

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Колеснікова Олександра Валерійовича
(ПІБ)

академічної групи 141-17ск-3
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Автоматизований електропривод човникового слитковозу по системі ТП-Д
(назва за наказом ректора)

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|--|-----------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинговою | інституційною | |
| кваліфікаційної роботи | Сьомін А.О. | | | |
| розділів: | | | | |
| Охорона праці | Столбченко О.В. | | | |
| Технічно– економічне обґрунтування | Тимошенко Л.В. | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Рецензент | | | | |
| Нормоконтролер | Казачковський М.М. | | | |

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

_____ Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Колеснікову О.В. академічної групи 141-17ск-3
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Автоматизований електропривод човникового слитковозу по системі ТП-Д,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|-------------------------------------|--|------------------|
| Технологічна частина | Загальна характеристика роботи слитковоза Опис принципу роботи слитковоза Вихідні дані для проектування електроприводу слитковоза | 26.04.2020 |
| Автоматизований електропривод | Розрахунок та вибір електропривода Розрахунок та вибір силової схеми електропривода | 08.05.2020 |
| Дослідження динаміки електропривода | Вибір структури САК ЕП, складання передаточних функцій Моделювання динамічних режимів роботи привода технологічного механізму | 12.05.2020 |
| Охорона праці | Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні робіт на дільниці Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень Пожежна профілактика | 26.05.2020 |
| Техніко-економічне обґрунтування | Розрахунок капітальних витрат Розрахунок експлуатаційних витрат | 03.06.2020 |

Завдання видано _____

(підпис керівника)

_____ Сьомін А.О.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2019

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

_____ Колесніков О.В.

(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка 58 с., 12 рис., 7 табл., 7 джерел, 4 аркуши графічної частини.

Об'єкт розробки: Автоматизований електропривод човникового слитковозу по системі ТП-Д.

Мета роботи: розробка автоматизованого тиристорного електроприводу, із широким діапазоном регулювання.

Обрано елементи силового кола для слитковозу бльомінгу 1300 (тиристорний електропривод постійного струму ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4, понижуючий трансформатор ТСЗИ-10, сухий реактор СРОСЗ-800). Перевірено якість перехідних процесів в однозонній системі регулювання струму і швидкості.

Розраховано перехідні процеси у тиристорному електроприводі із використанням пакету робочих інструментів Simulink у середовищі Matlab. Одержано графіки залежності струму якоря від часу в однозонному електроприводі. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, розраховано штучне освітлення виробничих приміщень, та розроблено заходи з пожежної профілактики.

При розрахунку розділу «Техніко-економічне обґрунтування» встановлено, що капітальні витрати становлять 60406 грн., а експлуатаційні витрати – 586469 грн. Таким чином з'ясована доцільність використання тиристорного електроприводу та обране силове обладнання.

ЧОВНИКОВИЙ СЛИТКОВОЗ, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ – ДВИГУН, ВИБІР СИЛОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА, ОДНОКОНТУРНА ОДНОЗОННА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.Р.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 1 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Abstract

The explanatory note: 59 pages, 13 figures, 7 tables, 7 sources, 4 sheets of the graphic part.

Object of development: Automated Electric Drive of the Shuttle Car by the System "Thyristor Converter - DC Motor".

Purpose: development of an automated thyristor electric drive with a wide range of regulation.

Elements of the power circuit for the shuttle car of blooming 1300 (thyristor electric drive of direct current ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4, step-down transformer ТСЗИ-10, dry reactor СРОСЗ-800) are selected. The quality of transients in a single-zone current and speed control system is checked.

The transients in the thyristor electric drive are calculated using the Simulink working tool package in the Matlab environment. Graphs of the dependence of the armature current on time in a single-zone electric drive. The analysis of dangerous and harmful production factors is carried out, artificial lighting of production premises is calculated, and measures on fire prevention are developed.

When calculating the section "Feasibility study" it is established that capital expenditures amount to UAH 60406, and operating costs - UAH 586469. Thus, the expediency of using a thyristor electric drive is determined and the power equipment is selected.

SHUTTLE CAR, THYRISTOR CONVERTER - ENGINE, CHOICE OF POWER SCHEME OF ELECTRIC DRIVE, SINGLE-CIRCULAR SINGLE-ZONE REGULATORY SYSTEM.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.Р.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 2 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Зміст

| | |
|--|----|
| Реферат | 1 |
| Вступ | 4 |
| 1. Технологічна частина | 6 |
| 1.1 Загальна характеристика роботи слитковоза | 6 |
| 1.2 Опис принципу роботи слитковоза | 9 |
| 1.3 Вихідні дані для проектування електроприводу слитковоза | 11 |
| 2. Автоматизований електропривод | 13 |
| 2.1 Розрахунок та вибір електропривода | 13 |
| 2.2 Розрахунок та вибір силової схеми електропривода | 21 |
| 3. Дослідження динаміки електропривода | 28 |
| 3.1 Вибір структури САК ЕП, складання передаточних функцій | 28 |
| 3.2 Моделювання динамічних режимів роботи привода технологічного механізму | 31 |
| 4. Охорона праці | 36 |
| 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні робіт на дільниці | 36 |
| 4.2 Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень | 39 |
| 4.3 Пожежна профілактика | 43 |
| 5. Техніко-економічне обґрунтування | 47 |
| 5.1 Розрахунок капітальних витрат | 47 |
| 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат | 51 |
| Висновки | 57 |
| Перелік посилань | 58 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------------------|--------|------|--|--|------------|------|---------|----|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.3М.ПЗ | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Автоматизований електропривод човникового слитковозу по системі ТП-Д | | Літ. | Арк. | Аркушів | |
| Розроб. | | Колесніков О. В. | | | | | | | 3 | 58 |
| Перевір. | | Сьомін А. О. | | | | | 141-17ск-3 | | | |
| Н. Контр. | | | | | | | | | | |
| Затверд. | | | | | Пояснювальна записка | | | | | |

Вступ

Чорна металургія одна з найбільш розвинених в Україні галузей промисловості, на яку припадає 1/4 всього промислового виробництва. Вона виробляє чавун, сталь, прокат, феросплави, труби та ін. Це матеріаломістка галузь: для виплавки 1 т чавуну потрібно приблизно 3 т залізної руди, 1,1 т коксу, 20 т води, а також марганцева руда, вапняк, флюси та ін. Тому підприємства чорної металургії розміщуються біля джерел сировини чи палива або між ними.

Металургійні заводи мають комплекс обладнання, яке розділяється на наступні категорії: устаткування для підготовки сирих металів до подальшої плавки, доменні установки, прокатне обладнання, устаткування для перевезення готової продукції.

Транспортно-технологічний комплекс забезпечує подачу нагрітих злитків до приймального рольгангу обжимного прокатного стану. Відомі слитковози у вигляді рейкових візків-перекидачів. Такі рейкові візки-перекидачі забезпечені поворотною люлькою для прийому злитків і укладання їх на рольганг блюмінга, а для повороту люльки застосовують ролики, консольно встановлені на обох сторонах люльки і взаємодіючі з направляючими, стаціонарно вмонтовуваними з боків рейкового шляху.

Автоматизований електропривод застосовують в човникових слитковозах.

Всі провідні електротехнічні корпорації випускають регульовані електроприводи комплектно з комп'ютерними засобами автоматизації у вигляді гнучко програмованих систем, призначених для широкого використання. Окупність коштів, вкладених в такі системи, є найбільш швидкою. Крім застосування регульовані електроприводи спільно з технологічними пристроями використовуються в якості засобів регулювання технологічних змінних - рівня, тиску, вологості, температури, дозування, продуктивності.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.ВС.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 4 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Застосування більш дешевого електроприводу дає змогу зекономити на придбанні слитковоза, а в металургії за його допомогою можна швидко та безпечно транспортувати злитки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.ВС.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1. Технологічна частина

1.1 Загальна характеристика роботи слитковоза

Механізм відноситься до металургії, а також допоміжного обладнання прокатних цехів і може бути використаний при подачі злитків до блюмінгів і слябінгів після їх нагрівання в нагрівальних колодязях.

Слитковоз подає злитки (нагріті в нагрівальних колодязях до температури прокатки) до приймального рольгангу блюмінга або слябінга і перекидає його на ролики. Для полегшення роботи слитковоза ділянки приймального рольганга у нагрівальних печей обладнуються стаціонарним перекидачем, укладають злитки на ролики рольгангів по осі прокатки. Злитки подаються на перекидач за допомогою кліщового крана, минаючи слитковоз.

В результаті зменшується пробіг слитковоза, а стаціонарний перекидач дозволяє здійснити подачу злитків з перших груп колодязів на приймальний рольганг кліщовими кранами, що полегшує також роботу слитковоза.

За останні роки продуктивність сучасних великих блюмінгів становить 5,0-6,5 млн.т/рік. Щоб забезпечити ритмічну роботу злитків, застосовують кільцеву слиткоподачу, при якій по замкнутому витягнутому кільцю безперервно рухаються чотири слитковоза. За допомогою колодязного кліщового крана нагрітий злиток укладається на горизонтальну зварену платформу (маса злитка до 25 т). Платформа має пружинні амортизатори. На відміну від слитковоза, застосовуваних раніше на блюмінгах, на платформі немає вертикальної люльки з перекидачем.

Платформа слитковоза спирається шарнірно через роликові підшипники на плиту і на двох ходових візках (на два скати), чотири колеса які стикаються з важкими рейками спеціального профілю. Кожний ходовий візок приводиться від розташованого під платформою електродвигуна постійного струму через циліндричний двоступінчастий редуктор. Базова відстань між осями коліс 6,5 м; на прямих ділянках колії слитковоз може рухатися зі швидкістю до 6,5 м/с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.01.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

При підході до приймального рольгангу (збоку від нього) слитковоз зупиняється і злиток за допомогою штовхача зсувається з платформи на бочки роликів рольганга і транспортується далі до валяння робочої кліті блюмінга для прокатки.

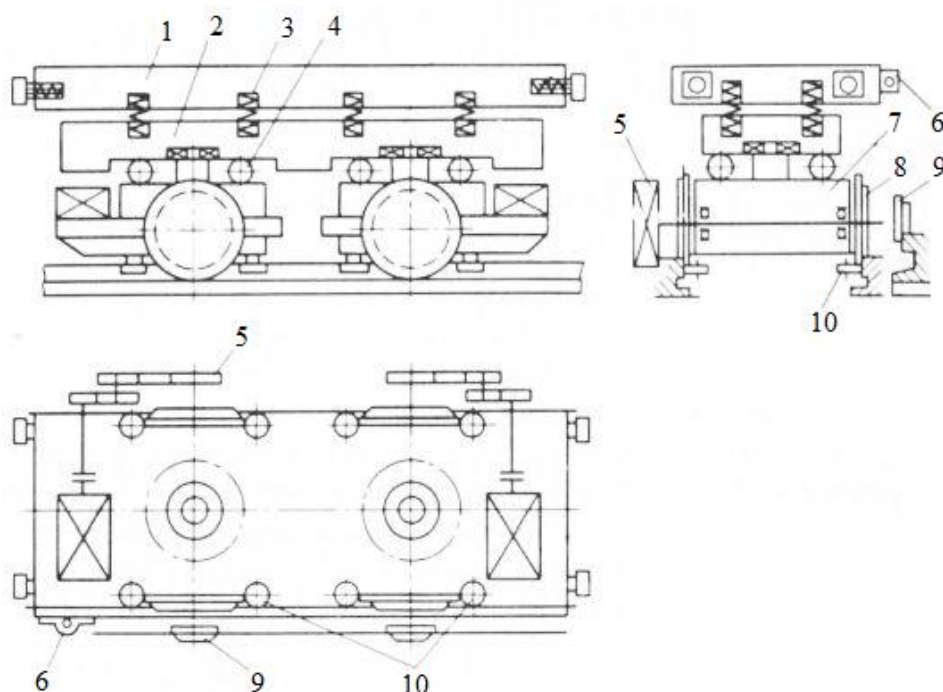


Схема слитковоза: 1 – платформа, 2 – лита плита, 3 – шарніри, 4 – радіально-упорні підшипники, 5 – зубчаста передача, 6 - шарнірно-телескопічне з'єднання, 7 – лафети, 8 – ходові колеса, 9 – бігунки, 10 – ролики.

Рисунок 1.1 – Схема слиткового блюмінга 1300 конструкції УЗТМ

Слитковоз без злитка рухається потім по закругленій рейці і потім по зворотному прямому шляху до нагрівальних колодязів для прийому наступного злитка. Для можливості самостійного руху коліс із зовнішньої сторони є вільні бігунки діаметром 630 мм, що спираються на додаткових (третьох) рейок, розташований вище основних рейок для ходових коліс. При наближенні до закругленої ділянки шляху бігунки починають спиратися на поступово зростаючій третій рейці, при цьому перші бічні колеса піднімаються і не будуть стикатися зі своєю рейкою. Таким чином, при русі з невеликою швидкістю (1-1,5 м/с) по закругленій ділянці шляху слитковоз матиме чотири опори: на двох

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--------------------|------|
| | | | | | | ЕП.ПД. 20.11.01.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

ходових лівих колесах і на двох бігунках, що виключає буксування приводних коліс по рейці; напрямок слитковоза по закругленій рейковій ділянці шляху забезпечується чотирма парами напрямних роликів.

Живлення електродвигунів здійснюється за допомогою шарнірно-телескопічного з'єднання б зі струмознімачем від тролей, що йдуть збоку вздовж усього шляху слитковоза.

Переваги слитковоза наступні:

- простота конструкції (відсутність люльки-перекидача зі складним шатунно-кривошипним механізмом для перекидача злитка) і надійність в експлуатації, необхідні для безперебійної роботи;

- можливість включення в автоматичний цикл кільцевої подачі злитків декількома слитковозами, що забезпечують високу продуктивність блюмінга (до 800 т/год злитків);

- можливість укладання злитка на платформу в горизонтальному положенні, відповідно наступному положенню злитка при транспортуванні його рольгангом до стану для прокатки.

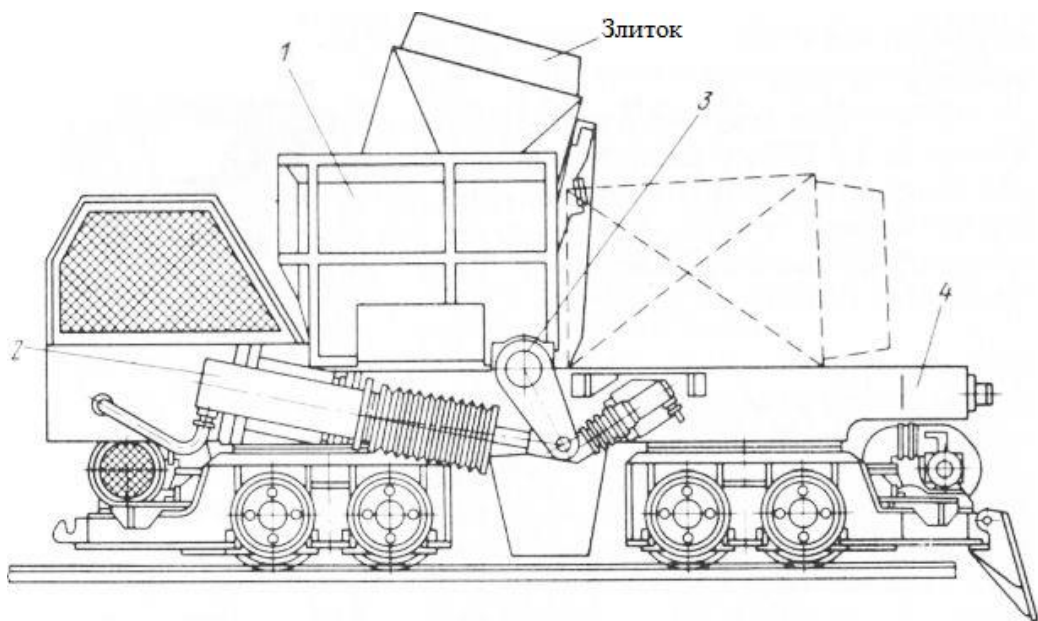


Схема слитковоза: 1 – люлька, 2 – кривошип, 3 – черв'ячно-циліндричний редуктор, 4 – платформа.

Рисунок 1.2 – Слитковоз слябінга 1250 конструкції НКСЗ

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

ЕП.ПД. 20.11.01.ПЗ

На слябінгах прокочують важкі злитки (16-30 т), тому укладання злитків, що виймаються колодязним кліщовим краном з колодязів у вертикальному положенні на горизонтальні візки-слитковози, мають певні складнощі і викликає удар злитка по рамі візка.

На слябінгу конструкції НКМЗ для кільцевої слиткоподачі застосовують слитковоз комбінованого типу; колодязним кліщовим краном злиток встановлюється в люльку слитковоза в вертикальному (похилому) положенні. При підході до приймального рольгангу люлька із злитком за допомогою гідроприводу повертається на 90° навколо осі вала; при цьому злиток укладається на горизонтальну раму слитковоза і потім бічним зіштовхувачем на приймальний рольганг.[1]

1.2 Опис принципу роботи слитковоза

Після завантаження злитка в люльку, слитковоз розганяється до швидкості $V1$ і направляється до приймального рольгангу. Для забезпечення необхідної точності зупинки ($\pm M$) при підході слитковоза до рольгангу, швидкість знижується до величини $V2$. Через деякий час відбувається рух на зниженій швидкості, двигуни переводяться в режим гальмування.

Через паузу $T1$, обумовлену вивантаженням злитка, слитковоз розганяється до швидкості $1,4*V1$ із підвищеною швидкістю направляється за новим злитком. При підході до нагрівального колодязя проводиться перехід на знижену швидкість $V2$, потім гальмування і зупинка в точно визначеному місці. Через деякий час $T2$ цикл повторюється.

Облік режиму роботи має велике значення при підборі двигуна. Виходячи з технологічного процесу, виберемо режим роботи $S3$.

Напруга на перетворювач частоти подається за допомогою автоматичного вимикача $QF1$. Після цього за допомогою перетворювача частоти включаються двигуни.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.01.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Кінематична схема системи має вигляд:

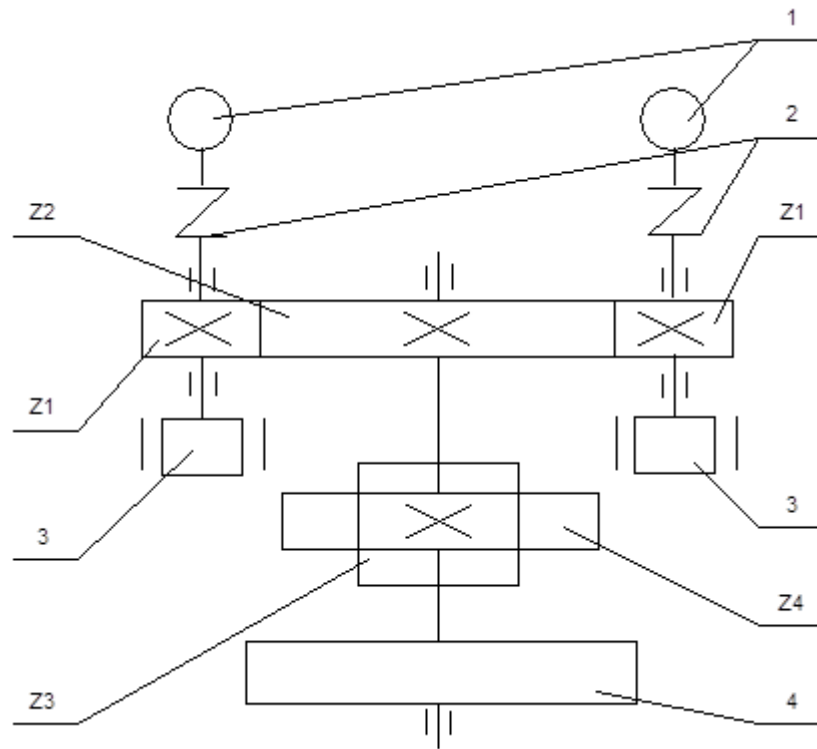


Рисунок 1.3 – Кінематична схема установки

На рисунку наведено такі позначення:

- 1- електродвигун;
- 2- муфта;
- 3- гальмо;
- 4- ходове колесо.

1.3 Вихідні дані для проектування електроприводу слитковоза

При човниковій подачі злитки транспортують дво- (рисунок 1.4) і трьохосьовими слитковозами. На схемі приведено трьохосьовий слитковоз, у якого електродвигун 5 механізму переміщення приводить у дію три пари ходових коліс 1 через циліндричну 3 і конічну 2 передачі. Застосовують також приводи з черв'ячною і циліндричною передачами.

Механізм перекидання люльки приводиться в рух від електродвигуна 4 через черв'ячно-циліндричний редуктор 6 і чотириланковий механізм, в який входить кривошип 11, шатун і люлька 9.[2]

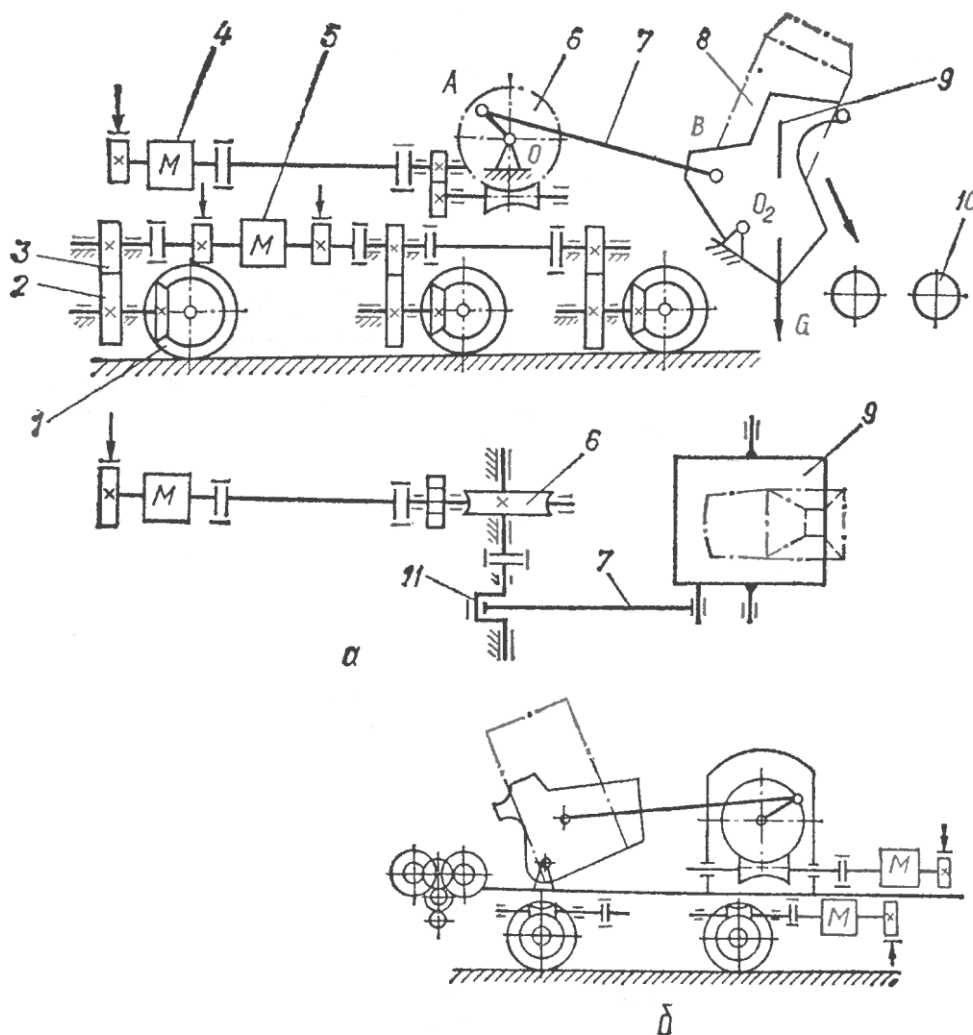


Рисунок 1.3 – Схеми механізмів слитковозів човникової подачі для блюмінга (а) і слябінга (б)

Щоб розрахувати обраний двигун приймаємо наступні данні:

Таблиця 1.1 – Технічні параметри слитковоза

| | |
|---------------------------------|-------|
| Швидкість руху, м/с | 3 |
| Колія, м | 1,8 |
| База, м | 3,5 |
| Діаметр ходових коліс, м | 1,05 |
| Маса злитків, т | 25 |
| Маса слитковоза, т | 120 |
| Механізм переміщення | |
| Потужність електродвигунів, кВт | 2×110 |
| Частота обертання, об/хв | 500 |

Для розрахунку приймаємо трапецієвидну тахограму швидкості слитковоза (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Тахограма і навантажувальна діаграма механізму переміщення слитковоза

2. Автоматизований електропривод

2.1 Розрахунок та вибір електропривода

Для транспортування нагрітих злитків від колодязів до прийомного рольганга стана застосовують слитковози. Є дві основні схеми подачі злитків - кільцева і човникова.

У даному дипломному проекті представлено човникову подачу злитків. Для цього вертикально поставлений злиток поворотом люльки укладається на рольганг.

Продуктивність слитковоза човникової подачі визначається циклом рейсу, включаючи паузи, необхідні для посадки злитка кліщовим краном у люльку ($t_1=6...14$ с) та тривалість укладки злитка на прийомний рольганг ($t_3=2...6$ с). Кліщовий кран із злитком чекає слитковоз на місці його зупинки.

Тривалість пересування слитковоза від колодязя до прийомного рольганга і назад при трапецоїдній діаграмі швидкості:

$$t_2 = 2S / v + 3v / a_{n(y)}, \quad (2.1)$$

де S - відстань від колодязів до прийомного рольганга; v - максимальна швидкість слитковоза ($S = 50$ м); $a_{n(y)}$ - прискорення й уповільнення слитковоза (прийнято, що сповільнення дорівнює половині прискорення).

$$t_2 = 2 \times 50 / 3 + 3 \times 3 / 1,7 = 38,627 \text{ с}$$

Максимальне прискорення a_{\max} визначають з умов забезпечення надійного зчеплення приводних коліс з рейками:

$$F_k f_3 \geq (G + G_b) / g, \quad (2.2)$$

де f_3 - коефіцієнт зчеплення (тертя) між колесом і рейкою ($f_3 = 0,17...0,18$); $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; G, G_b - відповідно вага злитка і слитковоза; F_k - навантаження на ведучі колеса; $a \leq fg$; або $a_{\max} = 1,7...1,8 \text{ м/с}^2$.

Згідно з практикою експлуатації максимальне прискорення беруть менше - $1,2-1,3 \text{ м/с}^2$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Прискорення й уповільнення при пуску і гальмуванні визначають за формулою:

$$a_n = (f_s - \frac{2k_p k}{D})g; \quad a_z = (f_s + \frac{2k}{D})g, \quad (2.3)$$

де k - коефіцієнт тертя кочення колеса по рейді; k_p - коефіцієнт, враховує тертя в ребордах; D - діаметр колеса.

$$a_n = (0,18 - \frac{2 \times 2,5 \times (8 \times 10^{-4})}{1,05}) \times 9,81 = 1,728 \text{ м/с}^2$$

$$a_z = (0,18 + \frac{2 \times (8 \times 10^{-4})}{1,05}) \times 9,81 = 1,781 \text{ м/с}^2$$

Годинну продуктивність і завантаженість визначають за формулою:

$$T_u = t_1 + t_2 + t_3 .$$

$$T_u = 14 + 38,627 + 6 = 58,627 \text{ с}$$

$$G = m_3 \times g = 25000 \times 9,81 = 2,453 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$G_g = m_g \times g = 120000 \times 9,81 = 1,177 \times 10^6 \text{ Н}$$

При підході до рольганга на 6-7 м швидкість знижується до 0,8-1 м/с (повзуча швидкість) для забезпечення точної зупинки.

Прискорення слитковоза приймають у межах 1,2-1,3 м/с², тоді тривалість розгону і гальмування

$$t_{n(z)} = v / a_{n(z)} ,$$

де v - швидкість сталого руху (приймають $t_{n(r)} = 1,5 \dots 2,5$ с).

$$t_{n(z)} = 3 / 1,7 = 1,765 \text{ с}$$

Шлях при розгоні і гальмуванні

$$s_n = vt_n / 2 ; \quad s_z = vt_z / 2 . \quad (2.5)$$

$$s_n = 3 \times 1,765 / 2 = 2,648 \text{ м} \quad s_z = 3 \times 1,765 / 2 = 2,648 \text{ м}$$

Шлях при сталій швидкості руху слитковоза

$$s_c = s - (s_n + s_z + s'_c) ,$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

де s - шлях руху слитковоза від групи нагрівних колодязів до прийомного рольганга 7 із зливком і зворотний шлях без зливка; s_c' - шлях при меншій швидкості, що дорівнює 6-7 м.

$$s_c = 50 - (2,648 + 2,648 + 7) = 37,704 \text{ м}$$

Тривалість сталого руху

$$t_c = s_c / v; \quad t_c' = s_c' / v_c', \quad (2.6)$$

де v_c' - повзуча швидкість.

$$t_c = 37,704 / 3 = 12,568 \text{ с} \quad t_c' = 7 / 1 = 7 \text{ с}$$

Цикл переміщення навантаженого слитковоза

$$T_{y1} = (2s_{n(c)} + s_c + (v_c / v_c')s_c') / v_c, \quad (2.7)$$

$$T_{y1} = (2 \times 2,648 + 37,704 + (3/1) \times 7) / 3 = 21,333 \text{ с}$$

Цикл переміщення слитковоза без злитка

$$T_{y2} = t_n + t_c + t_z = (2s_{n(c)} + s_c) / v_c, \quad (2.8)$$

$$T_{y2} = (2 \times 2,648 + 37,704) / 3 = 14,333 \text{ с}$$

Для попереднього вибору електродвигуна слитковоза визначаємо статичний опір руху W_c та сили інерції при пуску F_i :

$$W_s = W_o + F_i = (G + G_g) \frac{df + 2k}{D} k_p + \delta(m_s + m_g)a_n;$$

$$W_c = (G + G_g)\omega_0; \quad \omega_0 = (fd + 2k)k_p / D, \quad (2.9)$$

де m_s, m_g - відповідно маса злитка і слитковоза; D, d - відповідно діаметри ходового колеса і цапфи ($d = 225$ мм); f - коефіцієнт тертя в підшипниках ($f = 0,015 \dots 0,020$); k - коефіцієнт тертя кочення колеса по рейці ($k = (5 \dots 8) 10^{-4}$ м); k_p - коефіцієнт, що враховує тертя реборд по рейках ($k_p = 2 \dots 2,5$); δ - коефіцієнт, що враховує обертові маси привода ($\delta = 1,1 \dots 1,3$).

$$W_s = (2,453 \times 10^5 + 1,177 \times 10^6) \times \frac{0,225 \times 0,020 + 2 \times (8 \times 10^{-4})}{1,05} \times 2,5 + 1,3 \times \\ \times (25000 + 120000) \times 1,728 = 3,465 \times 10^5 \text{ Н}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$W_c = (2,453 \times 10^5 + 1,177 \times 10^6) \times 0,015 = 2,066 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$\omega_0 = (0,020 \times 0,225 + 2 \times (8 \times 10^{-4})) \times 2,5 / 1,05 = 0,015 \text{ рад/с}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$P = (W_c + F_i)v / (\psi_{n,cp} \eta_m), \quad (2.10)$$

де $\psi_{n,cp}$ - середня кратність пускового моменту двигуна постійного струму ($\psi_{n,cp} = 1,8 \dots 2$, $F_i = 1,3 \times (25000 + 120000) = 3,258 \times 10^5$, $\eta_m = 88,4$).

$$P = (2,066 \times 10^4 + 3,258 \times 10^5) \times 3 / (2 \times 0,884) = 5,879 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Для уточнення розрахунку потужності привода механізму переміщення необхідно побудувати навантажувальну діаграму електродвигуна (рисунок 1.4).

Моменти на валу електродвигуна в період розгону привода

$$M_{n,3} = M_{c,3} + M_{дин} = W_c D / (2u_p \eta_m) + \left[\delta J_0 \omega / t_n + (m_3 + m_6) \frac{v^2}{\omega t_n \eta_m} \right] \quad (2.11)$$

де $M_{c,3}$ - статичний момент опору при переміщенні навантаженого слитковоза ($M_{c,3} = (2,066 \times 10^4) \times 1,05 / (2 \times 9,158 \times 0,884) = 1,34 \times 10^3 \text{ Нм}$); $M_{дин}$ - динамічний момент при розгоні привода; u_p - передаточне число редуктора ($\omega_k = \frac{v}{R_k} = \frac{3}{0,525} = 5,714 \text{ рад/с}$, $u_p = \frac{52,333}{5,714} = 9,158$, $u_p = 9,158$); J_0 - момент інерції якоря двигуна разом з деталями на його валу ($J_0 = 10,7 \text{ кг} \times \text{м}^2$); ω - кутова швидкість двигуна ($\omega = \frac{3,14 \times 500}{30} = 52,333 \text{ рад/с}$); v - лінійна швидкість слитковоза; t_n - тривалість пуску.

$$M_{n,3} = (2,066 \times 10^4) \times 1,05 / (2 \times 9,158 \times 0,884) + \left[1,3 \times 10,7 \times 52,333 / 1,765 + (25000 + 120000) \times \frac{3^2}{52,333 \times 1,765 \times 0,884} \right] = 1,773 \times 10^4 \text{ Нм}$$

Момент на валу електродвигуна при усталеному режимі руху $M_c = M_{c,3}$ в період гальмування

$$M_{c,3} = M_{c,3} - M'_{дин}$$

$$M'_{дин} = \delta J_0 \omega / t_2 + (m_3 + m_6) \frac{v^2}{\omega t_2} \eta_m \quad (2.12)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$M'_{\text{дин}} = 1,3 \times 10,7 \times 52,333 / 1,765 + (25000 + 120000) \times \frac{3^2}{52,333 \times 1,765} \times 0,884 = 1,29 \times 10^4 \text{ Нм}$$

$$M_{z.3} = (1,34 \times 10^3) - (1,29 \times 10^4) = -1,156 \times 10^4 \text{ Нм}$$

При русі слитковоза в зворотному напрямку без зливка моменти будуть такі:

в період пуску

$$M_n = M_c + M_{\text{дин}} = \frac{G_0 \omega_0 D}{2u_p \eta_m} + \left(\delta J_0 \frac{\omega}{t_n} + m_0 \frac{v^2}{\omega t_n \eta_m} \right); \quad (2.13)$$

$$M_n = \frac{(1,177 \times 10^6) \times 0,015 \times 1,05}{2 \times 9,158 \times 0,884} + \left(1,3 \times 10,7 \times \frac{52,333}{1,765} + 120000 \times \frac{3^2}{52,333 \times 1,765 \times 0,884} \right) = 1,475 \times 10^4 \text{ Нм}$$

при усталеному русі

$$M_{yc} = M_c = 1,34 \times 10^3 \text{ Нм};$$

при гальмуванні

$$M_z = M_c - M_{\text{дин}};$$

$$M_{\text{дин}} = \delta J_0 \omega / t_z + (m_3 + m_0) \frac{v^2}{\omega t_z} \eta_m \quad (2.14)$$

$$M_{\text{дин}} = 1,3 \times 10,7 \times 52,333 / 1,765 + (25000 + 120000) \times \frac{3^2}{52,333 \times 1,765} \times 0,884 = 1,075 \times 10^4 \text{ Нм}$$

$$M_z = (1,34 \times 10^3) - (1,075 \times 10^4) = -9,409 \times 10^3 \text{ Нм}$$

Еквівалентний момент на приводному валі визначаємо за формулою:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 t_i}{\sum t_{ci} + \alpha \sum (t_{n1} + t_{z1}) + \beta \sum t_{zi}}} \quad (2.15)$$

де α , β - коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна при несталому русі ($\alpha = 0,75$; $\beta = 0,5$); t_3 - тривалість зупинки електродвигуна, $\sum M_i^2 t_i$ - сума складових чинників; $\sum t_{zi}$ - загальна тривалість зупинок біля прийомного рольганга і під час завантаження зливка.

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|--------------------|------|
| | | | | | | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | |

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{(5,551 \times 10^8) + (2,256 \times 10^7) + (2,359 \times 10^8) + (3,839 \times 10^8) + (2,256 \times 10^7) + (1,562 \times 10^8)}{25,136 + 0,75 \times (1,765 + 1,765) + 0,5 \times 3,53}} = 6,825 \times 10^3 \text{ Нм}$$

Потужність двигуна, згідно з еквівалентним моментом, [2]

$$P = M_{екв} \omega / \eta_M \quad (2.16)$$

$$P = (6,825 \times 10^3) \times 52,333 / 0,884 = 4,04 \times 10^5 \text{ Вт}$$

Згідно з розрахованою потужністю, було обрано 2 електродвигуни типу ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4.

Тиристорні електроприводи постійного струму серії ТЕП призначені для регулювання швидкості, напруги (ЕРС) двигуна та інших координат руху, визначених вимогам автоматизованого об'єкта або технологічного процесу.



Рисунок 2.1 – Тиристорний електропривод серії ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4

Конструкція і принцип дії

Силова частина електроприводів побудована на основі трифазної мостової схеми випрямлення. Вентильна частина реверсивних електроприводів виконана на основі зустрічно-паралельній схеми включення і забезпечена системою роздільного управління реверсивними групами.

До складу електроприводів входить: випрямляч (випрямний пристрій з системою імпульсно-фазового управління); силовий трансформатор або мережевий реактор; лінійний контактор; система захисту і сигналізації,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

включаючи індикацію несправностей; пристрій споживання обмотки збудження двигуна; система автоматичного регулювання та система діагностики.

Конструктивно електроприводи виконані у вигляді шаф каркасного типу підлогового виконання з одностороннім обслуговуванням. Допускається установка шаф тильними сторонами один до одного і до стіни.

На вході змінного струму встановлений захист від мережевих перенапруг і перенапруг при відключенні ненавантаженого трансформатора.

Шафи електроприводів, в залежності від потужності, мають примусове повітряне або природне повітряне охолодження.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри електродвигуна

| | |
|--|-----------------------------------|
| Модель | ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4 |
| Номінальна вихідна напруга електроприводу, В | 460 |
| Номінальний вихідний струм, А | 500 |
| Номінальна вихідна потужність, кВт | 230 |
| Габарити LxVxH, мм | 600x610x1940 |
| Маса реверсивного електроприводу, кг | 275 |

Система захисту електроприводу забезпечує:

1. Захист при перевищенні миттєвого струму граничної величини встановлюється для даного електроприводу;
2. Захист при аварійній перевантаженні тиристорів;
3. Захист при зникненні і неприпустимому зниженні струму збудження електродвигуна;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

4. Захист при зникненні напруги живлення силових ланцюгів і напруги власних потреб;

5. Захист від перевантаження електродвигуна, що перевищує задану величину протягом певного часу

Система сигналізації електропривода забезпечує:

1. Сигналізацію про готовність електроприводу до роботи;

2. Сигналізацію про аварійне відключення перетворювача;

3. Сигналізацію про наявність напруги в силовому ланцюзі і напруги власних потреб.

Електроприводи мають канали видачі сигналів в зовнішню систему автоматизації об'єкта.

Можуть бути встановлені додаткові вузли: джерело живлення обмотки збудження; джерело живлення для електромагнітного гальма; пристрій динамічного гальмування; джерело живлення обмотки збудження тахогенератора.

Вбудовані тиристорні джерела живлення обмотки збудження двигуна забезпечують вихідну напругу від 40 до 230В, при струмі навантаження до 25А (виконання ТЕР 320 - ТЕР 500).

Термін служби електроприводів не менше 20 років.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.2 Розрахунок та вибір силової схеми електропривода

В даному розділі необхідно вибрати комплектні тиристорні перетворювачі (ТП) і силові трансформатори для ланцюгів якоря та збудження, для ТП ланцюга якоря розраховують величини індуктивності реакторів на сторонах постійного та змінного струму і провести їх вибір за каталогом, вибирати шунти для ланцюгів якоря та збудження, а також тахогенератор для зміни швидкості електропривода.

Комплектний ТП якірного ланцюга вибирається по номінальному струму $I_{дн}$ і напрузі, $U_{дн}$ і номінальним параметрам якірного ланцюга двигуна:

$$I_{дн} \geq I_{ян}, 630 \geq 500 \text{ А};$$

$$U_{дн} \geq U_{ян}, 460 = 460 \text{ В};$$

Потужність силового трансформатора визначається за номінальною потужністю двигуна $P_{ндв}$ та його ККД $\eta_{дв}$

$$S_{тр} \geq \frac{P_{ндв}}{\eta_{дв}} \quad (2.17)$$

$$S_{тр} \geq \frac{230}{0.90} \geq 256 \text{ кВт}$$

Вибір типу силового трансформатора приводиться за потужністю $S_{тр}$, а також номінальній напрузі його вторинної обмотки U_2 з умови

$$U_{d0} = (1,1 \div 1,3)U_{ян} \quad (2.18)$$

Де U_{d0} – максимальна випрямлена напруга перетворювача при куті регулювання $\alpha = 0$

Для трифазної нульової схеми $U_{d0} = 1,17U_{2\phi}$, а для трифазної симетричної мостової $U_{d0} = 1,35U_{2л}$ ($U_{2\phi}$ і $U_{2л}$ – номінальні значення фазного та лінійної напруги вторинної обмотки силового трансформатора відповідно).

$$U_{d0} = 1,35 \times 460 = 621 \text{ В}$$

Згідно розрахунків було обрано понижуючий трансформатор серії ТСЗИ-10.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Реактори у вентильному електроприводі виконують наступні функції: зменшують зону переривистого струму, згладжування пульсації випрямленого струму, обмежують струм через вентилі в перший напівперіод живлячої напруги при короткому замиканні на стороні випрямленого струму. У реверсивному вентильному електроприводі на реактори додатково покладається задача обмеження швидкості нарощування аварійного струму при перекиданні інвертора.

Розрахунок потрібної величини індуктивності реактора виконують виходячи з умов виконання кожної із перерахованих функцій.

Індуктивність реактора залежить від його значення, силової схеми перетворювача і розташування на схемі.

Обмеження зони переривистих струмів

Для отримання гранично-неперервного режиму при заданому значенні кута регулювання α в ланцюг випрямленого струму потрібно включити індуктивність L_d значення яке можна отримати за виразом, задаючись величиною гранично-неперервного струму $I_{dcp} = (0,05 \div 0,1)I_{dn}$:

$$L_d = \frac{1}{\omega} \left(\frac{U_{do}}{I_{dcp}} k_{cp} - x_a \right); \quad (2.19)$$

$$k_{cp} = \left(1 - \frac{\pi}{p} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{p} \right) \sin \alpha; \quad (2.20)$$

$$x_{a\phi} = \frac{u_k U_{2\phi}}{100 I_{2\phi}} \quad (2.21)$$

де ω - кутова частота напруги мережи; ρ - пульсація перетворювача ($\rho = 6$); $x_{a\phi}$ - індуктивність опору фази трансформатора; u_k - напруга короткого замикання трансформатора ($u_k = 5,3\text{В}$); $I_{2\phi}$ - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора; x_a - індуктивний опір живлячої мережі (для нульових схем - $x_a = x_{a\phi}$, для мостових - $x_a = 2x_{a\phi}$).

$$I_{dcp} = 0,05 \times 630 = 31,5 \text{ А}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$x_{a\phi} = \frac{5,3 \times 272,462}{100 \times 500} = 0,029 \text{ Гн}$$

$$x_a = 2 \times 0,029 = 0,058 \text{ Гн}$$

$$k_{cp} = \left(1 - \frac{3,14}{6} \operatorname{ctg} \frac{3,14}{6}\right) \sin 51^\circ = 0,062$$

$$\omega = 2 \times \pi \times 50 = 2 \times 3,14 \times 50 = 314 \text{ рад/с}$$

$$L_d = \frac{1}{314} \times \left(\frac{621}{31,5} \times 0,062 - 0,058\right) = 0,004 \text{ Гн}$$

Діюче значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора визначається виразом:

$$U_{2\phi} = k_1 k_2 k_3 \frac{1}{k_c} U_{ян} \quad (2.22)$$

де $U_{ян}$ - номінальна напруга двигуна;

k_c - коефіцієнт, що встановлює залежність між середньовипрямленою напругою перетворювача і напругою вторинної обмотки трансформатора (для нульових схем - $k_c = 1,17$, для мостових - $k_c = 2,34$);

k_1 - 1,05...1,1 – коефіцієнт запасу по напрузі мережі;

k_2 - 1,05...1,2 – коефіцієнт запасу по напрузі, враховуючи повне відкриття вентилів при максимальному управляючому сигналі;

k_3 - 1,0...1,05 – коефіцієнт запасу по напрузі, враховуючи падіння напруги у вентилі, в обмотках трансформатора.

$$U_{2\phi} = 1,1 \times 1,2 \times 1,05 \times \frac{1}{2,34} \times 460 = 272,462 \text{ В}$$

Залежність коефіцієнта k_{cp} від кута регулювання a при різному числі пульсації ρ представлена на рисунку 2.2

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

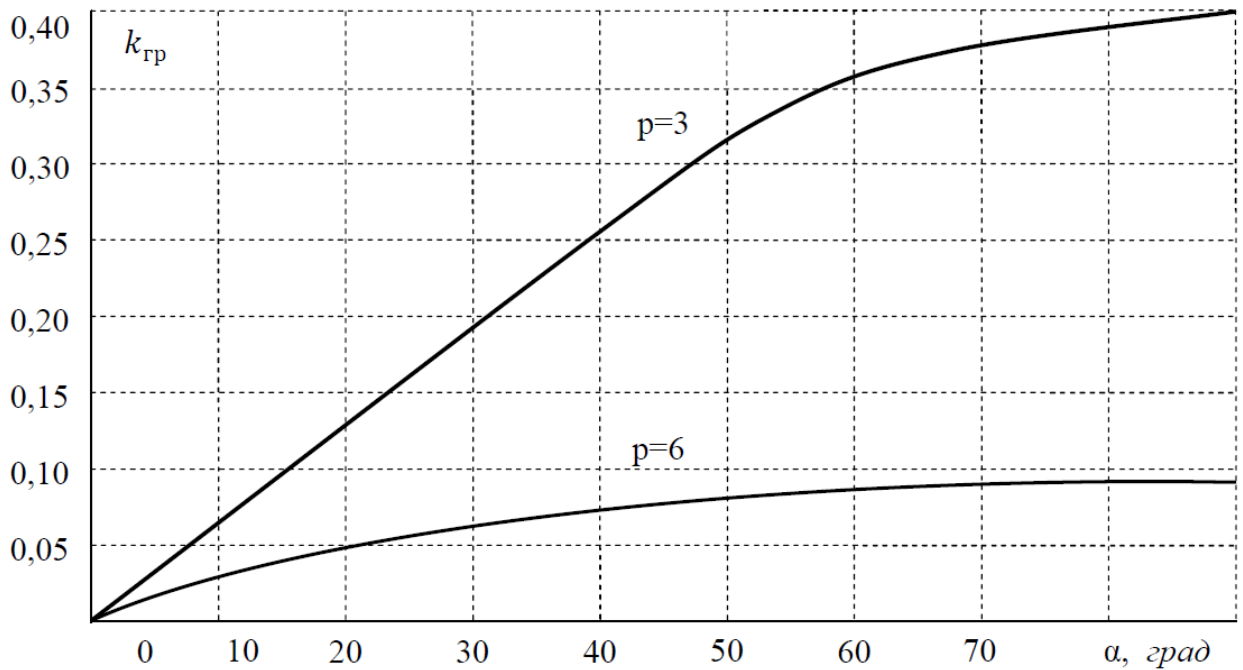


Рисунок 2.2 – Залежність коефіцієнта k_{gp} від кута α

Іноді зручно користуватися не випрямленою напругою U_{d0} , а напруга вторинної обмотки трансформатора. В цьому випадку формули для отримання I_d приведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Визначення індуктивності ланцюга випрямленого струму для обмеження перервних струмів

| Схема | m | p | I_d , Гн |
|-----------------------------|-----|-----|---|
| Трифазна нульова | 3 | 3 | $\frac{1}{\omega} (0,46 \frac{U_{2\phi}}{I_{d2p}} \sin \alpha - x_{a\phi})$ |
| Трифазна мостова симетрична | 3 | 6 | $\frac{1}{\omega} (0,126 \frac{U_{2n}}{I_{d2p}} \sin \alpha - 2x_{a\phi})$ |

$$I_d = \frac{1}{314} \times (0,126 \times \frac{460}{31,5} \times \sin 51^\circ - 2 \times 0,029) = 0,004 \text{ А}$$

Знаючи індуктивність якоря двигуна $L_{\text{я}}$, можна визначити, чи потрібен додатковий реактор для отримання заданого початково-неперервного струму та яка його індуктивність:

$$L_{\text{оп}} = L_{\text{д}} - L_{\text{я}} \quad (2.23)$$

$$L_{\text{оп}} = 0,004 - 0,003 = 0,001 \text{ Гн}$$

Індуктивність якоря може бути визначена за формулою

$$L_{\text{я}} = K \frac{30U_{\text{ян}}}{\pi I_{\text{ян}} n_{\text{п}} p_{\text{д}}} \quad (2.24)$$

Де $K = 0,1 \div 0,6$ - для некомпенсованих машин постійного струму, $K = 0,1 \div 0,2$ - для компенсованих машин постійного струму; $p_{\text{д}}$ - число пар полюсів електродвигуна, $n_{\text{п}}$ - номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв.

$$L_{\text{я}} = 0,6 \times \frac{30 \times 460}{3,14 \times 500 \times 500 \times 4} = 0,003 \text{ Гн}$$

Згладжування пульсації випрямленого струму

В симетричній мостовій і нульових схемах амплітудні значення гармонічних складових випрямленої напруги U_{dmm} зв'язані з його середнім значенням $U_{\text{до}}$ та кутом регулювання перетворювача a наступним виразом:

$$\frac{U_{\text{dmm}}}{U_{\text{до}}} = \frac{2 \cos a}{k_2^2 p^2 - 1} \sqrt{1 + k_2^2 p^2 \text{tg}^2 a}, \quad (2.25)$$

де $k_2 = 1, 2, 3$ - кратність гармоніки, відношення порядкового номера гармоніки до числа пульсації.

В симетричній мостовій та нульових схемах найбільшу амплітуду має основна гармоніка ($k_2 = 1$). Амплітуда гармонік більш високої кратності значно менше, а дія реактора на них ефекти більш ефективне, тому розрахунок індуктивності дроселя для тих схем ведеться тільки на основній гармоніці.

$$\frac{U_{\text{dmm}}}{U_{\text{до}}} = \frac{2 \cos 51^\circ}{1 \times 4^2 - 1} \sqrt{1 + 1 \times 4^2 \times \text{tg}^2 51^\circ} = 0,234 \text{ В}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

На рисунку 2.3 приведені залежності відносно величини амплітуди першої гармоніки від кута регулювання α для трифазної мостової і нульової схеми.

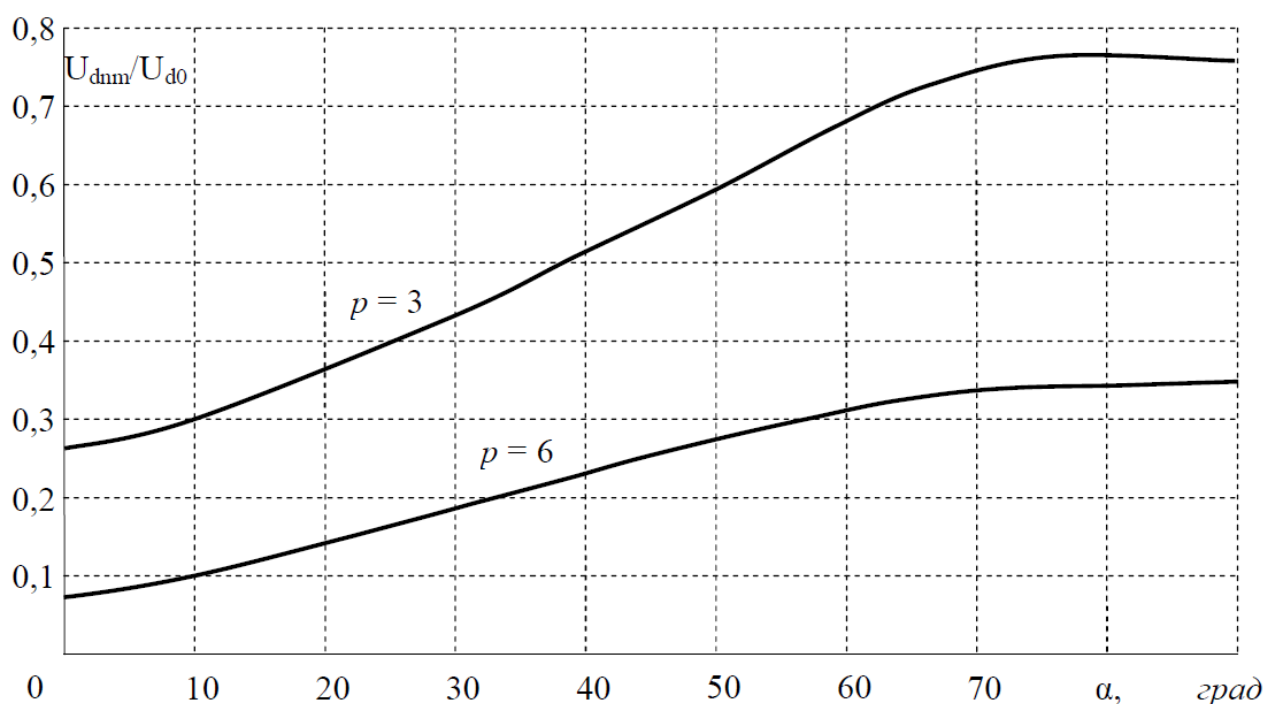


Рисунок 2.3 – Амплітуда основної гармоніки випрямленої напруги для різних схем випрямлення

По знайдений з виразу (2.25) або рисунок 2.3 амплітуді першої гармоніки U_{dnm} і допустимому діючому значенню першої гармоніки струму i_1 ($i_1 = 40$ А), приймаємо в межах $(0,07 \div 0,1)I_{dn}$, необхідна індуктивність реактора може бути визначена по формулі

$$L_{op} = \frac{U_{dnm} 100}{\sqrt{2} k_2 p \omega i_1 I_{dn}} - L_{я} \quad (2.26)$$

Необхідна за умовою обмеження пульсації випрямленого струму індуктивність згладжуючого дроселя знаходиться по формулі (2.23).

$$I_{dn} = 0,07 \text{ А}$$

$$L_{op} = \frac{0,234 \times 100}{\sqrt{2} \times 1 \times 6 \times 314 \times 40 \times 0,07} - 0,003 = 4,997 \times 10^{-4} \text{ Гн}$$

Обмеження струму через вентиля при к.з. на стороні постійного струму

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|--------------------|------|
| | | | | | | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | |

При короткому замиканні на стороні постійного струму реактор повинен обмежуватись швидкістю наростання аварійного струму, щоб він не перевищував небезпечного для вентилів значення до спрацьовування захисних пристроїв (від моменту переривання струму вставки захисного пристрою до початку розходження контактів і створення електричної дуги).

Обмеження струму через вентилі може бути отримане за рахунок індуктивностей розсіювання обмоток трансформатора та індуктивності в ланцюзі постійного струму.

В якості необхідної індуктивності реактора в ланцюзі постійного струму приймають за знайденою індуктивністю згладжуючого дроселя, $L_{др}$. [3]

$$L_{др} = 0,05 \text{ мГн}$$

За розрахунками було обрано сухий реактор СРОСЗ-800.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.02.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- якщо $T_a < 4T_{mn}$ налагодження на технічний оптимум забезпечує підвищену швидкодію порівняно з симетричним оптимумом.

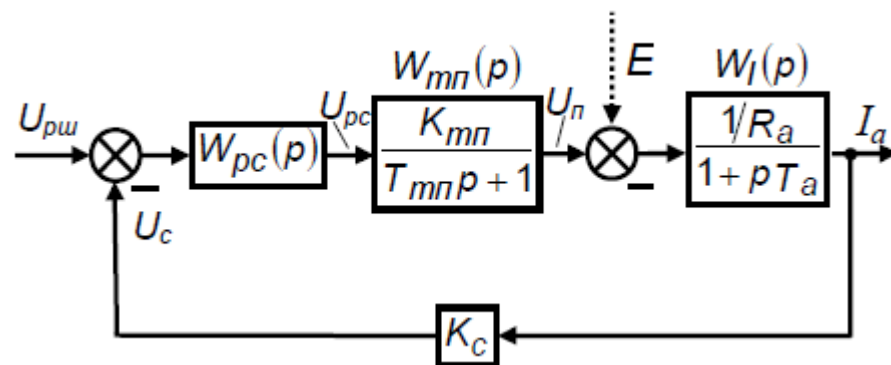


Рисунок 3.2 – Структурна схема контуру струму

У більшості випадків контур струму налагоджується на технічний оптимум, тому розглянемо алгоритм отримання відповідної передатної функції регулятора.

Для такої розрахункової схеми передаточна функція розімкненого контуру струму набирає вигляду:

$$W_{pc}(p)W_{mp}(p)W_l(p)K_c = W_{p.k}(p). \quad (3.1)$$

Якщо прирівняти $W_{p.k}(p)$ до вигляду бажаної передаточної функції

$$W_{p.k}^{баж}(p) = \frac{1}{2T_{mp}(T_{mp}p+1)}, \quad (3.2)$$

в якій використана некомпенсована часу контуру струму T_{mp} , то шукана передаточна функція регулятора струму

$$W_{pc}(p) = \frac{K_{mp}}{T_{mp}p+1} \cdot \frac{1/R_a}{T_a+1} \cdot K_c = \frac{1}{2T_{mp}p(T_{mp}p+1)}, \quad (3.3)$$

З виразу 3.3 визначаємо передатну функцію регулятора струму

$$W_{pc}(p) = \frac{R_a(T_a p + 1)}{2T_{mp}K_{mp}K_{cp}} = \frac{R_a T_a}{2T_{mp}K_{mp}K_{cp}} + \frac{R_a}{2T_{mp}K_{mp}K_{cp}} \cdot \frac{1}{p}. \quad (3.4)$$

де перший доданок відображає пропорційну, а другий – інтегральну частину.

Відповідно до розрахункової схеми після нескладних перетворень можна отримати передаточну функцію замкненого контуру струму у вигляді

$$W_{c.z.k} = \frac{1/K_c}{2T_{mp}p(T_{mp}p+1)+1}. \quad (3.5)$$

Таким чином, в результаті визначення передаточних функцій регуляторів струму і швидкості отримана однозонна система регулювання, яка наведена на рисунку 3.5

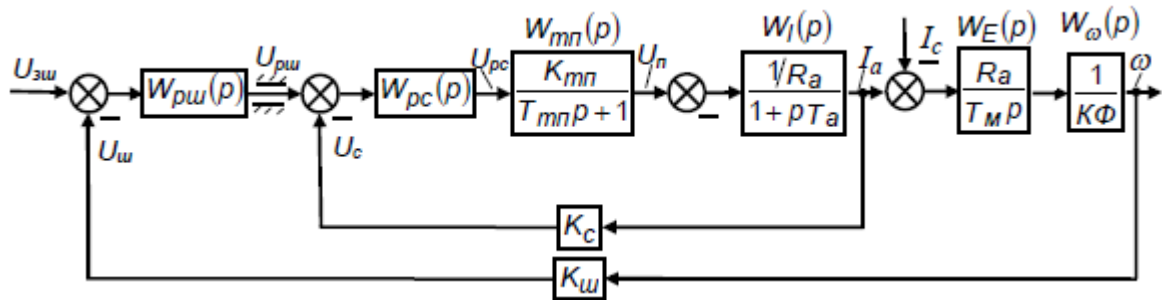


Рисунок 3.4 – Структурна схема однозонної системи регулювання струму і швидкості

3.2 Моделювання динамічних режимів роботи привода технологічного механізму

Розрахунок системи:

Таблиця 3.1 – Вихідні параметри двигуна

| | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Тип | ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4 |
| P_n , кВт | 230 |
| n_n , об/хв | 500 |
| U_n , В | 460 |
| I_n , А | 500 |
| $r_я$, Ом | 0,23 |
| $2p$ | 4 |
| $J_{дв}$, кгм ² | 19,1 |

Знаходимо номінальну кутову частоту обертання двигуна

$$\omega_n = \frac{\pi \times n_n}{30} = \frac{3,14 \times 500}{30} = 52,33 \text{ рад/с} \quad (3.11)$$

В усталеному режимі роботи можна визначити КФ:

$$K\Phi = \frac{U_n - I_n \times r_a}{\omega_n} = \frac{460 - 500 \times 0,23}{52,33} = 6,59 \quad (3.12)$$

Обмеження регулятора швидкості прийємо $U_{об} = 10\text{В}$, тоді визначаємо коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$K_{oc} = \frac{U_{об}}{2,5 \times I_n} = \frac{10}{2,5 \times 500} = 0,008 \quad (3.13)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю

$$K_{ош} = \frac{U_{об}}{\omega_n} = \frac{10}{52,33} = 0,19 \quad (3.14)$$

Електромеханічна стала знаходиться за наступною формулою

$$T_m = J_{об} \times \frac{R_a}{K\Phi^2} = 19,1 \times \frac{0,23}{6,59^2} = 0,10 \text{ с} \quad (3.15)$$

Визначаємо індуктивність якірного кола (приймаємо $\kappa = 0,5$)

$$L_a = \kappa \times \frac{30 \times U_{яи}}{\pi \times p_n \times I_{яи} \times n_n} = 0,5 \times \frac{30 \times 460}{3,14 \times 4 \times 500 \times 500} = 0,0022 \text{ Гн} \quad (3.16)$$

Стала часу якірного кола

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0,0022}{0,23} = 0,0095 \text{ с} \quad (3.17)$$

Розрахунок номінального моменту:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{230}{55,23} = 4,39 \text{ Нм} \quad (3.18)$$

Пропорційна частина регулятора струму і швидкості:

$$K_{рсп} = \frac{R_a \times T_a}{2 \times T_{mn} \times K_{mn} \times K_{oc}} = \frac{0,10 \times 0,0095}{2 \times 0,005 \times 22 \times 0,008} = 1,25 \quad (3.19)$$

$$K_{ршр} = \frac{T_m \times K_{oc} \times K\Phi}{4 \times T_{mn} \times R_a \times K_{ош}} = \frac{0,10 \times 0,008 \times 6,59}{4 \times 0,005 \times 0,23 \times 0,19} = 6,06 \quad (3.20)$$

Інтегральна частина регулятора струму:

$$K_{рсі} = \frac{R_a}{2 \times T_{mn} \times K_{mn} \times K_{oc}} = \frac{0,23}{2 \times 0,005 \times 22 \times 0,008} = 1,31 \quad (3.21)$$

де $T_{mn} = 0,005 \text{ с}$;

$K_{mn} = 22$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.03.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Одним із найзручніших засобів моделювання електромеханічних систем у середовищі MatLab є пакет робочих інструментів Simulink.

Модель у Simulink - це сукупність блоків та ліній які ці блоки з'єднують.

Створення моделі відбувається шляхом перетягування блоків із бібліотек, редагуванням параметрів цих блоків та наступним з'єднанням цих блоків між собою за допомогою ліній. Блоки дуже різноманітні, тому їх згруповано у бібліотеці відповідно функціональному призначенню. Блоки можуть бути дуже різноманітні мати виходи і не мати входів, тобто бути джерелами сигналів або, навпаки, мати входи і не мати виходів, тобто бути приймачами сигналів або, мати і те, і інше, чи не мати ні входів ні виходів.[4]

Виходячи з вище зазначених переваг програми MatLab та пакету в середині у вигляді інструментарію - Simulink вона є оптимальним вибором для дослідження динаміки електроприводу.

Модель ТП-Д із однозонною системою регулювання у пакеті Matlab представлена на рисунку 3.5, перехідні процеси представлені на рисунку 3.6

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД.20.11.03.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № підл. | Підп. и дата | Взам. інв. № | Инв. № дубл. | Підп. і дата |
| | | | | |

| | |
|----------|--|
| Изм. | |
| Арк | |
| № докум. | |
| Підп. | |
| Дата | |

ЕП.ПД.20.11.03.ПЗ

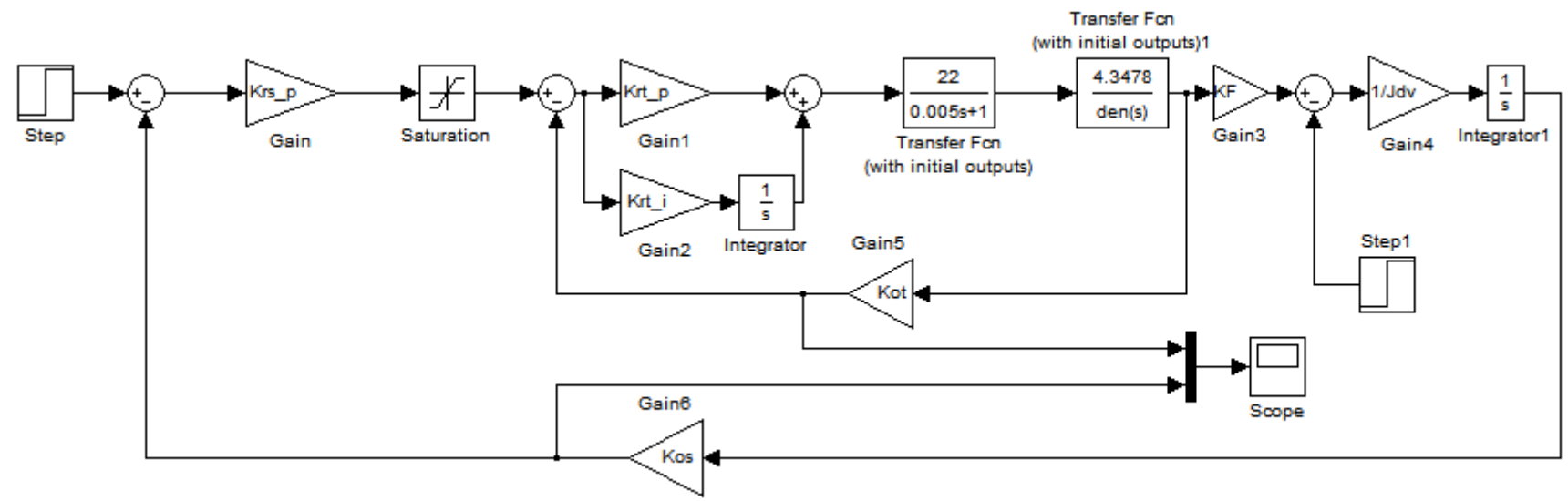


Рисунок 3.5 – Модель ТП-Д із однозонною системою регулювання у пакеті Matlab

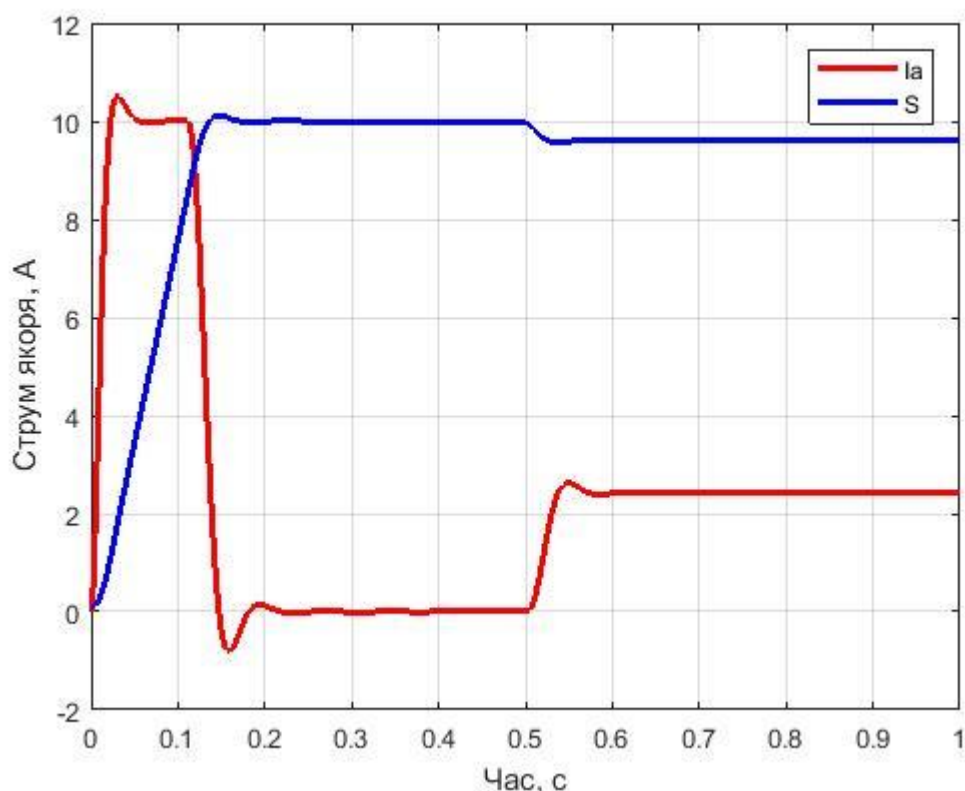


Рисунок 3.6 – Графіки перехідних процесів в однозонному електроприводі

Висновок

В даному розділі виходячи зі структурної схеми САР, параметрів електропривода та регуляторів розроблена математична модель електропривода. Метою досліджень є перевірка якості перехідних процесів у САР у характерних для даного електропривода. Виходячи з графіків перехідних процесів математична модель розрахована та налаштована правильно і відповідає усім вимогам технологічного процесу.

4. Охорона праці

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні робіт на дільниці

До роботи допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли попередній медичний огляд і отримали позитивний медичний висновок на право виконання робіт. Допуск до самостійної роботи здійснюється після проходження спеціального навчання, здачі іспиту в комісії під головуванням начальника цеху.

Наявність відповідної групи з електробезпеки обов'язково:

- поєднуючи будь-яку роботу (професію) підвищеної небезпеки необхідне проведення попереднього спеціального навчання, наявність відповідного посвідчення на право виконання робіт, а також медичний огляд;

- відповідно до Закону України "Про охорону праці" усі працівники, зайняті на роботах з шкідливими і небезпечними умовами праці, повинні проходити періодичні медичні огляди. Особи, які ухиляються від проходження обов'язкового медичного огляду, притягаються до дисциплінарної відповідальності, відсторонюються від роботи без збереження заробітної плати;

- у процесі роботи працівникові повинні проводитися первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі.

У цеху встановлено різне основне і допоміжне обладнання, рушійні частини якого становлять певну небезпека, так як непередбачений контакт з ними може викликати травми виробничого персоналу. Це прокатні валки, що тягнуть, подають і напрямні ролики, кантувателі, штовхачі, зіштовхувачі, маніпулятори, рольганги, транспортери.

Частини та вузли прокатних машин (валки, маховики, з'єднувальні шпинделі, зубчасті колеса, барабани летючих ножиць, різні муфти, втулки, кулачки, ексцентрики) здійснюють обертальні рухи. Інші частини та вузли (важелі, елементи транспортерів, штовхачів маніпуляторів і кантователів) виконують зворотно - поступальний рух.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Небезпека впливу визначається перш за все конструктивними проблемами. Так, небезпека зростає, якщо обертають частини обладнання містять виступаючі деталі кріплення (болти, шпильки, гвинти, гайки), а на їх поверхні є сліди нерівномірного зносу або дефекти (тріщини, задирки та ін.).

При перевезенні злитків від колодязів до приймального рольгангу виникають небезпека, рухомі злитки, блюми, сляби, заготовки, підкат і готовий продукт створюють можливість травмування персоналу під час непередбаченого контакту їх з людиною.

Для забезпечення безпеки експлуатації машин і механізмів прокатних цехів необхідно застосовувати різні системи захисту. Це досягається насамперед механізацією і автоматизацією виробничих процесів, дистанційним керуванням механізмами і наглядом за їх роботою, заміною періодичних процесів безперервним, автоматизацією вимірювання параметрів процесу обробки металу.

Рухомі і обертові частини механізмів прокатних станів, агрегатів, розташованих в важкодоступних місцях, допускається захищати загальним огороженням із замикаючим пристроєм. Маховики повинні мати бокове огороження у вигляді суцільного бар'єра чи поручнів з обшивкою по низу. Огороження маховиків по обіду має виконуватися у вигляді суцільного щита не менше 2 м.

Для безпечного переходу людей через механізми переміщення, конвеєри повинні бути побудовані перехідні містки, огорожені перилами. Містки для переходу через гарячий метал повинні мати теплоізолюючий настил, а з боків екрановані щитами з листового заліза висотою не менше 1,8 м. Для забезпечення безпеки робочих при ремонтах осередків нагрівальних колодязів по краю майданчика повинні встановлюватися знімні огороження.

Робітник повинен бути детально ознайомлений з особливостями роботи в цеху і на ділянці, з місцями небезпечними і безпечними, з правилами трудового розпорядку, правилами пересування по території заводу і цеху, правилами

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

пожежної безпеки, з небезпечними і шкідливими виробничими факторами, пільгами і компенсаціями.

Кожен працівник здійснює особистий контроль (самоконтроль) на своєму робочому місці в рамках інструкцій та інших документів, що діють на заводі, піклується про особисту безпеку, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей.

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо склалася виробнича ситуація, небезпечна для життя і здоров'я. При цьому необхідна присутність представників профспілкової організації та відділу охорони праці для встановлення даного факту і прийняття рішення.

Основним шкідливими чинниками для робітника є:

- аерозолі металів і їх з'єднань;
- граничні і ненасичені вуглеводні;
- температура зовнішнього повітря при роботі на відкритому повітрі;
- шкідливі хімічні речовини;
- пил (фіброгенної дії);
- вібрація;
- шум;
- мікроклімат (підвищена температура, інфрачервоне випромінювання);
- напруженість праці (незручне робоче положення).

З метою зменшення впливу шкідливих факторів при роботі працівник повинен використовувати спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту.

Для робітника передбачаються відповідно до «Норм безкоштовної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту»:

- костюм корпоративний;
- черевики шкіряні без цвяхів;
- куртка утеплена;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- біруши;
- захисна каска.

У разі передчасного зношення спецодягу проводиться її списання і видача нової в установленому порядку.

Коли спецодяг забруднюється, необхідно здавати його в чистку, яку роблять, централізовано на території заводу.[5]

4.2 Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень

4.1. Мета розрахунку: вибрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розташувати їх на плані приміщення.

4.2. Вихідні дані: розміри і характеристика виробничого приміщення, характеристика зорової роботи для проектованого технологічного процесу.

Розмір майстерні електриків: довжина 14 м, ширина 8 м і висота 4,3 м.

4.3. Розрахунок штучного освітлення виконується одним з наступних методів: коефіцієнта використання, питомої потужності чи крапковим.

При розрахунках освітлення будь-яким методом допускається відхилення розрахункової освітленості від нормованої не більше ніж на -10...20%.

4.4. Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується по формулі

$$\Phi = \frac{E \times S \times k \times z}{N \times \eta}, \quad (4.1)$$

де Φ - необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм; E - нормована мінімальна освітленість ($E = 200$ лк,); k - коефіцієнт запасу ($k = 1,5$); S - освітлювана площа, м²; z - коефіцієнт мінімальної освітленості, величина якого знаходиться в межах 1,1 - 1,5 (при оптимальних відносинах відстані між світильниками до розрахункової висоти для ламп накаливання і ДРЛ $z = 1,15$; для люмінесцентних ламп $z = 1,1$); N - число світильників у приміщенні; η - коефіцієнт використання світлового потоку ($\eta = 0,4$).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\Phi = \frac{200 \times 14 \times 8 \times 1,5 \times 1,1}{56 \times 0,4} = 1650 \text{ лм}$$

При виборі системи освітлення варто враховувати, що комбінована система освітлення більш економічна, однак система загального освітлення створює більш рівномірну освітленість робочих поверхонь (при виконанні робіт I-IV розрядів варто застосовувати систему комбінованого освітлення).

При виборі джерела світла варто враховувати, що для освітлення виробничих приміщень перевагу варто віддавати газорозрядним лампам. Лампи накалювання варто встановлювати, якщо можливе зниження напруги більш ніж на 10% від номінального. Можливе зниження температури навколишнього повітря менш +10°C виключає застосування люмінесцентних ламп зі звичайними схемам запалювання.

Тип світильників, встановлюваних у виробничих приміщеннях, вибирається по технологічних умовах з урахуванням вимог до розподілу яскравості, за умовами середовища, за економічними показниками, а також з урахуванням естетичних вимог.

Визначений розряд зорової роботи для електромеханічного відділення, що становить VI.

Обраний коефіцієнт запасу для промислових підприємств становить 1,5.

Розрахункова висота підвісу h світильників задається, як правило, розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу $\lambda = \frac{L}{h}$.

Типова крива сили світла приймається в залежності від типу світильника, обраного за ДСТ 13828-74 чи ДСТ 13828-68. Світильники, що випускаються за ДСТ 13828-68 ($\lambda = 0,6$).

Відстань між крайніми світильниками і стіною вибирається:

$l = (0,25-0,3)L$, якщо робочі місця розташовані безпосередньо біля стін;

$l = (0,4-0,5)L$, якщо робочі місця відділені від стіни проходами.

$$l = 0,25 \times 2,04 = 0,51 \text{ м}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Визначають розрахункову висоту підвісу, м:

$$h = H - h_{\text{св.}} - h_{\text{рп.}}, \quad (4.2)$$

де H - висота приміщення, м; $h_{\text{св.}}$ - висота звису світильника (від перекриття), м; $h_{\text{рп.}}$ - висота робочої поверхні над підлогою, м (приблизно 0,8 м).

$$h = 4,3 - 0,1 - 0,8 = 3,4 \text{ м}$$

Для світильників з люмінесцентними лампами визначення їхньої кількості виконується в наступній послідовності:

- відстань між рядами світильників, м

$$L_p = \lambda h; \quad (4.5)$$

$$L_p = 0,6 \times 3,4 = 2,04 \text{ м}$$

- кількість рядів світильників, виходячи з розмірів приміщення приймаємо

$$N_p = \frac{A(B)}{L_p}; \quad (4.6)$$

$$N_p = \frac{8}{2,04} = 4 \text{ ряди}$$

- кількість світильників у ряді

$$N_{cp} = \frac{A(B) - l_c}{l_c}; \quad (4.7)$$

$$N_{cp} = \frac{8 - 0,51}{0,51} = 14 \text{ шт.}$$

- загальна кількість світильників

$$N = N_p N_{cp}$$

$$N = 4 \times 14 = 56 \text{ шт.}$$

Для визначення коефіцієнта використання η знаходять індекс приміщення

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (4.8)$$

де A і B - довжина і ширина приміщення, м; h - розрахункова висота підвісу, м.

$$i = \frac{14 \times 8}{3,4 \times (14 + 8)} = 1,497$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Значення i округляється до найближчих табличних значень $i = 1,5$.

По табличним даним оцінюються коефіцієнти відображення поверхонь приміщення: стелі - $\rho_n = 50 \%$, стін - $\rho_c = 30 \%$, робочої поверхні чи підлоги - $\rho_p = 10 \%$.

За отриманим значенням i і ρ визначають величину коефіцієнта використання світлового потоку для обраного світильника, який дорівнює 49% .

5.5. Розрахунок освітлення методом питомої потужності проводиться по формулі

$$P_{\text{л}} = \frac{PS}{N}, \quad (4.9)$$

де $P_{\text{л}}$ - потужність ламп у світильнику, Вт; P - питома потужність, Вт/м²; S - площа приміщення, м²; N - число світильників.

$$P_{\text{л}} = \frac{30 \times 14 \times 8}{56} = 60 \text{ Вт/м}^2$$

4.5. Нормована аварійна освітленість робочих місць для обслуговування повинна складати не менш 5% освітленості, нормованої для робочого освітлення і бути в межах $2-30$ лк усередині будинків і $1-5$ лк на площадках підприємств. Аварійне освітлення для евакуації людей повинне складати найменшу освітленість на підлозі проходів у приміщеннях - $0,5$ лк, на відкритих площадках - $0,2$ лк.[]

В результаті розрахунку обирається наступний тип лампи: ЛБ30-4, шириною 1360 з потужністю 30 Вт, і напругою на лампі 104 В.[6]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.3 Пожежна профілактика

Кожний працівник на виробничій ділянці, в лабораторії, на складі, в адміністративному приміщенні в незалежності від займаної посади зобов'язаний чітко знати и суворо виконувати встановлені правила пожежної безпеки, які не допускають дій, які можуть привести до вибуху або пожежі.

На території пожежонебезпечних об'єктів (якщо це не пов'язано з технологічним процесом виробництва), а також в місцях зберігання і переробки горючих матеріалів застосування відкритого вогню - забороняються.

Кожне виробниче и адміністративно-побутова будівля забезпечується первинними засоби пожежогашіння. Для виробничих приміщень встановлена норма - 1 вогнегасник на 200 кв.м., для адміністративно-житлових будівель - не менше 2-х вогнегасників на поверх.

Проходи, виходи, коридори, тамбури, сходові марші - не дозволяється захащуватися різними предметами та обладнанням. Всі двері евакуаційних виходів повинні вільно відкриватися в напрямку виходу з будівлі.

На випадок виникнення пожежі винна бути забезпечена можливість безпечної евакуації людей, які перебувають у виробничих та адміністративних будівлях.

У цехах та лабораторіях, де застосовуються легкозаймиста та горючі рідини (ЛВЖ и ГЖ), а також гази, та патенти, передбачені, як правило, централізовану транспортування и роздачу їх на робочі місця. У всіх других випадка для перенесення ЛВЖ та ГЖ слід застосовувати безпечну, закриту акціонерну металеву тару.

Для цехів, комор нормативно встановлені допустимі кількості одноразового зберігання ЛВЖ и ГЖ, фарб, лаків та розчинників.

На робочих місцях можна зберігати тільки таку кількість матеріалів (у готовому до застосування вигляді), які не перевищують змінну потребу. При цьому ємності повинні бути щільно, закриті. Щоб уникнути вибуху забороняється палити або застосовувати відкритий вогонь біля застосування

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

лакофарбових матеріалів, ацетиленових, пропанових балонів, чистити робочий одяг бензином и легкозаймистими рідинами.

Використані обтиральні матеріали у міру накопичення потрібно прибирати в металеві ящики з щільно закриваємою кришкою та після закінчення зміни видаляти з виробничих приміщень.

Протоки ЛВЖ та ГЖ, різні масла, та інші горючі рідини повинні негайно забирати за допомогою піску або тирси и віддалятися в безпечності місце.

У виробничих и адміністративних будівлях забороняється:

- встановлювані на шляху евакуації виробниче устаткування, меблі, шафи, сейфи та інші предмети;
- прибирати приміщення із застосуванням бензину, керосину та других легкозаймистих та горючих рідин;
- залишати після закінчення роботи включені електроприлади;
- виконувати обробки шляхів евакуації (коридори, сходові клітини, фойє) горючими матеріалами;
- вироблені відігрівання замерзлих труб, різних комунікацій паяльної лампи та іншими способами із застосування відкритого вогню;
- зберігати в приміщеннях цехів ємності з горючими рідинами, а також тару з під бензину, керосину, лаку і т.п. Категорично забороняється в місцях зберігання горючих рідин застосовувати відритий вогонь;
- користуватися електронагрівальними приладами (електроплитками, електрочайниками і т.п.) в пожежонебезпечних, службових, складських і архівних приміщень, за винятком тих ділянок виробництва та установ, де користування цими приладами викликано виробничою необхідністю (за узгодженням з пожежною охороною);
- застосовувати протипожежний інвентар пожежних щитів та шаф не з призначенням або в господарських цілях.

Палити на території заводу, а також за територією підприємства, заборонено!

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

Забороняється виконання вогневих робіт працюючи без узгодження з об'єктової пожежно-рятувальною службою.

Особи, винні в порушенні правил протипожежного режиму, а залежно від характеру порушень та їх наслідків несуть дисциплінарну, адміністративну або кримінальну відповідальність.[5]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.04.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

Вступ

Актуальність використання у дипломному проекті тиристорного електроприводу в слитковозі блюмінга 1300 дозволяє швидко та надійно транспортувати злитки від колодязів до приймального рольгангу.

Тиристорний електропривод володіє направляючою автонастройкою, яка максимально швидко налаштовує обладнання під необхідні режими роботи і параметри електродвигуна, дає користувачеві можливість для багатостороннього захисту всього електроприводу.

Електропривод ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4 забезпечує:

- контроль обриву в ланцюзі зворотного зв'язку по швидкості;
- захист електродвигуна від перегріву за допомогою РТС-датчиків;
- контроль квадратичного навантаження;
- контроль перевищення заданої швидкості;
- захист від заклинювання валу електродвигуна;
- контроль струму ланцюга якоря і збудження.

Завдання економічної доцільності використання обраного електрообладнання для слитковоза блюмінга 1300:

- збільшення терміну роботи електрообладнання;
- зменшення витрат на утримання слитковоза;
- зменшення обслуговуючого персоналу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

5. Технічно–економічне обґрунтування

5.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції з реалізації проектного технічного рішення можуть включати:

- витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;

- витрати, пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт;

- витрати, пов'язані з виконанням монтажно-налагоджувальних робіт;

- витрати фінансових коштів на проведення проектно-конструкторських робіт, підготовку персоналу та виконання інших робіт, необхідних для реалізації технічного рішення.

Проектні капітальні інвестиції в устаткування і будівельно-монтажні роботи визначаються на основі цін, наведених у прайс-листах оптових цін на електроустаткування, та інших довідкових матеріалів або за фактичними витратами підприємства.

Приймаємо ціни за наступними джерелами інформації:

1. Тиристорные электроприводы и тиристорные возбудители постоянного тока серии ТЭП-320/220-1122-ВСД-1П1-0 УХЛ4 URL: <https://prom.ua/p818846736-tiristornye-elektroprivody-tiristornye.html> (дата звернення 19.12.2018);

2. Трансформатор понижающий ТСЗИ-10 URL: <https://prom.ua/p1119368723-transformator-ponizhayuschij-tszi.html> (дата звернення 08.04.2020);

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

3. Гармонический фильтр реактор покрытый кожухом URL: <https://alibaba.com/product-detail/harmonic-filter-reactor-p-7-20kvar-power-capacitor-440v-62023520080.html?spm=a2700.8699010.normalList.53.78ba2976FAT87z> (дата звернення 03.06.2018).

Доцільно витрати на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів представити у вигляді зведення капітальних витрат (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Зведення капітальних витрат

| № | Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів) | Тип, марка | Кільк. | Ціна за шт., грн. | Сума грн. |
|--------|--|--------------------------------|--------|-------------------|-----------|
| 1 | Тиристорний електропривод | ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4 | 2 | 14000 | 28000 |
| 2 | Трансформатор понижуючий | ТСЗИ-10 | 2 | 11400 | 22800 |
| 3 | Сухий реактор | СРОСЗ-800 | 2 | 1338 | 2676 |
| ВСЬОГО | | | | | 53476 |

При визначенні величини проектних капіталовкладень (K_{np}) можна скористатися формулою:

$$K_{np} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{np}, \quad (5.1)$$

де $K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right)$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m – витрати на монтажні роботи;

Z_n - витрати на налагоджувальні роботи;

Z_{np} – інші одноразові вкладення грошових коштів.

$$K_{np} = 53476 + 560 + 370 + 6000 = 60406 \text{ грн.}$$

Якщо проектом передбачається виготовлення необхідної апаратури, то розрахунок таких витрат можна робити або укрупненим, або детальним методом за спеціальними методиками. Вартість самостійно розробленого програмного забезпечення також розраховується за певною методикою.

Витрати на монтажні (Z_m) і на налагоджувальні роботи (Z_n) можна визначити наступним чином:

$$Z_{m(n)} = \sum (C_3 \times a_3 \times t_3) \times K_o \times K_{cm} \times K_{np} \quad (5.2)$$

где C_3 – чисельність працівників 3-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), $C_3 = 1$ чол.;

a_3 – годинна тарифна ставка працівника 3-го розряду, грн.;

$a_3 = 30,348$ грн. (інформацію надано керівництвом ПАТ «Інтерпайп НТЗ», станом на 04.2020);

t_3 – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), год.;

$t_3 = 10$ год. (згідно з прийнятими теоретичними відомості);

K_o – коефіцієнт, що враховує розмір доплат ($K_o = 1,0$);

K_{cm} – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок ($K_{cm} = 1,22$);

K_{np} – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт ($K_{np} = 1,0$).

$$Z_{m(n)} = (1 \times 30,348 \times 10) \times 1,0 \times 1,22 \times 1,0 = 370 \text{ грн.}$$

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат (Z_{mzc}) визначається виходячи з:

- відстані доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації;
- кількості, маси і габаритів устаткування;
- виду транспортних засобів;
- транспортних тарифів ($Z_m = 200$ грн., інформацію надано вантажною компанією ТОВ «Містер Мувер»);

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- розцінок на вантажно-розвантажувальні роботи;
- витрат на складську обробку ($Z_c = 360$ грн., інформацію надано складською компанією «Wareteka». Площу зберігання обладнання обрано 6 м^2 URL: https://wareteka.com.ua/estate_property/sklad-811/).

$$Z_{mc} = Z_m + Z_c = 200 + 360 = 560 \text{ грн.}$$

Інші одноразові вкладення грошових коштів (Z_{np}) можуть включати витрати:

- на демонтаж застарілого обладнання;
- на проведення проектно-конструкторських робіт ($Z_{кон} = 1000$ грн., інформацію надала компанія «TEG» (technical engineering group) URL: <https://teg-kiev.prom.ua/p1022309810-razrabotka-konstruktorskoj-dokumentatsii.html>);

- на підготовку персоналу;

- на придбання готового програмного забезпечення ($Z_{nz} = 5000$ грн., інформацію отримано від компанії «TEG» (technical engineering group) URL: <https://teg-kiev.prom.ua/p1107087288-avtomatizatsiya-proizvodstvennyh-protsesov.html>).

Вартість демонтажу застарілого обладнання не враховується, бо розробляється новий механізм. Затрати на підготовку персоналу немає, на роботу приймається працівники, які вже мають навички роботи з обраним обладнанням.

$$Z_{np} = Z_{кон} + Z_{nz} \tag{5.3}$$

$$Z_{np} = 1000 + 5000 = 6000 \text{ грн.}$$

Якщо обладнання, що демонтується, може бути повністю або частково реалізовано за договірною ціною або за ціною брухту, то проектні капітальні витрати зменшуються на цю величину.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ($C_з$);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_m);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат електроенергії ($C_э$);
- інші експлуатаційні витрати (C_{np}).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_m + C_э + C_{np}, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

$$C = 3009 + 59239 + 13032 + 1300 + 507520 + 2369 = 586469 \text{ грн.}$$

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_n - Л, \quad (5.5)$$

где Φ_n – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів ($\Phi_n = 60178$ грн.);

$Л$ – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду для машин і обладнання складає 5 років.

Розраховуємо річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_n \times H_a}{100}, \quad (5.6)$$

$$AO = \frac{60178 \times 5}{100} = 3009 \text{ грн.}$$

5.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їхньої чисельності, режиму роботи, за погодинними тарифними ставками, посадовими окладами, формами і системами оплати праці і преміювання, що застосовують на підприємстві.

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки). Вона визначається тарифними ставками і відрядними розцінками, посадовими окладами для спеціалістів, службовців і керівників.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

При визначенні основної заробітної плати робітників (за відрядною або погодинною формами оплати) необхідно знати погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду та розрахувати номінальний річний фонд робочого часу робітника.

Номінальний річний фонд робочого часу одного робітника F_n визначається відповідно до режиму його роботи (кількістю робочих днів і тривалістю зміни):

$$F_n = (D_k - D_{св} - D_{вих}) \cdot T_{зм}, \text{ годин,} \quad (5.7)$$

де D_k , $D_{св}$, $D_{вих}$ – кількість календарних, святкових і вихідних днів у році відповідно;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, годин.

$$F_n = (365 - 17 - 104) \cdot 8 = 1952 \text{ годин}$$

Розрахунок номінального річного фонду робочого часу повинний бути наведений у пояснювальній записці.

При розрахунку заробітної плати інженерно-технічного персоналу слід враховувати, що вона визначається, виходячи з місячного посадового окладу.

Результати розрахунку основної заробітної плати обслуговуючого персоналу представляються у таблиця 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок річного фонду основної заробітної плати обслуговуючого персоналу

| № п/п | Найменування професій робітників | Явочний штат у зміну, осіб. | Обліковий склад з урахуванням змінності роботи, осіб | Годинна тарифна ставка або денна заробітна плата, грн. | Номінальний річний фонд робочого часу, годин | Усього основна зарплата, грн. |
|-------|----------------------------------|-----------------------------|--|--|--|-------------------------------|
| 1. | Слюсар електрик | 1 | 1 | 30,348 | 1952 | 59239 |
| | УСЬОГО | 1 | 1 | | | |

Основна заробітна плата $Z_{осн}$, грн., розраховується за формулою:

$$Z_{осн} = a_3 \times F_n, \quad (5.8)$$

де $Z_{осн}$ – основна заробітна плата, грн.;

a_3 – годинна тарифна ставка працівників 3-го розряду, грн./год.;

F_n – номінальний річний фонд робочого часу, год.

$$Z_{осн} = 30,348 \times 1952 = 59239 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата – це винагорода за працю понад встановлених норм, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати належать премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій за діючими на підприємстві преміальними системами, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством (за роботу в нічний і вечірній час, у важких і шкідливих умовах, за багатозмінний режим роботи, за керівництво бригадою незвільненим бригадирам, за навчання учнів тощо).

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 8 - 10% від основної заробітної плати.

$$Z_{дод} = (Z_{осн} \times 10)/100 = (59239 \times 10)/100 = 5924 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати визначається за формулою:

$$C_3 = Z_{осн} + Z_{дод}, \text{ грн.} \quad (5.9)$$

де $Z_{осн}$, $Z_{дод}$ – основна і додаткова заробітна плата відповідно.

$$C_3 = 59239 + 5924 = 65163 \text{ грн.}$$

5.2.3 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством, який становить 22 % від суми основної заробітної плати.

$$C_c = (Z_{осн} \times 22)/100 = (59239 \times 22)/100 = 13032 \text{ грн.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

5.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot n_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right) \quad (5.10)$$

де n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту ($n = 1$);

R_i – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од.:

- малого - 1,2;
- середнього - 7,0;
- капітального - 15,0.

m_i – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1);

R_{Σ} – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання:

- асинхронний двигун від 0,5 до 5 кВт - 1,3;
- асинхронний двигун від 5 до 10 кВт - 2,1;
- асинхронний двигун від 55 до 75 кВт - 6,0;
- машини постійного струму від 0,5 до 5 кВт - 2,5;
- електродвигуни та генератори постійного струму від 55 до 75 кВт - 10,0.

S_i - вартість однотипних замінних елементів, (вартість шунта FL-2 500А – 286 грн., інформацію надав інтернет-магазин «Измиритель» URL: <https://dp.prom.ua/p995121022-shunt-500a.html>);

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

P – кількість однотипних замінних елементів;

T – середній термін служби деталей даного типу, год.;

T_{ϕ} – число годин роботи апаратури на рік, год.

$$Z_{m.p.} = 30,348 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 10 + \frac{286 \cdot 1}{976} \cdot 1952 = 1300 \text{ грн.}$$

5.2.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії за формулою:

$$C_3 = W_p \cdot C_e, \text{ грн.}, \quad (5.11)$$

де W_p – кількість спожитої за рік електроенергії ($W_p = (P_{уст} - P_{впр}) \times T_{\phi} = (460 - 260) \times 1952 = 390400$ кВт•год, узгоджено з керівником дипломного проекту);

C_e – тариф на електроенергію станом на конкретну дату ($C_e = 1,3$ грн./кВт•год, за даними регулятора тарифів НКРЕКП станом на 02.20);

$$C_3 = 390400 \cdot 1,3 = 507520 \text{ грн.}$$

5.2.6 Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.[7]

$$C_{np} = (Z_{осн} \times 4) / 100 = (59239 \times 4) / 100 = 2369 \text{ грн.}$$

Висновок

У розділі «Техніко-економічне обґрунтування» встановлено, що:

- капітальні витрати становлять – 60406 грн.;
- експлуатаційні витрати – 586469 грн.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.05.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

Висновки

У дипломному проекті розроблялося впровадження автоматизованого тиристорного електроприводу для слитковоза блюмінгу 1300. Вибрано силове обладнання: тиристорний електропривод постійного струму ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4, понижуючий трансформатор ТСЗИ-10, сухий реактор СРОСЗ-800. Досліджено динаміку тиристорного електроприводу, де було розраховано та побудовано перехідні процеси в тиристорному електроприводі із використанням середовища Matlab. Проаналізувавши графіки перехідних процесів тиристорний електропривод ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4 відповідає усім вимогам технологічного процесу. Розраховано капітальні витрати, що становили – 60406 грн., експлуатаційні витрати – 586469 грн. Виходячи з аналізу доцільності використання тиристорного електроприводу серії ТЕП-500/460-1122-ЯВ-1П1-0 УХЛ4, можна зробити висновок доцільного використання даного приводу в слитковозі блюмінгу 1300.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.В.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

Перелік посилань

1 Приборостроение и средства автоматизици: В 5-х т.: Справочник / Под общ. ред. А.Н. Гаврилова. Том 4. Автоматическое регулирование и средства автоматизици / Под ред. М.Е. Раковского – М.: Машиностроение, 1965. т. 4 – 694 с.

2 Іваненко Ф.К., Гребеник В.М., Ширяєв В.І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: Навч. Видання. – М: Вища школа, 1994. – 451 с.

3 Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Системы управления электроприводами» / Укл.: Балахонцев О.В. – Днепропетровск: НГУ, 2012. – 22 с.

4 Матеріали методичного забезпечення дисциплін «Системи керування електроприводами» та «Моделювання електромеханічних систем». Модуль 1 для студентів напряму підготовки 0922 «Електромеханіка» / Упорядн.: С.М. Довгань, О.О. Азюковський, А.А. Самойленко. - Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2005. – 48 с.

5 Охрана праці на підприємстві ПАТ «Інтерпайп НТЗ» – 58 с.

6 Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу „Охрана праці” в дипломних проектах студентів інституту електроенергетики. Частина 1 / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Я.Я. Лебедев, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2004. – 34 с.

7 Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 14 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | ЕП.ПД. 20.11.П.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |