... | 30 |
| 2.6 Выбор тиристорного возбуждателя..... | 31 |
| 2.7 Выбор тахогенератора в цепи ОС по скорости..... | 33 |
| 3 Автоматическое управление электроприводом..... | 34 |
| 3.1 Расчет системы подчиненного регулирования координат электропривода..... | 35 |
| 3.2 Расчет контура регулирования тока возбуждения..... | 35 |
| 3.3 Расчет контура регулирования тока якорной цепи..... | 38 |
| 3.4 Расчет контура регулирования скорости..... | 42 |
| 4 Безопасность жизнедеятельности..... | 47 |
| 4.1 Анализ условий труда..... | 47 |
| 4.2 Расчет канатов шахтной подъемной установки..... | 48 |
| 4.3 Меры безопасности при обслуживании электрооборудования подъемной установки..... | 54 |
| 4.4 Основные мероприятия по безопасности труда..... | 56 |
| 5 Экономическая часть..... | 59 |
| 5.1 Определение капитальных вложений или инвестиций..... | 59 |
| 5.2 Режим работы участка подъема..... | 60 |
| 5.3 Планирование эксплуатационных затрат..... | 61 |
| 5.4 Экономическая оценка вариантов проектируемых решений..... | 64 |
| 5.5 Техничко-экономические показатели..... | 65 |
| Заключение..... | 66 |
| Список применяемых сокращений..... | 68 |
| Список литературы..... | 69 |



Введение

Новейшие технологии автоматизации направлены на создание и улучшение информационно-управляющих систем нового поколения, имеющих многоуровневую, распределённую структуру сетей и построенных на основе системной интеграции высоконадёжных унифицированных аппаратно-программных средств. Огромные возможности таких систем позволяют достигать значительного уровня эффективности управления оборудованием, технологическими процессами и производством в целом. Реализуемые при этом информационные технологии не только обеспечивают регистрацию и визуализацию данных, но и в совокупности с управленческими возможностями создают условия для решения задач безопасности, которые являются особо важными для целого ряда отраслей.

Проблема повышения эффективности и безопасности работы шахтных подъёмных установок (ШПУ) весьма актуальна для добывающей отрасли.

Условиями для её решения являются:

- выполнение комплексной автоматизации;
- сокращение эксплуатационных расходов благодаря высокому качеству и надёжности используемых технических средств и серьёзному уменьшению их многообразия;
- наличие возможности оптимизации технологического процесса, а также диагностирования состояния оборудования и, как следствие, переход к более экономичному способу его обслуживания по текущему состоянию, а не через установленные временные интервалы;
- предоставление оперативному, обслуживающему и руководящему персоналу своевременной и достоверной информации о текущих режимах работы ШПУ, необходимой для принятия адекватных и необходимых управленческих решений, и правильного анализа ситуации.

Шахтные подъёмные установки являются основным транспортным средством для перевозки людей и грузов по вертикальным и наклонным копьям и шахтам. От их производительности и надёжности зависит эффективность всего предприятия по добычи полезных ископаемых.

Исследования систем управления шахтными подъёмными установками проводились в 80-90-х годах прошлого века многими авторами. Среди них можно отметить В.Е. Котоликов, А.Д. Динкиль, А.М. Седулин, В.Ю. Островляничик, И.Я. Гальпирин, В.Р. Бежак, О.В. Слежановский, G.K. Gudvin, R.Darf.

Тиристоры преобразователь является основным звеном в электроприводах. Параметры и скорости зависят от характеристик привода и общего качества привода.

Применение быстродействующих микропроцессорных устройств, для управления которыми преобразователями позволяет реализовать гибкие алгоритмы формирования импульсов в соответствии с заданной фазой или законом управления, обеспечивающих надёжную работу при изменениях параметров питающей сети, характера и процессов, протекающих в нагрузке, а также производить учет обособленности управления и нелинейностей в самом преобразователе.

Для электроприводов большой мощности и специальных систем управления возникают процессы в тиристорном преобразователе (ТП) при работе на индукционную нагрузку, которые не могут быть объяснены стандартными представлениями от ТП. При больших индуктивностях тиристорный преобразователь не удовлетворяет условиям управления при регулирование координат электропривода.

Для таких систем необходимо разработать эффективные законы управления, которые могут быть воплощены в микропроцессорных системах импульсно-фазового управления.

Исходя из вышеперечисленного, вопросы реализации современных систем автоматического управления электроприводом являются актуальными.

Объект исследования – управляющее устройство электропривода в шахтной подъемной установке – тиристорный преобразователь, система автоматического регулирования скорости, задающие устройства, системы управления тиристорным электроприводом шахтной подъемной установки.

Цель работы рассмотреть автоматизацию электропривода шахтной подъемной установки.

Для реализации поставленной цели выносятся основные задачи:

1. Изучить основные понятия шахтной подъемной установки.
2. Рассчитать механические части электропривода.
3. Рассмотреть силовые элементы электропривода, сделать расчеты по ним.
4. Рассмотреть автоматическое управление электроприводом.
5. Проанализировать безопасность жизнедеятельности в шахтной подъемной установке.
6. Произвести расчет канатов шахтной подъемной установки.
7. Определить технико-экономические показатели и организацию производства шахтной подъемной установки.

Методы исследования. Теория электропривода, теория автоматического управления, теория электрических цепей, методы оптимизации, численное моделирование, натурный эксперимент.

Данная дипломная работа состоит из введения 5 глав, заключения, списка литературы

1 Расчет механической части электропривода

1.1 Основное понятие шахтной подъемной установки

Важную роль играет автоматизация производственных процессов в текущем производстве. Когда успех микропроцессорной технологии начал входить в инструменты автоматизации, особенно в очень трудное время, возможности этого оборудования появились на новом технологическом уровне.

Увеличение мощности горнодобывающих компаний, активизация горных работ, увеличение глубины шахт увеличит потребление энергии и увеличат бесперебойную мощность шахтных стационарных машин. Необходимо дальнейшее совершенствование автоматизированной системы управления.

Основными требованиями к будущим электроприводам являются высокий спрос на регулируемые электроприводы, необходимые для повышения производительности труда.

Установка шахтная подъемная – это главный транспортно-коммуникационный компонент, сочленяющий подземную часть копей с поверхностью снаружи, уготованный для выдачи на поверхность добываемого полезного ископаемого и получаемой при проходке горных пород выработок, спуска и подъема представителей рода людского, транспортирования горно-шахтного оборудования и спецматериала, а также осмотра армировки и крепления ствола шахты.

Грузовые подъемные объекты классифицируются следующим образом:

А) в соответствии с их назначением:

- для грузовых автомобилей (для перевозки полезных ископаемых);
- запасные или грузовые пассажиры (для перевозки камня, специальных материалов, оборудования, культиваторов и отходов);

Б) тип вала:

- вертикальный и горизонтальный;

В) количеством веревок;

Г) по типу упаковки;

Д) в зависимости от типа подъемных сосудов:

- в пропуске, сетке, штангах, трубах;

Е) по степени уравновешенности.

Как правило, как грузовые применяются двухскиповые подъемные аппараты; односкиповые подъемные установки с противовесом применяются на шахтах небольшой производительности при многогоризонтной работе либо же необходимости раздельной выдачи различных типов (марок) полезных ископаемых. Клетевые подъемные устройства используются для копей малой производительности и глубины. Крупнейшие скиповые установки имеют

производительность более 1300 т/ч (скипы грузоподъемностью до 60 т, скорость движения до 25 м/с).

Для вертикального подъема эксплуатируют барабанные одно- или многоканатные подъемные аппараты со шкивом трения.

Основные параметры шахтной подъемной установки (ШПУ) могут быть представлены в таких количествах, как оптимальная грузоподъемность механического блока, вес груза, диаметр головки и хвостовых канатов, оптимальная скорость, ускорение и тормозное движение, эффективная грузоподъемность. Расчет этих параметров и выбор соответствующих продуктов – задача проектирования механических частей ШПУ.

Технические решения, которые приняты по механической части ШПУ, в основном используются для выбора одной или нескольких электроприводов. Он завершает первый этап проектирования автоматизированного электропривода. Основной целью второго этапа проектирования является выбор полного тиристорного электропривода из серии КТЭУ для ШПУ, который будет принят на первом этапе проектирования. На основе технических решений, принятых на первом и втором этапах проектирования, выбирают регуляторы тока, скорости и другие технические средства, составляющие систему автоматического управления электроприводом «управляемый выпрямитель - двигатель» (УВ-Д).

1.2 Исходные данные для проектирования многоканатной ШПУ

Годовая проектная производительность подъема: $A_{г}=2345$ тыс. т/год

Глубина вертикального ствола: $H_{ст}=1000$ м

Число рабочих дней в году: 300

Число часов работы в сутки: 18

Коэффициент резерва: 1,5

Диаграмма скорости: семипериодная.

1.3 Выбор скипа

Произведем расчет расчетной высоты подъема с учетом расположения скипов в копре и нижней части ствола по формуле:

$$H_p = H_{ст} + h_{загр} + h_{разгр} + 2 \cdot \Delta = 1000 + 30 + 35 + 2 \cdot 0,35 = 1066 \text{ м}, \quad (1.1)$$

где $H_{ст}$ – глубина вертикального ствола;

$h_{загр}$ – расстояние по вертикали от отметки откаточного горизонта до нижней кромки загрузочного бункера;

$h_{разгр}$ – расстояние по вертикали от «нулевой» отметки до верхней кромки приемного бункера.

Также произведем расчет часовой производительности ШПУ:

$$A_{\text{ч}} = \frac{c \cdot A_{\text{г}}}{n_{\text{д}} \cdot t} = \frac{1,5 \cdot 2345 \cdot 10^3}{300 \cdot 18} = 651 \text{ т/ч}, \quad (1.2)$$

где $A_{\text{ч}}$ – часовая производительность ШПУ, т/ч;

$A_{\text{г}}$ – годовая производительность ШПУ, т/год;

c – коэффициент резерва производительности ($c=1,5$);

$n_{\text{д}}$ – число рабочих дней в году;

t – время работы подъемной установки в сутки, ч.

Оптимальная грузоподъемность $Q_{\text{опт}}$, кг, при которой суммарные годовые эксплуатационные затраты на подъемной установке будут минимальными, определяем по формуле для многоканатных двухскиповых подъемов:

$$Q_{\text{опт}} = A_{\text{ч}} \frac{2,9\sqrt{H} + t_{\text{п}}}{2,1} = 651 \frac{2,9\sqrt{1066} + 10}{2,1} = 32452 \text{ кг}, \quad (1.3)$$

где $A_{\text{ч}}$ – часовая производительность, кг;

$H_{\text{п}}$ – высота подъема, м;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность паузы, с.

Для расчетов выбираем стандартный скип 2СН11-2 грузоподъемностью $Q_{\text{п}}=25\text{т}$, массой $Q_{\text{с}}=24,4\text{ т}$, путем разгрузки $h=2,4\text{ м}$ [1].

Расчет высоты подъема с учетом высоты скипа $h_{\text{с}}=13\text{ м}$ определяем по формуле:

$$H = H_{\text{п}} + h_{\text{с}} = 1066 + 13 = 1079 \text{ м}. \quad (1.4)$$

Теперь по формуле определяем расстояние от нижней приемной площадки до оси шкива трения:

$$H_{\text{к}} = H + l_{\text{к}} = 1066 + 13 + 18 = 1097 \text{ м}, \quad (1.5)$$

где H – высота подъема, м;

$l_{\text{к}} = h_{\text{ск}} + 18$ – длина отвесов подъемных канатов в копре, м (рисунок 1.1.).

На рисунке 1.1 представлен эскиз расположения скипов в копре нижней части ствола.

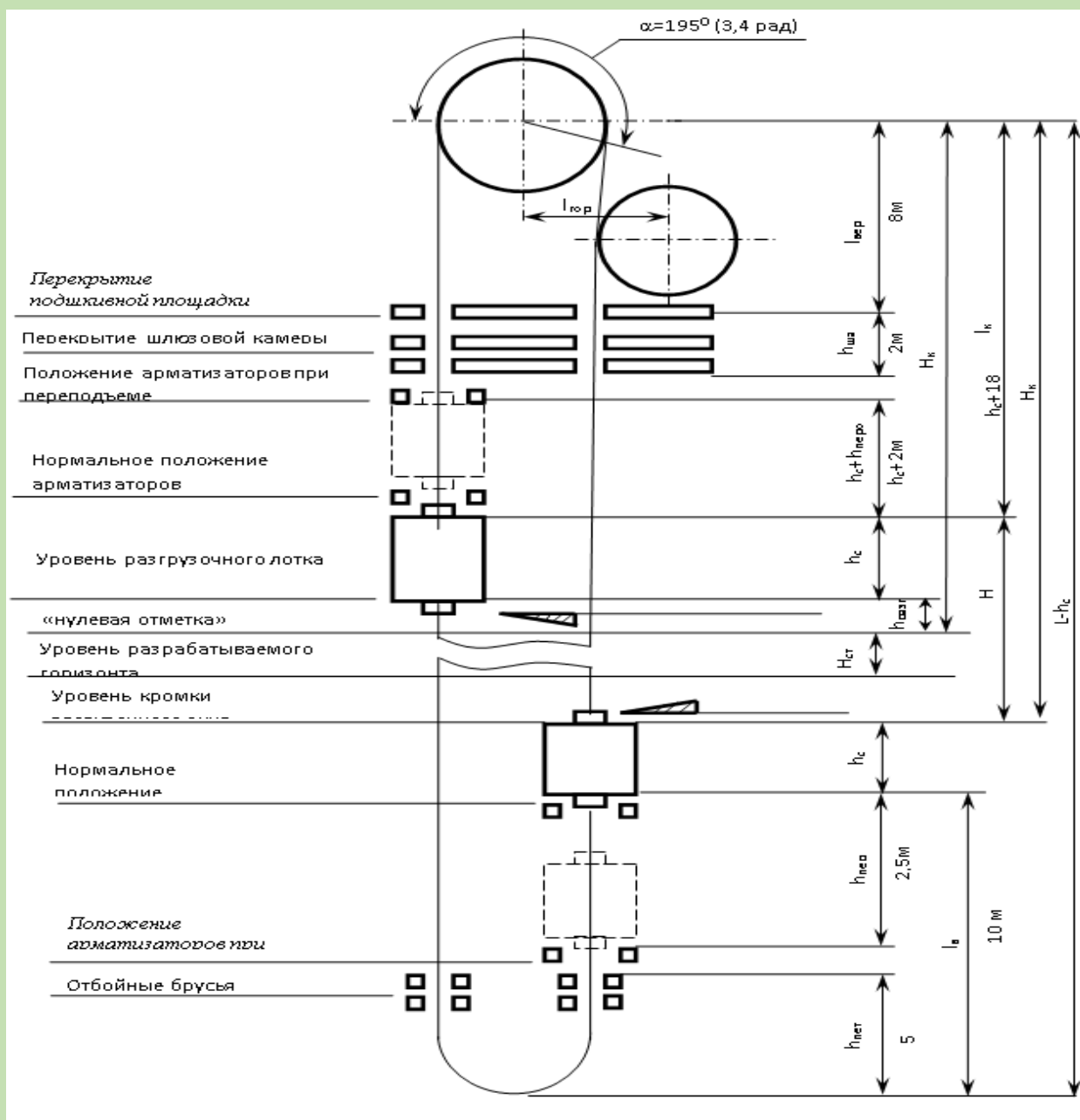


Рисунок 1.1 – Эскиз расположения скипов в копре нижней части ствола

1.4 Выбор подъемных канатов

Определим линейную массу каната P_k , кг/м, по следующей формуле:

$$P_k = \frac{Q_n + Q_c}{\frac{\sigma_v}{g \cdot z_{\min}} \cdot \rho_0 - H_k} = \frac{25 \cdot 10^3 + 24,4 \cdot 10^3}{\frac{1568 \cdot 10^6}{9,81 \cdot 4,5 \cdot 9700} - 1097} = 19,3 \text{ кг/м}, \quad (1.6)$$

где $Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{с}}$ - масса полезного за один раз поднимаемого груза и собственная масса скипа, кг;

$\sigma_{\text{в}}$ - временное сопротивление разрыву проволок каната Н/м²; $g=9,81\text{ м/с}^2$;

$z_{\text{min}}=4,5$ - коэффициент запаса прочности;

ρ_0 - условная плотность каната, кг/м³;

$H_{\text{к}}$ - расстояние от нижней приемной площадки до оси шкива трения, м.

Теперь определим общее число подъемных канатов $n_{\text{к}}$ многоканатного подъема по формуле:

$$n_{\text{к}} = P_{\text{к}} \cdot \left(\frac{\varphi_{\text{к}} \psi}{D_{\text{шт}}} \right)^2 = 19,3 \cdot \left(\frac{0,0166 \cdot 95}{5} \right)^2 = 1,9, \quad (1.7)$$

где $P_{\text{к}}$ - линейная масса канатов, кг/м;

$D_{\text{шт}}$ - диаметр шкива трения, м;

$\varphi_{\text{к}}$ - коэффициент, зависящий от конструкции каната;

ψ - отношение $D_{\text{шт}}$ к диаметру каната $d_{\text{к}}$, по ПБ для системы с отклоняющими канатами $\psi \geq 95$.

Предварительно применим четыре каната $n_{\text{к}}=4$, диаметром $d_{\text{к}}=46,5$ мм, линейной массой каната $P_{\text{к}}=8,4\text{ кг/м}$, разрывным усилием $Q_{\text{р}}=1330 \cdot 10^3 \text{ Н}$ [1].

Линейную массу $g_{\text{к}}$ уравнивающих канатов определили по формуле:

$$g_{\text{к}} = \frac{n_{\text{к}} \cdot P_{\text{к}}}{n_{\text{ук}}} = \frac{4 \cdot 8,4}{3} = 11,2 \text{ кг}, \quad (1.8)$$

где $n_{\text{к}}$ - количество подъемных канатов;

$P_{\text{к}}$ - линейная масса подъемного каната, кг/м;

$n_{\text{ук}}$ - количество уравнивающих канатов, которых по ПБ должно быть не менее двух.

Выбрали три стандартных плоских каната с размерами $170 \times 27,5$ мм расчетной массой $g_{\text{к}}=11,5 \text{ кг/м}$ [1].

Разность линейных масс:

$$n_{\text{к}} P_{\text{к}} - n_{\text{ук}} g_{\text{к}} \quad | \quad 4 \cdot 8,4 - 3 \cdot 11,2 \quad | = 0,9 \text{ кг/м}; \quad (1.9)$$

Предварительно выбранную систему необходимо считать уравновешенной.

1.5 Выбор многоканатной подъемной машины

Предпримем к применению многоканатную подъемную машину ЦШ-5×4 со следующими техническими характеристиками:

Диаметром канатоведущего шкива: $D=5$ м;

Количеством подъемных канатов: $n=4$;

Статическим натяжением канатов: 1450 кН;

Разностью статических натяжений канатов: 350 кН;

Маховым моментом машины: 6250 кН·м²;

Маховым моментом отклоняющих шкивов: 500 кН·м².

Фактические значения статических натяжений канатов и разности статических натяжений канатов рассчитаем по формулам:

$$T_{ст\ max}=(Q_n+Q_c+P_k H_k)g=(25 \cdot 10^3+24,4 \cdot 10^3+4 \cdot 8,4 \cdot 1097)9,81=846 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$T_{ст}=846 \cdot 10^3 \text{ Н(факт)} < 1450 \cdot 10^3 \text{ Н(норма)}; \quad (1.10)$$

$$F_{ст}=[Q_n+(P_k-q)H]g=[25 \cdot 10^3+(4 \cdot 8,4-3 \cdot 11,5) \cdot 1079] \cdot 9,81=236 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$F_{ст}=236 \cdot 10^3 \text{ Н(факт)} < 350 \cdot 10^3 \text{ Н(норма)}. \quad (1.11)$$

Коэффициенты запаса прочности Z_0 и Z_{min} , рассчитаем по формулам:

$$z_0 = \frac{n_k Q_p}{g(Q_n + Q_c)} = \frac{4 \cdot 1330 \cdot 10^3}{9,81 \cdot (25 \cdot 10^3 + 24,4 \cdot 10^3)} = 10,9(\text{факт}) > 9,5(\text{норма}) \quad (1.12)$$

$$\begin{aligned} z_{min} &= \frac{n_k Q_p}{g(Q_n + Q_c + n_k P_k H_k + n_{ук} q_k l_3)} = \\ &= \frac{4 \cdot 1330 \cdot 10^3}{9,81 \cdot (25 \cdot 10^3 + 24,4 \cdot 10^3 + 4 \cdot 8,4 \cdot 1097 + 3 \cdot 11,5 \cdot 10)} = \\ &= 6,3(\text{факт}) > 4,5(\text{нор}), \end{aligned} \quad (1.13)$$

где Z_0, Z_{min} - фактические значения коэффициентов запаса прочности;

Q_n, Q_c - масса полезного груза и масса сосуда, кг;

$n_k, n_{ук}$ - количество подъемных и уравнивающих канатов;

Q_p - суммарное разрывное усилие всех проволок каната, Н;

P_k, q_k - линейная масса подъемного и уравнивающего канатов, кг/м;

H_k - расстояние от нижней приемной площадки до оси канатов ведущего шкива, м;

l_3 - отвес уравнивающих канатов в зумпфе, м.

Окончательно применим многоканатную машину типоразмера ЦШ-5×4, четыре подъемных каната типа ЛК-РО маркировочной группы 1568 радиусом 23,25 мм и три уравнивающих каната размером 170×27,5 мм [1].

Техническая характеристика машины ЦШ-5×4:

Диаметр канатоведущего шкива: $D_{ш}=5$ м;

Количество подъемных канатов: $n_k=4$;

Маховый момент машины: $GD^2_m=6250$ кН·м²;

Маховый момент отклоняющих шкивов: $GD^2_{ош}=500$ кН·м².

1.6 Условие не скольжения шкива по ведущему валу

Статический коэффициент безопасности $K_{сб}$ рассчитываем по формуле:

$$K_{сб} = \frac{g(Q_c + qH - c) \left(e^{fa} - 1 \right)}{g(Q_c + Q_n + pH + c) - g(Q_c + qH - c)} = \quad (1.14)$$

$$\frac{9,81 \cdot (24400 + 34,5 \cdot 1079 - 1250) \left(2,72^{0,25 \cdot 1,1 \cdot 3,14} - 1 \right)}{9,81 \cdot (25000 + 24400 + 33,6 \cdot 1079 + 1250) - 9,81 \cdot (24400 + 34,5 \cdot 1079 - 1250)} = 3,3$$

$$3,3(\text{факт}) > 2(\text{норма}),$$

где $F_{ст \max} = (Q_n + Q_c + pH + c)g$ - наибольшее возможное натяжение одной ветви каната, охватывающего ведущий шкив, Н;

$F_{ст \min} = (Q_c + qH - c)g$ - наименьшее натяжение другой ветви каната;

e - основание натурального логарифма;

f - коэффициент трения между канатами и футеровкой ведущего шкива;

α - угол охвата ведущего шкива, рад;

$c = \frac{\kappa - 1}{2} Q_n$ - сопротивление движению одной ветви каната;

$\kappa = 1,1$ - для скипового подъема [1].

Максимально допустимые ускорение и замедление ($a_{1 \max}$, $a_{3 \max}$) определяем по формулам:

$$\dot{a}_{1 \max} = \frac{e^{fa} (m_1 - c) - (m_2 + c)}{e^{fa} (m_1 + m_{ош} + A) (m_2 + A)} g = \quad (1.15)$$

$$\frac{2,72^{0,25 \cdot 1,13,14} \left(61,6 \cdot 10^3 - 1250 \right) - \left(85,7 \cdot 10^3 + 1250 \right)}{2,72^{0,25 \cdot 1,13,14} \left(61,6 \cdot 10^3 + 2039 + 1478,4 \right) \left(85,7 \cdot 10^3 + 1478,4 \right)} \cdot 9,81 = 2,28 \text{ м/с}^2$$

$$2,28(\text{факт}) > 2(\text{норма})$$

$$a_{3\max} = \frac{e^{f\alpha} (m_1 + c) - (m_2 - c)}{e^{f\alpha} (m_1 + m_{\text{ош}} + A) + (m_2 + A)} g = \quad (1.16)$$

$$= \frac{2,72^{0,25 \cdot 1,13,14} \left(61,6 \cdot 10^3 + 1250 \right) - \left(85,7 \cdot 10^3 - 1250 \right)}{2,72^{0,25 \cdot 1,13,14} \left(61,6 \cdot 10^3 + 2039 + 1478,4 \right) + \left(85,7 \cdot 10^3 + 1478,4 \right)} \cdot 9,8 = 2,62 \text{ м/с}^2,$$

где $m_1 = Q_c + qH = 24,4 \cdot 10^3 + 3 \cdot 11,5 \cdot 1079 = 61,6 \cdot 10^3$ кг;

$m_2 = Q_{\text{п}} + Q_c + PH = 25 \cdot 10^3 + 244 \cdot 10^3 + 4 \cdot 8,4 \cdot 1079 = 85,7 \cdot 10^3$ кг;

$A = PL_{\text{вш}} = 4 \cdot 8,4 \cdot 44 = 1478,4$ кг·м;

Приведенная масса **всех** отклоняющих шкивов, кг:

$$m_{\text{ош}} = \frac{GD^2_{\text{ош}}}{gD^2_{\text{ош}}} = \frac{500 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 5^2} = 2039 \text{ кг}$$

$L_{\text{вш}}$ – длина **подъемного** каната от **уровня** верхней приемной площадки до соприкосновения его с ведущим шкивом трения, м.

Примем семипериодную диаграмму скорости со значениями ускорения и замедления $a_1 = a_3 = 0,6 \text{ м/с}^2$, $a' = a'' = 0,3 \text{ м/с}^2$, что составляет меньше 80% от максимальных допустимых значений по правилам безопасности, и значениями скоростей $V' = V'' = 0,8 \text{ м/с}^2$.

1.7 Продолжительность подъемной операции

Число подъемных операций в час $n_{\text{пч}}$ определили по формуле:

$$n_{\text{пч}} = A_{\text{ч}} / Q_{\text{п}} = 651 \cdot 10^3 / 24,4 \cdot 10^3 = 26. \quad (1.17)$$

Расчетная продолжительность подъемной операции $T_{рп}$ определим по формуле:

$$T_{рп}=3600/n_{пч}=3600/26=139 \text{ с.} \quad (1.18)$$

Продолжительность движения подъемных сосудов T_p рассчитаем по формуле:

$$T_p=T_{рп}-t_{п}=139-11=128 \text{ с,} \quad (1.19)$$

где $t_{п}$ - продолжительность паузы, с.

Среднюю скорость подъема $V_{ср}$ определяем по формуле:

$$V_{ср}=H/T_p=1079/128=8,4 \text{ м/с,} \quad (1.20)$$

где H - высота подъема, м.

Ориентировочную максимальную скорость подъема V_{max} рассчитаем по формуле:

$$V_{max}=a_c V_{ср}=1,35 \cdot 8,4=11,4 \text{ м/с,} \quad (1.21)$$

где a_c - множитель скорости, принимаемый $1,15 \div 1,35$ [1].

Требуемую частоту вращения $n_{кш}$ рассчитаем по формуле:

$$n_{кш}=60V_{max}/\pi D_{кш}=60 \cdot 11,4/(3,14 \cdot 5)=44 \text{ об/мин.} \quad (1.22)$$

Ориентировочная мощность приводного двигателя:

$$N_{ор} = \frac{\kappa Q_n H g}{1000 T_p \eta_n} \rho = \frac{1,1 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 1079 \cdot 9,81}{1000 \cdot 128 \cdot 0,93} \cdot 1,3 = 3180 \text{ кВт,} \quad (1.23)$$

где κ – коэффициент, учитывающий сопротивление воздуха при движении подъемных сосудов, трение в подшипниках направляющих шкивов, жесткость канатов ($\kappa=1,1$) [1];

Q_n – масса полезного груза, кг;

H – высота подъема, м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести;

T_p – продолжительность движения подъемных сосудов, с;

$\eta_n=0,93$ – КПД подъемной установки;

$\rho = 1,3$ – коэффициент динамического режима установки, учитывающий динамическую нагрузку, для скиповых многоканатных установок.

Наметим к применению двигатель типа П2-800-255-КУ4, мощностью 4000 кВт, с частотой вращения 50 об/мин [1].

1.8 Кинематика подъемной установки

Основание трапецеидальной диаграммы скорости T_0 , соответствующий путь, H_0 и модуль ускорения a_m определим по формулам:

$$T_0 = T_p - t' - t'_1 - t''_1 - t'' + \frac{V'}{a_1} + \frac{V''}{a_3} = 128 - 3 - 2 - 2 - 3 + \frac{0,8}{0,6} + \frac{0,8}{0,6} = 121 \text{ с}, \quad (1.24)$$

где T_p - продолжительность движения, с;

t' , t'_1 , t'' , t''_1 – продолжительность движения скипа при ходе по разгрузочным кривым, с;

V' и V'' - скорость выхода из разгрузочных кривых и входа в них, м/с;

a_1 и a_3 – ускорение и замедление, м/с².

$$H_0 = H - 2h_p + \frac{V'^2}{2a_1} + \frac{V''^2}{2a_3} = 1079 - 2 \cdot 2,4 + \frac{0,8^2}{2 \cdot 0,3} + \frac{0,8^2}{2 \cdot 0,3} = 1075 \text{ м}, \quad (1.25)$$

где H - высота подъема, м;

h_p - путь движения скипа в разгрузочных кривых, м.

$a_m = a_1 a_3 / (a_1 + a_3) = 0,6 \times 0,6 / (0,6 + 0,6) = 0,3$ м/с.

Причем продолжительность t' , t'_1 движения порожнего скипа при ходе ролика его по разгрузочным кривым, продолжительность t'' , t''_1 движения груженого скипа при ходе ролика по разгрузочным кривым определим по формулам:

$$t' = t'' = V' / a' = V'' / a'' = 0,8 / 0,3 = 3 \text{ с}; \quad (1.26)$$

$$t'_1 = t''_1 \frac{h_p - \frac{V' t'}{2}}{V'} = \frac{h_p - \frac{V'' t''}{2}}{V''} = \frac{2,4 - \frac{0,8 \cdot 3}{2}}{0,8} = 2 \text{ с}. \quad (1.27)$$

Продолжительность t_1 , t_3 и путь h_1 , h_3 движения скипа с ускорением a_1 и замедлением a_3 найдем по формулам:

$$t_1 = t_3 = \frac{V_{\max} - V'}{a_1} = \frac{V_{\max} - V''}{a_3} = \frac{11,4 - 0,8}{0,6} = 19 \text{ с}; \quad (1.28)$$

$$h_1 = h_3 = \frac{V_{\max} + V'}{2} t_1 = \frac{V_{\max} + V''}{2} t_3 = \frac{11,4 + 0,8}{2} 19 = 122 \text{ м}. \quad (1.29)$$

Путь h_2 и продолжительность t_2 равномерного движения определим по формулам:

$$h_2 = H - 2h_p - h_1 - h_3 = 1079 - 2 \cdot 2,4 - 122 - 122 = 830 \text{ м}; \quad (1.30)$$

$$t_2 = h_2 / V_{\max} = 830 / 11,4 = 69 \text{ с}. \quad (1.31)$$

Расчетную максимальную скорость подъема V_{\max} определим по формуле:

$$V_{pm} = a_m T_0 - \sqrt{(a_m T_0)^2 - 2a_m H_0} = 0,3 \cdot 121 - \sqrt{(0,3 \cdot 121)^2 - 2 \cdot 0,3 \cdot 1075} = 10,4 \text{ м/с}. \quad (1.32)$$

Требуемая частота вращения:

$$n = \frac{60V_{\max}}{\pi D_{\delta}} = \frac{60 \cdot 10,4}{3,14 \cdot 5} = 40 \text{ об/мин}. \quad (1.33)$$

Продолжительность движения T подъемных сосудов определили по формуле:

$$T = t' + t'_1 + t_1 + t_2 + t_3 + t''_1 + t'' = 3 + 2 + 19 + 69 + 19 + 2 + 3 = 117 \text{ с}. \quad (1.34)$$

Фактический коэффициент резерва производительности C_{ϕ} вычислим по формуле:

$$C_{\phi} = C \frac{T_p + t_n}{T + t_n} = 1,5 \frac{128 + 11}{117 + 11} = 1,63, \quad (1.35)$$

где $C = 1,5$ - коэффициент резерва производительности [1].

Окончательно примем параметры диаграммы скоростей и ускорений:
 $V' = V'' = 0,8 \text{ м/с}$; $t' = t'' = 3 \text{ с}$; $h_p = 2,6 \text{ м}$; $V_{\max} = 12 \text{ м/с}$; $t_1 = t_3 = 19 \text{ с}$; $h_1 = h_3 = 122 \text{ м}$; $h_2 = 830 \text{ м}$;
 $t_2 = 69 \text{ с}$; $a' = a'' = 0,3 \text{ м/с}^2$; $a_1 = a_3 = 0,6 \text{ м/с}^2$; $T = 117 \text{ с}$; $H = 1079 \text{ м}$; $t'_1 = t''_1 = 2 \text{ с}$.

1.9 Динамика подъемной установки

Масса машины типа ЦШ-5×4 m'_m , отклоняющих шкивов $m'_{ош}$ и двигателя типа П2-800-255-8КУ4 m'_d , рассчитаем по формулам:

$$m'_m = GD^2_m / gD^2_{шт} = 6250 \cdot 10^3 / (9,81 \cdot 5^2) = 25,5 \times 10^3 \text{ кг}; \quad (1.36)$$

$$m'_{ош} = GD^2_{ош} / gD^2_{шт} = 500 \cdot 10^3 / (9,81 \cdot 5^2) = 2039 \text{ кг}; \quad (1.37)$$

$$m'_d = GD^2_d / gD^2_{шт} = 2400 \cdot 10^3 / (9,81 \cdot 5^2) = 9786 \text{ кг}, \quad (1.38)$$

где GD^2_m , $GD^2_{ош}$, GD^2_d - маховые моменты машины, отклоняющих шкивов и якоря двигателя, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$.

Длину подъемных канатов $L_{пк}$ определяем по формуле:

$$L_{пк} = H + 2h_{вк} + \pi D_{шт} / 2 = 1079 + 2 \times 35 + 3,14 \times 5 / 2 = 1157 \text{ м}, \quad (1.39)$$

где H – высота подъема, м;

$h_{вк}$ – расстояние от верхней приемной площадки до оси шкива трения, м;

$D_{шт}$ – диаметр шкива трения, м.

Длину уравновешивающих канатов $L_{ук}$ определяем по формуле:

$$L_{ук} = H + 30 = 1079 + 30 = 1109 \text{ м}, \quad (1.40)$$

где 30 - ориентировочная длина каната на образование петли в зумпфе ствола и закрепление каната к подъемным сосудам, м.

Массу $m_{п}$ всех движущихся частей подъемной установки приведенную к окружности шкива трения, определим по формуле:

$$m_{п} = Q_{п} + 2Q_{с} + L_{пк}P + L_{ук}q + m'_{ош} + m'_m + m'_d =$$

$$= 25 \cdot 10^3 + 2 \cdot 24,4 \cdot 10^3 + 1157 \cdot 4 \cdot 8,4 + 1109 \cdot 3 \times 11,5 + 25,5 \cdot 10^3 + 2039 + 9786 = 188 \times 10^3 \text{ кг},$$

где $Q_{п}$ и $Q_{с}$ – масса полезного груза и масса скипа, кг;

P и q – линейная масса подъемного и уравновешивающего канатов, кг;

$L_{пк}$ и $L_{ук}$ – длина подъемных и уравновешивающих канатов, кг;

$m'_{ош}$, m'_m , m'_d – масса отклоняющего шкива, машины и якоря двигателя, кг.

Движущие усилия F получаем из основного динамического уравнения академика М.М. Федорова (таблица 1.1):

$$F = [1,1Q_{п} + (H - 2h_x) \cdot (q - P)]g \pm m_{п}a = [1,1 \cdot 25 \cdot 10^3 + (1079 - 2 \cdot h_x)(3 \cdot 11,5 - 4 \cdot 8,4)]9,81 \pm 188 \cdot 10^3 a = 283 \cdot 10^3 - 23,5 \cdot h_x \pm 188 \cdot 10^3 a. \quad (1.41)$$

Эквивалентное усилие $F_{\text{эк}}$ рассчитываем по формуле:

$$F_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t}{T_n}}, \quad (1.42)$$

где

$$T'_n = k_{\text{уд}}(t' + t'_1 + t_1 + t_3 + t'' + t''_1) + t_2 + k_{\text{п}} t_{\text{п}} = 0,5(3 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 19 \cdot 2) + 69 + 0,25 \cdot 11 = 96 \text{ с};$$

коэффициенты, учитывающие ухудшение условий охлаждения во время соответственно ускоренного и замедленного движения:

$$k_{\text{уд}} = 0,5, \quad k_{\text{п}} = 0,25;$$

F и t - усилие и продолжительность элементарного участка на диаграмме усилий.

$$\begin{aligned} \sum F^2 t = & (339400^2 + 339381^2) \frac{3}{2} + (282981^2 + 282981 \cdot 282943 + 282943^2) \frac{2}{3} + \\ & + (395744^2 + 392874^2) \frac{19}{2} + (280074^2 + 280074 \cdot 260552 + 260552^2) \frac{69}{3} + \\ & + (147752^2 + 144883^2) \frac{19}{2} + (257683^2 + 257683 \cdot 257254 + 257254^2) \frac{2}{3} + \\ & + (201254^2 + 201221^2) \frac{3}{2} = 9,158 \cdot 10^3 \text{Н}; \end{aligned} \quad (1.43)$$

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{9,158 \cdot 10^3}{96}} = 308862 \text{ Н} = 308862 \text{ Н}.$$

Коэффициент перегрузки при подъеме:

$$K_{\text{под}} = \frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{эк}}} = \frac{395743}{308861} = 1,28 < 2 \text{ (норма)} \quad (1.44)$$

где F_{max} – максимальное движущее усилие при подъеме груза, Н.

Номинальную мощность двигателя $P_{\text{д}}$ выбираем из условия:

$$P_{ном} \geq P_{эф} = N_{эф} = \frac{F_{эк} V_{max}}{1000 \eta_H} = \frac{308862 \cdot 13}{1000 \cdot 0,93} = 4317 \text{ кВт.} \quad (1.45)$$

Таблица 1.1 – Движущее усилие F

| | h, м | a, м/с ² | F, Н |
|----|--------|---------------------|------------|
| 1 | 0 | 0,3 | 339400 |
| 2 | 0,8 | 0,3 | 339381,184 |
| 3 | 0,8 | 0 | 282981,184 |
| 4 | 2,4 | 0 | 282943,552 |
| 5 | 2,4 | 0,6 | 395743,552 |
| 6 | 124,4 | 0,6 | 392874,112 |
| 7 | 124,4 | 0 | 280074,112 |
| 8 | 954,4 | 0 | 260552,512 |
| 9 | 954,4 | 0,6 | 147752,512 |
| 10 | 1076,4 | 0,6 | 144883,072 |
| 11 | 1076,4 | 0 | 257683,072 |
| 12 | 1077,6 | 0 | 257654,848 |
| 13 | 1077,6 | 0,3 | 201254,848 |
| 14 | 1079 | 0,3 | 201221,92 |

Диаграммы движущих усилий приведены на рисунках 1.1 – 1.3.

Окончательно примем двигатель П2-800-255-8КУ4 с номинальной мощностью $P_{ном} = 5000$ кВт, частотой вращения $n_{ном} = 63$ об/мин, так как разность между эквивалентной мощностью и номинальной превышает 5%, т.е. [1]:

$$\frac{4317 - 4000}{4317} 100\% = 7,34\%.$$

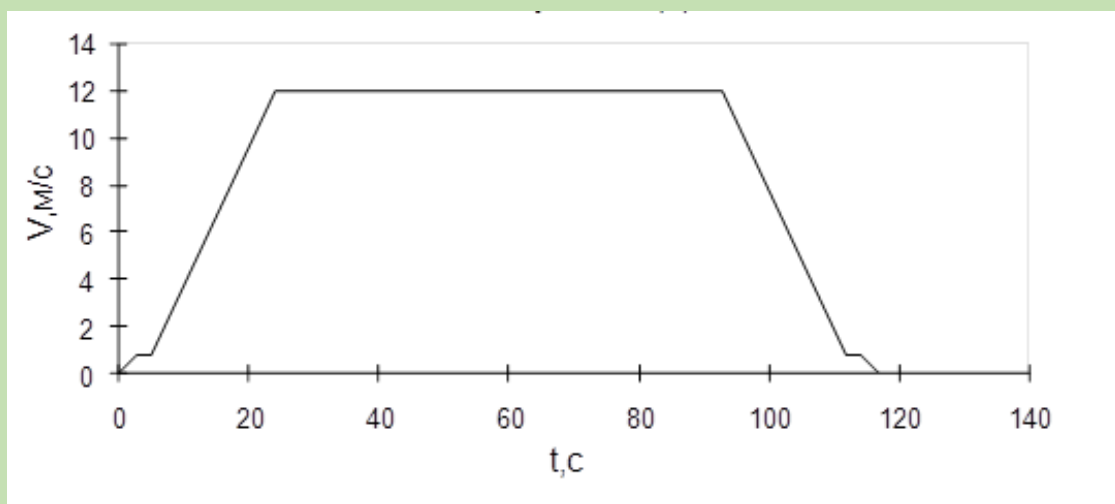


Рисунок 1.1 – Диаграмма скоростей

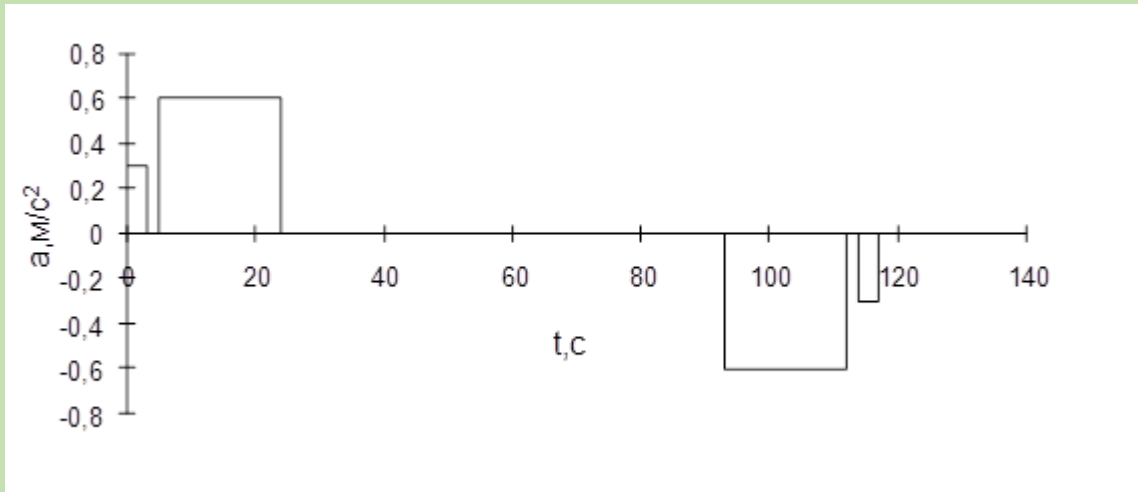


Рисунок 1.2 – Диаграмма ускорений

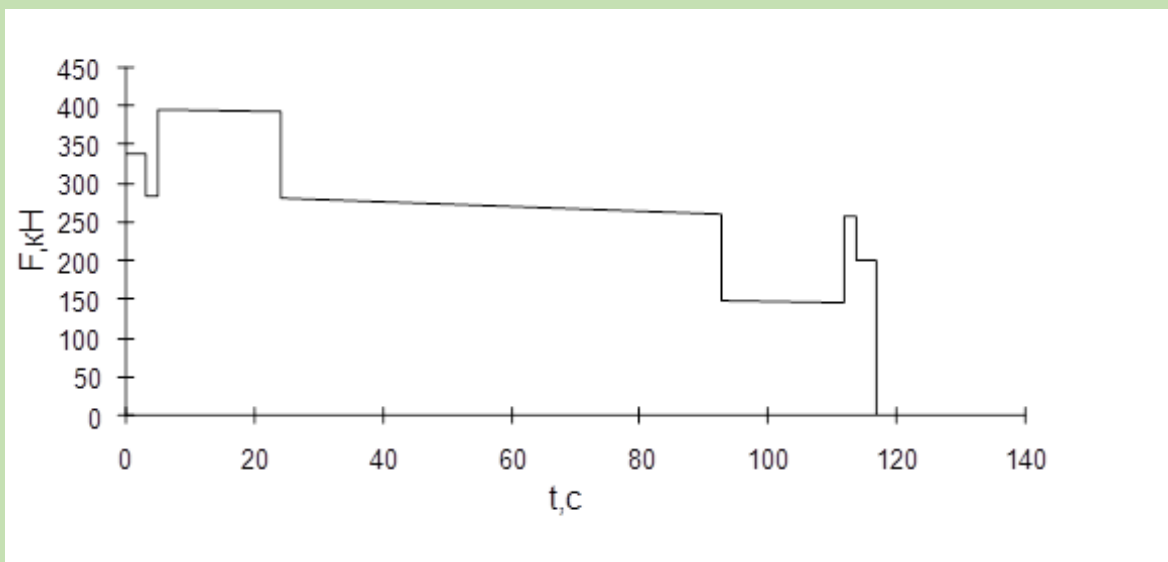


Рисунок 1.3 – Диаграмма усилий

Перегрузка в период разгона составит:

$$\lambda = \frac{F_{\max}}{30P_{\text{НОМ}}} = \frac{395743}{30 \cdot 5000} = 1,3 < \lambda_{\text{дв}}, \quad (1.46)$$

$$\frac{\pi n_{\text{НОМ}} 0,5 D_{\text{шт}}}{3,14 \cdot 63 \cdot}$$

где $\lambda_{\text{дв}}$ – перегрузочная способность выбранного двигателя.

2 Силовые элементы электропривода

Основная задача второго этапа проектирования - выбор комплектного тиристорного электропривода из серии КТЭУ для подъемной установки, принятой на первом этапе проектирования.

2.1 Исходные данные для расчета динамики электропривода

Двигатель:

Тип: П2-800-255-8КУ4

Номинальная мощность: $P_{ном}=5000\text{кВт}$

Номинальная частота вращения: $n_{ном}=63\text{об/мин}$

Номинальное напряжение: $U_{ном}=930\text{В}$

Номинальный ток: $I_{ном}=5740\text{А}$

Номинальный момент: $M_{ном}=774\text{кН}\cdot\text{м}$

Номинальный поток возбуждения: $\Phi_{ном}=0,375\text{Вб}$

Коэффициент полезного действия: $\eta_{ном}=90,5\%$

Ток возбуждения: $I_{в}=145\text{А}$

Напряжение обмотки возбуждения: $U_{в}=200\text{В}$

Число полюсов: $2p=16$

Число параллельных ветвей якоря: $2a=16$

Сопротивление обмотки якоря: $R_{я20}=0,00348\text{Ом}$

Сопротивление дополнительных полюсов: $R_{д20}=0,000631\text{Ом}$

Сопротивление компенсационной обмотки: $R_{к20}=0,00235\text{Ом}$

Сопротивление обмотки возбуждения: $R_{в20}=0,87\text{Ом}$

Перегрузочная способность (рабочая): $\lambda_{р}=1,6$

Перегрузочная способность (выключающая): $\lambda_{в}=1,8$

Число витков якоря: $W_{яд}=1080/16$

Число витков главного полюса: $W_{пд}=84$

Число витков добавочного полюса: $W_{дд}=2$

Число витков компенсационной обмотки на полюс: $W_{кд}=3$

Питающая сеть:

Номинальное напряжение: $U_{с}=6000\text{В}$

Частота: $f_{с}=50\text{Гц}$

Мощность короткого замыкания: $S_{к}=15000\text{МВ}\cdot\text{А}$

Подъемная машина:

Тип: ЦШ5×4

Эффективная мощность подъема: $P_{эф}=4317\text{кВт}$

Максимальная скорость подъема: $V_{max}=16\text{м/с}$

Средняя скорость: $V_{ср}=8,4\text{м/с}$

Множитель скорости: $\lambda=1,35$
Радиус шкива трения: $D_{шт}=5\text{м}$
Максимальное усилие: $F_{\max}=395743\text{Н}$

2.2 Выбор тиристорного преобразователя

Рассмотрим к применению силовую 12-пульсную схему тиристорного электропривода с реверсом в цепи возбуждения двигателя и последовательным соединением выпрямительных мостов. После выбора тиристорного преобразователя силовую схему уточним.

Активное сопротивление якорной цепи $R_{яц}$ определяем по формуле:

$$R_{яц} = k_1 k_2 (R_{я20} + R_{д20} + R_{к20} + R_{щ}) = 1,15 \cdot 1,1 (0,00348 + 0,000631 + 0,00235 + 0,0005) = 0,00880566 \text{ Ом}, \quad (2.1)$$

где $k_1=1,15$ – коэффициент приведения к рабочей температуре 60°C [2];
 $k_2=1,1$ – коэффициент, учитывающий сопротивление соединительных проводов [2];

$R_{я20}$, $R_{д20}$, $R_{к20}$, $R_{щ}$ – сопротивление обмотки якоря, дополнительных полюсов, компенсационной обмотки и щеточного контакта, Ом

Коэффициент пропорциональности между ЭДС двигателя и линейной скоростью определим по формуле:

$$k_v = \frac{U_{ном} - R_{яц} I_{ном}}{V_{\max}} = \frac{930 - 0,0088056 \cdot 5740}{16} = 55 \frac{\text{В}}{\text{м/с}}, \quad (2.2)$$

где $U_{ном}$ и $I_{ном}$ – номинальные напряжение и ток двигателя;

$R_{яц}$ – сопротивление якорной цепи, Ом;

V_{\max} – максимальная скорость подъема, м/с.

Коммутационное снижение выпрямленного напряжения определяем по формуле:

$$U_{к\text{ ср}} = 0,5 e_k k_v V_{\max} = 0,5 \cdot 0,06 \cdot 55 \cdot 16 = 26,4 \text{ В}, \quad (2.3)$$

где e_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, отн.ед..

Эффективный ток за цикл работы подъемной установки определяем по формуле:

$$I_{эф} = P_{эф} / (V_{\max} \cdot k_v) = 4317 \cdot 10^3 / (16 \cdot 55) = 4906 \text{ А},$$

где $P_{эф}$ – эффективная мощность подъема, Вт.

Выбор тиристорного преобразователя произведем по двум параметрам – выпрямленному току $I_{d ном}$ и выпрямленному напряжению $U_{d ном}$ при соблюдении условий:

$$I_{d ном} \geq I_{эф} \text{ и } U_{d ном} \geq U_{ном}. \quad (2.4)$$

Применим комплектный тиристорный электропривод КТЭУ-6300/ 1050-1249314-200Т-УХЛ4. Тиристорный агрегат типа ТПЗ-6300/1050Т-10/ОУ4 с последовательным соединением мостов [2].

КПД тиристорного преобразователя, рассчитываем по формуле:

$$\eta_{mn} = \frac{U_{do} - \Delta U_{ксп} - \Delta U_m}{U_{do}} = \frac{1050 - 26,4 - 0,96}{1050} = 0,97, \quad (2.5)$$

где U_{do} – максимальное выпрямленное напряжение (угол управления $\alpha=0$), В;

$\Delta U_{ксп}$ – коммутационное снижение выпрямленного напряжения, В;

$\Delta U_m = 0,96$ В – среднестатистическое падение напряжения на тиристоре [2].

Передаточный коэффициент $k_{тп}$ тиристорного преобразователя определим по формуле:

$$k_{тп} = U_{d ном} / U_{вх тп} = 1050 / 8 = 131,25 \text{ В}, \quad (2.6)$$

где $U_{d ном}$ – номинальное выпрямленное напряжение, В;

$U_{вх тп} = 8$ В – входное напряжение управления.

2.3 Выбор силового трансформатора

Полную мощность силового трансформатора S_t определим по формуле:

$$S_m = \frac{P_{эф}}{\eta_{\partial} \cdot \eta_{mn} \cdot \eta_m \cdot k_{им} \cdot k_{м ср в3}} = \frac{4317 \cdot 10^3}{0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,955 \cdot 0,97 \cdot 0,575} = 9232,5 \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

где $k_{м ср в3} = 0,575$ – средневзвешенный коэффициент мощности [2].

$P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, кВт.

Линейное напряжение вторичной обмотки, необходимое для выбора трансформатора, определим по формуле:

$$U_2 = (k_3/k_{cx}) \cdot (V_{\max} k_v + U_{\text{ксп}} + I_{\text{эф}} R_{\text{яц}}) = (1,1/1,35)(16,55 + 26,4 + 4906 \cdot 0,00881) = 773 \text{ В}$$

где $k_3 = 1,1$ – коэффициент запаса [2];

$k_{cx} = 1,35$ – коэффициент схемы выпрямления [2];

k_u – коэффициент пропорциональности, В/(м/с);

$U_{\text{ксп}}$ – коммутационное снижение напряжения, В;

$I_{\text{эф}}$ – эффективный ток, А;

$R_{\text{яц}}$ – сопротивление якорной цепи, Ом;

V_{\max} – максимальная скорость, м/с.

Выбор трансформатора производится по двум параметрам – полной мощности $S_{\text{T ном}}$ и напряжению на вторичной обмотке $U_{2\text{ном}}$ при соблюдении условий:

$$S_{\text{T ном}} \geq S_{\text{T}} \text{ и } U_{2\text{ном}} \geq U_2. \quad (2.9)$$

Для комплектной поставки в составе преобразовательного агрегата типа ТПЗ-6300/1050-10/ОУ4 применим масляный двухобмоточный с двумя активными частями в одном баке трансформатор типа ТДНПД-12000/10У2 [2].

2.4 Расчет сглаживающего реактора

Сглаживающую индуктивность определяем из условия непрерывности выпрямленного тока. При этом принимается, что при угле отпирания тиристорov $\alpha=80^\circ$ и токе нагрузки 10% от номинального ($0,1I_{\text{д ном}}$) режим прерывистого тока должен быть исключен.

Суммарное сопротивление цепи выпрямленного тока R_Σ рассчитываем по формуле:

$$R_\Sigma = R_{\text{яц}} + \frac{\Delta U_m + \Delta U_{\text{ксп}}}{I_{\text{эф}}} = 0,00880566 + \frac{0,96 + 26,4}{4906} = 0,01438 \text{ Ом}. \quad (2.10)$$

Базовый ток определим по формуле:

$$I_\sigma = \frac{U_{2\text{max}}}{R_\Sigma} = \frac{1050}{0,01438} = 75000 \text{ А}, \quad (2.11)$$

где U_2 – максимальное значение напряжения на вентильной обмотке силового трансформатора.

Номинальный ток в относительных единицах:

$$i_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\text{дв}}}{I_{\text{б}}} = \frac{5740}{75 \cdot 10^3} = 76 \cdot 10^{-3}; \quad (2.12)$$

Базовый параметр нагрузки определяется по графику рисунок 2.1. [2] для значений $\alpha = 15^\circ$, $m_6 = 6$ и $i_{\text{дв}} = 0,076$ и составляет $\text{tg}Q_6 = 7$.

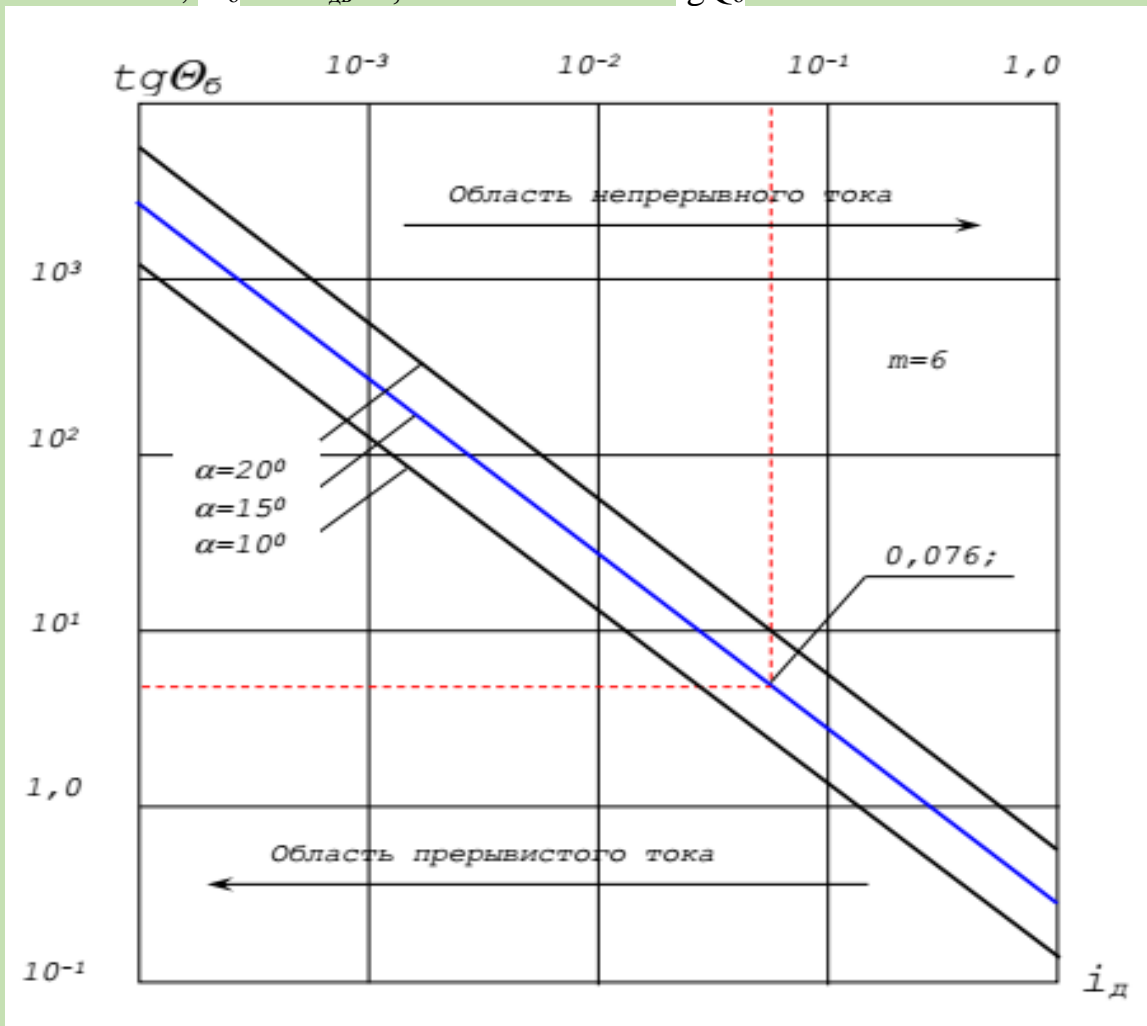


Рисунок 2.1 – График для определения значения параметра нагрузки

Требуемый параметр нагрузки, обеспечивающий допустимый коэффициент пульсации тока в выпрямленной цепи:

$$\text{tg}Q = 1 \cdot 0,25 \cdot 7 = 1,75; Q = 60,26^\circ; \quad (2.13)$$

Суммарная индуктивность цепи выпрямленного тока.

$$L_{\Sigma} = \frac{R_{\Sigma}}{2\pi f} \operatorname{tg} Q = \frac{0,01438}{314} \cdot 1,75 = 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (2.14)$$

где $2\pi f$ – угловая частота питающей сети;

Индуктивность активной части трансформатора.

$$L_{m1} = L_{m2} = \frac{e_k U_{2\text{НОМ}}}{2\pi f I_{2\text{НОМ}}} = \frac{0,06 \cdot 1050}{314 \cdot 6300} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (2.15)$$

где e_k – напряжение короткого замыкания, отн.ед.;

$U_{2\text{НОМ}}$ – фазное напряжение вентильной обмотки, В;

$I_{2\text{НОМ}}$ – ток вентильной обмотки, А;

f – частота питающей сети, Гц.

Индуктивность якоря двигателя L_d определяем по формуле Лиумвиля-Уманского:

$$L_d = C_1 \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{30}{\pi n_{\text{НОМ}}} = \frac{0,1 \cdot 930 \cdot 30}{3,14 \cdot 8 \cdot 63 \cdot 5740} = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (2.16)$$

где $c_1=0,1$ – коэффициент для компенсированных электродвигателей;

$2p=16$ – число пар полюсов;

$n_{\text{НОМ}}$ – номинальная частота вращения двигателя, об/мин;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение двигателя, В;

$I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток двигателя, А.

Индуктивность сглаживающего реактора определяем по формуле [4]:

$$L_p = \frac{8,8 U_{\text{НОМ}}}{\delta_{\text{НОМ}}} - a L_m - L_d = \frac{8,8 \cdot 930}{2 \cdot 5740} 10^{-3} - 2 \cdot 0,036 \cdot 10^{-3} - 0,31 \cdot 10^{-3} = 0,33 \text{ Гн}, \quad (2.17)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение двигателя, В;

$I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток двигателя, А.

Применим реактор типа СРОСЗ-3200МУХЛ4 на номинальный ток 3200А и с индуктивностью 0,5 мГн [2].

2.5 Расчет автоматического выключателя в якорной цепи

Коэффициент пропорциональности между движущим усилием и током якоря двигателя k_f определим по формуле:

$$K_f = \frac{M_{ном}}{R_{шт} \cdot I_{ном}} = \frac{750 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 5740} = 54 \text{ Н/А}, \quad (2.18)$$

где $M_{ном}$ – номинальный момент двигателя, Н·м;

$R_{шт}$ – радиус шкива трения, м;

$I_{ном}$ – номинальный ток двигателя, А.

Максимальный ток двигателя I_{max} рассчитаем по формуле:

$$I_{max} = \frac{F_{max}}{K_f} = \frac{395743}{54} = 7329 \text{ А}. \quad (2.19)$$

Ток уставки $I_{уст}$ срабатывания реле максимальной защиты определим по формуле:

$$I_{уст} = k_n I_{max} = 1,1 \cdot 7329 = 8062 \text{ А}, \quad (2.20)$$

где $k_n = 1,1$ - коэффициент надежности [2].

Применим автоматический выключатель ВАТ-42-1000/10-Л-У4 с реле защиты РДШ-6000 и диапазоном тока уставки 6000÷12000 А [1].

2.6 Выбор тиристорного возбудителя

Индуктивность обмотки возбуждения двигателя определим по формуле:

$$L_{ов} = L + L_p = 2pW_b^2 \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta I_b W_b} + \frac{0,5\Phi_{ном}(\sigma_{ном} - 1)}{I_{вном} W_b} \right) =$$

$$16 \cdot 84^2 \cdot \left(\frac{0,2}{5 \cdot 10^3} + \frac{37,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1}{145 \cdot 84} \right) = 3,1 \text{ Гн}, \quad (2.21)$$

где L – индуктивность, обусловленная полезным потоком, Гн;

L_p – индуктивность от полей рассеивания, Гн;

$2p$ – число пар полюсов;

$W_b = 84$ – число витков на полюс;

$\sigma_{ном} = 1,1$ – коэффициент рассеивания при номинальном потоке [2];

$\Delta\Phi$ – изменение потока, вызванное соответствующим изменением ампер-витков ($\Delta I_b W_b$), Вб (рисунок 2.2.).

Постоянную времени цепи возбуждения T_b определим по формуле:

$$T_{\theta} = \frac{L_{об}}{1,15R_{об}} = \frac{3,1}{1,15 \cdot 0,87} = 3,06 \text{ с}, \quad (2.22)$$

где $L_{об}$ – индуктивность обмотки возбуждения, Гн;
 $R_{об}$ – сопротивление обмотки возбуждения, Ом.

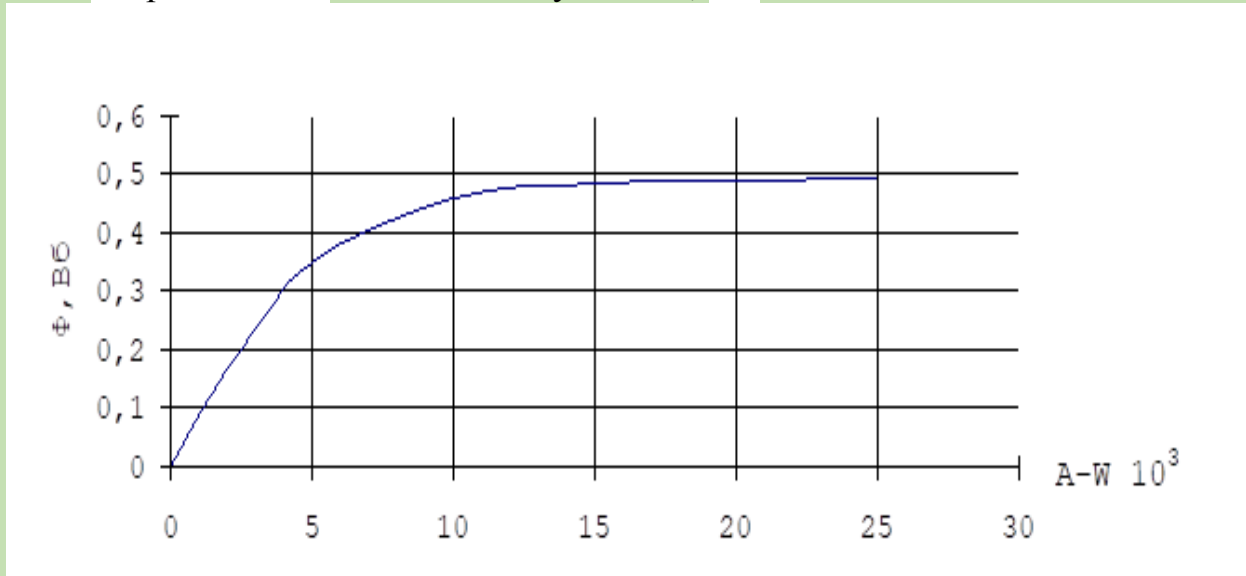


Рисунок 2.2 – Кривая намагничивания электродвигателя

Время рывка t_p при высоте подъема $H=1079$ м согласно графику [2]:

$$t_p = 2 \text{ с}. \quad (2.23)$$

Требуемое значение коэффициента форсировки k_{ϕ} определим по формуле:

$$T_{\theta} = t_p / \ln \left(\frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} \right) \approx 0,5 K_{\phi} t_p, \quad (2.24)$$

$$K_{\phi} = \frac{T_{\theta}}{0,5 t_p} = \frac{3,06}{0,5 \cdot 2} = 3,06, \quad (2.25)$$

где T_{θ} – постоянная времени возбуждения, с.

Максимальное значение выпрямленного напряжения U_{\max} определим по формуле:

$$U_{d \max} = K_{\phi} U_{в \text{ ном}} = 3,06 \cdot 145 = 443,7 \text{ В}, \quad (2.26)$$

где $U_{в \text{ ном}}$ – номинальное напряжение возбуждения при параллельном соединении полуобмоток возбуждения, В.

Применим тиристорный возбудитель ТПР9-320/460Р-31У4 с номинальным током 320 А и номинальным напряжением 460 В [2].

Передаточный коэффициент $k_{ТВ}$ тиристорного возбудителя определим по формуле:

$$K_{ТВ} = U_{d\text{ ном}} / U_{вх\text{ ТВ}} = 460 / 8 = 57,5, \quad (2.27)$$

где $U_{d\text{ ном}}$ – номинальное выпрямленное напряжение, В;
 $U_{вх\text{ ТВ}} = 8$ В – выходное напряжение управления.

2.7 Выбор тахогенератора в цепи ОС по скорости

Применяем тахогенератор типа ПТ-42 с номинальной частотой вращения $n_{ТГ\text{ ном}} = 100$ об/мин и номинальным напряжением $U_{ТГ\text{ ном}} = 230$ В [2].

Максимальное напряжение на выходе тахогенератора $U_{ТГ\text{ max}}$ определим по формуле:

$$U_{ТГ} = U_{ТГ\text{ ном}} (n_{дв\text{ ном}} / n_{ТГ\text{ ном}}) = 230 (63 / 100) = 145, \quad (2.28)$$

где $U_{ТГ\text{ ном}}$ – номинальное напряжение тахогенератора, В;
 $n_{дв\text{ ном}}$ – номинальная частота вращения двигателя, об/мин;
 $n_{ТГ\text{ ном}}$ – номинальная частота вращения тахогенератора, об/мин.

Передаточный коэффициент $k_{ТГ}$ рассчитаем по формуле:

$$k_{ТГ} = U_{ТГ\text{ max}} / n_{дв\text{ ном}} = 145 / 63 = 2,3 \text{ В/(об/мин)}. \quad (2.29)$$

3 Автоматическое управление электроприводом

Были выбраны текущие регуляторы тока, скорости и другие технические средства, которые обеспечивают автоматизированную систему управления электроприводом на основе технических решений, принятых на первом этапе [1] и втором [2] этапах проектирования.

Таблица 3.1. Характеристики величин

| Наименование величин. | Обозначение. |
|--|--|
| Подъёмная машина | |
| Суммарный маховый момент | $\Sigma GD^2=9150 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ |
| Нормальное ускорение и замедление | $a_1 = a_3=0,6 \text{ м/с}^2$ |
| Максимальная скорость | $v_{\text{max}}=16 \text{ м/с}$ |
| Диаметр шкива трения | $D_{\text{шт}}=5 \text{ м}$ |
| Двигатель | |
| Номинальный момент | $M_{\text{ном}} = 774 \text{ кНм}$ |
| Номинальная частота вращения | $n_{\text{ном}} = 63 \text{ об/мин}$ |
| Суммарное сопротивление якорной цепи | $R_{\text{я}} = 0,00348 \text{ Ом}$ |
| Суммарная индуктивность якорной цепи | $L_{\text{я}} = 0,08 \text{ мГн}$ |
| Индуктивность сглаживающего дросселя | $L_{\text{р}} = 0,5 \text{ мГн}$ |
| Номинальный ток | $I_{\text{я ном}} = 5740 \text{ А}$ |
| Эффективный ток | $I_{\text{эф}} = 4906 \text{ А}$ |
| Максимальный ток | $I_{\text{я max}} = 7610 \text{ А}$ |
| Номинальное напряжение | $U_{\text{ном}} = 930 \text{ В}$ |
| Номинальная мощность | $P_{\text{ном}} = 5000 \text{ кВт}$ |
| Число полюсов обмотки якоря | $2p = 16$ |
| Число параллельных ветвей обмотки якоря | $2a = 16$ |
| Номинальный магнитный поток | $\Phi_{\text{ном}} = 37,5 \text{ Вб}$ |
| Номинальное напряжение возбуждения | $U_{\text{в.ном}} = 200 \text{ В}$ |
| Номинальный ток возбуждения | $I_{\text{в.ном}} = 145 \text{ А}$ |
| Сопротивление обмотки возбуждения | $r_{\text{в}} = 0,87 \text{ Ом}$ |
| Индуктивность обмотки возбуждения | $L_{\text{в}} = 3,1 \text{ Гн}$ |
| Передаточный коэффициент тахогенератора | $K_{\text{тг}} = 2,3 \text{ В/об/мин}$ |
| Постоянная времени обмотки возбуждения | $T_{\text{в}} = 3,06 \text{ с}$ |
| Номинальный ток шунта | $I_{\text{шт}} = 200 \text{ А}$ |
| Тиристорный преобразователь | |
| Постоянная времени | $T_{\text{м}} = 0,02 \text{ с}$ |
| Максимальное выпрямленное напряжение | $U_{\text{d max}} = 660 \text{ В}$ |
| Коэффициент передачи | $K_{\text{тп}} = 82,5$ |
| Тиристорный возбудитель | |
| Постоянная времени | $T_{\text{вм}} = 0,02 \text{ с}$ |
| Максимальное выпрямленное напряжение | $U_{\text{d max}} = 1050 \text{ В}$ |
| Коэффициент передачи | $K_{\text{тв}} = 131,25$ |
| Коэффициент форсировки | $K_{\text{ф}} = 3,06$ |
| Система электропривода | |
| Коэффициент пропорциональности между эдс и скоростью | $K_{\text{в}} = 55 \text{ В/(м/с)}$ |

| | |
|--|---------------------------------------|
| Коэффициент пропорциональности между усилием и током якоря | $K_F = 52 \text{ Н/А}$ |
| Суммарная приведенная масса | $m_{\Pi} = 188 \cdot 10^3 \text{ кг}$ |

3.1 Расчет системы подчиненного регулирования координат электропривода

Произведем расчет параметров САУ на основе элементов УБСР-АИ, которые входят в состав комплектного электропривода КТЭУ.

Система основана на принципе подчиненного управления с зависимым регулированием тока возбуждения от тока якорной цепи при текущих значениях менее $0,5I_{\text{дв ном}}$.

Расчет конкретных параметров ААС осуществляется на структурной схеме соответствующей математическим характеристикам электромеханических процессов в абсолютных установках. [3]

При расчете мы принимаем такие допущения как: рак – щука
 – механическая система представлена как одна массовая система;
 – эффект демпфирования волновых токов на ламинированном слое двигателя не учитывается.

3.2 Расчет контура регулирования тока возбуждения

На рисунке 3.1. представлены структурная и функциональная схемы контура регулирования тока возбуждения.

Произведем расчет постоянной времени фильтра $T_{\text{фв}}$ по следующей формуле:

$$T_{\text{фв}} = \frac{\sqrt{\kappa^2 - 1}}{2\pi mf} = \frac{\sqrt{5^2 - 1}}{2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 50} = 0,0025 \text{ с}, \quad (3.1)$$

где $\kappa=5 \div 6$ – коэффициент, учитывающий уменьшение уровня пульсаций [3];

$m=6$ – пульсация сигнала за период для мостовой схемы;

$f=50 \text{ Гц}$ – частота питающей сети.

Так, постоянная времени контура тока возбуждения $T'_{\mu\text{в}}$ равна:

$$T'_{\mu\text{в}} = T_{\mu\text{в}} + T_{\text{фв}} = 0,02 + 0,0025 = 0,0225 \text{ с}, \quad (3.2)$$

где $T_{\mu\text{в}}$ – постоянная времени тиристорного возбудителя, с;

$T_{\text{фв}}$ – постоянная времени фильтра, с.

Рассчитаем параметры фильтра ($R_{\text{ф}}, C_{\text{ф}}$) следующим образом:

$$C_{\text{ф}} = T_{\text{фв}} / R_{\text{ф}} = 0,0025 / 100 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}, \quad (3.3)$$

где $R_{\phi}=10\div 100$ Ом – сопротивление фильтра;
 C_{ϕ} – емкость фильтра.

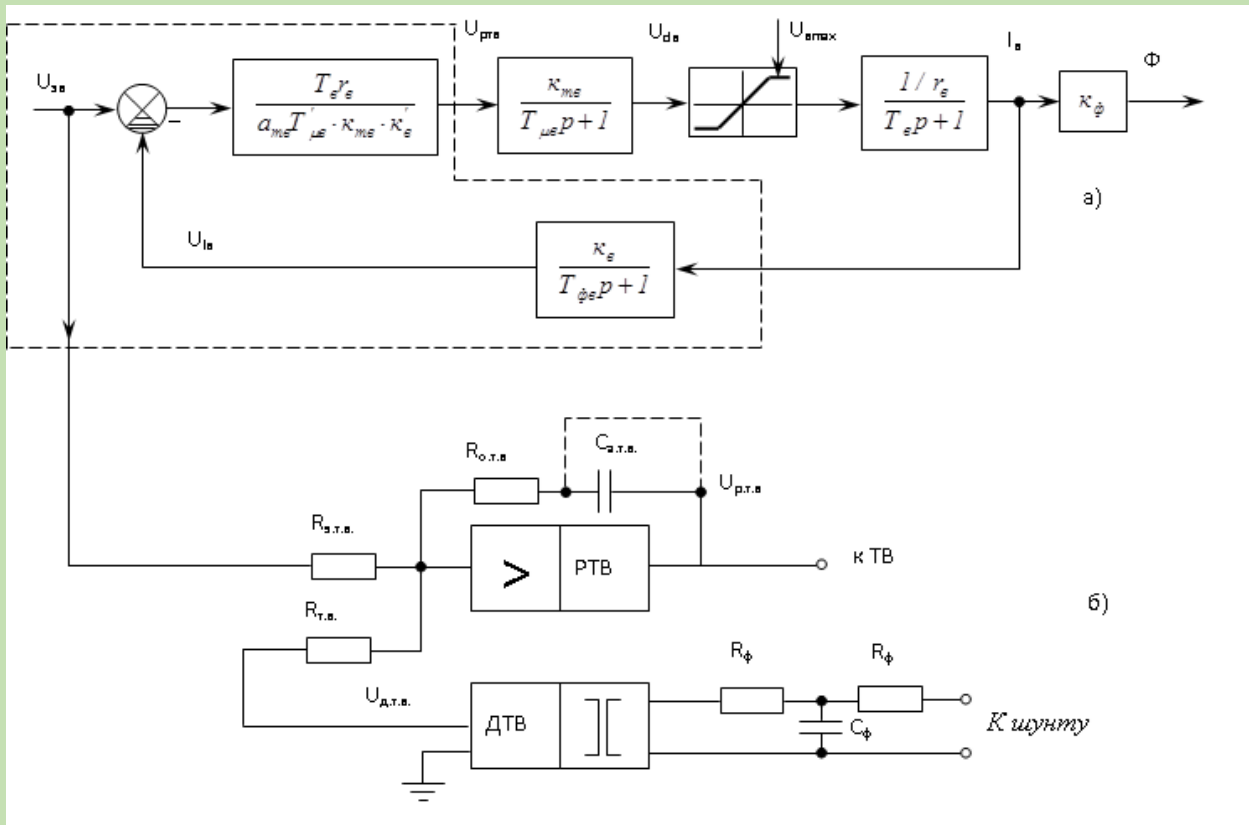


Рисунок 3.1 – Структурная (а) и функциональная (б) схемы контура регулирования тока возбуждения

Теперь рассчитаем передаточный коэффициент цепи обратной связи $K_{\text{в}}$ по следующей формуле:

$$K_{\text{в}} = \frac{R_{\text{зтв}}}{R_{\text{тв}}} \cdot \frac{U_{\text{дтв}}}{I_{\text{вном}}} = 1 \frac{10}{145} = 0,069 \text{ В/А}, \quad (3.4)$$

где $R_{\text{зтв}}$ и $R_{\text{тв}}$ – входные сопротивления регулятора ($R_{\text{зтв}}=R_{\text{тв}}$);
 $U_{\text{дтв}}=10\text{В}$ – напряжение выхода датчика тока при номинальном токе $I_{\text{вном}}$.

Статическая ошибка $\Delta I_{\text{в}}$ для пропорционального регулятора определяется по следующей формуле:

$$\Delta I_{\text{в}} = I_{\text{в.ном}} \left(1 - \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{в}} + a_{\text{тв}} T'_{\mu\text{в}}} \right) = 145 \left(1 - \frac{3,06}{3,06 + 2 \cdot 0,0225} \right) = 2,1\text{А} < 0,05 \cdot 145 = 7,25\text{А},$$

где $I_{в\ ном}$ – номинальный ток возбуждения, А;
 $T_{в}$ – постоянная времени обмотки возбуждения, с;
 $a_{тв}=2$ – коэффициент настройки контура, принимаемый по условию модульного оптимума [3];
 $T'_{\muв}$ – постоянная времени контура тока возбуждения, с.

При таких показателях необходимо реализовать условие $U_{дв}=U_{дтв}$ и произвести выбор значения входных сопротивлений регулятора тока возбуждения по формуле:

$$R_{зтв}=R_{тв}=10\text{ кОм}$$

Отсюда определим требуемый коэффициент датчика тока $K_{дтв}$ по следующей формуле:

$$K_{дтв} = \frac{I_{ш\ ном}}{I_{в\ ном}} \cdot \frac{K_{в}}{K_{шв}} = \frac{200}{145} \cdot \frac{0,069}{0,075/200} = 254, \quad (3.6)$$

где $I_{ш\ ном}$ – номинальный ток шунта, А;
 $I_{в\ ном}$ – номинальный ток возбуждения, А;
 $K_{в}$ – передаточный коэффициент цепи обратной связи;
 $K_{шв}=U_{ш\ ном}/I_{ш\ ном}$ – коэффициент шунта.

Мы используем тип ячейки датчика тока ДТ-3АИ(УБСР-АИ), коэффициент передачи которого настроен на параметры $53,3 \square 133,3$. Чтобы уменьшить требуемый коэффициент датчика тока, используются два шунта типа 75ШСМ 200А, параллельных друг другу[3].

Сопротивление обратной связи регулятора тока возбуждения $R_{отв}$ вычислим по следующей формуле:

$$R_{отв} = R_{этв} \frac{T_{гв} r_{в}}{a_{тв} T'_{\muв} K_{тв} K_{в}} = 10 \cdot 10^3 \frac{3,06 \cdot 0,87}{2 \cdot 0,0225 \cdot 131,25 \cdot 0,069} = 65\text{ кОм},$$

где $R_{зтв}$ – входное сопротивление регулятора тока возбуждения, Ом;
 $T_{в}$ – постоянная времени обмотки возбуждения, с;
 $r_{в}$ – сопротивление обмотки возбуждения, Ом;
 $a_{тв}$ – коэффициент настройки контура на модульный оптимум;
 $T'_{\muв}$ – постоянная времени контура тока возбуждения, с;
 $K_{тв}$ – передаточный коэффициент тиристорного возбудителя;
 $K_{в}$ – передаточный коэффициент обратной связи.

В результате необходимо рассчитать установившиеся уровни выходного напряжения регулятора тока возбуждения для номинального и форсированного режимов $U_{ртв ном}$ $U_{ртв ф}$ таким способом:

$$U_{ртв.ном} = \frac{U_{в.ном}}{K_{тв}} = \frac{145}{131,25} = 1,1 \text{ В};$$

$$U_{ртвф} = \frac{U_{вном} K_{ф}}{K_{тв}} = \frac{145 \cdot 3,06}{131,25} = 3,4 \text{ В} < 15 \text{ В}. \quad (3.8)$$

где $U_{в ном}$ – номинальное напряжение обмотки возбуждения, В;
 $K_{тв}$ – передаточный коэффициент обмотки возбуждения;
 $K_{ф}$ – коэффициент форсировки.

Таким образом, исходя из результатов расчета выбираем ячейку датчика тока ДТ-3АИ (УБСР-АИ).

3.3 Расчет контура регулирования тока якорной цепи

Рассчитаем постоянную времени фильтра $T_{фт}$ на входе датчика тока по следующей формуле:

$$T_{фт} = \frac{\sqrt{k^2 - 1}}{2\pi m f} = \frac{\sqrt{5^2 - 1}}{2 \cdot 3,14 \cdot 12 \cdot 50} = 0,00125 \text{ с}, \quad (3.9)$$

где $k=5 \div 6$ – коэффициент, учитывающий уменьшение уровня пульсаций [3]
 $m=12$ – пульсация сигнала за период для двойной трехфазной мостовой схемы;
 $f=50$ Гц – частота питающей сети.

Далее произведем расчет емкости Т-образного фильтра по следующей формуле:

$$C_{ф} = T_{фт} / R_{ф} = 0,00125 / 100 = 12,5 \text{ мкФ}, \quad (3.10)$$

где $R_{ф}$ – сопротивление, принимаемое в пределах $10 \div 100$ Ом.

На рисунке 3.2. представлены структурная и функциональная схемы контура регулирования тока якорной цепи:

Теперь произведем расчет эквивалентной не компенсируемой постоянной времени контура тока по следующей формуле:

$$T'_{\muт} = T_{\muт} + T_{фт} = 0,02 + 0,00125 = 0,02125 \text{ с}, \quad (3.11)$$

где $T_{\mu T}=0,02\text{с}$ – постоянная времени тиристорного преобразователя.

Из всех расчетов очевидно, сто необходимо принять согласованное управление током якоря I_a и током возбуждения I_b в функции напряжения на выходе регулятора скорости U_{pc} .

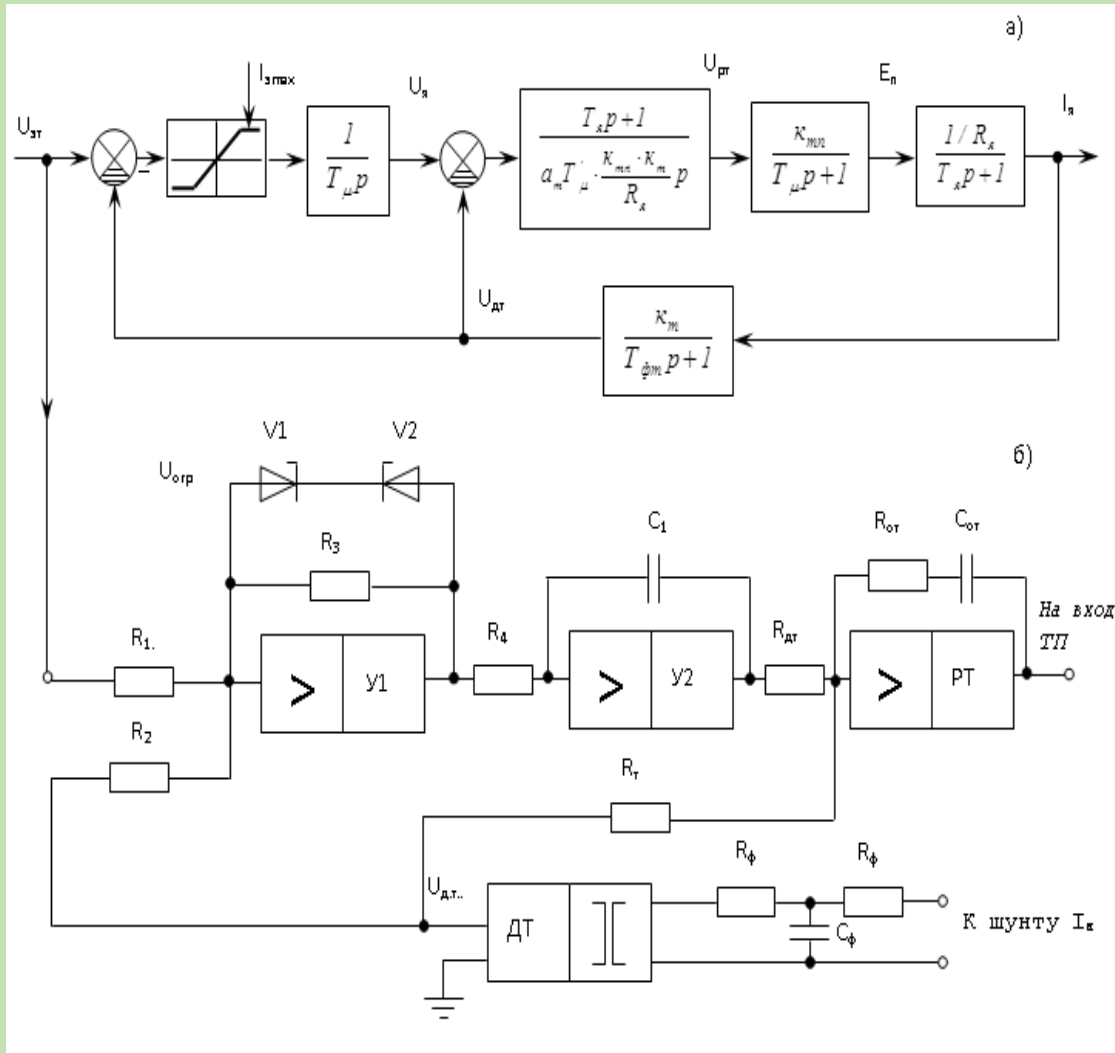


Рисунок 3.2 – Структурная и функциональная схемы контура регулирования тока якорной цепи.

Здесь необходимо применить условие начала реверсирования $I_b/I_a=0,5I_a$, а именно уровень тока якоря, с которого происходит изменение тока возбуждения, составляет:

$$i_{я \text{ рев}}=0,5.$$

Расчет допустимых значений скорости изменения тока якоря производится по следующей формуле:

$$\frac{di_{\text{Я}}}{dt} = \frac{K_n i_{\text{ярев}}}{T_{\text{в}} \ln \left(\frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} \right)} = \frac{2 \cdot 0,5}{3,06 \ln \left(\frac{3,06 + 1}{3,06 - 1} \right)} = 0,48 \text{ с}^{-1}, \text{ или } \frac{dI_{\text{Я}}}{dt} = 0,48 \cdot 5740 = 2764 \text{ А/с},$$
(3.12)

где $K_n=2$ – коэффициент, учитывающий перегрузку по току якоря [3];

$T_{\text{в}}$ – постоянная времени обмотки возбуждения двигателя, с;

K_{ϕ} – коэффициент форсировки;

$i_{\text{я рев}}$ – относительное значение тока якоря, при котором начинается изменение тока возбуждения (реверс).

Теперь определим максимальное значение параметра настройки регулятора тока a_t из такого условия:

$$a_m \leq \frac{i_{\text{я}}}{5T'_{\mu m} \frac{di_{\text{я}}}{dt}} = \frac{1}{5 \cdot 0,02125 \cdot 0,48} = 19,6.$$
(3.13)

Согласно расчетам, параметр настройки регулятора тока необходимо принять по условию модульного оптимума, а именно $a_t=2$.

Необходимо рассчитать передаточный коэффициент обратной связи контура тока по следующей формуле:

$$K_m = \frac{R_{\text{зт}}}{R_m} \cdot \frac{U_{\text{дт max}}}{I_{\text{я max}}} = 1 \frac{11,4}{7610} = 0,0015 \text{ В/А},$$
(3.14)

где $R_{\text{зт}}$ и R_m – входные сопротивления регулятора тока, отношение которых принимается равным единице;

$U_{\text{дт max}}$ – не должно превышать 15 В (напряжение питания УБСР-АИ)

Чтобы определить коэффициент шунта необходимы его паспортные данные:

$$K_{\text{ш}} = U_{\text{ш ном}} / I_{\text{ш ном}} = 0,075 / 10000 = 75 \cdot 10^{-6} \text{ В/А},$$
(3.15)

где $U_{\text{ш ном}}=75$ мВ для шунта 75 ШСМ [3];

$I_{\text{ш ном}}$ – номинальный ток шунта.

Теперь определим коэффициент датчика тока по формуле:

$$K_{\partial m} = \frac{I_{шном}}{I_{яmax}} \cdot \frac{K_m}{K_{ш}} = \frac{10000 \cdot 15 \cdot 10^{-4}}{7610 \cdot 75 \cdot 10^{-6}} = 26. \quad (3.16)$$

Чтобы вычислить параметры регулятора тока применяем формулу:

$$R_{зм} = R_m = \frac{T_{um}}{C_{от}} = \frac{a_m T'_\mu \frac{K_{mn} K_m}{R_y}}{C_{от}} = \frac{2 \cdot 0,02125 \cdot 131,25 \cdot 0,0015}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01438} = 290 \text{ кОм}; \quad (3.17)$$

$$R_{от} = T_y / C_{от} = 0,08 \cdot 10^{-3} / (2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01438) = 2,78 \text{ кОм},$$

где $T_{ит}$ – постоянная времени интегральной части ПИ-регулятора, с;

$C_{от} = 2 \div 3 \text{ мкФ}$ – емкость обратной связи регулятора тока [3];

$T_y = L_y / R_y$ – постоянная времени якорной цепи, с;

$K_{тп}$, R_y , L_z – заданные величины.

Постоянная времени интегратора:

$$T_{ин} = \frac{i_{яmax}}{\frac{di_y}{dt}} = \frac{1,33}{0,48} = 2,77 \text{ с}, \quad (3.18)$$

где $i_{яmax} = I_{яmax} / I_{яном} = 7610 / 5740 = 1,33$.

Коэффициент усиления нелинейного элемента в линейной зоне:

$$K_{нэ} = \frac{T_{ин}}{a^2 T'_\mu} = \frac{3}{2^2 \cdot 0,02125} = 35,3. \quad (3.19)$$

Сопротивление обратной связи R_3 при $R_1 = 10 \text{ кОм}$:

$$R_3 = R_1 \cdot K_{нэ} = 10 K_{нэ} = 10 \cdot 35,3 = 353 \text{ Ом}. \quad (3.20)$$

Входное сопротивление R_4 для усилителя $У_2$ при $C_1 = 3 \text{ мкФ}$:

$$R_4 = T_{ин} / C_1 = 3 / (3 \cdot 10^{-6}) = 100 \text{ кОм}. \quad (3.21)$$

Напряжение ограничения усилителя $У_1$:

$$U_{озр} = \frac{U_{дтmax} I_{яном}}{I_{яmax}} = \frac{11,4 \cdot 5740}{7610} = 8,6 \text{ В.} \quad (3.22)$$

Входное сопротивление R2 для усилителя У1:

$$R2=R1=10 \text{ кОм.} \quad (3.23)$$

3.4 Расчет контура регулирования скорости

Для определения максимального значения приращения движущегося усилия $\Delta F_{ст max}$ применяем условие:

$$\Delta F_{ст max} \leq 0,1 F_1 = 0,1 \cdot 339400 = 33,94 \text{ кН,} \quad (3.24)$$

где F_1 - движущее усилие, равное статическому в начальный момент времени, Н.

Таким образом, по расчетам необходимо принять максимальное значение движущего усилия, при котором в замкнутой системе регулирования скорость не должна измениться более, чем на 1%:

$$\Delta V_{max} = 0,01 \cdot 16 = 0,16 \text{ м/с.} \quad (3.25)$$

Затем определим абсолютное значение статической ошибки в замкнутой системе управления ΔV_a по следующей формуле:

$$\Delta V_a = \frac{R_{я} a_c T_{\mu c}}{K_K T_M K_{\nu}} \Delta F_{ст max} = \frac{0,01438 \cdot 2 \cdot 0,15}{55 \cdot 52 \cdot 0,95} \cdot 33,94 \cdot 10^3 = 0,054 \text{ м/с,} \quad (3.26)$$

где $a_c=2$ – параметр настройки регулятора скорости [3];

эквивалентная не компенсируемая постоянная времени контура скорости, с:

$$T_{\mu c} = a_c^2 (T_{\mu} + T_{фт}) + T_{фс} = 4(0,02 + 0,0125) + 0,02 = 0,15 \text{ с,}$$

$a_t=2$ – параметр настройки регулятора тока [3];

$T_{\mu}=0,02$ с – постоянная времени тиристорного преобразователя [3];

$T_{фт}$ – постоянная времени фильтра на входе датчика тока, с;

постоянная времени фильтра на входе датчика скорости, с:

$$T_{фс} = \frac{\sqrt{K^2 - 1}}{2\pi f} = \frac{\sqrt{3^2 - 1}}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,7} = 0,02 \text{ с ;}$$

$K=3$ – кратность уменьшения пульсации напряжения тахогенератора [3];
частота полюсных пульсаций тахогенератора, Гц:

$$f = \frac{2pn_{\text{тгном}}}{60} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 100}{60} = 6,7 \text{ Гц}$$

K_K, K_V – заданные величины;

T_M – электромеханическая постоянная времени электропривода, с;

m, R_Σ - ранее рассчитанные величины.

Выводим относительное значение статической ошибки при установившемся режиме в замкнутой системе:

$$\Delta V\% = (\Delta V_a / V_{\max}) 100\% = (0,054 / 16) 100 = 0,34 < 1\%. \quad (3.27)$$

При этом время регулирования определяется по формуле:

$$t_{\text{рег}} = 5\delta \frac{V_{\max}}{a_{\max}} = 5 \cdot 0,03 \frac{16}{0,8} = 3 \text{ с}, \quad (3.28)$$

где $\delta=0,03$ – допустимая динамическая ошибка по скорости [3];

V_{\max} – максимальная скорость движения подъемных сосудов, м/с;

a_{\max} - максимальное ускорение в период разгона и замедления, м/с².

Масштаб времени Z определили по формуле:

$$Z = t_{\text{рег}} / t_{\text{нор}} = 3 / 6 = 0,5 \text{ с}, \quad (3.29)$$

где $t_{\text{нор}}=6$ с – нормированное время переходного процесса [3].

Принимаем график переходного процесса для параметров $Z=0,5, \Theta_T=0,15$ [5].

Чтобы определить параметры настройки двукратно-интегрирующего контура скорости необходимо выполнить условие равенства выражений:

$$v_c a_c^2 a_T^2 \Theta_\mu^2 = 2,5Z^2; \quad v_c a_c a_T \Theta_\mu = 2,5Z. \quad (3.30)$$

Отсюда

$$v_c = 2,5; \quad a_c = Z / (a_T \Theta_\mu) = 0,5 / (2 \times 0,15) = 1,7. \quad (3.31)$$

Согласно произведенным расчетам можно принять структурную и функциональную схемы контура регулирования скорости, которая показана на рисунке 3.3).

Высчитываем коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{R_{3c} U_{\partial c}}{R_c V_{\max}} = 1 \text{ В/(м/с)}, \quad (3.32)$$

где $R_{3c}=R_c$;

$U_{\partial c}$ – напряжение, В, снимаемое с датчика скорости при скорости подъема V_{\max} , м/с.

Используем ячейку датчика напряжения ДН-2АИ (УБСР-АИ), и присоединим его вход к выходу тахогенератора с помощью делителя напряжения R_d' и R_d'' . Принять $|U_{\partial c}|=|V_{\max}|$ [3].

Напряжение, снимаемое с тахогенератора, определили по формуле:

$$U_{mг} = U_{mгном} \frac{n_{\partial вном}}{n_{mгном}} = 230 \frac{65}{100} = 149,5 \text{ В}, \quad (3.33)$$

где $U_{mгном}$ – номинальное напряжение тахогенератора, В;

$n_{mгном}$ – номинальная частота вращения тахогенератора, об/мин;

$n_{\partial вном}$ – номинальная частота вращения двигателя, об/мин.

По следующей формуле определим полное сопротивление делителя напряжения:

$$R_d = U_{mг} / I_{mгном} = 149,5 / 0,1 = 1,5 \text{ кОм}, \quad (3.34)$$

где $I_{mгном}$ – номинальный ток тахогенератора, А.

При этом мощность резисторов рассчитывается по формуле:

$$P_d = U_{mг} I_{mгном} = 149,5 \times 0,1 = 14,95 \text{ Вт}. \quad (3.35)$$

$$R_d' = \frac{R_d U_{\partial c}}{U_{mг}} = \frac{1495 \cdot 16}{149,6} = 160 \text{ Ом}. \quad (3.36)$$

Условие согласования:

$$R_d' \leq \frac{R_{вх д}}{10} = 2400 / 10 = 240 \text{ Ом}, \quad (3.37)$$

где $R_{вх д} = 2,4 \text{ кОм}$ - входное сопротивление датчика ДН-2АИ(УБСР-АИ)

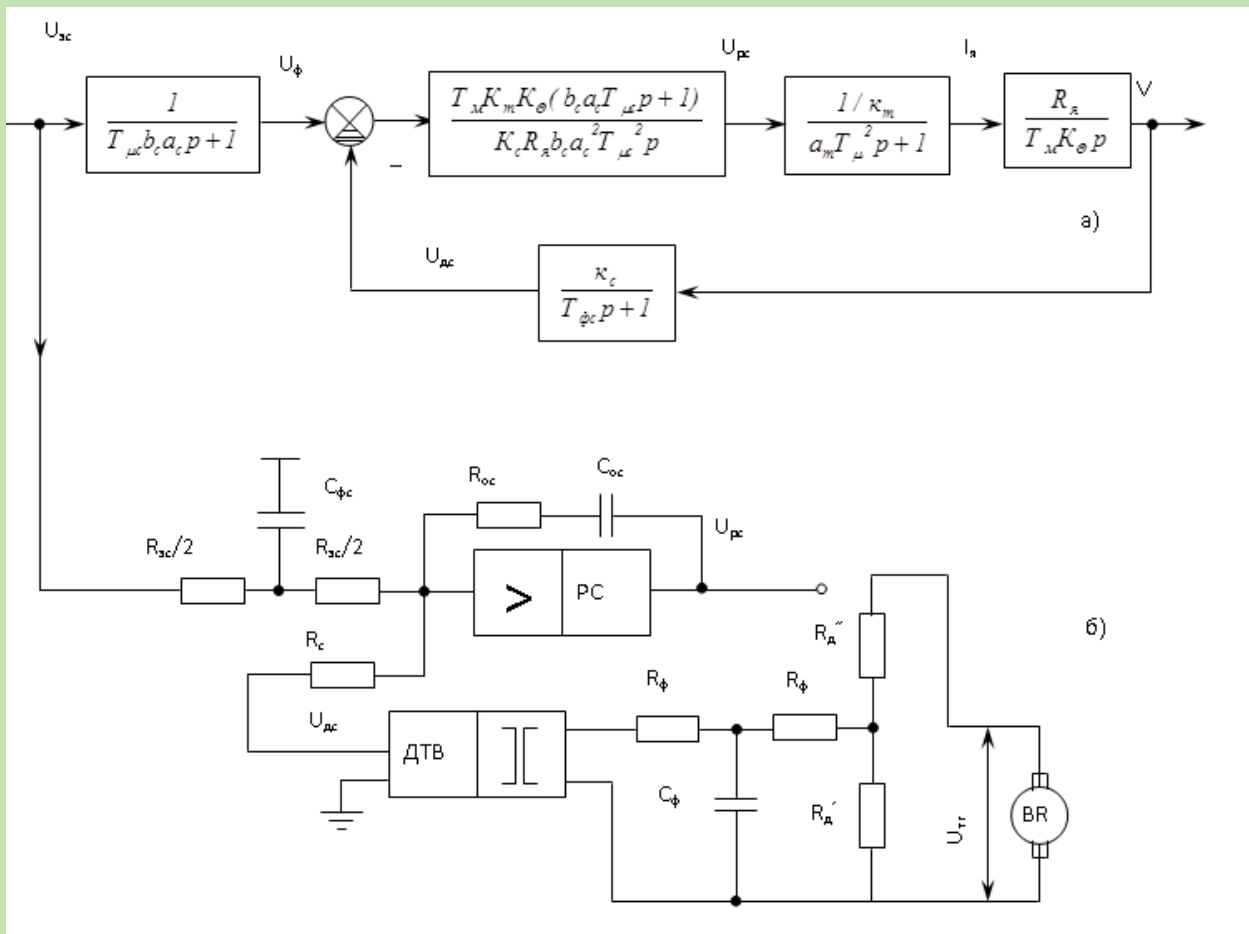


Рисунок 3.3 – Структурную и функциональную схемы контура регулирования скорости

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости имеет вид:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{\mu}(v_c a_c T_{\mu} p + 1)}{\frac{K_c R_{\text{я}}}{K_m K_v} v_c a_c^2 T_{\mu}^2 p} = \frac{T_{\mu}}{\frac{K_c R_{\text{я}}}{K_m K_v} a_c T_{\mu}} + \frac{1}{\frac{K_c R_{\text{я}}}{T_m K_m K_v} v_c a_c^2 T_{\mu}^2 p} = K_{nc} + \frac{1}{T_{\mu} p}, \quad (3.38)$$

Параметры ПИ-регулятора скорости:

$$K_{nc} = \frac{T_{\mu} K_m K_v}{K_c R_{\text{я}} a_c T_{\mu}} = \frac{0,95 \cdot 0,0015 \cdot 55}{1 \cdot 0,01438 \cdot 1,7 \cdot 0,15} = 21,4. \quad (3.39)$$

Условие жесткости подъемных канатов:

так как $K_{nc} \geq 10$ необходимо принять демпфирующий коэффициент

$$a_c = \frac{T_\mu K_m K_v}{K_c K_\alpha T_{\mu c} K_{nc}} = \frac{0,95 \cdot 0,0015 \cdot 55}{1 \cdot 0,01438 \cdot 0,15 \cdot 21,4} = 1,7, \quad (3.40)$$

где $K_{nc}=10$ [3].

Постоянная времени интегральной части ПИ-регулятора скорости:

$$T_{uc} = \frac{K_c R_\alpha}{T_\mu K_m K_v} \nu_c a_c^2 T_{\mu c}^2 = \frac{1 \cdot 0,01438}{0,95 \cdot 0,0015 \cdot 55} \cdot 2,5 \cdot 1,7^2 \cdot 0,15^2 = 0,03 \text{ с.} \quad (3.41)$$

Применим ячейку регулятора скорости РС-1АИ (УБСР-АИ).

Входные сопротивления регулятора скорости ($C_{oc}=2\text{мкФ}$):

$$R_{zc}=R_c=T_{uc}/C_{oc}=0,03/(2 \cdot 10^{-6})=15 \text{ кОм.} \quad (3.42)$$

Сопротивление обратной связи регулятора скорости:

$$R_{oc}=R_{zc}K_{nc}=15000 \cdot 21,4=321 \text{ кОм.} \quad (3.43)$$

Параметры фильтра на входе регулятора скорости:

$$T_\phi'=\nu_c a_c T_{\mu c}=2,5 \cdot 1,7 \cdot 0,15=0,64 \text{ с;} \quad (3.44)$$

$$C_{\phi c}=T_\phi'/(0,5R_{zc})=0,64/(0,5 \cdot 15000)=0,85 \text{ мкФ.} \quad (3.45)$$

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

В данной выпускной работе рассматривается автоматизация электропривода шахтной подъемной установки. Основным устройством для подъема шахты является электропривод. По проекту был предложен частотно-регулируемый автоматизированный электропривод подъемной установки, применение данного электропривода подъемных устройств по схеме ПЧ-АД значительно повышает комфортность при движении кабины лифта, что обеспечивает бесшумность и высокую точность остановки, увеличивает долговечность механического оборудования, а также позволяет снизить расход электроэнергии на 40-60%. Кроме того, из-за значительного уменьшения динамических нагрузок элементов кинематической цепи, он позволяет снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования.

Команда исполнителей по установке и обслуживанию подъемного оборудования состоит из трех человек: старшего бригады и двух инженеров.

Основным оборудованием шахтной подъемной системы является кабина, лебедка подъема, канаты, противовесы, двигатель, электромеханические тормозные устройства и устройства управления.

Лифтовая установка состоит из машинного помещения. Машинное же помещение состоит из: лебедки, которая передает усилие от двигателя к кабине лифта. Электрический блок подъемного устройства питается от входного источника питания. Под машинным помещением находится полуэтаж, т.е. блочное помещение. Блочное помещение имеется не на всех подъемных системах, но в основном все современные высокоскоростные подъемные установки и установки с большей подъемной высотой имеют блочное помещение, которое необходимо для размещения блоков (отводных шкивов), а также в некоторых вариантах на полуэтаже расположены ограничители скорости. При использовании подъемного устройства кабина в шахте перемещается. Шахта имеет следующее оборудование: установленные кронштейны, закрепляющие направляющие. Направляющие предназначены для движения кабины, которое будет зафиксировано. Для того чтобы вес кабины, а также части полезной нагрузки были уравновешены используется противовес. Кабины предназначены для перемещения груза на шахте.

К одному из наиболее ответственных узлов подъемной установки относится канат (трос). В зависимости от назначения подъемной установки устанавливаются подъемные канаты (от одного до девяти штук) на которых подвешивают кабину и противовес. Имеется канат ограничителя скорости, служит для приведения в действие клиновых ловителей при срабатывании

ограничителя скорости. Контроль за натяжением канатов осуществляется с помощью электрической блокировки.

К монтажу подъемной установки допускаются рабочие не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, а также обучение и инструктаж по безопасным методам труда в соответствии с СТ РК 12.0.004-2010 «Система стандартов безопасности труда». Каждый вновь принятый рабочий должен пройти вводный инструктаж, а при направлении на объект производства работ — инструктаж на рабочем месте.

При монтаже подъемной установки на рабочем месте должны находиться не менее двух монтажников на строительной площадке.

Все работающие и находящиеся должны носить защитные каски.

До начала монтажа руководитель работ обязан проверить наличие и состояние лесов, подмостей и ограждений, наличие у рабочих средств защиты, исправного инструмента и необходимой оснастки, наличие предупредительных табличек и плакатов, надежность звуковой, световой или радиотелефонной связи.

При работе на территории действующих предприятий руководитель монтажных работ совместно с администрацией предприятия и генеральным подрядчиком обязан разработать план мероприятий, обеспечивающих безопасное производство работ, и оформить акт-допуск по форме, указанной в СН РК 1.03-05-2011 «Охрана труда и техника безопасности в строительстве».

При наличии работ с повышенной опасностью руководитель монтажных работ оформляет и выдает бригаде наряд-допуск на производство работ. Перечень работ, на которые необходимо выдавать наряд-допуск, должен быть утвержден главным инженером монтажной организации.

4.2 Расчет канатов шахтной подъемной установки

При эксплуатации безопасность шахтной подъемной установки зависит от оптимальных параметров длины струны подъемного каната и под каким углом наклона она расположена. Установка лифта может быть необычной при переполнении кокосовой стойки, подъемного троса или ролика намотки по намоточным канатам. В случае, если эти параметры будут нарушены, то может произойти аварийная ситуация – а именно, произойдет соскакивания подъемного каната из желоба копрового шкива или произойдет неупорядоченная навивка подъемного каната на барабан подъемной машины. Это может привести к значительным экономическим потерям в связи с остановкой подъемной установки, что приведет к большим затратам по ликвидации произошедшей аварии, а также вызовет человеческие жертвы.

В процессе эксплуатации струна каната шахтной подъемной установки будут иметь продольно-поперечные колебания, возникающие в результате

изменения силы подъемных канатов на валу. Было определено, что величина амплитуд колебаний точек струны каната зависит от ее параметров – длина и угол наклона ее к горизонту.

На сегодняшний день эти величины регулируются Правилами технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. Суть данных требований состоит в том, что угол наклона струны каната к горизонту для подъемных установок вертикальных стволов должен составлять не менее 30° с длиной более 45 м; длина струны каната не должна превышать 65 м без поддержки роликов; угол наклона струны каната к горизонту от 45 до 75 м, что позволяет увеличить длину каната. Однако эти требования не для всех подъемных установок.

Например, очень много подъемных установок с длиной струны каната 80-90 м, а поддерживающие ролики отсутствуют; с наличием поддерживающих роликов это значение достигает 125-130 м. Это подтверждает актуальность решения проблемы оптимизации всех параметров струны каната, в соответствии с которой обеспечивается безопасная эксплуатация системы подъема шахты

Для расчета безопасной длины струны каната, сначала рассчитаем и выберем подъемный сосуд. Необходимо произвести расчет часовой производительности подъемной установки:

$$A_u = \frac{c \cdot A_p^e}{N \cdot t}, \text{ т/ч}, \quad (4.1)$$

где c – коэффициент резерва производительности (1,15-1,5);

A_p^e - годовая производительность рудника, млн. т/год;

N - число рабочих дней в году;

t - продолжительность работы подъемной установки в сутки (20 часов);

$$A_u = \frac{1,5 \cdot 1,9}{340 \cdot 20} = 419 \text{ т/ч}.$$

Самая выгодная грузоподъемность скиповой подъемной установки:

$$Q = \frac{4\sqrt{H} + \Theta}{3600} \cdot A_u, \text{ т}, \quad (4.2)$$

где H - высота подъема, м;

Θ - продолжительность паузы между подъемами (10-25 с);

$$H = h_{зб} + H_p + h_{нб}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

где $h_{зб}$ - высота загружаемого бункера (18-20 м);

H_p - глубина рудника, м;

$h_{нб}$ - высота приемного бункера (18-24 м),

$$H = 20 + 390 + 20 = 430,$$

$$Q = \frac{4\sqrt{430} + 10}{3600} \cdot 460 = 8 \text{ т.}$$

В результате получено значение, по которому можно рассмотреть ближайший по грузоподъемности сосуд на 10 т., данные которого приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Техническая характеристика опрокидного скипа 1СО 6-1

| | |
|--|------|
| Полезный объем, м ³ | 6 |
| полезный груз, т | 15 |
| Размеры кузова, мм: | |
| ширина передней стенки | 1500 |
| глубина | 1640 |
| высота | 3200 |
| высота скипа с прицепным устройством, мм | 8830 |
| жесткая база, мм | 3070 |
| мертвый вес скипа, кг | 7200 |

После выбора сосуда можно произвести расчет и выбор подъемного каната. Разрывное усилие всех проволок каната рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{з.разр} = n \cdot Q_0, \text{ кг}, \quad (4.4)$$

где n - кратность расчетного разрывного усилия к концевому грузу без учета собственного веса каната ($n=8,5$ – для грузового подъема по ЕПБ ЭГР);

Q_0 - собственный вес груза, кг;

$$Q_0 = Q + Q_M, \text{ кг}, \quad (4.5)$$

где Q - полезный вес груза в подъемном сосуде, кг;

Q_M - мертвый вес скипа, кг;

$$Q_0 = 15000 + 7200 = 22200 \text{ кг},$$

$$Q_{z.разр} = 8,5 \cdot 22200 = 188700 \text{ кг}.$$

Согласно значению $Q_{z.разр}$ по техническим характеристикам подходит канат ЛК-Р в соответствии с ГОСТ 3088-80, данные которого указаны в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Техническая характеристика каната 52-Г-1-Ж-0-МК-Н-1960 ГОСТ 3088-80

| | |
|--|--------|
| Диаметр каната, мм | 52 |
| Ориентировочная масса 1000 м смазанного каната, кг | 11560 |
| Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ² | 196 |
| Разрывное усилие, кг | 191131 |

Выбранный канат проверяем на фактический запас прочности по формуле:

$$m_{\phi} = \frac{Q_{z.разр}}{Q_0 + p_k \cdot H_0} \geq m_{ЕПБ}, \quad (4.6)$$

где p_k - вес погонного метра каната, кг/м;

$m = 6$ – запас прочности каната по ЕПБ;

H_0 - длина отвеса каната, м;

$$H_0 = h_{зб} + H_p + h_k, \text{ м}, \quad (4.7)$$

где h_k - высота копра, м

$$h_k = h_{нб} + h_{np} + h_{nc} + h_{nep} + 0,75 \cdot R_{ш}, \text{ м}, \quad (4.8)$$

где $h_{нб}$ - высота приемного бункера, м;

h_{np} - превышение скипа над бункером (0,3 м);

h_{nc} - высота подъемного сосуда, м;

h_{nep} - высота переподъема (3 м);

$R_{ш}$ - радиус копрового шкива ($R_{ш} = 2,475$ м);

$$h_k = 30 + 0,3 + 3,2 + 3 + 0,75 \cdot 2,475 = 38 \text{ м},$$

$$H_0 = 20 + 545 + 38 = 603 \text{ м},$$

$$m_{\phi} = \frac{188700}{22200 + 11,56 \cdot 603} = 6,5,$$

$$6,5 > 6.$$

Необходимо рассчитать и выбрать орган навивки.

Диаметр барабана (м)

$$D_{\phi} = 80 \cdot d_{\kappa}, \text{ м}, \quad (4.9)$$

где d_{κ} - диаметр каната,

$$D_{\phi} = 80 \cdot 0,052 = 4,48 \text{ м}.$$

Ширина барабана для 2-х барабанной машины:

$$B = \left(\frac{H + l_{рез}}{\pi \cdot D_{\phi}} + z_{тр} \right) \cdot (d_{\kappa} + E_e), \text{ м}, \quad (4.10)$$

где H - высота подъема, м;

$l_{рез}$ - резервная длина каната (30-40 м);

$z_{тр}$ - витки трения (3);

E_e - зазор между витками каната (2-3);

$$B = \left(\frac{585 + 30}{3,14 \cdot 5} + 3 \right) \cdot (0,052 + 0,002) = 2,28 \text{ м}.$$

По полученным значениям диаметра и ширины барабана, диаметру каната и максимальной высоте подъема, подходит подъемная машина 2Ц-5×2,3, технические характеристики которой указаны в таблице 4.3.

Теперь произведем проверку выбранной подъемной машины по допустимым статическим нагрузкам:

Статическое напряжение одной ветви каната определим по формуле:

$$F_{ст. \max} = Q + Q_m + p_{\kappa} \cdot H \leq F'_{ст. \max}, \quad (4.11)$$

$$F_{ст. \max} = 15000 + 7200 + 11,56 \cdot 585 = 27963, \quad 27963 < 28000.$$

Таблица 4.3 - Техническая характеристика подъемной машины 2Ц-5×2,3

| | |
|--|---------|
| Диаметр барабана, мм | 5000 |
| Ширина барабана, мм | 2300 |
| Максимальное статическое натяжение $F_{ст. макс}$, кг | 28000 |
| Разность статических натяжений канатов, кг | 21000 |
| Передаточное отношение редуктора | 11,5 |
| Маховой момент GD^2 , кг м ² | 1000000 |
| Вес машины без редуктора и электрооборудования, кг | 137000 |

Схема расположения подъемной установки относительно ствола рудника можно охарактеризовать следующими основными размерами:

h_k - высота копра, м;

e - расстояние от оси каната до оси подъемной машины ($0,9h_k \leq e \leq 2h_k$), м;

$L_{стр}$ - длина струны каната, м;

c - превышение оси машины над устьем ствола (0,8-1 м);

β - угол наклона струны каната к горизонту, град;

$l_{ш}$ - расстояние между осями копровых шкивов, м;

$\lambda_n, \lambda_{вн}$ - углы каната (наружный и внутренний), град;

a - расстояние между барабанами (0,11 м).

$25,2 \leq 39,475 \leq 56$.

Рассчитаем длину струны каната по следующей формуле:

$$L_{стр} = \sqrt{(e - R_{ш})^2 + (h_k - c)^2}, \text{ м}; \quad (4.12)$$

$$L_{стр} = \sqrt{(39,475 - 2,475)^2 + (38 - 1)^2} = 52,3 \text{ м}.$$

Угол наклона струны каната к горизонту рассчитаем по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_k - c}{e - R_{ш}}, \quad (4.13)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{38 - 1}{39,475 - 2,475} = 1, \beta = 45^\circ.$$

Теперь рассчитаем расстояние между осями копровых шкивов:

$$l_{ш} = e_{nc} + l_{зав}, \text{ м}, \quad (4.14)$$

где $l_{заз}$ - расстояние зазора между подъемными сосудами (0,2 м);

b_{nc} - ширина подъемного сосуда, м;

$$l_{ш} = 1,5 + 0,2 = 1,7 \text{ м.}$$

Углы девиации каната рассчитаем по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{2 \cdot B + a - l_{ш}}{2 \cdot L_{стр}}; \quad (4.15)$$

где B - ширина барабана подъемной машины, м;

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{l_{ш} - a}{2 \cdot L_{стр}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{2 \cdot 2,3 + 0,11 - 1,7}{2 \cdot 52,3} = 0,0287, \quad \alpha_n = 1,65^{\circ};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{1,7 - 0,11}{2 \cdot 52,3} = 0,0152, \quad \alpha_n = 0,87^{\circ}.$$

Расчеты показывают, что для типов подъемных установок, участвующих в исследовании, допустимая длина струны каната возрастает с увеличением угла наклона к горизонту.

Таким образом, для каждой единицы подъемной установки параметры безопасности струны каната имеют реалистичное значение, и для их идентификации необходим дифференцированный подход.

4.3 Меры безопасности при обслуживании электрооборудования подъемной установки.

При ремонтных работах, эксплуатации подъемных установок необходимо соблюдать правила эксплуатации и безопасной эксплуатации подъемного оборудования, а также электроустановок промышленных предприятий, руководствуясь Правилами эксплуатации и безопасного обслуживания электроустановок промышленных предприятий.

Поставщики услуг в области электрооборудования должны быть обучены безопасным методам работы и проверять знания квалификационной комиссией, с отнесением их к определенной группе по технике безопасности. Персонал по

ремонтным и наладочным работам должен иметь разрешение (удостоверение), которое выдается для выполнения данных работ.

При проверке и настройке электрооборудования подъемной установки персонал должен использовать индивидуальные средства защиты (диэлектрические перчатки, галоши, изолирующие подставки и резиновые коврики). Все инструменты должны быть оснащены изолированными ручками.

Запрещается выполнять любую операцию, касающуюся касания вращающихся частей при использовании подъемного устройства.

Особое внимание следует уделять условиям работы всех изолированных и защитных устройств, которые предохраняют случайного прикосновения к находящимся под напряжением частями высокого и низкого напряжения во время проверки электрооборудования.

Для обеспечения безопасности электрооборудования подъемной установки с напряжением выше 1000 В работа выполняется в следующем порядке:

- выключатели масляного и вводный должны быть отключены;
- плакат «Не включайте – люди работают» должен висеть на всех переключателях управления и приводах масляных выключателей и разъединителей, которые могут использоваться на рабочем месте;
- необходимо проверить, нет ли напряжения в индикаторе высокого напряжения и имеется ли там указатель. Перед проверкой напряжения необходимо проверить индикатор исправности указателя, который находится под напряжением. Проверка отсутствия напряжения требуется на всех клеммах отключенного устройства и переключателей, а у выключателей как правило на шести выводах;
- необходимо наложить заземление на отключенные токоведущие части со всех сторон, откуда может быть подано напряжение. На месте работ после наложения заземления вывешивают плакат или табличку «Работать здесь»

На панелях или вблизи места размещения релейной аппаратуры производить работы, которые вызывают сильное сотрясение аппаратуры и могут вызвать ложные действия схемы управления подъемной установкой, запрещается.

Если необходимо разорвать токовая измерительных приборов и реле, тогда цепь вторичной обмотки трансформатора тока должна быть замкнута накоротко.

При выполнении работ с цепями низкого напряжения, связанных с настройкой аппаратуры, необходимо соблюдать все исполнительные схемы, которые заранее предоставляются. Запрещается работать по памяти.

При работе на трансформаторах напряжения с внешним напряжением предохранители должны быть сняты с высокой и низкой сторон, а выключатель должен быть отсоединен от вторичной обмотки. Установка должна выполняться после опломбировки реле и вспомогательного оборудования, за исключением

тех, которые не меняются в зависимости от условий работы подъемной установки.

После завершения работ, нужно осмотреть оборудование, проверить на отсутствие посторонних инструментов, объектов и предметов и чистоту рабочего места, где выполнялись данные работы. Вы можете использовать оборудование только после того как будут сняты переносные заземлений, будут удалены временные ограждения и предостерегающие плакаты.

Сопrotивление изоляции измеряется только тогда, когда испытательный блок электроустановки полностью отключен. Перед началом измерения запрещается присутствие лиц, выполняющих работы в части электроустановки, которая присоединяется к мегомметру, и запрещается прикасаться к токоведущим частям во избежание несчастных случаев.

Мегомметр должен быть отсоединен от любых случайно отключенных проводов, даже на концах устройства с напряжением прибора.

Кабели должны быть разряжены до их проверки, например, подключите один конец гибкого провода к земле и подключите другой конец ко всем фазам кабеля. Разрядка кабель должна быть выполнена в диэлектрических перчатках и галошах.

4.4 Основные мероприятия по безопасности труда.

В соответствии с Едиными правилами безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом работы начинаются только после начала подготовительных работ, которые необходимы для выполнения очистных работ, осуществления мер по проветриванию и борьбе с пылью и других мероприятий.

Запрещается во время работы над блоками, расположенными одна над другой в двух соседних этажах, чтобы войти в камеру обработки. Если были замечены признаки самообрушения, то все работы в очистном забое приостанавливаются, а люди выводятся в безопасное место, при этом выработанные камеры остаются без закладки или же с незаконченной закладкой. Закладки должны быть сделаны так, чтобы не было зависания и незаложенных пустот.

Перед заполнением камер твердеющей закладкой во всех выпускных дучках (заездах) должны быть установлены надежные перемычки. Очистные работы в соседних камерах с закладкой могут начаться только после того, как будет установлена набор закладкой нормативной прочности.

При отработке участков рудных тел с высоким содержанием серы необходимо осуществлять газо-температурный контроль при выпуске руды, в забое и на исходящей струе воздуха из блока, соблюдать строгую очередность проектной отработки слоевых заходов, подэтажей и камер и полноту закладки.

После завершения работ по закладке, или же окончания затвердевания закладки либо получения результатов контрольного бурения составляется акт искусственной кровли, который утверждается главным инженером рудника.

Основными мерами по борьбе с вибрацией являются:

- режимы работы подземных работ с рабочими сменами не более шести часов;
- организация труда, при которой рабочий в течение смены выполняет различные виды работ, в том числе не связанные с вибрацией;
- использование виброзащитных кареток тросового типа, виброзащитного устройства при бурении телескопными перфораторами ПТ-36;
- использование средств индивидуальной защиты (антивибрационные рукавицы, специальная обувь с прокладками из пенопласта толщиной 30 мм, которые разработаны институтом охраны труда).

Для снижения вредного влияния шума рекомендуется: установка на выхлопных отверстиях перфораторов глушителей шума, и на вентиляторах местного проветривания ГШ-5 и ГШ-6.

Применение хвостовика буров со втулкой из синтетического материала.

Применение индивидуальных средств защиты органов: слухо-наушников, пластинчатых вкладышей АШ-2 одноразового использования.

Для измерения уровня вибрации и шума рекомендуется аппаратура: глушители шума и вибрации ШИВ-1, прибор НВА-1 для измерения в широкой полосе частот, шумомер малогабаритный ШМ-1.

На месторождениях, отнесенных к угрожаемым по горным ударам, так как на глубине 600 м действуют высокие гравитационные напряжения, а руды и породы характеризуются высокой хрупкостью и коэффициентами крепости. На руднике обязана быть организована служба прогноза горных ударов.

Способность сжимать потенциальную энергию путем сжатия ее за счет снижения нагрузки на земную поверхность или путем изменения механических свойств ее компонентов, включая производство горных работ в случае опасных условий ударов, может быть уменьшена.

Основными мероприятиями по приведению участков массива в неудароопасное состояние на локальных участках месторождений являются применение камуфлетного взрывания зарядов ВВ и бурение разгружающих шпуров и скважин диаметром 42÷56 и 105 мм.

Приведение в неудароопасное состояние участков массива и целиков, прилегающих к ранее пройденным выработкам, путем изменения механических свойств пород или снижения нагрузок на их краевую часть выполняется при невозможности разгрузки участка отработкой защитного слоя или создания разгружающей полости по кровле или почве рудного тела.

Основными предпосылками к применению способов снижения степени удароопасности выработок путем изменения механических свойств пород или

снижения нагрузок на краевую часть массива и целиков, прилегающих к ним являются:

- стрельбания пород, сотрясения и толчки в массиве и целиках;
- возникновение процессов интенсивного заколообразования в бортах или кровле выработок;
- отнесение выработок или их участка ко 2 категории удароопасности.

Приведение выработок и целиков в неудароопасное состояние достигается путем создания в краевой части массива или целиках, прилегающих к выработке, так называемой, защитной зоны шириной $L_3 = 0,5 d$, где d – наибольший размер поперечного сечения выработки. Минимальная ширина L_3 должна быть не меньше 2 м. Защитная зона создается путем камуфлетного взрывания зарядов ВВ в шпурах диаметром около 42÷56 мм или бурением строчки разгружающих шпуров без взрывания камуфлетных зарядов.

Жизнедеятельность человека протекает в постоянном контакте с людьми, средой обитания, окружающими предметами. Среда обитания может оказывать благотворное или неблагоприятное влияние на состояние здоровья человека, его самочувствие и работоспособность.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» мы проанализировали условия труда сотрудников, обслуживающих шахтные подъемные установки, дали описание технологическому оборудованию и рассмотрели правила безопасности их использования.

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, и нарушение правил электробезопасности при использовании технологического оборудования, электроустановок и непосредственного соприкосновения с токоведущими частями установок, находящихся под напряжением, создает опасность поражения электрическим током.

Также были изучены технические характеристики канатов, рассчитаны нагрузки на канат применяемого оборудования, проведены расчеты эксплуатационных параметров.

5 Экономика и организация производства

5.1 Определение капитальных вложений или инвестиций.

К капитальным вложениям относятся:

- монтаж зданий и сооружений, монтаж всех видов оборудования, строительномонтажные работы по строительству воздушных и кабельных линий;
- закупка машин и оборудования, инвентаризация и инвентаризация основных фондов;
- сложная и проектная работа.

Для определения капитальных вложений произведем.

Произведем расчет капитальных вложений до автоматизации:

$$K_1 = K_{об} + K_{неучет} + K_{зд} \text{ (до авт)}, \quad (5.1)$$

где K_1 – капитальное вложение до автоматизации;

$K_{об}$ – балансовая стоимость оборудования;

$K_{неучет}$ – балансовая стоимость неучтенного оборудования;

$K_{зд} \text{ (до авт)}$ – стоимость здания до автоматизации.

$$K_1 = 17946200 + 5383860 + 11424000 = 34754060 \text{ тенге}$$

Для расчета капитальных вложений после автоматизации применим следующую формулу:

$$K_2 = K_{об} + K_{неучет} + K_{зд} \text{ (после авт)} + K_{авт}, \quad (5.2)$$

где $K_{зд} \text{ (после авт)}$ – стоимость здания после автоматизации;

$K_{авт}$ – стоимость средств автоматизации.

$$K_2 = 17946200 + 5383860 + 13924000 + 2500000 = 39754060 \text{ тенге}$$

Исходя из этих расчетов можно вывести прирост капитальных вложений, который составит:

$$\Delta K = K_2 - K_1, \quad (5.3)$$

$$K = 39754060 - 34754060 = 5000000 \text{ тенге}$$

Все данные, полученные в ходе расчета внесем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Техничко-экономическая характеристика ОФП

| Наимен. Тип, марка | Кол-во | Балансовая стоимость | | | | | Норм амор % | Год Аморт, тг. |
|----------------------------|--------|-----------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| | | Строит. Раб 20% | Монтаж раб.20% | Оборуд 50% | Прочие 10% | Общ стоим.тг | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Подъемная установка | 1 | 1989200 | 1989200 | 4973000 | 994600 | 9946000 | 8 | 795680 |
| Генератор Н-П172 | 2 | 430040 | 430040 | 1075100 | 215020 | 2150200 | 8 | 172016 |
| Синхронный двигатель СД 3 | 2 | 650000 | 650000 | 1625000 | 325000 | 3250000 | 8 | 260000 |
| Трансформатор ТСЗР-2500 | 1 | 100000 | 100000 | 250000 | 50000 | 500000 | 8 | 40000 |
| КРУ-104 | 1 | 420000 | 420000 | 1050000 | 210000 | 2100000 | 8 | 168000 |
| ИТОГО | | 3589240 | 3589240 | 8973100 | 1794620 | 17946200 | 8 | 1435696 |
| Неучтенное оборудование | | 1076772 | 1076772 | 2691930 | 538386 | 5383860 | 7 | 373870 |
| ВСЕГО | | 4666012 | 4666012 | 11665030 | 2333006 | 23330060 | | 1812566 |
| Средства автоматизации | | 500000 | 500000 | 1250000 | 250000 | 2500000 | 5 | 125000 |
| Здание до автоматизации | | 2284800 | 2284800 | 5712000 | 1142400 | 11424000 | 4 | 456960 |
| Здание после автоматизации | | 2784800 | 2784800 | 6962000 | 1392400 | 13924000 | 4 | 556960 |
| Всего до автоматизации | | 6950812 | 6950812 | 17377030 | 3475406 | 34754060 | 4 | 1390162 |
| Всего после автоматизации | | 7450812 | 7450812 | 18627030 | 3725406 | 39754060 | 4 | 1490162 |

5.2 Режим работы участка подъема.

Режим работы – фиксированная продолжительность производственной деятельности и порядок, который установлен для реализации этой деятельности.

Режим работы включает:

- годовой режим работы – непрерывный;
- количество календарных дней в году – 365;
- количество смен: 3 смены;
- продолжительность рабочего времени – 8 часов;
- продолжительность рабочей недели – 40 часов (в соответствии с Трудовым кодексом РК).

5.3 Планирование эксплуатационных затрат

Первоначальные затраты – это затраты, связанные с поддержанием производства. Стоимость накладных расходов по проекту рассчитаем следующим образом:

1. Рассчитаем затраты на материалы и сырье. Для этого возьмем 8% от стоимости оборудования (табл. 5.1).

– расчет до автоматизации: $34\,754\,060 \cdot 0,08 = 2\,780\,324,8$ тенге

– расчет после автоматизации: $39\,754\,060 \cdot 0,08 = 3\,180\,324,8$ тенге

2. Рассчитаем энергозатраты.

В связи с тем, что проект предусматривает замену системы Г-Д на систему ТП-Д, расчет энергозатрат будет снижен при сравнении потребления электроэнергии в разных системах. Система Г-Д отличается тем, что двигатель генератора продолжает потреблять энергию, даже когда двигатель остановился. А с системой ТП-Д наоборот, при системе ТП-Д тиристорный преобразователь работает на холостом ходу в тот момент, когда двигатель остановился.

Рассчитаем энергозатраты при работе по системе Г-Д:

$$W_a = \Sigma P \times n_{\text{дн}} \times n_{\text{ч}}, \quad (5.4)$$

где $\Sigma P_{\text{Г-Д}} = 2000 + 250 = 2250$ кВт – суммарная мощность потребителей;

2000 – мощность двигателя, кВт;

250 – мощность трансформатора собственных нужд, кВт

$n_{\text{дн}} = 304$ дня – число рабочих дней в году;

$n_{\text{ч}} = 24$ – число часов работы в сутки.

$$W_{\text{Г-Д}} = 2250 \times 304 \times 24 = 16\,416\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

Теперь возьмем в расчет затраты на электроэнергию. При этом по данным предприятия цена за $1\text{кВт}\cdot\text{ч} = 1,6$ тенге:

$$S_{\text{Г-Д}} = W_{\text{Г-Д}} \cdot 1,6 \quad (5.5)$$

$$S_{Г-д} = 16\,416\,000 \cdot 1,6 = 26\,265\,600 \text{ тенге в год.}$$

По системе ТП-Д энергозатраты составят следующие данные:
суммарная мощность потребителей:

$$\Sigma P_{\text{ТП-д}} = 1600 + 250 = 1850 \text{ кВт,}$$

где 1600 – мощность тиристорного преобразователя, кВт;

250 – мощность трансформатора собственных нужд, кВт;

$n_{\text{ч}} = 16$ – число часов работы в сутки (3 и 1 смена);

$$W_{a \text{ ТП-д}} = 1850 \cdot 304 \cdot 16 = 8\,998\,400 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Рассчитаем затраты на электроэнергию:

$$S_{\text{ТП-д}} = 8\,998\,400 \cdot 1,6 = 14\,397\,440 \text{ тенге в год.}$$

Исходя из всех приведенных расчетов произведем сравнение затрат на электроэнергию по этим двум:

$$S_{Г-д} = 26\,265\,600 \text{ тенге в год} > S_{\text{ТП-д}} = 14\,397\,440 \text{ тенге в год}$$

Таким образом, очевидно, что экономия электроэнергии составляет около 12 млн. тенге в год

3. Затраты на основную и дополнительную зарплату ($\text{ФОТ}_{\text{общ}}$) составят 5368951,6 тенге.

4. Необходимо рассчитать отчисления от зарплаты (социальный налог). Социальный налог составляет 20 % от $\text{ФОТ}_{\text{общ}}$. Расчет следующий:

$$5368951,6 \cdot 0,2 = 1073790,32 \text{ тенге}$$

5. Также необходимо рассчитать общие производственные затраты (комплексные):

5.1 амортизация оборудования (табл. 5.1)

– до автоматизации 1 390 162 тенге;

– после автоматизации 1 490 162 тенге.

5.2 текущий ремонт, в данном случае он составляет 8% от величины амортизации:

– до автоматизации $1\,390\,162 \cdot 0,08 = 111\,212,96$ тенге;

– после автоматизации $1\,490\,162 \cdot 0,08 = 119\,212,96$ тенге.

5.3 содержание оборудования, которое составляет 4% от стоимости оборудования (табл. 5.1)

– до автоматизации $34\,754\,060 \cdot 0,04 = 1\,390\,162,4$ тенге;

– после автоматизации $39\,754\,060 \cdot 0,04 = 1\,590\,162,4$ тенге.

5.4 охрана труда, которая составляет 10% от $\Phi OT_{\text{общ}}$.

$$5\,820\,349 \cdot 0,1 = 582\,034,9 \text{ тенге}$$

5.5 прочие расходы, которые составляют 8% от суммы предыдущих затрат (расчеты по пунктам 5.1 – 5.4)

– до автоматизации:

$$\Sigma \text{Затрат}_1 = 1\,390\,162 + 111\,212,96 + 1\,390\,162,4 + 582\,034,9 = 3\,473\,572,26 \text{ тенге}$$

$$3\,473\,572,26 \cdot 0,08 = 277\,885,7 \text{ тенге}$$

– после автоматизации:

$$\Sigma \text{Затрат}_2 = 1\,490\,162 + 119\,212,96 + 1\,590\,162,4 + 582\,034,9 = 3\,727\,572,26 \text{ тенге}$$

$$3\,727\,572,26 \cdot 0,08 = 298\,205,7808 \text{ тенге}$$

Таким образом, итог по общепроизводственным затратам до автоматизации составляет:

$$3\,473\,572,26 + 277\,885,7808 = 3\,751\,458,04 \text{ тенге};$$

Итог по общепроизводственным затратам после автоматизации составляет:

$$3\,727\,572,26 + 298\,205,7808 = 4\,025\,778,04 \text{ тенге}$$

На основании данных расчетов, все накладные расходы вносим в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Накладные расходы

| № | Наименование статей затрат | Показатели, тенге | |
|---|--|---------------------|---------------------|
| | | До автоматизации | После автоматизации |
| 1 | Материальные затраты | 2 780 324,8 | 3 180 324,8 |
| 2 | Энергетические затраты | 26 265 600 | 14 397 440 |
| 3 | Основная и дополнительная заработная плата | 5 368 951,6 | 5 368 951,6 |
| 4 | Отчисления на социальный налог | 1 073 790,32 | 1 073 790,32 |
| 5 | Общепроизводствен-ные затраты | 3 751 458,04 | 3 751 458,04 |
| | ИТОГО ЗАТРАТ: | 29 045 924,8 | 17 577 764,8 |

5.4 Экономическая оценка вариантов проектируемых решений

Поскольку проект предусматривает внедрение средств автоматизации, необходимо учитывать и определять его экономическую эффективность.

Для этого нам необходимо сравнить капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Экономическую эффективность – E можно рассчитать по следующей формуле:

$$E = C1 - C2 / K2 - K1, \quad (5.6)$$

или

$$E = \Delta c / \Delta K, \quad (5.7)$$

где $\Delta K = K2 - K1$

$K1$ – капитальные вложения до автоматизации;

$K2$ – капитальные вложения после автоматизации;

$$\Delta c = C1 - C2;$$

$C1$ – сумма эксплуатационных затрат до автоматизации;

$C2$ – сумма эксплуатационных затрат после автоматизации;

Расчет производят по данной формуле:

$$\Delta K = 39\,754\,060 - 34\,754\,060 = 5\,000\,000 \text{ тенге}$$

$$\Delta c = C1 - C2 = 29\,045\,924,8 - 17\,577\,764,8 = 11\,468\,160 \text{ тенге}$$

Данный расчет получен за счет снижения расхода электроэнергии в результате внедрения автоматизации.

$$E = \Delta c / \Delta K = 5\,000\,000 / 11\,468\,160 = 0,44 > E_n = 0,33$$

Рассчитаем срок окупаемости:

$$T_n = 1 / E_n \quad (5.8)$$

$$T_n = 1 / 0,33 = 3,03 \text{ года}$$

$$T_p = 1 / 0,44 = 2,3 \text{ года.}$$

5.5 Техничко-экономические показатели.

Техничко-экономические показатели включают следующие показатели:

- стоимость капитальных вложений;
- количество сотрудников;
- среднемесячная заработная плата;
- эксплуатационные расходы.

Все эти показатели берем из ранее рассчитанных по данному проекту значений и сносим их в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Техничко-экономические показатели.

| № | Наименование показателей | Единица измерения | Показатели | |
|---|--------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| | | | До автоматизации | После автоматизации |
| 1 | Капитальные вложения | Тенге | 34 754 060 | 39 754 060 |
| 2 | Эксплуатационные затраты | Тенге | 29 045 924,8 | 17 577 764,8 |
| | ИТОГО: | | 63 799 984,8 | 57 331 824,8 |

Таким образом, на основании произведенных расчетов при внедрении системы ТП-Д общая экономия составляет около 6,5 млн. тенге в год.

Заключение

В процессе исследования описывается объект автоматизации – электропривод шахтной подъемной установки. Была выбрана автоматическая система управления подъемным двигателем. Асинхронный двигатель рассматривается как объект автоматического управления. Рассчитываются параметры схемы управления током и скоростью. Разработана структурная схема подъемного устройства. Рассматриваются переходные процессы. Выбраны устройства контроля и защиты подъемного оборудования.

Задача внедрения управляемого торможения и автоматизации шахтной подъемной установки без участия в управлении людьми была решена на основе научной и методологической интеграции задач обеспечения требуемого качества транспортной программы, а также разработки и применения специализированных аппаратных средств.

В соответствии с предлагаемыми критериями целесообразность использования привода постоянного тока теоретически и практически обоснована, а также разработаны требования к выполнению серии низкоскоростных двигателей для шахтной подъемной установки. В настоящее время в приводах постоянного тока используются только низкоскоростные двигатели.

Теоретически и в практике реализации показано, что проблема управления приводом подъемных установок на большой глубине включает в себя решение двух проблем:

- ограничение колебаний каната путем ограничения скорости изменения тока через канал управления;
- одновременное регулирование положения подъемного судна на заданном уровне с помощью электропривода машины и путем корректировки скорости доставки тележки в клеть или груз в скип.

Обратный тиристорный привод был разработан по простой схеме и необратимому преобразователю с координированным управлением токами возбуждения и якорем для обеспечения обратного хода в виде непрерывного изменения знака крутящего момента двигателя во всех режимах работы установок. Привод обеспечивает лучшее качество управления шахтными подъемными установками и по своей структуре может использоваться для управления многими машинами и механизмами при условии, что время для изменения крутящего момента двигателя будет удовлетворено.

Для управления подъемной установкой применяется закрытая подчиненная система управления, которая обеспечивает заданную точность поддержания частоты вращения двигателя. Предлагается сформулировать программу движения пропусков как функцию ее положения в стволе. Это позволяет более точно выдерживать заданную диаграмму скорости подъема сосудов.

В результате проведенных исследований был проведен анализ технологического процесса восстановления как объекта автоматизации, сформулированы цели и задачи исследования. Был сделан критический обзор известных технических решений для автоматизации процесса подъема.

Проведено обоснование и разработка системы автоматизации подъемной установки: разработана структурная схема автоматизации объекта и алгоритм работы каждого блока.

Список применяемых сокращений

А – Ампер

В – Вольт

Вт – Ватт

УВ-Д – управляемый выпрямитель – двигатель

ШПУ – Шахтная подъемная установка

ТП – Тиристорный преобразователь

ВН – Высокое напряжение

СН – Среднее напряжение

НН – Низкое напряжение

К.З. – Короткое замыкание

ГОСТ – Государственная система стандартов

Список использованной литературы

1. Родчинко А.Я., Ивсеев Ю.В. Автоматизированный электропривод многоканатной подъемной установки. Ч.1. Механическая часть электропривода: Учеб.пособие /Норильский индустр. ин-т.– Норильск, 1996. – 44с.
2. Писарев А.И., Родчинко А.Я. Автоматизированный электропривод многоканатной подъемной установки. Ч.2. Система «управляемый выпрямитель – двигатель» с реверсом возбуждения двигателя. Силовые элементы электропривода: Учеб.пособие /Норильский индустр. ин-т.– Норильск, 1996.-48с.
3. Писарев А.И., Родчинко А.Я. Автоматизированный электропривод многоканатной подъемной установки. Ч.3. Система «управляемый выпрямитель – двигатель» с реверсом возбуждения двигателя. Автоматическое управление электроприводом: Учеб.пособие /Норильский индустр. ин-т.– Норильск, 1996.-26с.
4. Комплектные тиристорные электроприводы:Справочник / И.Х.Евзеров, А.С.Городец, Б.И.Мошкович и др.; Под ред. канд. техн.наук В.М.Пирельмутера.- М.:Энергоатомиздат, 1988.-319с.:ил.
5. Котоликов В.Е., Денкель А.Д., Сидунин А.М. Тиристорный электропривод с реверсом возбуждения двигателя рудничного подъема. - М.:Недра, 1990.-382с.:ил.
6. Тиристорный электропривод рудничного подъема / А.Д.Динкель, В.Е.Котоликов, В.И.Питренко, Л.М.Ковалев.-М.:Недра, 1977.-312с.:ил.
7. Александров К.К., Кузьмина Е.Г., Электротехнические чертежи и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.:ил.
8. Котоликов В.Е., Денкель А.Д., Сидунин А.М. Автоматизированный электропривод подъемных установок глубоких шахт. - М.:Недра, 1983.-270с.:ил.
9. Маленовский А.К., Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: Учебник для вузов. - М.: Недра,1988. - 277с.:ил.
10. Хаджикоф Р.Н., Бутаков С.А., Горная механика: Учебник для техникумов.- 6-е изд., переработка и доп.- М.:Недра, 1982.-407с.
11. Технический регламент «Требования безопасности к шахтным подъемным установкам». Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 ноября 2009 года №1940.
12. «Казахстанская правда» от 02.12.2009 г., №282 (26026).
13. «Официальная газета» от 19.12.2009 г., №51 (469).
14. САПП Республика Казахстан, 2009г., №56, ст.479.
15. Сонатова Т. С., Мананбаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Электробезопасность в электроустановках» в выпускных работах для специальности 5В071800 – Электроэнергетика. Бакалавриат – Алматы: АИЭС, 2009.

16. Т.С. Сонатова, С.Е. Мананбаева. Безопасность жизнедеятельности «Расчет зануления» Методические указания к выпускной работе для студентов-бакалавров всех специальностей и всех форм обучения – Алматы: АУЭС, 2011.
17. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции

