

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально – науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Сергій БОЙЧЕНКО

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу
екскаватора типу механічна лопата»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ОА-11

Боряк Роман Юрійович _____

Керівник:

PhD старший викладач Мугенов Д. Д. _____

Консультант з електричної частини:

к.т.н. доцент Мейта О. В. _____

Консультант з охорони праці:

к.т.н. доцент Мітюк Л. О. _____

Рецензент:

Нормоконтролер:

к.т.н. доцент Кулаковський Л. Я. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Сергій БОЙЧЕНКО
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Боряку Роману Юрійовичу

1. Тема проєкту «Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата», керівник проєкту Мугенов Данііл Джалільович, старший викладач, затверджені наказом по університету від «23» 0.5 2025 р. №1698-С

2. Термін подання студентом проєкту 14.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту:

| Технічні показники механізму лопати | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|--------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| Місткість ковша E, м ³ | Категорія породи | Умови роботи | Час циклу, t _ц | Кут нахилу стріли, α _{ст} , град |
| 10 | IV | C | 24 | 46 |

4. Зміст пояснювальної записки:

- Загальна характеристика екскаваторів типу пряма лопата і особливості їх електромеханічного обладнання.

- Розробка системи електропостачання кар'єру

- Моделювання систем електроприводів напору, піднімання та повороту екскаватора типу механічна лопата в середовищі Matlab Simulink.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 2 |

- Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

1 аркуш – Схема компоновки електромеханічного обладнання екскаватора.

2 аркуш – Схема електропостачання кар'єру.

3 аркуш – Системи електроприводів механізмів екскаватора.

4 аркуш – Перехідні процеси у системах електроприводів екскаватора.

6. Консультанти розділів проєкту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 2 Електропостачання | к.т.н. доцент, Мейта О. В. | | |
| 4 Охорона праці | к.т.н. доцент, Мітюк Л. О. | | |

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проєкту | Термін виконання етапів проєкту | Примітка |
|-------|-------------------------------------------|---------------------------------|----------|
| | Розділ 1 | 10.05-13.05 | Виконано |
| | Розділ 2 | 13.05-15.05 | Виконано |
| | Розділ 3 | 15.05-17.05 | Виконано |
| | Розділ 4 | 17.05-19.05 | Виконано |

Студент

Роман БОРЯК

Керівник

Даніїл МУГЕНОВ

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 3 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № з/п | Формат | Позначення | Найменування | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|-------------------|------------------------------------------------------------|------------------|----------|
| 1 | A4 | | Завдання на дипломний проєкт | 2 | |
| 2 | A4 | ДП ОА11.05.000 ПЗ | Пояснювальна записка | 90 | |
| 3 | A1 | ДП ОА11.05.000 СК | Схема компоновки електромеханічного обладнання екскаватора | 1 | |
| 4 | A1 | ДП ОА11.05.000 СЕ | Схема електропостачання кар'єру | 1 | |
| 5 | A1 | ДП ОА11.05.000 СМ | Системи електроприводів механізмів екскаватора | 1 | |
| 6 | A1 | ДП ОА11.05.000 ПП | Перехідні процеси у системах електроприводів екскаватора | 1 | |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|------------------------------|--|--|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Відомість дипломного проєкту | | | | | |
| Розроб. | Боряк Р. Ю. | | | | | | | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | Мугенов Д. Д. | | | | | | | | 4 | |
| Реценз. | | | | | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Н. Контр. | Кулаковський Л. Я. | | | | | | | 155 ОА 11 | | |
| Затверд. | Бойченко С. В. | | | | | | | | | |

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

**на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу
екскаватора типу механічна лопата»**

Київ – 2025 року

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун;

ЕП – електропривод;

ПЧ – перетворювач частоти;

ПЛК – програмований логічний контролер.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 6 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проєкту складається з 4 розділів, пояснювальна записка містить 90 сторінок основного тексту. В основному тексті роботи наведено 14 ілюстрацій, 18 таблиць та 7 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

У дипломному проєкті досліджується електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводів екскаватора типу пряма механічна лопата. Розглядаються технічні характеристики сучасних моделей, зокрема від компаній Caterpillar та P&H, з акцентом на особливості будови та функціонування механізмів підйому, повороту та подачі. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності, надійності та точності керування екскаваторами в умовах важких циклічних навантажень при розробці корисних копалин.

У роботі побудовано структурні схеми електроприводів основних механізмів та реалізовано їх імітаційне моделювання у середовищі MATLAB Simulink. Змодельовано перехідні процеси при роботі з навантаженим та порожнім ковшем, враховано зміну моментів інерції, а також досліджено вплив параметрів регулятора на точність відпрацювання завдання швидкості. Особливу увагу приділено формуванню навантажувальних діаграм, які враховують циклічність процесу та зміну моментів у часі.

Ключові слова: електропривод, автоматизація, електромеханіка, екскаватор типу пряма лопата, перетворювач частоти, асинхронний двигун.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 7 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ABSTRACT

The explanatory note to the diploma project consists of 4 sections, explanatory note contains 90 pages of the main text. The main text of the work contains 14 illustrations, 18 tables, and 7 bibliographic references.

The bachelor's thesis focuses on the study of the electromechanical equipment and automation of the electric drives used in a shovel-type excavator. It examines the technical characteristics of modern models, particularly those manufactured by Caterpillar and P\&H, with an emphasis on the design and operation of the hoisting, slewing, and crowding mechanisms. The relevance of the topic lies in the need to improve energy efficiency, reliability, and control accuracy of excavators operating under heavy cyclic loads during mineral extraction.

The work includes the development of structural diagrams of the electric drives for the main mechanisms and their mathematical modeling in the MATLAB Simulink environment. Transient processes were simulated for operating modes with both loaded and empty buckets, taking into account the variation of system inertia. The influence of controller parameters on the accuracy of speed reference tracking was analyzed. Special attention was given to constructing load diagrams that reflect the cyclic nature of operation and the corresponding changes in torque over time.

Keywords: electric drive, automation, electromechanics, straight shovel excavator, frequency converter, asynchronous motor.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 8 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗМІСТ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП..... | 11 |
| 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСКАВАТОРІВ ТИПУ ПРЯМА ЛОПАТА І ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ | 13 |
| 1.1 Класифікація та призначення екскаваторів-лопат | 13 |
| 1.2 Конструктивні особливості кар'єрних екскаваторів типу пряма лопата..... | 15 |
| 1.3 Основні технологічні операції та режими роботи | 18 |
| 1.4 Структура електромеханічного комплексу екскаватора | 19 |
| 1.5 Аналіз існуючих систем керування електроприводами екскаваторів | 20 |
| Висновки по розділу 1 | 27 |
| 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КАР'ЄРУ | 28 |
| 2.1 Хар-ка умов проектування та розподілу електроенергії на підприємстві | 28 |
| 2.2 Розрахунок електричного освітлення..... | 29 |
| 2.3 Розрахунок електричних навантажень та вибір трансформаторів | 32 |
| 2.4 Розрахунок ел. мереж підприємства та вибір типу перерізів провідників..... | 35 |
| 2.5 Розрахунок струмів КЗ..... | 42 |
| 2.6 Вибір електричних апаратів та установок їх спрацювання | 48 |
| 2.7 Розрахунок річних витрат електроенергії..... | 51 |
| Висновки по розділу 2 | 53 |
| 3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕКСКАВАТОРА-ЛОПАТИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK..... | 54 |
| 3.1 Вимоги до електроприводів екскаваторів одноківшевих | 54 |
| 3.2 Вибір типу електроприводу для робочих механізмів..... | 55 |
| 3.3 Розрахунок параметрів ЕП..... | 56 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4 | Моделювання систем електроприводів екскаватора у Matlab Simulink..... | 68 |
| | Висновки по розділу 3 | 74 |
| 4. | ОХОРОНА ПРАЦІ | 75 |
| 4.1 | Шкідливі та небезпечні чинники у кар'єрі | 75 |
| 4.2 | Розробка заходів захисту від шкідливих та небезпечних чинників у кар'єрі | 77 |
| 4.3 | Умови праці на кар'єрі..... | 81 |
| 4.4 | Електробезпека на кар'єрі..... | 83 |
| 4.5 | Пожежна безпека на кар'єрі..... | 85 |
| | Висновки по розділу 4 | 86 |
| | ВИСНОВКИ | 89 |
| | Список використаних джерел..... | 90 |
| | ДОДАТКИ | 92 |

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку будівництва та гірничої промисловості значною мірою залежить від ефективності використання механізованих засобів для виконання земляних робіт. Одним із ключових видів техніки у цій сфері є екскаватори типу пряма лопата, які забезпечують продуктивне видобування, переміщення та навантаження ґрунту і гірських порід. Ці машини широко застосовуються у великомасштабних будівельних проєктах, відкритих кар'єрах, дорожньому будівництві.

Ефективність електроприводів екскаваторів типу пряма лопата залежить від типу приводу, енергоефективності системи, точності та швидкодії регулювання, здатності адаптуватися до змін навантаження, а також надійності та зручності обслуговування. Раніше застосовувались системи типу «генератор - двигун», що мали великі габарити, низький ККД та потребували частого технічного обслуговування. Сучасні системи на основі «перетворювач частоти - асинхронний двигун» відрізняються компактністю, вищою енергоефективністю, надійністю, можливістю автоматизації робочих циклів та реалізацією рекуперації енергії, що суттєво підвищує загальну ефективність роботи екскаватора.

Підвищення надійності, ефективності та керованості електромеханічного обладнання таких екскаваторів є **актуальним** завданням у контексті зростаючих вимог до продуктивності та енергоефективності. Застосування сучасних систем автоматизованого керування електроприводами дає змогу покращити динамічні характеристики механізмів піднімання, повороту та подачі, що напряду впливає на ефективність роботи екскаватора загалом. Моделювання електроприводів у програмному середовищі MATLAB Simulink дозволяє наочно дослідити їхню динаміку під час експлуатації.

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Розроб. | Боряк Р. Ю. | | | | | | 11 | |
| Перевір. | Мугенов Д. Д. | | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Реценз. | | | | | | ОБ ОА 11 | | |
| Н. Контр. | Кулаковський Л. Я. | | | | | | | |
| Затверд. | Бойченко С. В. | | | | | | | |

Об'єктом дослідження є електромеханічне обладнання екскаватора типу механічна лопата.

Предмет дослідження – системи електроприводів основних механізмів екскаватора (підйому, повороту, подачі) та їх автоматизоване керування з використанням сучасних засобів моделювання.

Мета дипломного проєкту полягає у дослідженні конструкції та принципів роботи електромеханічного обладнання екскаватора типу пряма лопата, а також моделюванні роботи електроприводів основних механізмів у середовищі MATLAB Simulink з метою аналізу їхніх динамічних характеристик і оцінки ефективності функціонування системи керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Проаналізувати технічні характеристики та конструктивні особливості електромеханічного обладнання екскаваторів типу механічна лопата на прикладі моделей Caterpillar та P&H.
2. Побудувати структурну схему електроприводів основних механізмів екскаватора: підйому, повороту та подачі.
3. Розробити моделі електроприводів у середовищі MATLAB Simulink із використанням ПІ-регуляторів.
4. Дослідити перехідні процеси (швидкість, момент) у цих системах при типових навантаженнях.

Таким чином, удосконалення електромеханічних систем екскаваторів-лопат та впровадження передових методів автоматизації електроприводу є актуальним напрямом розвитку сучасної техніки. Це дозволяє не лише підвищити продуктивність машин, але й сприяє створенню більш безпечних та економічно ефективних умов їхньої експлуатації.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 12 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСКАВАТОРІВ ТИПУ ПРЯМА ЛОПАТА І ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Класифікація та призначення екскаваторів-лопат

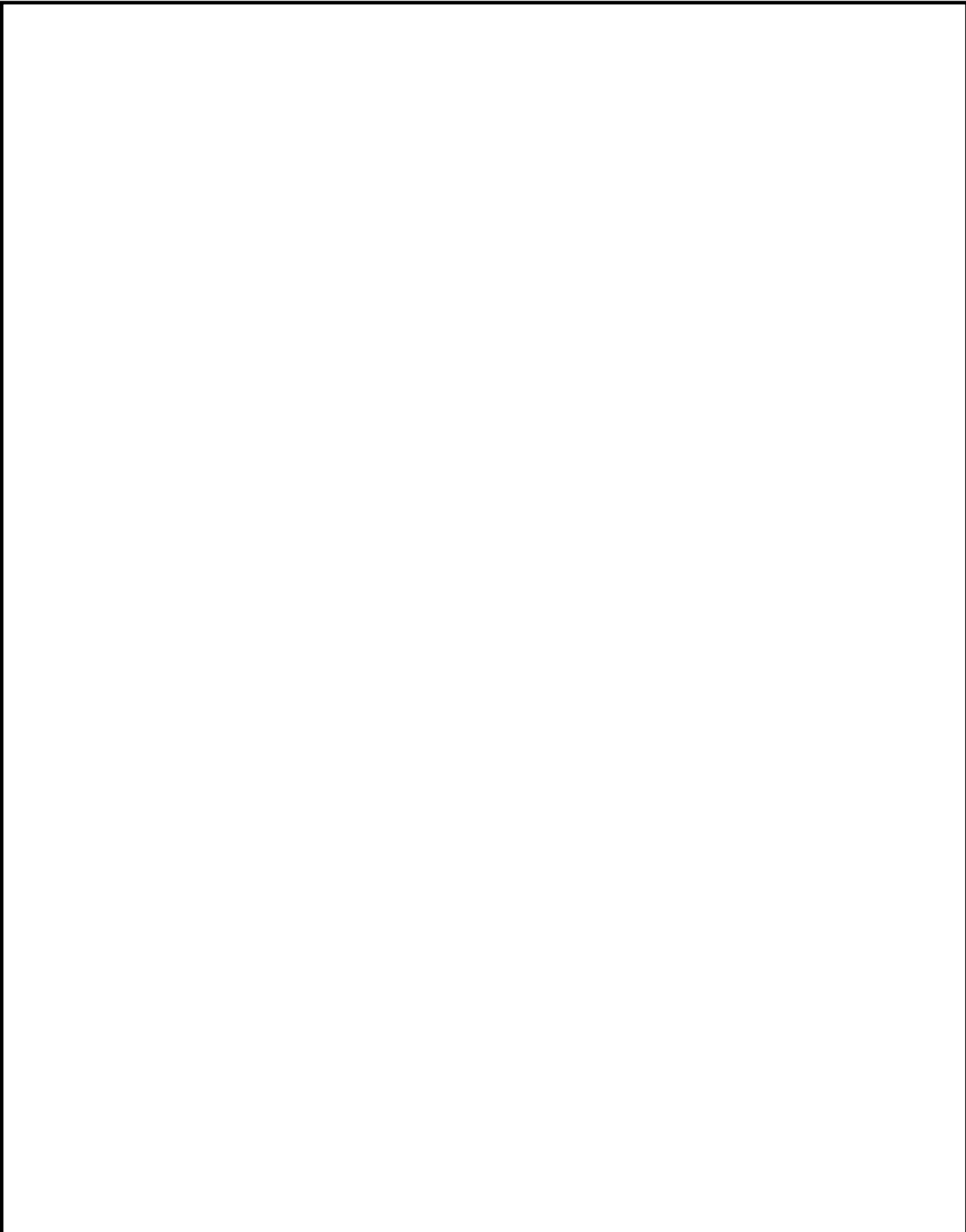
Екскаватори типу механічна лопата є важливими видами землерийних машин, що широко застосовуються у будівництві, гірничій промисловості та дорожніх роботах. Вони бувають циклічної та безперервної дії, залежно від способу виконання робочих операцій. Циклічні, або однокоровові екскаватори працюють у певних фазах: копання, переміщення та розвантаження відбуваються окремими циклами. Натомість багатокоровові екскаватори функціонують безперервно, що значно підвищує продуктивність.

За способом пересування розрізняють гусеничні, колісні, рейкові та крокуючі екскаватори. Гусеничні моделі мають високу прохідність, що дозволяє їм працювати на складних рельєфах, тоді як колісні екскаватори відзначаються маневреністю та ефективністю на рівних поверхнях. Рейкові машини використовуються на спеціальних промислових майданчиках, таких як кар'єри, а крокуючі екскаватори здатні пересуватися навіть по нестійких ґрунтах.

Конструкція робочого органу також впливає на можливості екскаваторів-лопат. Прямо-лопатні екскаватори розробляють ґрунт вище рівня стоянки машини, тоді як зворотно-лопатні працюють нижче рівня стоянки. Драглайни, оснащені довгою стрілою з ковшем на тросі, дають змогу виконувати роботи на великій відстані, а фрезерні екскаватори застосовуються для розробки твердих порід.

Екскаватори можуть мати гідравлічний, механічний або електричний привід. Гідравлічні моделі забезпечують точність і плавність рухів, механічні вирізняються високою надійністю, а електричні використовуються переважно у шахтах та кар'єрах,

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | Боряк Р. Ю. | | | | Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | Мугенов Д. Д. | | | | | | 13 | |
| Реценз. | | | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Н. Контр. | Кулаковський Л. Я. | | | | | | | |
| Затверд. | Бойченко С. В. | | | | | | | |



| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 3 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

оскільки вони є екологічно чистими.

Залежно від сфери застосування, екскаватори типу механічна лопата виконують широкий спектр завдань. У будівництві їх використовують для розробки котлованів, траншей та насипів, завантаження сипучих матеріалів, а також для виконання монтажних та вантажно-розвантажувальних робіт. У гірничій промисловості вони застосовуються для видобутку корисних копалин, переміщення великих обсягів ґрунту та завантаження матеріалів на транспортні засоби. У дорожньому будівництві екскаватори відіграють важливу роль у підготовці основи для дорожнього покриття, очищенні територій від снігу та будівельного сміття, а також у формуванні насипів і укріпленні схилів. Окрім цього, екскаватори часто використовуються у комунальному господарстві для очищення територій, виконання аварійних робіт та благоустрою міських зон.

Таким чином, екскаватори типу механічна лопата є незамінною технікою у багатьох галузях, від будівництва до гірничодобувної промисловості. Їхня різноманітність у конструкції та способах пересування забезпечує максимальну ефективність та адаптивність до конкретних умов роботи.

1.2 Конструктивні особливості кар'єрних екскаваторів типу пряма лопата

Кар'єрні екскаватори – це спеціалізовані машини, призначені для видобутку корисних копалин у відкритих розробках, які відзначаються високою вантажопідйомністю та здатністю ефективно працювати в умовах значних механічних і кліматичних навантажень. Такі машини обладнані великими ковшами, що дозволяють переміщувати великі обсяги породи за один цикл роботи, що, у свою чергу, забезпечує високу продуктивність робіт. На рисунку 1.1 представлено схему кар'єрного екскаватора типу Р&Н 1900ХРС. На зображенні добре видно конструкцію стріли з ковшом, який може приймати різні положення, що демонструє гнучкість машини та її можливості щодо глибини копання та переміщення матеріалу.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 14 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, конструктивні особливості кар'єрних екскаваторів типу "пряма лопата" спрямовані на максимальне підвищення продуктивності видобувних робіт та забезпечення безпеки експлуатації. Сучасні електромеханічні та гідравлічні системи, інтегровані у конструкцію машини, дозволяють ефективно вирішувати завдання транспортування великих обсягів породи навіть у складних умовах роботи, що робить ці машини незамінними у гірничодобувній промисловості.

1.3 Основні технологічні операції та режими роботи

Кар'єрні екскаватори виконують широкий спектр технологічних операцій, що забезпечують ефективний видобуток корисних копалин. Основні процеси включають розробку ґрунту, навантаження матеріалу, транспортування та розвантаження. Завдяки сучасним системам автоматизації та точному керуванню, ці машини демонструють високу продуктивність, що дозволяє оптимізувати кожен цикл роботи і знижувати витрати на виробництво.

Робочий цикл екскаватора починається з копання, яке здійснюється за допомогою ковша або іншого робочого органу. Після цього матеріал переміщується до місця завантаження, де він може бути перевантажений у самоскиди або конвеєрні системи (див. рисунок 1.3). Завдяки автоматизованим системам управління сучасні екскаватори можуть оптимізувати цей процес, мінімізуючи втрати часу та енергії.

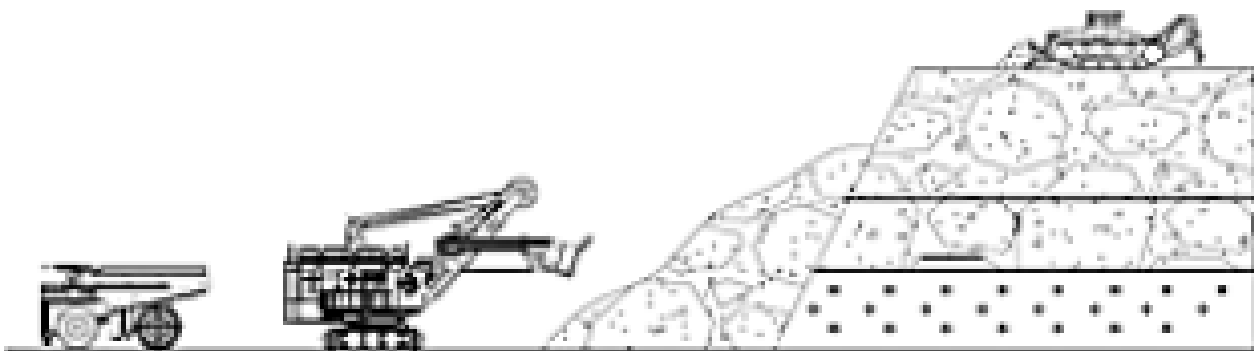


Рисунок 1.3 Зображення процесу копання і переміщення матеріалу[1]

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 17 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Режими роботи екскаваторів залежать від умов експлуатації та типу породи. У кар'єрах часто застосовують безперервний режим, коли машина працює без зупинок, забезпечуючи максимальну продуктивність. У складних умовах, наприклад при розробці твердих порід, використовується циклічний режим, що дозволяє контролювати навантаження на механізми та уникати перевантажень.

Ефективність роботи екскаваторно-транспортного комплексу залежить від взаємодії екскаватора з іншими машинами, такими як автосамоскиди та конвеєри. Оптимізація цього процесу дозволяє зменшити витрати енергії та підвищити продуктивність.[1]

1.4 Структура електромеханічного комплексу екскаватора

Електромеханічний комплекс екскаватора складається з кількох основних систем, які забезпечують його ефективну роботу. До таких систем належать електропривод, механічні вузли, гідравлічне обладнання, система керування та автоматизації.

Електропривод є ключовим елементом екскаватора, що забезпечує рух основних механізмів. Він включає електродвигуни, які приводять у дію робочі органи, такі як стріла, ковш та поворотна платформа. Сучасні екскаватори оснащуються частотно-регульованими електроприводами, що дозволяють оптимізувати енергоспоживання та підвищити точність керування. Використання інтелектуальних систем регулювання дозволяє адаптувати роботу приводу до змінних навантажень, що сприяє зменшенню зносу механізмів та підвищенню загальної ефективності машини.

Механічні вузли включають редуктори, муфти та привідні механізми, які передають рух від електродвигунів до робочих органів. Вони забезпечують надійність роботи екскаватора та його здатність витримувати значні навантаження. У кар'єрних екскаваторах використовуються посилені редуктори та зносостійкі матеріали, що дозволяє їм працювати у важких умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 18 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Гідравлічне обладнання використовується для керування рухом стріли та ковша. Гідравлічні системи дозволяють забезпечити плавність рухів, високу точність позиціонування та ефективне використання потужності. Вони складаються з гідронасосів, гідроциліндрів та розподільників, які забезпечують передачу зусиль від приводу до робочих органів. Використання сучасних гідравлічних систем дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити продуктивність екскаватора.

Система керування та автоматизації включає електронні блоки управління, датчики та програмне забезпечення, що дозволяє оптимізувати роботу екскаватора. Сучасні моделі оснащені системами моніторингу стану обладнання, що допомагає запобігати аварійним ситуаціям та знижувати витрати на технічне обслуговування. Автоматизовані системи керування дозволяють оператору контролювати роботу екскаватора у реальному часі, регулювати параметри приводу та аналізувати стан механізмів. Використання цифрових технологій у керуванні екскаваторами сприяє підвищенню точності виконання робіт та зменшенню впливу людського фактора.

Окрім основних систем, електромеханічний комплекс екскаватора включає допоміжні механізми, такі як системи охолодження, мастильні вузли та захисні пристрої. Вони забезпечують стабільну роботу машини та продовжують термін її експлуатації. Сучасні екскаватори оснащуються інтелектуальними системами діагностики, які дозволяють виявляти несправності на ранніх стадіях та запобігати серйозним поломкам.

Завдяки інтеграції цих систем електромеханічний комплекс екскаватора забезпечує високу продуктивність, надійність та ефективність роботи у складних умовах експлуатації.

1.5 Аналіз існуючих систем керування електроприводами екскаваторів

Системи керування електроприводами екскаваторів відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої продуктивності, енергоефективності та надійності.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 19 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Сучасні екскаватори оснащуються різними типами електроприводів, які можуть бути керовані як за допомогою традиційних, так і інтелектуальних систем автоматизації. Застосування адаптивного керування дозволяє змінювати параметри роботи електропривода залежно від експлуатаційних умов. Наприклад, у зонах екстремальних температур застосовуються системи, здатні коригувати навантаження на механізми, таким чином запобігаючи перегріву або переохолодженню, що забезпечує стабільну роботу навіть у складних кліматичних умовах. Розвиток технологій керування дозволив перейти від історичних рішень до сучасних високоефективних систем.

Раніше широко використовувалися приводи типу "генератор-двигун", коли при змінній навантаженні застосовувався додатковий генератор, що живив електродвигун. Ця система мала кілька недоліків, зокрема високу складність конструкції, значні втрати енергії через процес перетворення, а також обмеження у регулюванні робочих режимів. Сучасна технологія базується на застосуванні частотно-регульованих двигунів змінного струму. Це рішення дозволяє адаптувати частоту живлення до оперативних вимог електропривода, що сприяє оптимальному розподілу потужності, зниженню енергоспоживання і підвищенню точності керування робочими органами.

Згідно із патентом [US4263535], силова електротехнічне обладнання отримує живлення від трифазної мережі (як правило 6 кВ), далі через трансформатор подається на випрямляч, на виході якого розташована шина постійного струму, яка живить інвертори електричних приводів. Із схеми на рисунку 1.4 видно, що електроприводи (напору, підйому і повороту) представляють собою інвертор, двигун і контур управління. Приводи напору і підйому також мають в своєму складі редуктори. Управління здійснюється оператором за допомогою джойстиків.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 20 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

завичай включає наступні компоненти: електродвигун, гальмо, барабан та редуктор, розташовані в передній частині обертової рами. Керування здійснюється за допомогою системи з частотним регулюванням для точного контролю руху ковша вперед-назад. Прикладом застосування даної системи електроприводу може бути також модель Caterpillar 7495, що оснащена gore-crowd системою з електроприводом. Привід повороту (swing drive) – це система з двома вертикально встановленими електродвигунами, кожен з яких приводить у дію планетарний редуктор. Передача відбувається з використанням вихідних валів редукторів, що з'єднані з зубчастим вінцем (swing rack), забезпечуючи обертання верхньої структури екскаватора. Керування здійснюється за допомогою системи з частотним регулюванням для плавного та точного повороту. Така конфігурація приводу повороту застосовується у моделі Caterpillar 7395. Ці компоненти керуються централізовано ПЛК, що інтегрує інформацію з різних датчиків і дозволяє автоматично коригувати режими роботи.

У більшості сучасних екскаваторів типу "пряма лопата" застосовується двомоторна система приводу повороту. Це означає, що два електродвигуни, розташовані з обох боків обертової рами, кожен через свій редуктор приводять у дію зубчастий вінець поворотного механізму. При виборі двигунів важливо звертати увагу на клас захисту (IP): для гірничих умов рекомендовано IP65 або вище, на клас ізоляції: не менше F і на можливість роботи з частотним перетворювачем.

Переваги двомоторної системи:

- Рівномірний розподіл навантаження на зубчастий вінець, що зменшує знос.
- Підвищена надійність: у разі виходу з ладу одного двигуна інший може забезпечити обмежену працездатність.
- Покращене балансування обертової рами.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 22 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У сучасних гірничих екскаваторах типу «пряма лопата» зазвичай використовується один випрямляч, що живить спільну DC-шину, від якої через окремі

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 3 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Висновки по розділу 1

У результаті проведеного аналізу було розглянуто класифікацію екскаваторів-лопат, їх призначення та особливості застосування в умовах гірничодобувної промисловості. Детально досліджено конструктивні особливості кар'єрних екскаваторів, зокрема основні вузли й механізми, які забезпечують виконання основних технологічних операцій – копання, підйом, поворот, транспортування та розвантаження. Окреслено характерні режими роботи цих машин, які супроводжуються значними змінними навантаженнями. Також проаналізовано структуру електромеханічного комплексу екскаватора та функціональні зв'язки між його складовими. Особливу увагу приділено порівнянню традиційних і сучасних систем керування електроприводами. Показано переваги використання частотно-керованих асинхронних приводів, які забезпечують вищу енергоефективність, точність регулювання та надійність в умовах циклічних навантажень. Отримані результати створюють основу для подальшого моделювання та дослідження електроприводів у наступних розділах.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 25 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КАР'ЄРУ

2.1 Хар-ка умов проектування та розподілу електроенергії на підприємстві

Електрозабезпечення кар'єру здійснюється від 3-фазного масляного трансформатора із застосуванням роз'єднувача та вимикача на стороні високої напруги. Розподіл електроенергії проходить через мережу трипровідної глухозаземленої нейтралі.

Споживачі, для яких необхідно живлення напругою 0,4 кВ, забезпеченні комплектними трансформаторними підстанціями.

Гусеничні кар'єрні екскаватори живляться від кабельних ліній 6 кВ через підсилювальні пункти.

Перелік споживачів електроенергії підприємства наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік споживачів електроенергії

| Споживач | Рн, кВт | К-сть спож. | cosφ | Кп |
|----------------------------------------|---------|-------------|------|------|
| Збірка насосів (1) | | | | |
| Насос | 200 | 2 | 0,8 | 0,85 |
| Збірка електричних екскаваторів №1 (2) | | | | |
| ЕКГ-5А | 250 | 3 | 0,9 | 0,7 |
| Секція роботи бурового станка (3) | | | | |
| СБШ-200 | 128 | 1 | 0,7 | 0,7 |
| Збірка електричних екскаваторів №2 (4) | | | | |
| ЕКГ-5А | 250 | 2 | 0,9 | 0,7 |

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | Боряк Р. Ю. | | | | Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | Мугенов Д. Д. | | | | | | 26 | |
| Реценз. | | | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Н. Контр. | Кулаковський Л. Я. | | | | | | | |
| Затверд. | Бойченко С. В. | | | | | | | |

2.2 Розрахунок електричного освітлення

2.2.1 Розрахунок освітлення приміщення за методом коефіцієнта використання світлового потоку

Визначення показника приміщення водовідливної станції [4]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (2.1)$$

де A – довжина освітлюваного приміщення, м; B – ширина освітлювального приміщення, м; h – висота підвісу світильників, м.

$$i = \frac{20 \cdot 12}{1,8 \cdot (20 + 12)} = 4,167$$

Для забезпечення необхідної освітленості, потрібно визначити загальний світловий потік:

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_B}, \quad (2.2)$$

$K_3 = 1,3 \dots 1,5$ – коефіцієнт запасу для ламп розжарювання, який враховує старіння ламп та заповишеність їхніх ковпаків;

E_{\min} – мінімальна освітленість по нормах, лк;

S – площа освітлюваного приміщення, м²;

$z = 1,3 \dots 1,4$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

K_B – коефіцієнт використання освітлювальних установок.

$$F = \frac{1,3 \cdot 20 \cdot (20 \cdot 12) \cdot 1,3}{0,58} = 13,986 \cdot 10^3 \text{ лм}$$

Для освітлення прийняти лампу «БК-127-100-1» з таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики лампи розжарювання БК-127-100-1

| Тип лампи | Потужність, Вт | Світловий потік, лм | Напруга, В |
|--------------|----------------|---------------------|------------|
| БК-127-100-1 | 100 | 1630 | 127 |

Визначення необхідної кількості ламп:

$$n = \frac{F}{F_{\text{л}}} \quad (2.3)$$

$$n = \frac{13,986 \cdot 10^3}{1,63 \cdot 10^3} = 8,581 \approx 9$$

Визначення необхідної потужності для встановленої кількості світильників на освітлення виробничого приміщення:

$$P_{\text{по і}} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (2.4)$$

$N_{\text{св}}$ – кількість світильників в групі; $P_{\text{л}}$ – потужність ламп (лампи) вибраного світильника, Вт.

$$P_{\text{по і}} = 9 \cdot 100 = 900 \text{ Вт}$$

Визначення повної розрахункової потужності освітлювального трансформатора:

$$S_{\text{по і}} = \frac{P_{\text{по і}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{ен}} \cdot \cos \varphi_{\text{св}}}, \quad (2.5)$$

де $\eta_{\text{м}} = 0,94 \dots 0,96$ – ККД освітлювальної електричної мережі;

$\eta_{\text{ен}}$ – енергетичний ККД світильника, який враховує втрати потужності в пусковому апараті (для ламп розжарювання $\eta_{\text{ен}} = 1$);

$\cos \varphi_{\text{св}}$ – коефіцієнт потужності з люмінесцентною лампою (для світильників з лампами розжарювання $\cos \varphi_{\text{св}} = 1$)

$$S_{\text{по і}} = \frac{900}{0,94 \cdot 1 \cdot 1} = 957,447 \text{ ВА}$$

2.2.2 Розрахунок прожекторного освітлення

Освітлювану територію кар'єру можна представити у вигляді прямокутника площею:

$$S = L \cdot b,$$

де L – довжина кар'єру; b – ширина кар'єру.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 28 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$S = 400 \cdot 250 = 100000 \text{ м}^2$$

Визначення світлового потоку, що необхідний для створення на площі необхідної:

$$\sum \Phi = E_n \cdot S \cdot Z \cdot k_3 \cdot k_{BT}, \quad (2.6)$$

де $E_n = 0,5$ лк – необхідна освітленість;

$Z = 1 \dots 3$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$k_3 = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт запасу;

$k_{BT} = 1,15 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі.

$$\sum \Phi = 0,5 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,15 = 138 \cdot 10^3 \text{ лм}$$

Визначення числа прожекторів для освітлення даної площі:

$$N_{пр} = \frac{\sum \Phi}{\Phi_l \cdot \eta_{пр}}, \quad (2.7)$$

де $\eta_{пр}$ – ККД прожектора, в.о; Φ_l – світловий потік лампи, лм.

Для освітлення прийняти прожектор з таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика прилада освітлення з галогенною лампою

| Тип світильника | Тип лампи | Напруга, В | Потужність, кВт | Світловий потік, лм 10^3 | Максимальна сила світла, кд 10^3 | ККД, % |
|-----------------|---------------|------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| ИСУ02 | КГ-220-5000-1 | 220 | 5 | 110 | 1,6 | 65 |

$$N_{пр} = \frac{138 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3 \cdot 0,65} = 1,93 \approx 2$$

За умовами обмеження осліплюючої дії висота встановлення прожекторів на щоглі, м:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}}, \quad (2.8)$$

де I_{\max} – осьова сила світла прожектора, кд.

$$h = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^3}{300}} = 2,309 \text{ м}$$

Визначення необхідної на освітлення прожекторами потужність:

$$P_{poi} = N_{\text{пр}} \cdot P_{\text{пр}} \quad (2.9)$$

$$P_{poi} = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Вт}$$

Визначення повної розрахункової потужності освітлювального трансформатора:

$$S_{poi} = \frac{P_{poi}}{\eta_m \cdot \eta_{\text{ен}} \cdot \cos \varphi_{\text{св}}}, \quad (2.10)$$

$$S_{poi} = \frac{10000}{0,94 \cdot 1 \cdot 1} = 10638,298 \text{ ВА} \approx 10,638 \text{ кВА}$$

2.3 Розрахунок електричних навантажень та вибір трансформаторів

Розрахункове активне, реактивне та повне навантаження групи електроприймачів визначається за методом коефіцієнту попиту [4].

$$P_p = K_{\Pi} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{н.і}}, \quad (2.11)$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi_p, \quad (2.12)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \frac{P_p}{\cos \varphi_p}, \quad (2.13)$$

де P_p , Q_p , S_p – відповідно активна, реактивна складові і повна розрахункова потужність; K_{Π} – коефіцієнт попиту; $P_{\text{н.і}}$ – номінальна потужність електроприймача, кВт; n – число електроприймачів у групі; $\text{tg} \varphi_p$ – відповідає розрахунковому значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_p$.

Значення коефіцієнта попиту (K_{Π}) та $\cos \varphi_p$ можна приймати за рекомендацією додатків 16 – 17 [5], що призначені для кар'єрів та нафтогазових промислів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 30 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 2.4 – Навантаження збірки низької напруги споживачів КТП №2 та КТП №3

| Вхідні дані | | | | | Результати розрахунків | | | |
|--------------------------|-------------|-----------------|------------|-------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Споживач | P_n , кВт | К-ть споживачів | $\cos\phi$ | K_p | $\operatorname{tg}\phi$ | P_p , кВт | Q_p , кВАр | S_p , кВА |
| Збірка насосів (1) | | | | | | | | |
| Насос | 200 | 2 | 0,8 | 0,85 | 0,75 | 170 | 127,5 | 212,5 |
| Усього по збірці насосів | | | | | | 340 | 255 | 425 |

Таблиця 2.5 – Навантаження збірки високої напруги споживачів ПП-4, ПП-5 та ПП-6

| Вхідні дані | | | | | Результати розрахунків | | | |
|--------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------|-------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Споживач | P_n , кВт | К-ть споживачів | $\cos\phi$ | K_p | $\operatorname{tg}\phi$ | P_p , кВт | Q_p , кВАр | S_p , кВА |
| Усього по збірці електричних екскаваторів №1 (2) | | | | | | | | |
| ЕКГ-5А | 250 | 3 | 0,9 | 0,7 | 0,484 | 175 | 84,756 | 194,444 |
| Усього по збірці електричних екскаваторів №1 | | | | | | 525 | 254,269 | 583,333 |

Таблиця 2.6 – Навантаження збірки низької напруги споживача ПП-1

| Вхідні дані | | | | | Результати розрахунків | | | |
|-----------------------------------------|-------------|-----------------|------------|-------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Споживач | P_n , кВт | К-ть споживачів | $\cos\phi$ | K_p | $\operatorname{tg}\phi$ | P_p , кВт | Q_p , кВАр | S_p , кВА |
| Секція роботи бурового станка (3) | | | | | | | | |
| СБШ-200 | 128 | 1 | 0,7 | 0,7 | 1,02 | 89,6 | 91,41 | 128 |
| Усього по секції роботи бурового станка | | | | | | 89,6 | 91,41 | 128 |

Таблиця 2.7 – Навантаження збірки високої напруги споживачів ПП-2, ПП-3

| Вхідні дані | | | | | Результати розрахунків | | | |
|----------------------------------------------|-------------|-----------------|------------|-------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Споживач | P_n , кВт | К-ть споживачів | $\cos\phi$ | K_p | $\operatorname{tg}\phi$ | P_p , кВт | Q_p , кВАр | S_p , кВА |
| Збірка електричних екскаваторів №2 (4) | | | | | | | | |
| ЕКГ-5А | 250 | 2 | 0,9 | 0,7 | 0,484 | 175 | 84,756 | 194,444 |
| Усього по збірці електричних екскаваторів №2 | | | | | | 350 | 169,513 | 388,889 |

Розрахунок активного, реактивного та повного навантаження на прикладі споживачів КТП №2(№3) та ПП-1.

Насоси:

$$P_{p1} = 0,85 \cdot 2 \cdot 200 = 340 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 340 \cdot 0,75 = 255 \text{ кВАр};$$

$$S_{p1} = \sqrt{340^2 + 255^2} = 425 \text{ кВА}$$

Буровий станок СБШ-200:

$$P_{p3} = 0,7 \cdot 128 = 89,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{p3} = 89,6 \cdot 1,02 = 91,41 \text{ кВАр};$$

$$S_{p3} = \sqrt{89,6^2 + 91,41^2} = 128 \text{ кВА}$$

Таблиця 2.8 – Загальне навантаження споживачів кар'єру

| Вхідні дані | | | | | Результати розрахунків | | | |
|--------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------|-----------|------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Споживач | P_n , кВт | К-ть споживачів | $\cos\phi$ | K_{Π} | $\text{tg}\phi$ | P_p , кВт | Q_p , кВАр | S_p , кВА |
| Збірка насосів (1) | | | | | | | | |
| Насос | 200 | 2 | 0,8 | 0,85 | 0,75 | 170 | 127,5 | 212,5 |
| Усього по збірці насосів | | | | | | 340 | 255 | 425 |
| Усього по збірці електричних екскаваторів №1 (2) | | | | | | | | |
| ЕКГ-5А | 250 | 3 | 0,9 | 0,7 | 0,484 | 175 | 84,756 | 194,444 |
| Усього по збірці електричних екскаваторів №1 | | | | | | 525 | 254,269 | 583,333 |
| Секція роботи бурового станка (3) | | | | | | | | |
| СБШ-200 | 128 | 1 | 0,7 | 0,7 | 1,02 | 89,6 | 91,41 | 128 |
| Усього по секції роботи бурового станка | | | | | | 89,6 | 91,41 | 128 |
| Збірка електричних екскаваторів №2 (4) | | | | | | | | |
| ЕКГ-5А | 250 | 2 | 0,9 | 0,7 | 0,484 | 175 | 84,756 | 194,444 |
| Усього по збірці електричних екскаваторів №2 | | | | | | 350 | 169,513 | 388,889 |
| Загальне навантаження підприємства | | | | | | 1440,222 | 770,192 | 1469,906 |

За умовою розрахункового навантаження потужність трансформатора звичайно вибирають із співвідношення:

$$S_{\text{нТР}} \geq S_p, \quad (2.14)$$

де $S_{\text{нТР}}$ – номінальна потужність трансформатора;

S_p – розрахункове значення навантаження.

$$S_p = K_{\text{одн}} \cdot \sqrt{P_p + Q_p} = 0,9 \cdot \sqrt{1440,222 + 770,192} = 1469,906 \text{ кВА},$$

де $K_{\text{одн}} = 0,9-0,95$ – коефіцієнт одночасності максимуму навантаження.

Згідно розрахункової повної потужності, раціональним вибором для головної понижувальної підстанції буде трансформатор ТМН-1600/35/0,4 (таблиця 2.9).

Таблиця 2.9 – Технічні дані трифазного масляного двохобмоткового трансформатора ТМН-1600/35/0,4

| Тип | Номінальна потужність, кВА | Номінальні напруги, кВ | | Втрати потужності КЗ, кВт | Напруга КЗ | Прим. |
|-------------|----------------------------|------------------------|-----|---------------------------|------------|-----------------------------|
| | | ВН | НН | | | |
| ТМН-1600/35 | 1600 | 35 | 6,3 | 16,5 | 6,5 | Трансформатор з РПН для ГПП |

Втрати трансформатора ТМН-1600/35/0,4:

$$P_p = S_p \cdot 0,02 = 1600 \cdot 0,02 = 32 \text{ кВт};$$

$$Q_p = S_p \cdot 0,1 = 1600 \cdot 0,1 = 160 \text{ кВАр}$$

2.4 Розрахунок ел. мереж підприємства та вибір типу перерізів провідників

При проектуванні системи живлення і розподілу електроенергії зазвичай виконують електричні і механічні розрахунки ліній електропередач [5].

Перетин кабелів напругою 6 і 10 кВ вибирають по економічній щільності струму і перевіряють за умовами нагрівання. Далі вся мережа перевіряється за припустимими втратами напруги.

Додатково, погоджують перетин проводів із захистом ЛЕП, а мережу перевіряють на відключення мінімальних значень струмів КЗ релейним захистом.

При виборі перетинів проводів і жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів визначається так:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_M \cdot \cos \varphi_p} \quad (2.15)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.16)$$

де P_p , S_p – розрахункові навантаження для даного елемента мережі, кВт; кВА;

U_H – напруга мережі, кВ;

η_M – ККД мережі (для повітряних ЛЕП, 0,94...0,95; для гнучких кабелів, 0,97...0,99;

$\cos \varphi_p$ – розрахунковий коефіцієнт потужності для даного елемента мережі.

Розрахунковий струм окремого споживача визначається за його номінальною потужністю P_H .

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} \quad (2.17)$$

де η_H – ККД двигуна при номінальному навантаженні;

$\cos \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

Таблиця 2.10 – Вхідні дані для розрахунку електричних мереж підприємства

| Споживач | № лінії | Довжина лінії, м | Тип лінії | Розрахункова потужність P_p , кВт | $\cos \varphi$ | ККД | Розрахунковий робочий струм лінії I_p , А |
|------------------------------------|---------|------------------|-----------|-------------------------------------|----------------|------|---------------------------------------------|
| Споживачі низької напруги (0,4 кВ) | | | | | | | |
| Перший насос | 1.1 | 100 | КЛ | 170 | 0,8 | 0,97 | 316,203 |
| Другий насос | 1.2 | 100 | КЛ | 170 | 0,8 | 0,97 | 316,203 |
| СБШ-200 | 3.1 | 250 | КЛ | 89,6 | 0,7 | 0,97 | 190,466 |

2.4.1 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перетину провідників за нагрівом зводиться до порівняння розрахункового струму I_p з допустимими припустимими струмами навантаження, наведеними для стандартних перетинів проводів у таблицях ПУЕ:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (2.18)$$

2.4.2 Вибір елементів електричної мережі за механічною міцністю

При проектуванні повітряних ЛЕП використовують типові конструкції пересувних і стаціонарних опор, для яких рекомендовані визначені перетини проводів.

Мінімальний перетин провідників для повітряних високовольтних ліній за умовами механічної міцності повинен бути не менше 35 мм² для алюмінієвих проводів.

Мінімальні значення перерізу силових кабелів розподільних мереж напругою до 1 кВ за механічною міцністю рекомендують приймати для живлення окремих встановлених механізмів, що періодично переміщуються не менше 16 мм².

2.4.3 Перевірка за втратами напруги

2.4.3.1 Для високовольтних електроприймачів (понад 1 кВ)

Для кабельних мереж допустимі втрати напруги 6 ... 35 кВ – 5 % в нормальному режимі.

При відомій передаваній потужності ЛЕП (2.20):

$$\Delta U_{\text{л\%}} = \frac{(P \cdot R + Q \cdot X)}{10 \cdot U_H^2}, \quad (2.19)$$

де R , X – активний та індуктивний опори проводу чи жил кабеля, Ом;

P , Q – активне і реактивне навантаження мережі відповідно, кВт, кВАр.

Розрахунок втрат напруги на прикладі споживачів високої напруги.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 36 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Збірка №1:

$$\Delta U_{л\%} = \frac{(340 \cdot 0,54 + 255 \cdot 0,242)}{10 \cdot 6^2} = 0,682 \%$$

Збірка №2:

$$\Delta U_{л\%} = \frac{(525 \cdot 1,085 + 254,269 \cdot 0,486)}{10 \cdot 6^2} = 1,925 \%$$

Збірка №3:

$$\Delta U_{л\%} = \frac{(89,6 \cdot 0,192 + 91,41 \cdot 0,086)}{10 \cdot 6^2} = 0,07 \%$$

Збірка №4:

$$\Delta U_{л\%} = \frac{(350 \cdot 0,348 + 169,513 \cdot 0,156)}{10 \cdot 6^2} = 0,412 \%$$

2.4.3.2 Для низковольтних електроприймачів (до 1 кВ)

Ділянка мережі низької напруги складається з трансформатора (або трансформаторної підстанції) та кабелів (магістральні, відгалужувальні, гнучкі), які з'єднують трансформатор та електроприймач. Величину втрат напруги для мережі до 1 кВ приймають рівною 39 В) – відповідно при U_H мережі 0,38 кВ.

Втрати напруги в низковольтній мережі – це сума втрат напруги в усіх її елементах, яка не повинна перевищувати нормоване значення (при необхідності знизити втрати збільшують переріз кабелів).

Розрахунок втрат напруги в кабелі проводиться за формулою (2.20):

$$\Delta U_{г.к} = \frac{P_H \cdot L_{г.к} \cdot 1000}{\gamma \cdot S_{г.к} \cdot U_H \cdot \eta_H}, \quad (2.20)$$

P_H – потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем, кВт;

$L_{г.к}$ – довжина кабелю, м;

$\gamma = 50$ м/(Ом · мм²) – питома провідність мідного кабелю;

$S_{г.к}$ – переріз кабелю, мм²;

U_H – номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги, В;

η_H – ККД електроприймача.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 37 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунок втрат напруги в кабелі на прикладі споживачів низької напруги.

Насос:

$$\Delta U_{г.к} = \frac{200 \cdot 0,1 \cdot 1000}{50 \cdot 95 \cdot 0,38 \cdot 1} = 11,08 \text{ В} \leq 39 \text{ В}$$

Буровий станок СБШ-200:

$$\Delta U_{г.к} = \frac{89,6 \cdot 0,25 \cdot 1000}{50 \cdot 50 \cdot 0,38 \cdot 1} = 23,579 \text{ В} \leq 39 \text{ В}$$

2.4.3.3 Розрахунок втрат напруги в трансформаторі

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі проводиться за формулою (2.21):

$$\Delta U_{ТР\%} = \beta \cdot (U_{\alpha\%} \cdot \cos \varphi_{ТР} + U_{p\%} \cdot \sin \varphi_{ТР}), \quad (2.21)$$

де $\beta = S_P / S_{Н.Т}$ – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$S_P = P_H / \cos \varphi$ – розрахункове навантаження трансформатора, кВА;

$S_{Н.Т}$ – номінальна потужність трансформатора (трансформаторної підстанції), кВА;

$U_{\alpha\%} = \Delta P_K / (10 \cdot S_{Н.Т})$ – активна складова напруги КЗ трансформатора, %;

ΔP_K – втрати КЗ трансформатора, Вт;

$\cos \varphi_{ТР}$ – коефіцієнт потужності трансформатора;

$U_{p\%} = \sqrt{(U_{к\%})^2 - (U_{\alpha\%})^2}$ – реактивна складова напруги КЗ трансформатора, %;

$U_{к\%}$ – напруга КЗ трансформатора для відповідної підстанції, %;

$\sin \varphi_{ТР}$ – обчислюється на основі відомого значення косинуса.

Отримане значення втрат напруги в трансформаторі переводиться у вольти за формулою (2.22):

$$\Delta U_{ТР} = \Delta U_{ТР\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}, \quad (2.22)$$

$U_{ТР\%}$ – розраховане значення втрат напруги в трансформаторі, %;

$K_0 = 1$ – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі;

U_0 – генераторна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 38 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$U_0 = U_H \cdot 1,05 = 380 \cdot 1,05 = 399 \text{ В}$$

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі на прикладі споживачів низької напруги.

Збірка №1:

$$\Delta U_{TP\%} = 0,397 \cdot (1,206 \cdot 0,8 + 5,366 \cdot 0,6) = 1,661 \%;$$

$$\Delta U_{TP} = 1,661 \cdot 1 \cdot 3,99 = 6,626 \text{ В} \leq 39 \text{ В}$$

Збірка №3:

$$\Delta U_{TP\%} = 0,446 \cdot (1,656 \cdot 0,7 + 4,184 \cdot 0,714) = 1,948 \%;$$

$$\Delta U_{TP} = 1,948 \cdot 1 \cdot 3,99 = 7,771 \text{ В} \leq 39 \text{ В}$$

Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів можна узагальнити у вигляді таблиці (таблиця 2.11), яка міститиме основні розрахункові параметри елементів мережі.

Таблиця 2.11 – Результуюча таблиця вибору провідників

| № лінії | Розрахунковий робочий струм лінії I_p , А | За нагрівом | | Механічна міцність $S_{\text{мех}}$, мм ² | За втратами напруги | | Остаточна обрана марка та переріз лінії |
|------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| | | $I_{\text{доп}}$, А | $S_{\text{нагр}}$, мм ² | | Втрати напруги (В або %) | $S_{\text{втрат}}$ напруги, мм ² | |
| Споживачі низької напруги (0,4 кВ) | | | | | | | |
| 1.1 | 316,203 | 346 | 95 | 16 | 17,706 | 95 | КГЭ-ХЛ 3x120+1x35x1x10 |
| 1.2 | 316,203 | 346 | 95 | 16 | 17,706 | 95 | КГЭ-ХЛ 3x120+1x35x1x10 |
| 3.1 | 190,466 | 235 | 50 | 16 | 31,35 | 50 | КГЭ-ХЛ 3x50+1x10+3x4 |

Продовження таблиці 2.11

| № лінії | Розрахунковий робочий струм лінії I_p, A | За нагрівом | | Механічна міцність $S_{мех}, мм^2$ | За втратами напруги | | Остаточна обрана марка та переріз лінії |
|----------------------------------|--------------------------------------------|--------------|------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| | | $I_{доп}, A$ | $S_{нагр}, мм^2$ | | Втрати напруги (В або %) | $S_{втрат}$ напруги, $мм^2$ | |
| Споживачі високої напруги (6 кВ) | | | | | | | |
| 1 | 40,896 | 105 | 16 | 35 | 0,682 | 35 | A-35 |
| 2 | 56,131 | 105 | 16 | 35 | 1,925 | 35 | A-35 |
| 2.1 | 19,289 | 49 | 4 | 16 | 0,272 | 16 | КГЕШ 3x16+1x10+1x4 |
| 2.2 | 19,289 | 49 | 4 | 16 | 0,261 | 16 | КГЕШ 3x16+1x10+1x4 |
| 2.3 | 19,289 | 49 | 4 | 16 | 0,261 | 16 | КГЕШ 3x16+1x10+1x4 |
| 3 | 12,317 | 105 | 16 | 35 | 0,07 | 35 | A-35 |
| 4 | 37,421 | 105 | 16 | 35 | 0,412 | 35 | A-35 |
| 4.1 | 19,289 | 49 | 4 | 16 | 0,261 | 16 | КГЕШ 3x16+1x10+1x4 |
| 4.2 | 19,289 | 49 | 4 | 16 | 0,261 | 16 | КГЕШ 3x16+1x10+1x4 |

2.5 Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів КЗ здійснюють з метою вибору устаткування, перерізу жил кабельних ЛЕП і визначення уставок релейного захисту [4].

Для розрахунку струмів КЗ на основі схеми електричної принципової складається схема заміщення (рисунок 2.1) [5]. В схемі заміщення всі елементи системи (джерела живлення, лінії, трансформатори замінюються еквівалентним опором).

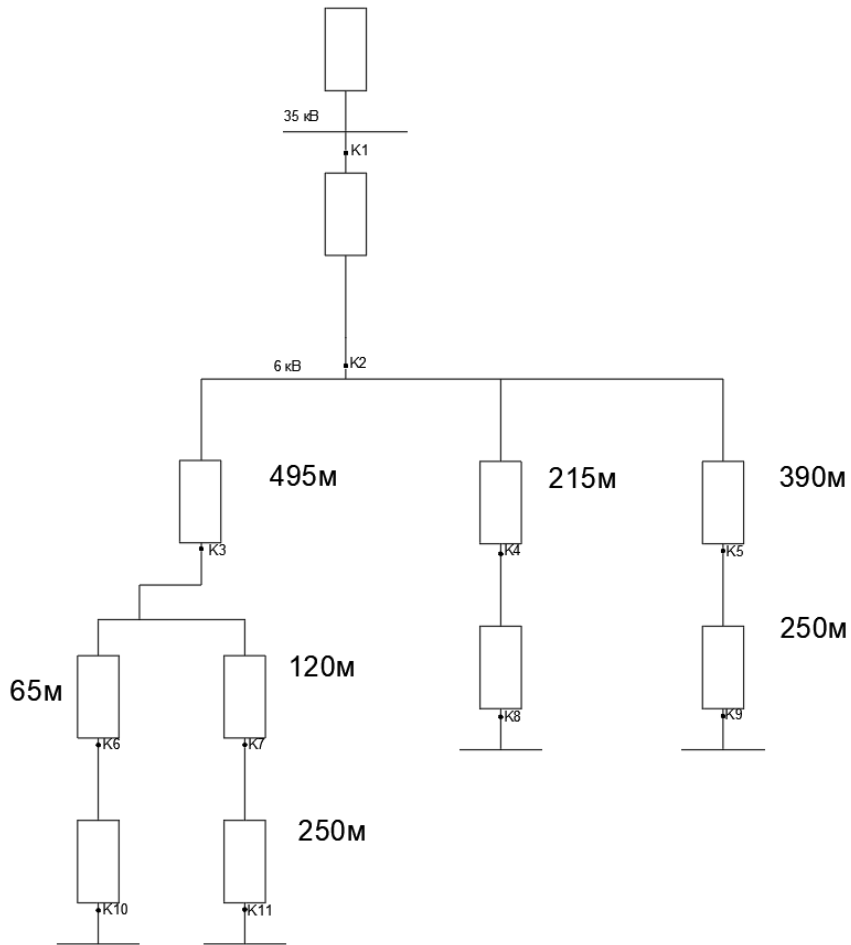


Рисунок 2.1 – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

Струм трифазного КЗ визначається відповідним базисним струмом в точці короткого замикання та повним опором у відносних базисних одиницях до точки короткого замикання:

$$I_{ki}^{(3)} = \frac{I_{6i}}{z_{*6i}} \quad (2.23)$$

Струм двофазного КЗ:

$$I_{ki}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{ki}^{(3)} \quad (2.24)$$

Миттєве значення ударного струму КЗ:

$$i_{yi} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ki}^{(3)}, \quad (2.25)$$

де $k_y = 1,8$.

Діюче значення повного струму КЗ:

$$I_{yi} = I_{ki}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = I_{ki}^{(3)} \cdot q, \quad (2.26)$$

де $q = 1,52$.

Потужність трифазного КЗ:

$$S_{ki}^{(3)} = \frac{S_{\phi}}{z_{*6i}} \quad (2.27)$$

Розрахунок струмів і потужності КЗ у мережах напруги понад 1000 В може бути виконаний в абсолютних або відносних одиницях. В практиці широко використовується другий спосіб як більш зручний. Розрахунок струмів і потужності КЗ у мережах напруги до 1000 В виконується в абсолютних одиницях.

Таблиця 2.12 – Опори елементів мережі 35/6 кВ у відносних базисних одиницях

| Елемент живлення | R*, в.б.о | X*, в.б.о. |
|----------------------------------|-----------|------------|
| Джерело живлення | - | 2 |
| Трансформатор Т1 (ТМН-1600/35/6) | - | 4,063 |
| Лінія L1 | 1,114 | 6,561 |
| Лінія L2 | 0,484 | 6,2792 |
| Лінія L3 | 0,877 | 6,456 |
| Лінія L4 | 0,146 | 6,128 |
| Лінія L5 | 0,27 | 6,183 |
| Трансформатор Т2 (ТМ-160/6/0,4) | 10,352 | 32,213 |
| Лінія L6 | 0,562 | 6,315 |
| Трансформатор Т3 (ТМ-630/6/0,4) | 1,915 | 14,58 |
| Лінія L7 | 0,562 | 6,315 |

2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережі 6 кВ

Всі напруги в системі – від номінальних потрібно перевести до базисних. В якості базисних напруг приймають генераторні напруги (ті, що враховують можливі втрати напруги при передачі на рівні 5 %).

$$U_{бi} = U_{Гi} = 1,05 \cdot U_{номi},$$

де

$$U_{б1} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ};$$

$$U_{б2} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ};$$

$$U_{б3} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,399 \text{ кВ}$$

Кількість базисних струмів визначається кількістю точок КЗ. Для різних точок КЗ можуть бути однакові базисні струми, оскільки напруга для деяких точок залишається незмінною.

$$I_{бi} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{бi}}, \quad (2.28)$$

де

$$I_{б1} = 100 / (\sqrt{3} \cdot 36,75) = 1,571 \text{ кА};$$

$$I_{б2} = 100 / (\sqrt{3} \cdot 6) = 9,164 \text{ кА};$$

$$I_{б3} = 100 / (\sqrt{3} \cdot 0,399) = 144,699 \text{ кА}$$

Точка К1. При замиканні на затискачах джерела живлення, короткозамкнене коло складається лише з джерела живлення (тільки реактивна складова), тому вираз для повного опору у в.б.о. можна записати:

$$Z_{*б1} = X_{*бс}, \quad (2.29)$$

де $X_{*бс}$ – реактивний опір, в.б.о. можна представити в наступному вигляді:

$$x_{*бс} = S_{б}/S_{к}, \quad (2.30)$$

де $S_{б}$ – базисна потужність генераторів джерела живлення, $S_{б} = 100 \text{ МВА}$;

$S_{к}$ – потужність трифазного КЗ системи, $S_{к} = 50 \text{ МВА}$.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 43 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Реактивний опір точки К1:

$$x_{*бс1} = \frac{100}{50} = 2 \text{ в. б. о.};$$

Повний опір точки К1:

$$Z_{*б1} = 2 \text{ в. б. о.};$$

Трифазний КЗ струм точки К1:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1,571}{2} = 0,786 \text{ кА};$$

Двофазний КЗ струм точки К1:

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,786 = 0,68 \text{ кА};$$

Ударний струм КЗ точки К1:

$$i_{y1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,786 = 2 \text{ кА};$$

Повний струм КЗ точки К1:

$$I_{y1} = 0,786 \cdot 1,52 = 1,194 \text{ кА};$$

Потужність трифазного КЗ точки К1:

$$S_{k1}^{(3)} = 100/2 = 50 \text{ МВА}$$

Точка К2. Замикання цієї точки короткозамкненого кола включає опір джерела живлення та опір потужного трансформатора Т1. Обидва елементи мають лише реактивну складову опору.

Реактивний опір точки К2:

$$x_{*бс2} = \frac{S_б}{S_{ном.Т}} \cdot \left(\frac{u_k \%}{100} \right) = \frac{100}{1,6} \cdot \left(\frac{6,5}{100} \right) = 4,063 \text{ в. б. о.};$$

Повний опір точки К2:

$$Z_{*б2} = x_{*бс1} + x_{*бс2} = 2 + 4,063 = 6,063 \text{ в. б. о.};$$

Трифазний КЗ струм точки К2:

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{9,164}{6,063} = 1,512 \text{ кА};$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 44 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Двофазний КЗ струм точки К2:

$$I_{k2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,512 = 1,309 \text{ кА};$$

Ударний струм КЗ точки К2:

$$i_{y2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,512 = 3,848 \text{ кА};$$

Повний струм КЗ точки К2:

$$I_{y2} = 1,512 \cdot 1,52 = 2,298 \text{ кА};$$

Потужність трифазного КЗ:

$$S_{k2}^{(3)} = 100/6,063 = 16,495 \text{ МВА}$$

Результати розрахунків струмів КЗ у відносних базисних одиницях заносяться до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Розрахунок струмів КЗ у відносних базисних одиницях

| Точка КЗ | U* _б , кВ | I* _б , кА | R*, в.б.о. | X*, в.б.о. | Z*, в.б.о. | I _к ⁽³⁾ , кА | I _к ⁽²⁾ , кА | i _у , кА | I _у , кА | S _к ⁽³⁾ , МВА |
|----------|----------------------|----------------------|------------|------------|------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| К1 | 36,75 | 1,571 | - | 2 | 2 | 0,786 | 0,68 | 2 | 1,194 | 50 |
| К2 | 6,3 | 9,164 | - | 4,063 | 6,063 | 1,512 | 1,309 | 3,848 | 2,298 | 16,495 |
| К3 | 6,3 | 9,164 | 1,114 | 6,561 | 6,655 | 1,377 | 1,193 | 3,505 | 2,093 | 15,026 |
| К4 | 6,3 | 9,164 | 0,562 | 6,315 | 6,34 | 1,446 | 1,252 | 3,68 | 2,197 | 15,774 |
| К5 | 6,3 | 9,164 | 0,877 | 6,456 | 6,515 | 1,407 | 1,218 | 3,581 | 2,138 | 15,349 |
| К6 | 6,3 | 9,164 | 0,146 | 6,128 | 6,13 | 1,495 | 1,295 | 3,806 | 2,273 | 16,314 |
| К7 | 6,3 | 9,164 | 0,27 | 6,183 | 6,189 | 1,481 | 1,282 | 3,769 | 2,251 | 16,157 |
| К8 | 0,399 | 144,699 | 10,352 | 32,213 | 33,836 | 4,277 | 3,704 | 10,886 | 6,5 | 2,956 |
| К9 | 6,3 | 9,164 | 0,562 | 6,315 | 6,34 | 1,446 | 1,252 | 3,68 | 2,197 | 15,774 |
| К10 | 0,399 | 144,699 | 1,915 | 14,58 | 14,705 | 9,84 | 8,522 | 25,048 | 14,957 | 6,8 |
| К11 | 6,3 | 9,164 | 0,562 | 6,315 | 6,34 | 1,446 | 1,252 | 3,68 | 2,197 | 15,774 |

2.6 Вибір електричних апаратів та установок їх спрацювання

Враховуючи умови експлуатації рудникового обладнання, обмеження можливого часу існування пошкодження в мережах у відповідності з вимогами галузевих нормативних документів вибір рудникового електрообладнання та уставок експлуатаційного захисту має свої особливості в порівнянні з загальнопромисловим обладнанням і розглядається окремо [6].

При проектуванні підстанцій, розподільних і перемикаючих пунктів розподільних електричних мереж необхідно орієнтуватись на застосування сучасних серій комплектних розподільних пристроїв (КРП), підстанцій (КТП), комутаційних апаратів та апаратів експлуатаційного захисту в мережах до 1,14 кВ.

Всі апарати, шини на підстанціях і розподільних пунктах повинні бути обрані за умови тривалої роботи (за номінальним струмом та напругою) і перевірені для режиму КЗ на термічну та динамічну стійкість.

2.6.1 Вибір роз'єднувачів

Обрати роз'єднувачі за загальною умовою вибору електричних апаратів:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с.}; U_{м.а.} \geq U_{р.м.} \quad (2.31)$$

де $U_{н.а.}$, $U_{н.с.}$ – номінальна напруга відповідно обраного апарата і мережі;

$U_{р.м.}$ – максимально тривала робоча напруга;

$U_{м.а.}$ – максимально допустима напруга апарата (можна прийняти для розрядників – $1,25U_{н.}$; для вимикачів, роз'єднувачів, ізоляторів – $1,15U_{н.}$; для запобіжників, реакторів, трансформаторів струму і напруги, кабелів $1,1U_{н.}$).

При виборі апаратів за струмом:

$$I_{max} \geq I_y \text{ чи } i_{max} \geq i_y, \quad (2.32)$$

де I_{max} , i_{max} – діюче значення й амплітуда максимально припустимого струму, що характеризують динамічну стійкість апарата;

I_y , i_y – діюче значення та амплітудне значення ударного струму КЗ

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 46 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$I_t \cdot \sqrt{t} \geq I_\infty \cdot \sqrt{t_\phi}, \quad (2.33)$$

де I_t – струм термічної стійкості, що даний апарат може витримати без ушкоджень протягом t (1 ... 10 с) (приводиться в каталогах);

t_ϕ – приймається 0,25 с.

2.6.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту

Автоматичні вимикачі є на відміну від плавких запобіжників, апаратами багаторазової дії, які споряджені пристроями витримки часу, забезпечуючи вибіркову дію захисту. Всі автомати мають в кожній фазі максимальне струмове реле прямої дії, що називається розчеплювачем. Останній складається із двох елементів: нагрівання на основі біметалічної пластинки, що забезпечує захист від перевантаження з витримкою часу і називається тепловим, і електромагнітного елемента, що виконує максимальний струмовий захист з витримкою або без витримки часу – струмову відсічку при струмах короткого замикання.

Автоматичні вимикачі (для напруги до 1 кВ) добирають за призначенням за номінальною напругою мережі $U_{н.м.}$, розрахунковим струмом I_p та перевіряють по граничному струму вимикання (комутаційній здатності). При цьому повинні виконуватись такі умови:

$$I_{н.а.} \geq I_p; U_{н.а.} \geq U_{н.м.}; I_{в.} \geq 1,2 \cdot I_k^{(3)}; \quad (2.34)$$

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а.}$ – номінальні струми та напруги автомата;

$I_{в.}$ – граничний струм автомата, що вимикається;

$I_k^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання на вхідних затискачах автоматичного вимикача.

Додатково перевірити на термічну та електродинамічну стійкість.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 47 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 2.14 – Електричні апарати

| Місце встановлення | I_H | I_P | $I_{д.с}$ | i_y | $I_{м.с}$ | I_{∞} | Тип прийнятого апарата |
|--------------------|-------|---------|-----------|-------|-----------|--------------|------------------------|
| Роз'єднувачі | | | | | | | |
| QS1 K2 | 400 | 153,96 | 63 | 3,848 | 25 | 1,512 | РВЗ-6/400УЗ |
| QS2 K3 | 400 | 101,466 | 63 | 3,505 | 25 | 1,377 | РВЗ-6/400УЗ |
| QS3 K4 | 400 | 12,317 | 63 | 3,704 | 25 | 1,455 | РВЗ-6/400УЗ |
| QS4 K5 | 400 | 37,421 | 63 | 3,581 | 25 | 1,407 | РВЗ-6/400УЗ |
| QS5 K7 | 400 | 56,131 | 63 | 3,769 | 25 | 1,481 | РВЗ-6/400УЗ |

| Місце встановлення | I_H | I_P | $I_{вим}$ | $I_{к.мах}^{(3)}$ | $I_{д.с}$ | i_y | $I_{м.с}$ | I_{∞} | Тип прийнятого апарата |
|-------------------------------|-------|---------|-----------|-------------------|-----------|-------|-----------|--------------|------------------------|
| Вимикачі/автоматичні вимикачі | | | | | | | | | |
| Q1 K1 | 630 | 26,393 | 10 | 0,786 | 26 | 2 | 10/4 | 0,786/0,25 | С-35М-630/10 |
| Q2 K2 | 400 | 153,96 | 10 | 1,512 | 25,5 | 3,848 | 10/3 | 1,512/0,25 | ВММ-6-400/10 |
| Q3 K3 | 400 | 101,466 | 10 | 1,377 | 25,5 | 3,505 | 10/3 | 1,377/0,25 | ВММ-6-400/10 |
| Q4 K4 | 400 | 12,317 | 10 | 1,455 | 25,5 | 3,704 | 10/3 | 1,455/0,25 | ВММ-6-400/10 |
| Q5 K5 | 400 | 37,421 | 10 | 1,407 | 25,5 | 3,581 | 10/3 | 1,407/0,25 | ВММ-6-400/10 |
| Q6 K7 | 400 | 56,131 | 10 | 1,481 | 25,5 | 3,769 | 10/3 | 1,481/0,25 | ВММ-6-400/10 |
| QF1 K8 | 400 | 285,103 | 35 | 4,277 | - | - | - | - | ВА-89-37 |
| Q7 K9 | 400 | 19,289 | 10 | 1,446 | 25,5 | 3,68 | 10/3 | 1,446/0,25 | ВММ-6-400/10 |
| QF2 K10 | 800 | 655,997 | 35 | 9,84 | - | - | - | - | ВА-89-40 |
| Q8 K11 | 400 | 19,289 | 10 | 1,446 | 25,5 | 3,68 | 10/3 | 1,446/0,25 | ВММ-6-400/10 |

2.7 Розрахунок річних витрат електроенергії

Існує кілька методів визначення витрат електроенергії за розрахунковим максимальним навантаженням, середньозмінним навантаженням, питомими витратами електроенергії [5].

Річні витрати активної W_P та реактивної V_P електроенергії за півгодинним максимальним навантаженням T_M , тобто за розрахунковими значеннями P_P та Q_P групи електроспоживачів і річній кількості годин використання максимуму навантаження T_M , можуть бути знайдені за формулами:

$$W_P = P_P \cdot T_M; \quad (2.35)$$

$$V_P = Q_P \cdot T_M, \quad (2.36)$$

де T_M для кар'єрів можна приймати рівним: 5000 ... 7000 г/рік – при трьохзмінній роботі екскаватора.

$$W_P = 1440,222 \cdot 5000 = 7,201 \cdot 10^6 \text{ кВт};$$

$$V_P = 770,192 \cdot 5000 = 3,851 \cdot 10^6 \text{ кВАр};$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi_C = \sum_1^n W_P / \sqrt{(\sum_1^n W_P)^2 + (\sum_1^n V_P)^2}, \quad (2.37)$$

$$\cos \varphi_C = \frac{7,201 \cdot 10^6}{\sqrt{(7,201 \cdot 10^6)^2 + (3,851 \cdot 10^6)^2}} = 0,882$$

Коефіцієнт реактивної потужності:

$$\cos \varphi_C = \frac{\sum_1^n V_P}{\sum_1^n W_P}, \quad (2.38)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_C = \frac{3,851 \cdot 10^6}{7,201 \cdot 10^6} = 0,535$$

2.7.2 Розрахунок річних витрат електроенергії

Річні втрати активної ΔW_P , та реактивної ΔV_P енергії у трансформаторі обчислюються за формулами:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 49 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_X \cdot T_p + \beta^2 \cdot \Delta P_K \cdot \tau; \quad (2.39)$$

$$\Delta V_{TP} = \Delta Q_\mu \cdot T_p + \beta^2 \cdot \Delta Q_K \cdot \tau; \quad (2.40)$$

$$\Delta Q_\mu = (I_X\%) \cdot S_{H.T.}/100; \quad (2.41)$$

$$\Delta Q_K = (U_K\%) \cdot S_{H.T.}/100, \quad (2.42)$$

де ΔP_X , $I_X\%$ – втрати потужності та струм холостого ходу трансформатора згідно з каталогом;

ΔP_K , U_K – витрати потужності та напруги короткого замикання трансформатора згідно з каталогом;

β – коефіцієнт навантаження трансформатора;

T_p – час роботи трансформатора за рік;

τ – час максимальних втрат (годин), який приблизно можна знайти із співвідношення.

$$\tau = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (2.43)$$

$$\tau = (0,124 + 5000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 3410,934 \text{ год}$$

Прийнято $\tau = 3411$ год.

Результати обчислення втрати активної і реактивної потужності в трансформаторах заносяться до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Втрати активної і реактивної потужності в трансформаторах

| Тип | β | ΔW_{TP} , кВт · год | ΔQ_μ , кВАр | ΔQ_K , кВАр | ΔV_{TP} , кВАр · год | Врічне, кВт · год | Врічне, % | Врічне, кВАр · год | Врічне, % |
|-------------|---------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| ТМ-160/6 | 0,8 | 10253 | 3,84 | 7,2 | 49356 | 448000 | 22,885 | 350542 | 0,141 |
| ТМ-630/6 | 0,675 | 23273 | 12,6 | 34,65 | 16416 | 1700000 | 13,69 | 950329 | 0,173 |
| ТМН-1600/35 | 0,919 | 76409 | 20,8 | 104 | 481610 | 7201111 | 10,611 | 1044415 | 0,461 |

Висновки по розділу 2

В умовах підприємства (кар'єру) з розрахунковим навантаженням $P_p = 1440,222$ кВт, $Q_p = 770,192$ кВАр, $S_p = 1469,906$ кВА доцільно виконати живлення від двох трансформаторів марки ТМН та номінальною потужністю 1600 кВА.

Для розподілу електричної енергії по підприємству застосовано кабельні лінії марок КГЭ-ХЛ, КГЕШ для споживачів низької та високої (для електричних екскаваторів) напруг живлення; повітряні лінії марок А-хх для споживачів високої напруги.

Величини струмів КЗ були розраховані в відносних базисних одиницях, адже рівень напруги підприємства, здебільшого, 6 кВ, і не перевищують 9,84 кА. На основі значень струмів КЗ та робочих струмів було обрано комутаційне та захисне обладнання – роз'єднувачі (РВЗ-6/400УЗ), вимикачі/автоматичні вимикачі (серії ВА, С-35М-630/10, ВММ-6-400/10).

Кар'єр характеризується наступними техніко-економічними показниками: коефіцієнт потужності середньозважений – 0,882, втрати активного навантаження – 7201,111 кВт · год, реактивного – 3850,961 кВАр · год, а річні витрати активної енергії становлять 7201111,111 кВт · год. Такі витрати активної та реактивної енергії було визначено на основі розрахункового максимуму навантаження. Додатково, було розраховано втрати в трансформаторах, що наведені в таблиці 2.15.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 51 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕКСКАВАТОРА-ЛОПАТИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK

3.1 Вимоги до електроприводів екскаваторів одноківшевих

Робота електроприводів основних механізмів одноківшевого екскаватора відзначається частими запусками та зміною напрямку руху, швидкими розгонами і раптовими зупинками, а також значними навантажувальними імпульсами. Протягом години двигуни виконують велику кількість ввімкнень: для підйимальної лебідки цей показник становить 200–300 разів, а для приводів напору та повороту – до 600–700 ввімкнень. Максимальні навантаження на двигуни часто перевищують середні значення у 2–3 рази і можуть повторюватися кілька разів за один робочий цикл.[7]

Особливістю роботи електроприводів є їх здатність до безпечного зупинення робочого органа у разі зіткнення з перешкодами, що неможливо подолати. Для забезпечення цієї функції передбачена автоматична система обмеження моменту, що запобігає пошкодженню механізмів та забезпечує їхню надійність у процесі експлуатації. Ця вимога виконується забезпеченням механічної характеристики ЕП спеціальної форми – екскаваторною характеристикою (рисунок 3.1).[7]

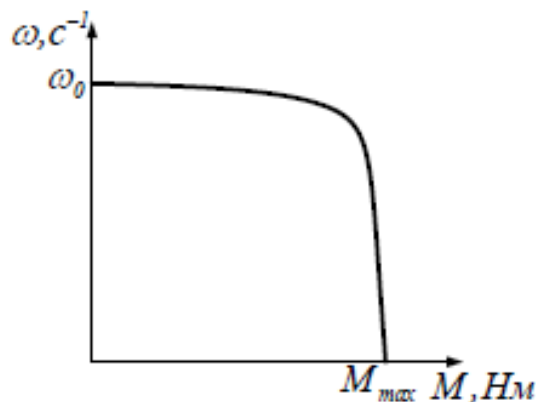


Рисунок 3.1 – Механічна характеристика ЕП одноківшевого екскаватора[7]

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|--------------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата | | | | | |
| Розроб. | | Боряк Р. Ю. | | | | | | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | | Мугенов Д. Д. | | | | | | | 52 | |
| Реценз. | | | | | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Н. Контр. | | Кулаковський Л. Я. | | | | | | Сікорського | | |
| Затверд. | | Бойченко С. В. | | | | | | | | |

Екскаратор працює в складних умовах, де навантаження змінюється різко та непередбачувано. Всі його компоненти зазнають інтенсивних вібрацій, що впливає на механічні та електричні системи. Окрім цього, експлуатація машини відбувається при значних перепадах температури та вологості, а також у середовищі з високим рівнем запиленості. Через такі важкі робочі умови обладнання має відповідати суворим вимогам щодо стійкості до вібрацій, допустимої кількості ввімкнень і загальної надійності.[7]

Основні механізми екскараторів зазнають впливу пружних механічних зв'язків, а також люфтів у передачах та робочих компонентах. Це створює певні динамічні навантаження, які можуть впливати на загальну ефективність роботи машини. Тому важливим завданням є забезпечення максимальної продуктивності екскаратора за умови мінімального навантаження на його електричне та механічне обладнання. Оптимізація параметрів керування і застосування передових технологій у конструкції приводних систем дозволяють зменшити втрати енергії та підвищити стабільність функціонування машини.[7]

Для дотримання вище перелічених вимог в даному дипломному проєкті пропонується використовувати систему ПЧ-АД. Така система дозволить точно керувати двигуном приводу екскаратора для обмеження моменту і, в свою чергу, запобігання пошкодженню механізмів.

3.2 Вибір типу електроприводу для робочих механізмів

Електропривод є важливим елементом у роботі екскаратора, оскільки забезпечує продуктивність, надійність та енергоефективність його механізмів. Для підйомного, напірного та поворотного механізмів доцільно використовувати асинхронний двигун з перетворювачем частоти, що дозволяє гнучко керувати параметрами машини та оптимізувати її роботу.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 53 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Асинхронний двигун вирізняється високою механічною міцністю, надійністю та тривалим терміном експлуатації. Його конструкція проста, що значно спрощує обслуговування. Використання перетворювача частоти забезпечує регулювання швидкості обертання залежно від навантаження, що сприяє зменшенню енергоспоживання. Крім того, така система дозволяє забезпечити плавний пуск і можливість реверсу, що особливо важливо для роботи екскаватора. Завдяки плавному регулюванню швидкості зменшуються ударні навантаження, що продовжує ресурс механічних вузлів.

Застосування такого електроприводу для підйомного механізму дозволяє забезпечити плавність підйому ковша, запобігаючи перевантаженням та забезпечуючи точне позиціонування вантажу. У механізмі напору важливо стабільне керування з можливістю зміни швидкості залежно від типу ґрунту, що сприяє ефективному копанню та зменшенню механічного зносу. Поворотний механізм екскаватора потребує точного керування швидкістю та моментом, що робить використання асинхронного двигуна з перетворювачем частоти оптимальним рішенням для забезпечення плавного старту, зупинки та мінімізації ударних навантажень.

Таким чином, застосування асинхронного двигуна з перетворювачем частоти для підйомного, напірного та поворотного механізмів екскаватора дозволяє значно підвищити його ефективність, зменшити енергоспоживання і продовжити термін служби механічних компонентів. Це забезпечує стабільну, надійну та економічно вигідну роботу екскаватора в складних умовах експлуатації.

3.3 Розрахунок параметрів ЕП

Спочатку визначаємо значення мас і лінійних розмірів конструктивних елементів одноковшевих екскаваторів, необхідних для визначення зусиль, що виникають під час роботи екскаватора.

Масу всього екскаватора визначаємо за формулою (3.1).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 54 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$m_{\text{екс}} = k_{\text{екс}} \cdot E \quad (3.1)$$

де $k_{\text{екс}}$ - коефіцієнт питомої маси екскаватора від 38 до 55, m / m^3 ;

E - місткість ковша, m^3 .

Коефіцієнт питомої маси екскаватора приймаємо рівним 40.

$$m_{\text{екс}} = 40 \cdot 10 = 400 \text{ м}$$

Ширину платформи визначаємо за формулою (3.2).

$$L'_{\text{пл}} = k_L \cdot \sqrt[3]{m_{\text{екс}}} \quad (3.2)$$

де k_L - лінійний коефіцієнт.

Лінійний коефіцієнт приймаємо рівним 0,87.

$$L'_{\text{пл}} = 0,87 \cdot \sqrt[3]{400} = 6,41 \text{ м}$$

Радіус задньої стінки визначаємо за формулою (3.3).

$$L_{\text{зс}} = k_L \cdot \sqrt[3]{m_{\text{екс}}} \quad (3.3)$$

Лінійний коефіцієнт приймаємо рівним 0,96.

$$L_{\text{зс}} = 0,96 \cdot \sqrt[3]{400} = 7,07 \text{ м}$$

Радіус п'яти стріли визначаємо за формулою (3.4).

$$L_{\text{пс}} = 0,39 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{екс}}} \quad (3.4)$$

$$L_{\text{пс}} = 0,39 \cdot \sqrt[3]{400} = 2,87 \text{ м}$$

Довжину платформи визначаємо за формулою (3.5).

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{зс}} + L_{\text{пс}} \quad (3.5)$$

$$L_{\text{пл}} = 7,07 + 2,87 = 9,94 \text{ м}$$

Максимальний радіус розвантаження визначаємо за формулою (3.6).

$$L_{\text{роз}} = 2,5 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{екс}}} \quad (3.6)$$

$$L_{\text{роз}} = 2,5 \cdot \sqrt[3]{400} = 18,42 \text{ м}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 55 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Масу платформи визначаємо за формулою (3.7).

$$m_{\text{пл}} = k_m \cdot m_{\text{екс}} \quad (3.7)$$

де k_m – коефіцієнт маси.

Коефіцієнт маси приймаємо рівним 0,5.

$$m_{\text{пл}} = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ т}$$

Масу стріли з блоками визначаємо за формулою (3.8).

$$m_{\text{ст}} = k_m \cdot m_{\text{екс}} \quad (3.8)$$

Коефіцієнт маси приймаємо рівним 0,068.

$$m_{\text{ст}} = 0,068 \cdot 400 = 27,2 \text{ т}$$

Масу напірного механізму визначаємо за формулою (3.9).

$$m_{\text{н}} = k_m \cdot m_{\text{екс}} \quad (3.9)$$

Коефіцієнт маси приймаємо рівним 0,026.

$$m_{\text{н}} = 0,026 \cdot 400 = 10,4 \text{ т}$$

Масу ковша визначаємо за формулою (3.10).

$$m_{\text{кл}} = 1,15 \cdot c_{\text{кл}} \cdot E \quad (3.10)$$

де $c_{\text{кл}}$ – коефіцієнт для визначення маси ковша екскаватора.

Коефіцієнт для визначення маси ковша екскаватора приймаємо рівним 1,0.

$$m_{\text{кл}} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 10 = 11,5 \text{ т}$$

Масу породи визначаємо за формулою (3.11).

$$m_{\text{пор}} = \frac{E \cdot \gamma_{\text{пор}}}{k_p} \quad (3.11)$$

де $\gamma_{\text{пор}}$ – щільність гірської породи, $\text{т}/\text{м}^3$;

k_p - коефіцієнт розпушення породи.

Щільність гірської породи приймаємо рівною 3,2, а коефіцієнт розпушення породи приймаємо 1,37.

$$m_{\text{пор}} = \frac{10 \cdot 3,2}{1,37} = 23,35 \text{ т}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 56 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Масу ковша з породю визначаємо за формулою (3.12).

$$m_{кп} = m_{кл} + m_{пор} \quad (3.12)$$
$$m_{кп} = 11,5 + 23,35 = 34,85 \text{ т}$$

Масу рукоятки визначаємо за формулою (3.13).

$$m_p = c_p \cdot m_{кл} \quad (3.13)$$

де c_p – коефіцієнт для визначення розмірів рукоятки екскаватора.

Коефіцієнт для визначення розмірів рукоятки екскаватора приймаємо рівним 0,9.

$$m_p = 0,9 \cdot 11,5 = 10,35 \text{ т}$$

Розмір стріли визначаємо за формулою (3.14).

$$L_c = k_L \cdot \sqrt[3]{m_{екс}} \quad (3.14)$$

Лінійний коефіцієнт приймаємо рівним 1,85.

$$L_c = 1,85 \cdot \sqrt[3]{400} = 13,63 \text{ м}$$

Розмір рукоятки визначаємо за формулою (3.15).

$$L_p = k_L \cdot \sqrt[3]{m_{екс}} \quad (3.15)$$

Лінійний коефіцієнт приймаємо рівним 1,2.

$$L_p = 1,2 \cdot \sqrt[3]{400} = 8,84 \text{ м}$$

Висоту напірного валу визначаємо за формулою (3.16).

$$L_H = L_3 = k_L \cdot \sqrt[3]{m_{екс}} \quad (3.16)$$

Лінійний коефіцієнт приймаємо рівним 1,1.

$$L_H = 1,1 \cdot \sqrt[3]{400} = 8,10 \text{ м}$$

Опір породи копанню визначаємо за формулою (3.17).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 57 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$F_{1л} = \frac{E \cdot k_{кл}}{L_n \cdot k_p} \quad (3.17)$$

де $k_{кл}$ – питомий опір породи копанню, Па.

$$F_{1л} = \frac{10 \cdot 2,48 \cdot 10^5}{8,10 \cdot 1,37} = 2,235 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Вагу ковша з породою визначаємо за формулою (3.18).

$$G_{кп} = g \cdot m_{кп} \cdot 10^3 \quad (3.18)$$

де g – прискорення вільного падіння, що дорівнює $9,81 \text{ м/с}^2$.

$$G_{кп} = 9,81 \cdot 34,85 \cdot 10^3 = 3,419 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Вагу рукоятки визначаємо за формулою (3.19).

$$G_p = g \cdot m_p \cdot 10^3 \quad (3.19)$$

$$G_p = 9,81 \cdot 10,35 \cdot 10^3 = 1,014 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Зусилля у піднімальному й напірному механізмах лопати, що відповідають вертикальному положенню піднімального канату ($\beta = 90^\circ$) і горизонтальному положенню рукоятки ($\alpha = 0^\circ$), беруть за розрахункові під час визначення потужності двигунів за час копання.[7] Зусилля у піднімальному механізмі лопати визначають за формулою (3.20).

$$F_{пл} = \frac{F_{1л} l_1 + G_{кп} l_k \cos(\alpha) + G_p l_p \cos(\alpha)}{l_n \sin(\beta)} \quad (3.20)$$

де l_1, l_k, l_p, l_n – довжини плечей прикладання сил відносно осі напірного вала, який розташовано на середині стріли, відповідно, м;

α – кут між рукояткою і передбачуваною горизонтальною лінією, градус;

β – кут між піднімальним канатом і рукояткою, градус.

Довжину плеча l_1 визначають за формулою (3.21).

$$l_1 = l_n + b_{кл} \quad (3.21)$$

де $b_{кл}$ – ширина ковша, м.

Ширину ковша $b_{кл}$ визначають за формулою (3.22).

$$b_{кл} = 1,3 \sqrt[3]{E} \quad (3.22)$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

Довжину плеча l_k визначають за формулою (3.23).

$$l_k = l_n + \frac{b_{кл}}{2} \quad (3.23)$$

Довжину плеча l_p визначають за формулою (3.24).

$$l_p = \frac{l_n}{2} \quad (3.24)$$

Довжину плеча l_n визначають за формулою (3.25).

$$l_n = \left(\frac{L_c}{2}\right) \cos(\alpha_{ст}) \quad (3.25)$$

де $\alpha_{ст}$ – кут нахилу стріли, градус.

$$l_n = \left(\frac{13,63}{2}\right) \cos(46^\circ) = 4,734 \text{ м}$$

$$l_p = \frac{4,73}{2} = 2,365 \text{ м}$$

$$b_{кл} = 1,3^3 \sqrt{10} = 2,801 \text{ м}$$

$$l_k = 4,734 + \frac{2,801}{2} = 6,13 \text{ м}$$

$$l_1 = 4,734 + 2,801 = 7,53 \text{ м}$$

$$F_{пл} = \frac{2,235 \cdot 10^5 \cdot 7,53 + 3,419 \cdot 10^5 \cdot 6,13 \cdot 1 + 1,014 \cdot 10^5 \cdot 2,365 \cdot 1}{4,734 \cdot 1} = 8,495 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Зусилля у напірному механізмі лопати визначають за формулою (3.26).

$$F_{нл} = F_{2л} + F_{пл} \cos(\beta) \pm G_{кп} \sin(\alpha) \pm G_p \sin(\alpha) \quad (3.26)$$

де $F_{2л}$ – відтискне зусилля напору, Н.

Відтискне зусилля напору визначають за формулою (3.27).

$$F_{2л} = 0,8 \cdot F_{1л} \quad (3.27)$$

$$F_{2л} = 0,8 \cdot 2,235 \cdot 10^5 = 1,788 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{нл} = 1,788 \cdot 10^5 + 8,495 \cdot 10^5 \cdot 0 \pm 3,419 \cdot 10^5 \cdot 0 \pm 1,014 \cdot 10^5 \cdot 0 = 1,788 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Зусилля $F'_{пл}$, що виникає у піднімальному механізмі лопати під час повороту платформи на розвантаження, визначають з рівняння моментів, що створюються вагомим ковшем з породою й вагою рукоятки щодо осі напірного вала (3.28).[7]

$$F'_{пл} = \frac{G_{кп} l_k \cos(\alpha) + G_p l_p \cos(\alpha)}{l_n \sin(\beta)} \quad (3.28)$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 59 |

$$F'_{\text{нл}} = 5,448 \cdot 10^5 \cdot \cos(48^\circ) + 3,419 \cdot 10^5 \cdot \sin(25^\circ) + 1,014 \cdot 10^5 \cdot \sin(25^\circ) = 5,519 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Під час повороту платформи з порожнім ковшем у забій максимальне зусилля у напірному механізмі виникає під час піднімання ковша й рукоятки з вертикального положення. Це зусилля визначається вагою ковша й рукоятки за формулою (3.35).[7]

$$F''_{\text{нл}} = G_{\text{к}} + G_{\text{р}} \quad (3.35)$$

$$F''_{\text{нл}} = 9,81 \cdot 11,5 \cdot 10^3 + 1,014 \cdot 10^5 = 2,142 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Потужність двигуна піднімального механізму лопати під час копання породи визначають за формулою (3.36).[7]

$$P_{\text{пл}} = \frac{F_{\text{пл}} \cdot v_{\text{пл}}}{\eta_{\text{пл}}} \cdot 10^{-3} \quad (3.36)$$

де $v_{\text{пл}}$ – швидкість пересування піднімального канату, м/с;

$\eta_{\text{пл}}$ – ККД піднімального механізму, який дорівнює 0,8 – 0,85.

Швидкість пересування піднімального канату $v_{\text{пл}}$ приймаємо рівною 0,8 м/с, а ККД $\eta_{\text{пл}}$ приймаємо рівним 0,84.

$$P_{\text{пл}} = \frac{8,495 \cdot 10^5 \cdot 0,8}{0,84} \cdot 10^{-3} = 809 \text{ кВт}$$

Потужність двигуна піднімального механізму лопати під час повороту платформи на розвантаження визначають за формулою (3.37).[7]

$$P'_{\text{пл}} = 0,12 \frac{F'_{\text{пл}} \cdot v_{\text{пл}}}{\eta_{\text{пл}}} \cdot 10^{-3} \quad (3.37)$$

$$P'_{\text{пл}} = 0,12 \frac{5,448 \cdot 10^5 \cdot 0,8}{0,84} \cdot 10^{-3} = 62,26 \text{ кВт}$$

Потужність двигуна піднімального механізму під час повороту платформи з порожнім ковшем у забій визначають за формулою (3.38).[7]

$$P''_{\text{пл}} = 1,1 \frac{F''_{\text{пл}} \cdot v_{\text{пл}}}{\eta_{\text{пл}}} \cdot 10^{-3} \quad (3.38)$$

$$P''_{\text{пл}} = 1,1 \frac{2,212 \cdot 10^5 \cdot 0,8}{0,84} \cdot 10^{-3} = 231,75 \text{ кВт}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 61 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$P_{\text{нл(св)}} = \frac{P_{\text{нл}}t_{\text{кл}} + P'_{\text{нл}}t_{\text{рл}} + P''_{\text{нл}}t_{\text{зл}}}{t_{\text{ц}}} \quad (3.43)$$

Для попередніх розрахунків час циклу розбиваємо на три однакові періоди[7], тобто приймаємо:

$$t_{\text{кл}} = t_{\text{рл}} = t_{\text{зл}} = \frac{t_{\text{ц}}}{3} = \frac{24}{3} = 8 \text{ с}$$

Тоді, підставляючи відповідні значення до формул (3.42) і (3.43), маємо:

$$P_{\text{пл(св)}} = \frac{809 \cdot 8 + 62,26 \cdot 8 + 231,75 \cdot 8}{24} = 367,67 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{нл(св)}} = \frac{89,39 \cdot 8 + 96,58 \cdot 8 + 107,12 \cdot 8}{24} = 97,69 \text{ кВт}$$

Момент інерції платформи відносно осі, паралельної вертикальній грані кузова, що проходить через центр маси платформи як паралелепіпеда визначають за формулою (3.44).[7]

$$J_0 = m_{\text{пл}} \cdot \frac{(0,5L_{\text{пл}})^2 + (0,5L'_{\text{пл}})^2}{3} \quad (3.44)$$

$$J_0 = 200 \cdot \frac{(0,5 \cdot 9,94)^2 + (0,5 \cdot 6,41)^2}{3} = 2,332 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відстань між віссю обертання платформи і віссю, яка проходить через центр маси платформи як паралелепіпеда визначають за формулою (3.45).[7]

$$l_{\text{пл}} = \left(\left(\frac{L_{\text{пл}}}{2} \right) - L_{\text{пс}} \right) \quad (3.45)$$

$$l_{\text{пл}} = \left(\left(\frac{9,94}{2} \right) - 2,87 \right) = 2,1 \text{ м}$$

Момент інерції поворотної платформи відносно вертикальної осі її обертання визначають за формулою (3.46).[7]

$$J_{\text{пл}} = J_0 + m_{\text{пл}} l_{\text{пл}}^2 \quad (3.46)$$

$$J_{\text{пл}} = 2,332 \cdot 10^3 + 200 \cdot 2,1^2 = 3,205 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції ковша з породою визначають за формулою (3.47).[7]

$$J_{\text{к+пор}} = m_{\text{кп}} L_{\text{роз}}^2 \quad (3.47)$$

де $L_{\text{роз}}$ – максимальний радіус розвантаження, м;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 63 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Максимальний радіус розвантаження визначають за формулою (3.48).[7]

$$L_{\text{роз}} = 2,5\sqrt[3]{E} \quad (3.48)$$

$$L_{\text{роз}} = 2,5\sqrt[3]{400} = 18,42 \text{ м}$$

Тоді момент інерції ковша з порою:

$$J_{\text{к+пор}} = 34,85 \cdot 18,42^2 = 1,182 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Моменти інерції стріли й напірного механізму обчислюють відповідно за формулами (3.49) і (3.50).[7]

$$J_{\text{ст}} = m_{\text{ст}} L_{\text{ст}}^2 \quad (3.49)$$

де $L_{\text{ст}}$ – відстань від осі обертання платформи до центрів мас стріли і напірного механізму, м.

$$J_{\text{н}} = m_{\text{н}} l_{\text{н}}^2 \quad (3.50)$$

Відстань від осі обертання платформи до центрів мас стріли і напірного механізму визначають за формулою (3.51).[7]

$$L_{\text{ст}} \approx l_{\text{н}} = L_{\text{пс}} + l_{\text{н}} \quad (3.51)$$

$$L_{\text{ст}} = 2,87 + 4,73 = 7,6 \text{ м}$$

Тоді момент інерції стріли:

$$J_{\text{ст}} = 27,2 \cdot 7,6^2 = 1,571 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції напірного механізму:

$$J_{\text{н}} = 10,4 \cdot 7,6^2 = 600,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відстань від осі обертання платформи до центра маси рукоятки визначають за формулою (3.52).[7]

$$l''_{\text{р}} = l_{\text{н}} + \left(\frac{l_{\text{р}}}{2}\right) \cos(\alpha) \quad (3.52)$$

Відповідно до (3.51) приймаємо $l_{\text{н}}$ рівним 7,6.

Тоді відстань від осі обертання платформи до центра маси рукоятки дорівнює:

$$l''_{\text{р}} = 7,6 + \left(\frac{8,84}{2}\right) \cdot \cos(25^\circ) = 11,6 \text{ м}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 64 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Моменти інерції рукоятки для горизонтального положення рукояті, висунутої на всю довжину обчислюють за формулою (3.53).[7]

$$J_p = m_p l''_p{}^2 \quad (3.53)$$

$$J_p = 10,35 \cdot 11,6^2 = 1,393 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Далі визначаємо сумарний момент інерції з порожнім ковшем за формулою (3.54).[7]

$$\Sigma J_n = \Sigma J - m_{\text{пор}} L_{\text{роз}}{}^2 \quad (3.53)$$

де ΣJ – сумарний момент інерції обертових частин екскаватора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Сумарний момент інерції обертових частин екскаватора визначають за формулою (3.54).[7]

$$\Sigma J = J_{\text{пл}} + J_{\text{ст}} + J_{\text{н}} + J_p + J_{\text{к+пор}} \quad (3.54)$$

$$\begin{aligned} \Sigma J &= 3,205 \cdot 10^3 + 1,571 \cdot 10^3 + 600,7 + 1,393 \cdot 10^3 + 1,182 \cdot 10^4 = \\ &= 1,859 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \end{aligned}$$

Тоді сумарний момент інерції з порожнім ковшем:

$$\Sigma J_n = 1,859 \cdot 10^4 - 23,35 \cdot 18,42^2 = 1,067 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Останнім кроком визначаємо середньозважену потужність двигуна механізму повороту за формулою (3.55).[7]

$$P_{\text{в(св)}} = \frac{(\Sigma J + \Sigma J_n) \cdot \omega_p^2}{t_{\text{р.л.}}} \quad (3.55)$$

де ω_p – розрахункова стала кутова швидкість платформи, с^{-1} ;

$t_{\text{р.л.}}$ – час повороту платформи з навантаженням ковшем на розвантаження, с .

Розрахункова стала кутова швидкість платформи визначається за формулою (3.56).[7]

$$\omega_p = 0,105 \cdot n_{\text{в.л.}} \quad (3.56)$$

де $n_{\text{в.л.}}$ – розрахункова частота обертання поворотної платформи, об/хв .

Приймаємо розрахункову частоту обертання поворотної платформи $n_{\text{в.л.}}$ рівною 2,7 об/хв . Тоді розрахункова стала кутова швидкість платформи:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 65 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Кожна модель містить підсистеми, які формують змінний в часі момент навантаження M_c та момент інерції J . Ці параметри необхідно враховувати, оскільки в циклі роботи екскаватора присутній як рух із заповненим породою ковшем, так і рух із порожнім ковшем, вага якого сягає 11,5 тон і може значно впливати на динаміку роботи електромеханічного обладнання екскаватора. Моделі для приводів підйому і повороту аналогічні моделі на рисунок 3.2.

Для того, щоб провести симуляцію повного циклу роботи екскаватора, на вхід моделей електроприводів напору, підйому і повороту подаються трапеційні сигнали завдання швидкості обертання. Для формування сигналів завдання швидкості використано моделі задаючих пристроїв першого порядку, рисунок 3.3.

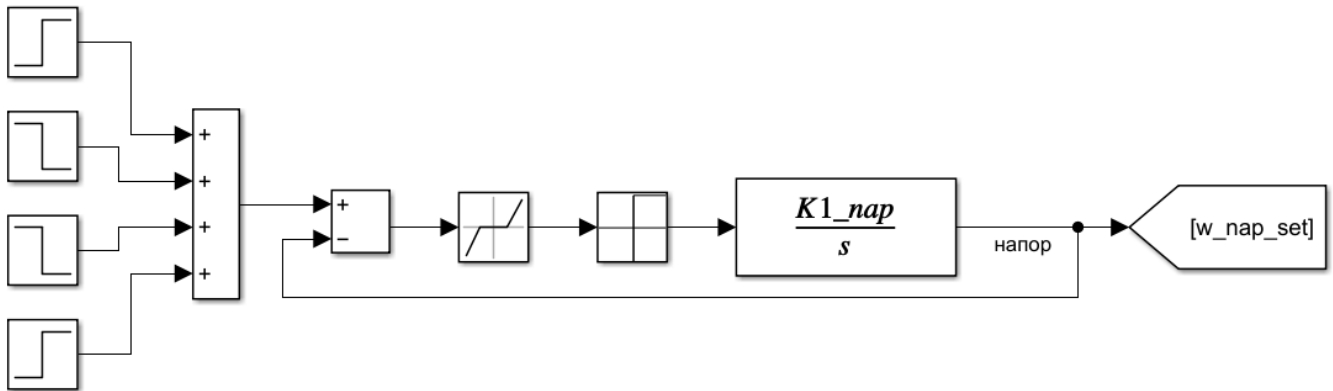


Рисунок 3.3. Модель задаючого пристрою першого порядку електроприводу напору

Для коректної роботи із змінною моделлю створено m-файл, код якого розміщено в Додатку 1.

Сигнали завдання узгоджені із алгоритмом роботи екскаватора (копання, поворот на розвантаження, розвантаження, поворот порожнього ковша в забій), представлені на рисунку 3.4. Розгін і гальмування приводу повороту має менше прискорення, оскільки екскаватор представляє собою значну масу із великим моментом інерції.

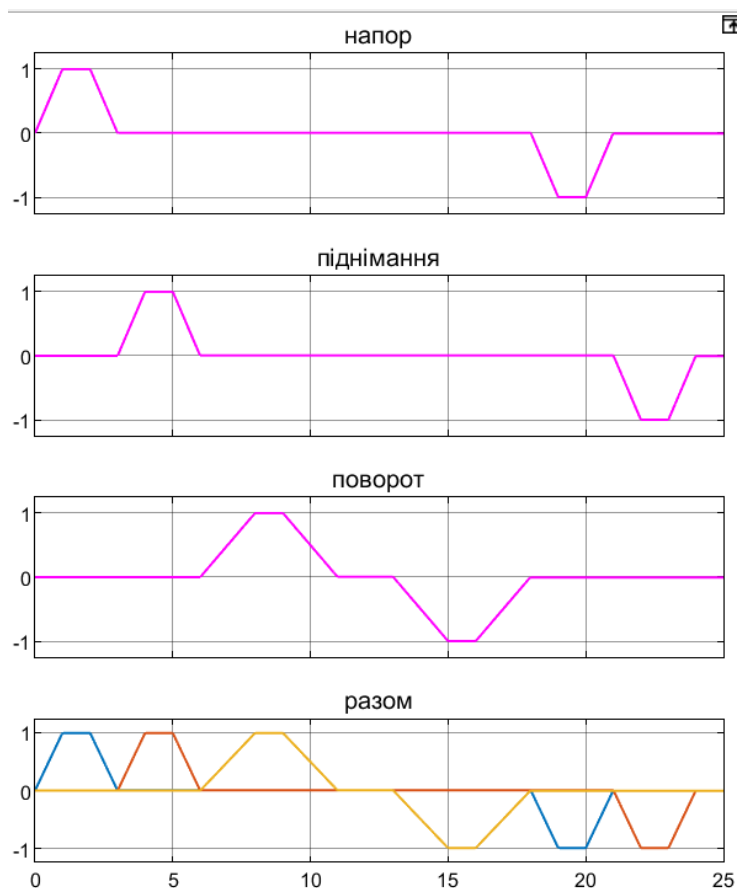


Рисунок 3.4. Сигнали завдання швидкості для електроприводів екскаватора

На рисунку 3.5 зображено системи управління електроприводу напору на одиничний ступінчатий вплив.

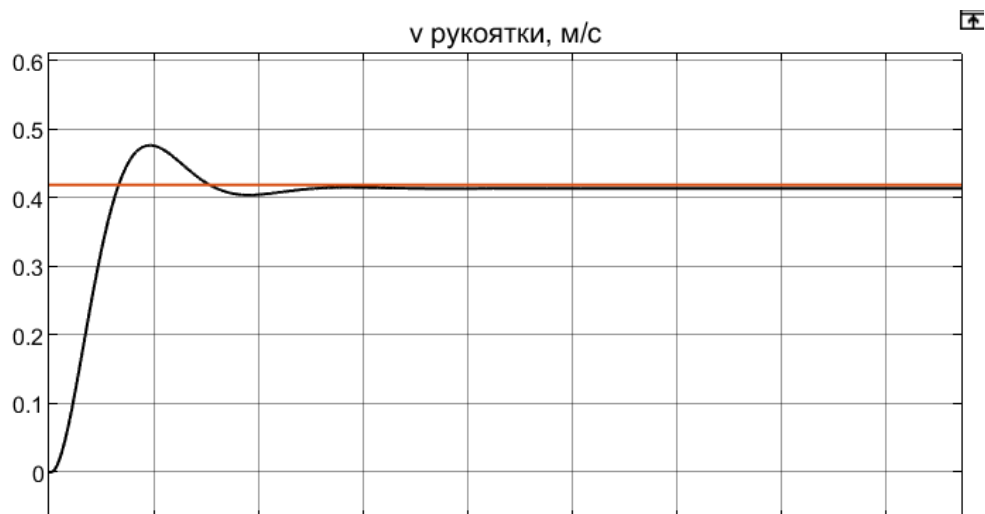


Рисунок 3.5. Реакція системи управління електроприводу напору на одиничний ступінчатий вплив

Із перехідного процесу на рисунку 3.5 можна оцінити якість налаштування регулятора швидкості. Час регулювання становить приблизно 4 секунди, що є прийнятним для даного типу системи. Перерегулювання становить близько 20%, коливання після першого пікового значення швидко затухають, і система виходить на усталене значення без значної сталої похибки. Така динаміка свідчить про коректну роботу ПІ-регулятора.

На рисунку 3.6. відображено завдання і відпрацювання лінійної швидкості руху рукоятки і крутний момент, що розвиває двигун приводу рукоятки.

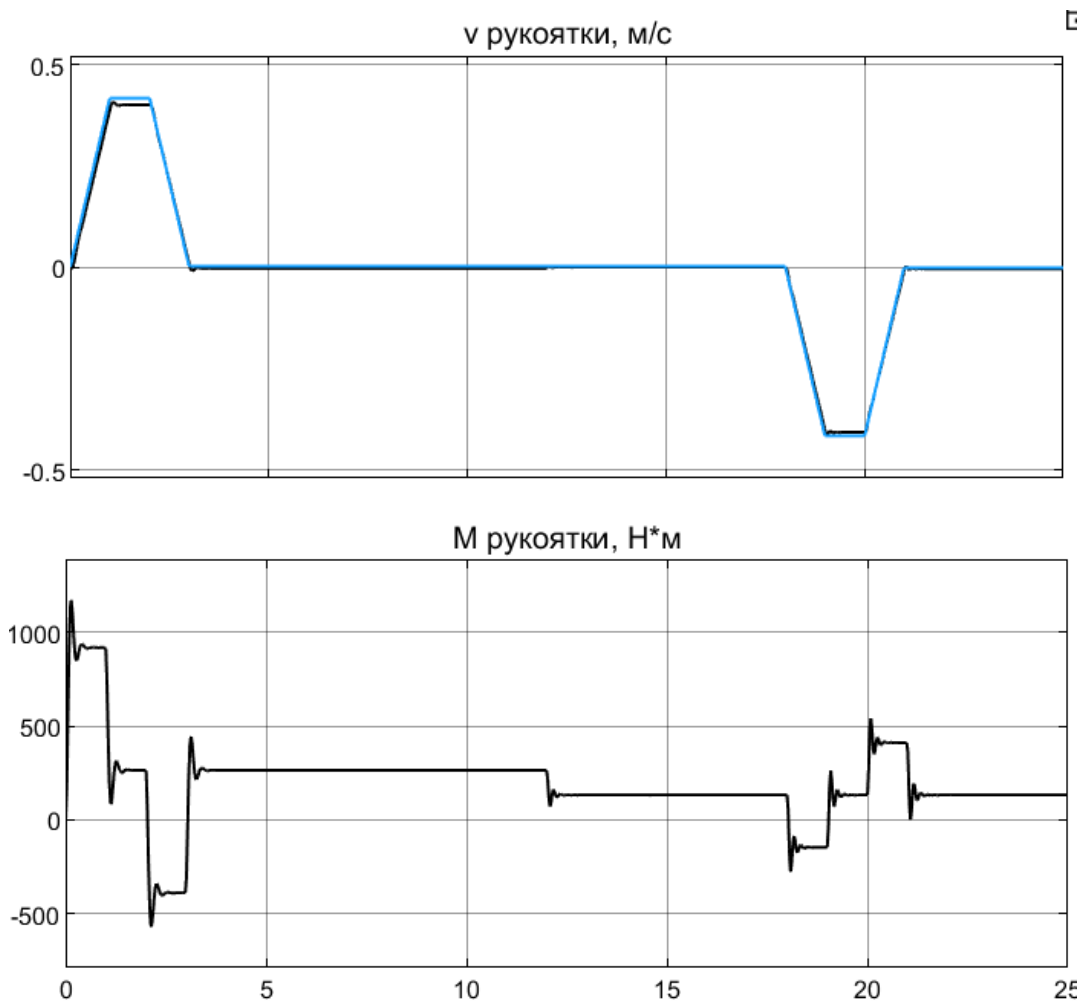


Рисунок 3.6. Завдання і відпрацювання лінійної швидкості руху рукоятки і крутний момент, що розвиває двигун приводу рукоятки

На рисунку 3.7 представлено завдання і відпрацювання лінійної швидкості руху ковша вгору і крутний момент, що розвиває двигун приводу піднімання.

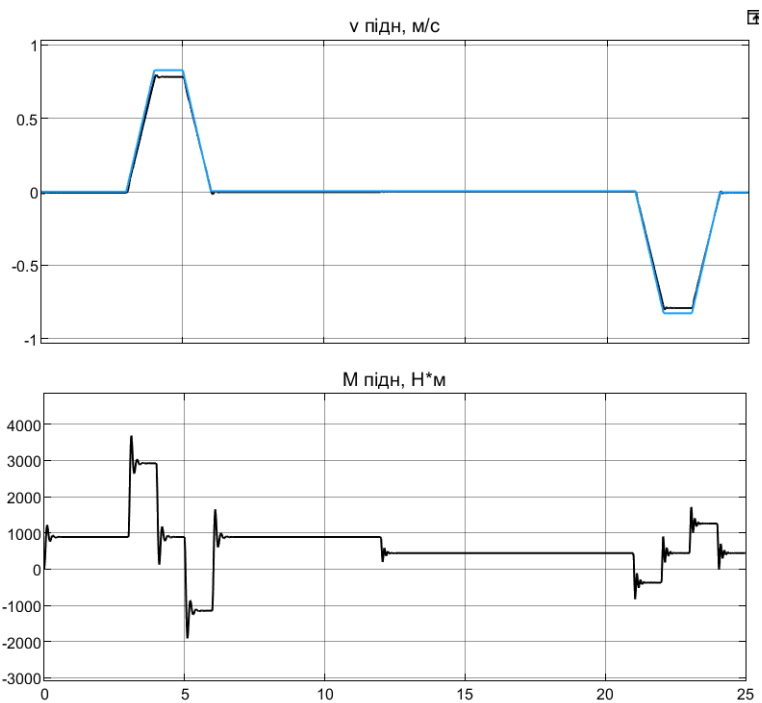


Рисунок 3.7. Завдання і відпрацювання лінійної швидкості руху ковша вгору і крутний момент, що розвиває двигун приводу піднімання

На рисунку 3.8 зображено завдання і відпрацювання кутової швидкості повороту і крутний момент, що розвиває двигун приводу повороту.

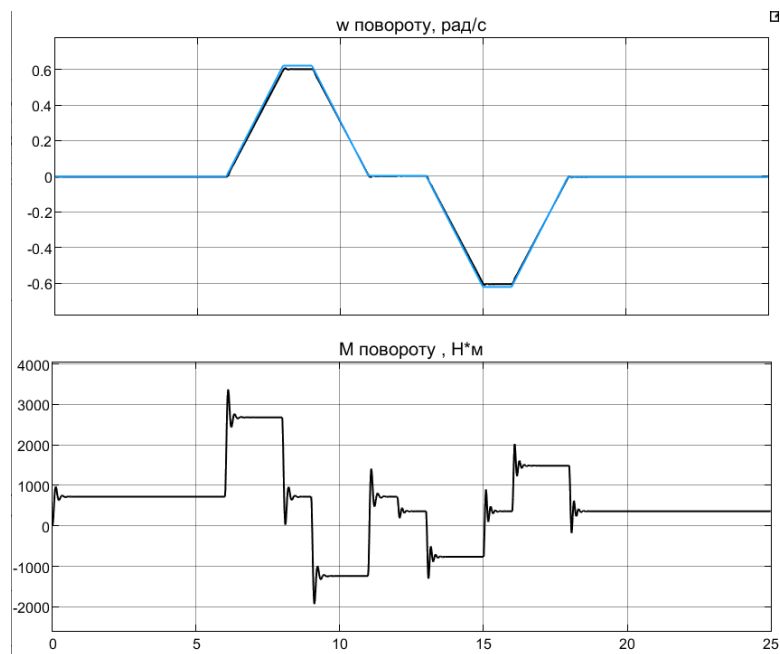


Рисунок 3.8. Завдання і відпрацювання кутової швидкості повороту і крутний момент, що розвиває двигун приводу повороту

На рисунку 3.9 представлено завдання і відпрацювання швидкостей приводів напорю, піднімання і повороту та крутні моменти за цикл роботи екскаватора. Із даного рисунку можна спостерігати узгоджену роботу усіх електроприводів екскаватора типу пряма лопата протягом усього циклу роботи, включаючи копання, поворот на розвантаження і повернення ковша в забій.

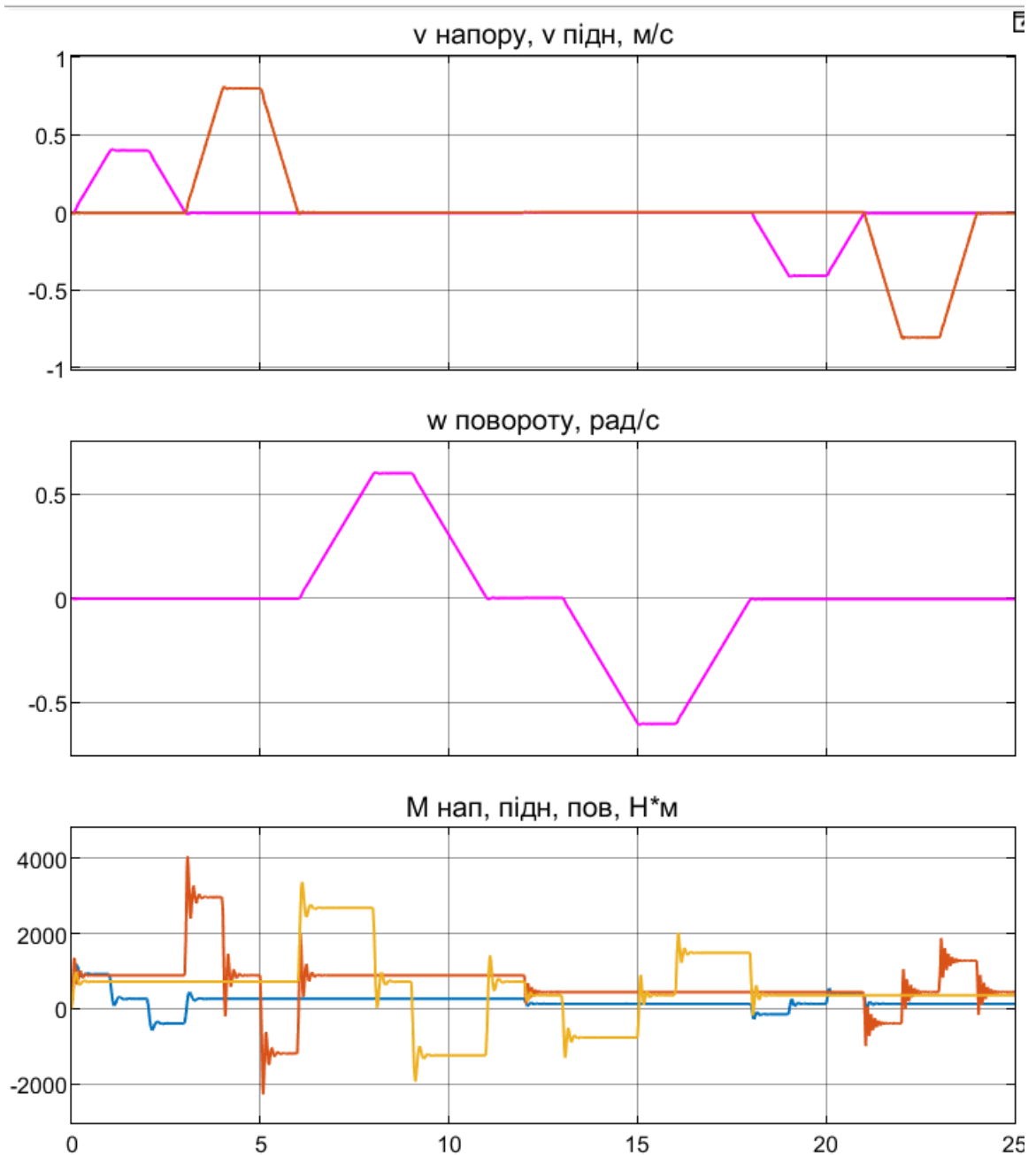


Рисунок 3.9. Завдання і відпрацювання швидкостей приводів напорю, піднімання і повороту та крутні моменти за цикл роботи екскаватора

Висновки по розділу 3

В даному розділі було розраховано і обрано електроприводи для механізмів напору, піднімання і повороту екскаватора типу механічна лопата. На основі проведених розрахунків потужності було обрано наступні двигуни приводів:

- Для підйомного механізму – WEG IE3 2P 50Hz 370 kW;
- Для напірного механізму – WEG IE3 2P 50Hz 110 kW;
- Для поворотного механізму – WEG IE3 2P 50Hz 300 kW.

Також було створено математичну модель електроприводів у програмному забезпеченні Matlab Simulink і знято робочі характеристики. На отриманих характеристиках можна спостерігати узгоджену роботу усіх електроприводів екскаватора типу пряма лопата протягом усього циклу роботи, включаючи копання, поворот на розвантаження і повернення ковша в забій.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 72 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Шкідливі та небезпечні чинники у кар'єрі

Робота в кар'єрі супроводжується низкою шкідливих і небезпечних факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників та безпеку виробничого процесу. Основними ризиками є фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні чинники, які потребують ретельного контролю та впровадження заходів безпеки.

Одним із головних небезпечних факторів є висока запиленість повітря, що виникає внаслідок дроблення та переміщення гірських порід. Дрібнодисперсний пил може спричиняти захворювання дихальної системи, зокрема силікоз та хронічні бронхіти. Крім того, у кар'єрах часто спостерігається загазованість повітря, особливо при використанні вибухових робіт, що може призводити до отруєнь та зниження рівня кисню.

Високий рівень шуму та вібрації є ще одним суттєвим фактором ризику. Робота важкої техніки, бурових установок та дробильних машин створює інтенсивне акустичне навантаження, що може викликати порушення слуху та негативно впливати на нервову систему. Вібраційні навантаження, особливо при роботі з екскаваторами та самоскидами, можуть спричиняти професійні захворювання опорно-рухового апарату.

Температурні коливання та несприятливі погодні умови також впливають на безпеку працівників. Робота в умовах високих або низьких температур може призводити до перегріву чи переохолодження організму, а підвищена вологість сприяє розвитку ревматичних захворювань.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|--------------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Боряк Р. Ю. | | | Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | | Мугенов Д. Д. | | | | | 73 | |
| Реценз. | | | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Н. Контр. | | Кулаковський Л. Я. | | | | Сікорського | | |
| Затверд. | | Бойченко С. В. | | | | 155 ОА 11 | | |

До механічних небезпек належать можливість обвалення породи, падіння працівників з висоти, а також ризик зіткнення з рухомими механізмами. Кар'єрна техніка, така як екскаватори, самоскиди та конвеєрні системи, потребує особливої уваги до правил безпечної експлуатації, щоб уникнути травм та аварійних ситуацій.

Хімічні фактори включають вплив токсичних речовин, що можуть міститися у вибухових матеріалах, мастильних рідинах та продуктах переробки породи. Контакт із такими речовинами може спричиняти отруєння, алергічні реакції та хронічні захворювання.

Психофізіологічні чинники також відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки працівників. Висока концентрація уваги, необхідність швидкого прийняття рішень та фізичне навантаження можуть призводити до перевтоми, що збільшує ризик виробничих травм.

Перелік визначених шкідливих чинників, їх приклади, можливі наслідки для працівників і гранично допустимі норми внесені до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік визначених шкідливих і небезпечних чинників у кар'єрі

| Група чинників | Приклади | Можливі наслідки для працівників | Гранично допустимі норми |
|----------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Фізичні | Запиленість, шум, вібрація, перепади температур | Захворювання дихальної системи, порушення слуху, професійні хвороби опорно-рухового апарату | Запиленість: до 4 мг/м ³ , шум: до 85 дБА, вібрація: до 0,1 м/с ² |
| Механічні | Обвалення породи, падіння з висоти, зіткнення з технікою | Травми, переломи, летальні випадки | Висота без захисту: не більше 1,3 м, безпечна відстань до техніки: 5 м |

Продовження таблиці 4.1

| | | | |
|-------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хімічні | Викиди газів, контакт із вибуховими речовинами | Отруєння, алергічні реакції, хронічні захворювання | CO ₂ : до 0,5 мг/м ³ , NO ₂ : до 5 мг/м ³ , озон: до 0,1 мг/м ³ |
| Біологічні | Наявність мікроорганізмів у ґрунті, комахи | Інфекційні захворювання, алергії | Вміст біологічних агентів: контроль відповідно до санітарних норм |
| Психофізіологічні | Висока концентрація уваги, фізичне навантаження | Перевтома, зниження реакції, підвищений ризик травм | Тривалість змін: до 8 годин, перерви кожні 2 години |

Таким чином, робота в кар'єрі пов'язана з численними небезпечними та шкідливими факторами, які потребують комплексного підходу до охорони праці. Впровадження сучасних засобів захисту, автоматизація виробничих процесів та дотримання правил безпеки дозволяють мінімізувати ризики та забезпечити комфортні умови роботи для персоналу.

4.2 Розробка заходів захисту від шкідливих та небезпечних чинників у кар'єрі

Ефективний захист працівників кар'єру від шкідливих та небезпечних виробничих факторів потребує системного підходу, який включає аналіз умов праці, оцінку ризиків та впровадження відповідних технічних, організаційних та індивідуальних заходів безпеки. Вибір заходів захисту базувався на таких критеріях: відповідність нормативним вимогам, ефективність у реальних умовах роботи, технічна та економічна доцільність їх застосування.

4.2.1 Вплив фізичних чинників та заходи захисту

Запиленість, підвищений рівень шуму та вібрації є одними з найпоширеніших шкідливих факторів у кар'єрних умовах. Запилення виникає внаслідок механічного дроблення гірських порід та роботи екскаваторів, що може призводити до респіраторних захворювань. Для контролю цього чинника впроваджено системи пилопригнічення, які застосовують розпилення води в місцях найбільшого накопичення пилу. Також використовується фільтрувальна вентиляція у робочих кабінах техніки, що дозволяє значно зменшити концентрацію шкідливих часток у повітрі.

Шумові навантаження у кар'єрі перевищують допустимі 85 дБА через постійну роботу великогабаритної техніки та бурових установок. Захист включає використання шумоізоляційних матеріалів у робочих приміщеннях та кабінах машин, а також видачу працівникам засобів індивідуального захисту (акустичних навушників, спеціальних вкладишів). Антивібраційні рукавички та спецодяг дозволяють знизити негативний вплив вібрації, що є важливим для операторів екскаваторів та бурових машин.

4.2.2 Механічні небезпеки та способи їх усунення

Основними механічними небезпеками у кар'єрі є обвалення породи, падіння працівників з висоти, а також ризик зіткнення з працюючими механізмами. Для запобігання обваленню передбачено систематичний моніторинг стану породи та зміцнення її спеціальними анкерними кріпленнями. Окрім цього, працівники зобов'язані дотримуватися зон безпечного переміщення, що позначаються сигнальними системами.

Під час роботи на висоті понад 1,3 метра працівники використовують страхувальні системи, а також спец. огороження на небезпечних ділянках кар'єру.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 76 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У місцях активного руху кар'єрної техніки впроваджено системи попереджувальних сигналів та обмеження руху персоналу в критичних зонах.

4.2.3 Хімічні ризики та методи захисту

Концентрація шкідливих газів, таких як CO₂, NO₂ та озон, у повітрі кар'єру може перевищувати допустимі норми, особливо при використанні вибухових речовин та паливних двигунів. Для захисту персоналу застосовують вентиляційні системи, які очищають повітря у робочих зонах. Працівникам видаються респіратори та маски з вугільними фільтрами, які ефективно затримують шкідливі речовини. Окрім цього, проводиться регулярний моніторинг газового складу атмосфери, що дозволяє контролювати рівень небезпечних випарів і оперативно реагувати на перевищення норм.

4.2.4 Біологічні фактори та протиепідемічні заходи

Кар'єрна робота може передбачати контакт із мікроорганізмами, що містяться у ґрунті, або з комахами, які є переносниками інфекцій. Для зменшення ризику зараження проводиться дезінфекція робочих зон, а також регулярне прибирання місць, де накопичуються органічні залишки. Працівники забезпечуються захисним одягом, що запобігає прямому контакту з потенційно небезпечними агентами. Також проводяться профілактичні щеплення та медичний контроль персоналу.

4.2.5 Психофізіологічні навантаження та шляхи їх зниження

Високий рівень фізичного та емоційного навантаження може призводити до перевтоми та зниження концентрації уваги, що збільшує ризик виробничих травм. Встановлено регламентовані перерви на відпочинок кожні 2 години, що дозволяє працівникам відновлювати сили. Чергування фізичної роботи з аналітичною діяльністю сприяє зменшенню стресу та запобігає розвитку професійного вигорання. Крім того, на підприємствах впроваджуються програми психологічної підтримки для працівників, які працюють у складних умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 77 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Перелік впроваджених заходів безпеки відповідно до визначених шкідливих чинників внесені до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Впроваджені заходи безпеки відповідно до визначених шкідливих чинників

| Група чинників | Фактичні значення | Гранично допустимі норми | Відповідність нормам | Заходи захисту |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Фізичні | Запиленість: 8–12 мг/м ³ , шум: 90–110 дБА, вібрація: 0,15–0,2 м/с ² | Запиленість: до 4 мг/м ³ , шум: до 85 дБА, вібрація: до 0,1 м/с ² | Перевищення | Використання систем пилопригнічення (водяні завіси, фільтри), шумоізоляція техніки, антивібраційний спецодяг |
| Механічні | Висота уступів: до 30 м, відстань до техніки: 3–5 м | Безпечна висота: до 1,3 м, безпечна відстань: не менше 5 м | Часткове перевищення | Захисні огорожі, сигнальні системи, страхувальні засоби при роботі на висоті |
| Хімічні | СО ₂ : 0,7–1,2 мг/м ³ , NO ₂ : 8–15 мг/м ³ , озон: 0,2–0,3 мг/м | СО ₂ : до 0,5 мг/м ³ , NO ₂ : до 5 мг/м ³ , озон: до 0,1 мг/м ³ | Суттєве перевищення | Вентиляційні системи, постійний моніторинг рівня газів, респіратори з фільтрами |
| Біологічні | Висока концентрація мікроорганізмів у ґрунті, наявність комах | Контроль згідно санітарних норм | В межах норми | Дезінфекція робочих зон, використання захисного одягу та рукавичок, профілактичні медогляди |

Продовження таблиці 4.2

| | | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Психофізіологічні | Робоча зміна: 10 годин | Тривалість зміни: до 8 годин | Перевищення | Регламентовані перерви кожні 2 години, ротація робіт для зменшення втоми |
|-------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|

Впровадження комплексних заходів захисту в кар'єрі дозволяє значно знизити ризики для здоров'я працівників та підвищити безпеку виробничих процесів. Ефективне поєднання технічних рішень, організаційних заходів та засобів індивідуального захисту є ключовим фактором збереження працездатності персоналу та запобігання аварійним ситуаціям.

4.3 Умови праці на кар'єрі

Робота в кар'єрі пов'язана з інтенсивними фізичними навантаженнями, впливом шкідливих факторів та необхідністю дотримання суворих норм безпеки. Працівники кар'єру виконують завдання в умовах відкритого простору, що піддає їх впливу погодних змін, високої запиленості, шуму та вібрації. Окрім цього, робота з важкою технікою та вибуховими матеріалами створює додаткові ризики, які потребують ретельного контролю та впровадження заходів захисту.

4.3.1 Основні фактори впливу на умови праці

Фізичні навантаження

Працівники кар'єру часто виконують важку фізичну роботу, пов'язану з переміщенням матеріалів, керуванням технікою та обслуговуванням обладнання. Високий рівень фізичних навантажень може призводити до перевтоми, що потребує регламентованих перерв та чергування робочих процесів.

Запиленість та якість повітря

Дроблення породи, транспортування матеріалів та вибухові роботи сприяють утворенню великої кількості пилу, що може негативно впливати на дихальну систему працівників. Для зменшення цього впливу використовуються системи пилопригнічення, вентиляція та засоби індивідуального захисту, такі як респіратори.

Шум та вібрація

Робота важкої техніки, бурових установок та вибухові роботи створюють високий рівень шуму (90–110 дБА) та вібрації (0,15–0,2 м/с²), що може призводити до порушень слуху та проблем з опорно-руховим апаратом. Для захисту працівників використовуються шумоізоляційні матеріали, антивібраційні рукавички та спецодяг.

Хімічні фактори

Викиди газів, таких як CO₂ (0,7–1,2 мг/м³) та NO₂ (8–15 мг/м³), можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Для контролю рівня газів впроваджуються системи вентиляції, моніторинг повітря та використання респіраторів.

Психофізіологічні навантаження

Висока концентрація уваги, необхідність швидкого прийняття рішень та фізичне навантаження можуть призводити до перевтоми. Регламентовані перерви кожні 2 години, чергування фізичних і розумових навантажень та психологічна підтримка допомагають зменшити цей вплив.

4.3.2 Висновки по умовам праці на кар'єрі

Умови праці на кар'єрі характеризуються високими фізичними та психофізіологічними навантаженнями, впливом шкідливих факторів та необхідністю дотримання суворих норм безпеки. Для мінімізації ризиків впроваджуються комплексні заходи захисту, включаючи технічні рішення, організаційні заходи та засоби індивідуального захисту.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 80 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.4 Електробезпека на кар'єрі

Робота в кар'єрі передбачає активне використання електрообладнання, такого як екскаватори, конвеєрні системи, бурові установки та освітлювальні прилади. Високі навантаження, несприятливі погодні умови та особливості виробничого процесу створюють підвищені ризики ураження електричним струмом. Забезпечення електробезпеки є необхідною умовою для запобігання аварійним ситуаціям і захисту працівників.

Найбільш поширеними ризиками у сфері електробезпеки є ураження електричним струмом, пошкодження електрообладнання, несправність заземлення та перенапруга, яка виникає внаслідок грозових розрядів. Відкрите розташування електроустановок у кар'єрі та несприятливі погодні умови можуть спричинити пошкодження ізоляції кабелів, що створює небезпеку для персоналу. Окрім цього, запиленість, вібрація та механічні удари можуть призводити до передчасного виходу електричних систем з ладу, що збільшує ризик короткого замикання. Ефективне заземлення є критично важливим для мінімізації можливості ураження струмом, проте у кар'єрних умовах заземлювальні контури можуть пошкоджуватися або не працювати належним чином.

Для забезпечення електробезпеки впроваджують комплекс заходів, які включають використання діелектричних засобів захисту, регулярні перевірки ізоляції кабелів, встановлення захисних кожухів, модернізацію заземлювальних систем та впровадження пристроїв захисту від перенапруги. Працівники кар'єру мають використовувати діелектричні рукавички та взуття, щоб мінімізувати ризик ураження струмом при роботі з електрообладнанням. Важливим етапом є проведення регулярного технічного обслуговування всіх електросистем для попередження механічних пошкоджень та запобігання коротким замиканням. Захист електромереж від грозових розрядів забезпечується встановленням

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 81 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

блискавозахисних пристроїв, які ефективно нейтралізують електромагнітні імпульси.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 3 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, електробезпека на кар'єрі є важливим аспектом охорони праці, що потребує системного підходу та постійного контролю. Впровадження комплексних технічних та організаційних заходів дозволяє значно знизити ризики аварійних ситуацій та забезпечити безпечні умови роботи для персоналу.

4.5 Пожежна безпека на кар'єрі

Кар'єрні роботи пов'язані з підвищеним ризиком виникнення пожеж через використання важкої техніки, вибухових матеріалів та наявність горючих речовин. Відкритий характер кар'єру сприяє швидкому поширенню вогню, особливо в умовах сухого клімату та сильного вітру. Для запобігання пожежам та мінімізації їх наслідків впроваджуються комплексні заходи протипожежного захисту.

Основними джерелами пожежної небезпеки є паливно-мастильні матеріали, електрообладнання, вибухові речовини та самозаймисті породи. Висока температура, механічні іскри та короткі замикання можуть спричинити займання, що потребує постійного контролю та дотримання правил пожежної безпеки. На кожному кар'єрі створюється профілактична протипожежна служба, яка розробляє плани ліквідації пожеж, контролює стан антипірогенних обробок матеріалів та перевіряє наявність первинних засобів пожежогасіння.

Кар'єри оснащуються пожежними автомобілями або пожежними поїздами, а екскаватори, бурові установки та транспортні засоби укомплектовуються ручними вогнегасниками. Великі механізми, такі як драглайни та конвеєрні системи, обладнуються автоматичними системами виявлення та гасіння пожежі. Окрім цього, проводиться регулярний моніторинг стану електрообладнання, а місця зберігання паливно-мастильних матеріалів облаштовуються спеціальними протипожежними бар'єрами.

Для запобігання займання породи застосовуються антипірогенні обробки, а вибухові роботи проводяться з дотриманням суворих норм безпеки.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 82 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Після масових вибухів допуск працівників у кар'єр дозволяється лише після перевірки рівня шкідливих газів та розсіювання пилової хмари. У погано провітрюваних зонах організовується штучна вентиляція, а кабінки гірничого обладнання ізолюються та забезпечуються подачею очищеного повітря.

Таким чином, пожежна безпека на кар'єрі базується на комплексному підході, що включає профілактичні заходи, технічні рішення та постійний контроль стану обладнання. Впровадження сучасних систем пожежогасіння та дотримання правил безпеки дозволяє мінімізувати ризики займання та забезпечити безпечні умови праці.

Висновки по розділу 4

В даному розділі було визначено основні шкідливі та небезпечні чинники, що супроводжують роботу в кар'єрі, а також розроблено ефективні заходи їх мінімізації. Аналіз умов праці показав, що працівники кар'єру піддаються впливу запиленості, шуму, вібрації, хімічних забруднень, високих фізичних та психофізіологічних навантажень. Встановлено, що фактичні рівні шкідливих чинників у кар'єрі часто перевищують гранично допустимі норми, що вимагає обов'язкових заходів безпеки для зниження їх впливу.

На основі проведеного аналізу розроблено систему заходів захисту, яка включає технічні, організаційні та індивідуальні засоби. Системи пилопригнічення, шумоізоляційні матеріали, антивібраційні спецодяг і рукавички суттєво зменшують негативний вплив фізичних факторів. Впровадження сучасних вентиляційних систем та регулярний моніторинг концентрації хімічних речовин дозволяє контролювати рівень газового забруднення повітря. Використання засобів індивідуального захисту, таких як респіратори, дозволяє запобігти отруєнням та ураженням дихальної системи.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 83 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Особлива увага приділена електробезпеці та пожежній безпеці. Визначено ризику ураження електричним струмом через пошкодження ізоляції та недосконале заземлення. Запропоновані заходи включають регулярну перевірку електросистем,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|---|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 3 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

використання діелектричних засобів захисту та впровадження пристроїв захисту від перенапруги. Для протидії пожежним ризикам запропоновано створення протипожежних бар'єрів, оснащення кар'єрної техніки автоматичними системами пожежогасіння та організацію навчання персоналу з правил протипожежної безпеки.

Узагальнюючи всі заходи, можна констатувати, що їх комплексне впровадження дозволяє значно покращити умови праці, знизити ризики травматизму та підвищити рівень промислової безпеки на кар'єрі. Подальший розвиток технічних засобів контролю та підвищення рівня організації охорони праці сприятиме створенню більш безпечних та комфортних умов для працівників.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 84 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження конструкції, електромеханічного обладнання та систем керування кар'єрного екскаватора типу пряма лопата, що дозволило сформувавши цілісне уявлення про принципи його функціонування, особливості експлуатації та напрями технічного вдосконалення.

У першому розділі роботи розглянуто конструктивні особливості кар'єрних екскаваторів, зокрема їхні робочі органи, гусеничне або рейкове шасі, високопродуктивні системи приводу, а також засоби автоматизації. Особливу увагу приділено електромеханічному обладнанню: було проаналізовано сучасні компоненти електроприводу механізмів піднімання, напору та повороту, із акцентом на використання асинхронних двигунів змінного струму з частотним регулюванням.

У другому розділі було обрано трансформатор для живлення електромеханічного обладнання кар'єру. Також було обрано кабелі для споживачів низької та середньої напруг живлення, а також повітряні лінії для споживачів середньої напруги. Були визначені величини струмів КЗ у відносних базисних одиницях і обрано комутаційне та захисне.

У третьому розділі було розраховано і обрано електроприводи для механізмів напору, піднімання і повороту екскаватора типу механічна лопата. Було створено математичну модель електроприводів у програмному забезпеченні Matlab Simulink і знято робочі характеристики.

У четвертому розділі було проаналізовано шкідливі та небезпечні чинники, притаманні відкритим гірничим роботам, такі як підвищена запиленість, шум, вібрації, хімічні та психофізіологічні навантаження. Для кожного з них розроблено заходи захисту з урахуванням реальних (фактичних) значень на кар'єрі.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|--------------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Електромеханічне обладнання та автоматизація електроприводу екскаватора типу механічна лопата | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Розроб. | | Боряк Р. Ю. | | | | | 85 | |
| Перевір. | | Мугенов Д. Д. | | | | НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського | | |
| Реценз. | | | | | | 155 ОА 11 | | |
| Н. Контр. | | Кулаковський Л. Я. | | | | | | |
| Затверд. | | Бойченко С. В. | | | | | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фролов О.О., Литвинчук І.Д., Остапчук А.О. Оптимізація роботи екскаваторно-автомобільного комплексу при відробці флювіогляціальних відкладів розкриву на кар'єрі Соснівського родовища гранітів – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2023 р., 376 с.
2. Лозинський О.Ю., Панченко Б.Я., Цяпа В.Б. Робота системи адаптивного керування екскаваторного електропривода в зоні екстремальних температур – Львів: Національний університет «Львівська політехніка».
3. Єрмілова Н.В., Гаврилко Є.В., Кислиця С.Г. Моделювання та дослідження електропривода поворотної платформи одноківшевих екскаваторів, 2018 р.
4. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. С. Рябенко, О. В. Мейта. – Електронні текстові данні (1 файл: 6,78 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
5. Електричні мережі та системи: Розрахункова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв» та «Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. П. Шевчук, О. В. Мейта. – Електронні текстові данні (1 файл: 6,99 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 50 с.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 86 |

6. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв. Рябенко І. С., Погрібний В. В. Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка». Електронний засіб навчального призначення НМУ №Е9/10-378. К: НТУУ «КПІ», 2010 р., 330 с.
7. Автоматизований електропривод типових промислових механізмів. Т. В. Коренькова, В. Г. Ковальчук, А. П. Калінов. Практикум і тестові завдання. Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій. Кременчук, 2023 р., 191 с.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 87 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТКИ

Додаток 1

m-файл моделі

```
% Параметри задаючого пристрою - імітація роботи джойстика оператора
viscous = 1;
deadZone1 = 0.005;
% для приводу напору-----
K1_nap = 1; % коефіцієнт підсилення інтегратора
Uwo1 = 1;
Uwo2 = 0;
Uwo3 = -1;
Uwo4 = 0;
U1 = Uwo1; % В
U2 = Uwo2 - Uwo1;
U3 = Uwo3 - Uwo2;
U4 = Uwo4 - Uwo3;
K1_pidn = K1_nap; % коефіцієнт підсилення інтегратора для приводу піднімання
K1_pov = K1_nap * 0.5; % коефіцієнт підсилення інтегратора для приводу повороту
% час вмикання приводів
t1_nap = 0; % копання - привод напору подає рукоятку вперед
t2_nap = t1_nap + 2;
t1_pidn = t2_nap + 1; % копання - привод піднімання
t2_pidn = t1_pidn + 2;
t1_pov = t2_pidn + 1; % поворот на розвантаження
t2_pov = t1_pov + 3;
t_rozv = 2; % проміжок часу на розвантаження, с
t3_pov = t2_pov + (t_rozv + 2); % поворот до забою
t4_pov = t3_pov + 3;
t3_nap = t4_pov + 2; % "втягування" рукоятки
t4_nap = t3_nap + 2;
t3_pidn = t3_nap + 3; % опускання ковша
t4_pidn = t3_pidn + 2;
t_nav = 12; % с, до цього часу - ковш із породою, після - порожній
%-----
f_n = 50; % Гц, частота напруги живлення
p = 1; % кількість пар полюсів (в усіх двигунів однакова)
J_k_p = 1.183e4; % момент інерції ковша з породою, кг*м2
J_k_por = 3.902e3; % момент інерції порожнього ковша, кг*м2
J_s = 1.574e3; % момент інерції стріли
J_nap = 601.963; % момент інерції напірного механізму
J_ruk = 1.396e3; % момент інерції рукоятки
% для приводу повороту:
J_s_por = 1.069e4; % сумарний момент інерції з порожнім ковшем
J_s_ob = 1.862e4; % сумарний момент інерції із навантаженим ковшем

% Параметри приводу піднімання
v_k = 0.8; % м/с, швидкість піднімання ковша
k_p_l = v_k / 6.843; % коеф. кутова швидкість -> лінійна
w_n_pidn = 312.558; % рад/с
Kfw_pidn = f_n / w_n_pidn; % коеф. відношення частоти живлення до кутової швидкості
b_pidn = 753.758;
M_n_pidn = 1184; % номінальний момент, Н*м
M_pusk_pidn = 2.5 * M_n_pidn; % критичний момент, Н*м
Tem_pidn = 3.052e-3; % с, електромеханічна стала часу
Jdv_pidn = 6.76; % кг*м2, момент інерції двигуна приводу піднімання
mu_pidn = 44; % коеф передачі редуктора піднімання
```

| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |

```

J_pidn1 = (Jdv_pidn + J_k_p + J_ruk)/mu_pidn; % кг*м2, момент інерції мех-ів підйому
для ковша із породю
J_pidn2 = (Jdv_pidn + J_k_por + J_ruk)/mu_pidn; % кг*м2, момент інерції мех-ів
підйому для порожнього ковша
% M_pidn_pruv = M_pusk_pidn * mu_pidn; % допустиме значення моменту для роботи на
лінійній частині характеристики
Mc_pidn_1 = M_n_pidn * 0.75; % Н*м, для спрощення моделі вважаємо, що завантаження
% ковша породю відбувається миттєво, а не поступово при русі ковша
Mc_pidn_2 = Mc_pidn_1 / 2; % Н*м, момент при опусканні порожнього ковша
% Параметри передаточної функції перетворювача частоти приводу піднімання
K_pch_pidn = 1;
T_pch_pidn = 0.05; % с
% параметри регулятора швидкості приводу піднімання
K_p_pidn = 35;
K_i_pidn = 0.005;
PI_limit_pidn = 2000;

% Параметри приводу напору
v_r = 0.4; % м/с, швидкість переміщення рукоятки
k_r_l = v_r / 3.7243; % коеф. кутова швидкість -> лінійна
w_n_nap = 311.855; % рад/с
Kfw_nap = f_n / w_n_nap; % коеф. відношення частоти живлення до кутвої швидкості
b_nap = 153.223;
M_n_nap = 353; % номінальний момент, Н*м
M_pusk_nap = 2.5 * M_n_nap; % критичний момент, Н*м
Tem_nap = 2.602e-3; % с, електромеханічна стала часу
Jdv_nap = 1.6629; % кг*м2, момент інерції двигуна приводу напору
mu_nap = 80; % коеф передачі редуктора напору
J_nap1 = (Jdv_nap + J_nap + J_ruk + J_k_p)/mu_nap; % кг*м2, момент інерції мех-ів
напору для ковша із породю
J_nap2 = (Jdv_nap + J_nap + J_ruk + J_k_por)/mu_nap; % кг*м2, момент інерції мех-ів
напору для порожнього ковша
% M_nap_pruv = M_pusk_nap * mu_nap; % допустиме значення моменту для роботи на
лінійній частині характеристики
Mc_nap_1 = M_n_nap * 0.75; % Н*м, для спрощення моделі вважаємо, що завантаження
% ковша породю відбувається миттєво, а не поступово при русі ковша
Mc_nap_2 = Mc_nap_1 / 2; % Н*м, момент при русі порожнього ковша
% Параметри передаточної функції перетворювача частоти привода напору
K_pch_nap = 1;
T_pch_nap = 0.05; % с
% параметри регулятора швидкості приводу піднімання
K_p_nap = 35;
K_i_nap = 0.005;
PI_limit_nap = 2000;

% Параметри приводу повороту
w_aim = 0.284; % рад / с
k_pov = w_aim / 3.747;
w_n_pov = 312.588; % рад/с
Kfw_pov = f_n / w_n_pov; % коеф. відношення частоти живлення до кутвої швидкості
b_pov = 611.155;
M_n_pov = 960; % номінальний момент, Н*м
M_pusk_pov = 2.5 * M_n_pov; % критичний момент, Н*м
Tem_pov = 2.682e-3; % с, електромеханічна стала часу
Jdv_pov = 5.5761; % кг*м2, момент інерції двигуна приводу повороту
mu_pov = 38; % коеф передачі редуктора повороту
J_pov1 = (Jdv_pov + J_s_ob) / mu_pov; % кг*м2
J_pov2 = (Jdv_pov + J_s_por) / mu_pov; % кг*м2

```

| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |

```
Mc_pov_1 = M_n_pov * 0.75; % Н*м
Mc_pov_2 = Mc_pov_1 / 2; % Н*м, момент при русі порожнього ковша
% Параметри передаточної функції перетворювача частоти привода повороту
K_pch_pov = 1;
T_pch_pov = 0.05; % с
% параметри регулятора швидкості приво́ду повороту
K_p_pov = 35;
K_i_pov = 0.005;
PI_limit_pov = 2000;
```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------|----|
| | | | | | ДП ОА11.05.000 ПЗ | 90 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |