

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Пояснювальна записка
до бакалаврської дипломної роботи

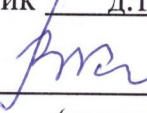
бакалавр
(освітній ступінь)

на тему: «Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра
другої стадії дроблення дробильної фабрики»

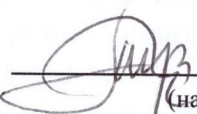
Розробив студент 4 курсу, групи 1ЕМ-206
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка


Назар ГУДЗЕВИЧ
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. каф. КЕМСК
(посада, вчене звання)


Кутін В.М.
(науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. доц.
(посада, вчене звання)


Перецький І.Т.
(науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРІЗ

«28» 05 2024 р.

м. Вінниця – 2024 рік

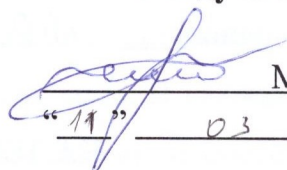
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРИЗ



“11” 03 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гудзевичу Назару Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики

керівник роботи Кутін Василь Михайлович, д.т.н., проф. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11” 03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: Стрічковий конвеєр призначений для транспортування подрібненої залізної руди другої стадії дроблення до бункеру. Продуктивність конвеєра складає 2500 т/г. Швидкість руху стрічки – 2 м/с, висота підйому матеріалу, який транспортується складає – 0 м, довжина шляху переміщення матеріалу – 80 м. Діаметр ведучого барабана – 1,29 м, передаточне число редуктора – 31,5, ККД редуктора – 0,98. ЕП встановлено в запиленому приміщенні, режим роботи конвеєра безперервний, напруга живлення три фазної мережі 380 В. Умови роботи електропривода дуже важкі. Під дуже важкими умовами розуміють: робота в неопалювальному приміщенні, велике запилення абразивного пилю або великої вологості та погане освітлення і є доступність для обслуговування. Необхідно забезпечити можливість зміни продуктивності конвеєра.

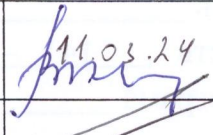
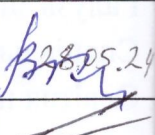
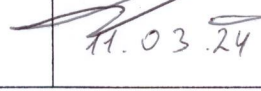
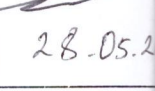
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1) Електропривод стрічкового конвеєра. 2) Система керування. 3) Моделювання динамічних режимів роботи електропривода. 4) Охорона праці. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

I. Схема силового кола частотно-регульованого асинхронного електропривода; II. Структурна схема ПІД-регулятора; III. Структурна схема системи електропривода з ідеально жорсткими механічними частинами без зовнішніх зворотніх зв'язків; IV. Графіки динамічних процесів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	д.т.н., проф. каф. КЕМСК Кутін В.М.	 11.03.24	 28.05.24
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 11.03.24	 28.05.24

7. Дата видачі завдання 11.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	13.06.2024	

Студент

(підпис)

Назар ГУДЗЕВИЧ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Василь КУТІН

(прізвище та ініціали)

Анотація

Гудзевич Н.А. «Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики». Бакалаврська дипломна робота. Вінниця : ВНТУ, 2024.– 78 с. Бібліогр. :19. Іл. :17. Табл. :18.

Дана робота присвячена модернізації електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення з метою підвищення ефективності та надійності процесу транспортування матеріалів. В рамках дослідження були визначені основні проблеми та недоліки існуючої системи, такі як низька продуктивність, велике споживання електроенергії та часті відмови обладнання. Для вирішення цих проблем було запропоновано технічні рішення, включаючи вдосконалення системи керування, встановлення енергоефективних приводів та застосування передових матеріалів у конструкції конвеєра.

Ключові слова: модернізація, електропривід, стрічковий конвеєр, дроблення, продуктивність, енергоефективність, надійність, система керування.

The summary

Gudzevich N.A. Modernization of the electric drive of the belt conveyor of the second stage of crushing crushing factory. Bachelor thesis. Vinnytsia: VNTU, 2024.– 78 p. Bibliogr. :19. Ill.: 17. Table: 18.

This work is devoted to the modernization of the electric drive of the belt conveyor of the second stage of crushing in order to increase the efficiency and reliability of the material transportation process. As part of the study, the main problems and shortcomings of the existing system were identified, such as low productivity, high power consumption and frequent equipment failures. To solve these problems, technical solutions were proposed, including improving the control system, installing energy-efficient drives and using advanced materials in the construction of the conveyor.

Key words: modernization, electric drive, belt conveyor, crushing, productivity, energy efficiency, reliability, control system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1 ЕЛЕКТРОПРИВОД СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	8
1.1 Роль конвеєра в схемі.....	8
1.2 Призначення регулювання швидкості електроприводу	9
1.3 Вимоги по експлуатації стрічкового конвеєра.....	11
1.4 Кінематична схема стрічкового конвеєра	11
1.5 Розрахунок потужності двигуна.....	12
1.6 Розрахунок параметрів електродвигуна.....	16
1.7 Вибір редуктора	17
1.8 Визначення параметрів елементів схеми заміщення асинхронного двигуна.....	20
1.9 Розрахунок статичних характеристик розімкнених систем електропривода.....	25
1.10 Висновки до розділу 1	30
2 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ.....	31
2.1 Структура системи керування	31
2.2 Елементи систем керування	33
2.3 Контур регулювання.....	37
2.4 Висновок до розділу 2	41
3 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	45

	4
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	46
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	48
4.3 Пожежна безпека	53
4.4 Висновки по розділу	56
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
Додаток А Технічне завдання.....	60
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	63

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СК – стрічковий конвеєр

ЕП – електропривод

МСК – модернізація системи контролю

АД – асинхронний двигун

РП – регульований електропривод

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЧРАД – частотно-регульований асинхронний двигун

ТПЕ – технічні параметри електродвигуна

ПЧ-АД – перетворювач частоти асинхронного двигуна

ПЧБЗ – перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком

ПЧ – АІ перетворювач частоти з автономним інвертором

АІН – автономний інвертор напруги

АІС – автономний інвертор струму

ВСТУП

Актуальність дослідження:

Автоматичні системи регулювання та керування є невід'ємною частиною сучасних електронних, електричних, механічних пристроїв та систем. При незадовільній роботі системи керування придатність до експлуатації електромеханічних систем втрачається. Кожен кваліфікований спеціаліст має мати знання та навички контролю і корекції систем керування, та розуміти процеси, які в них відбуваються, закони керування, принципи побудови й функціонування систем керування, методи їх дослідження і налаштування. Сучасні технологічні процеси на існуючих підприємствах багаторазово покращили ефективність своєї роботи та продуктивність в транспортуванні твердих та сипучих речовин за рахунок конвеєрних систем. Робота конвеєрних систем зазвичай відбувається у безперервному режимі, за допомогою керованого електроприводу.

Широке використання регульованих електроприводів призвело до того, що сучасний електропривод є не тільки енергосиловою основою, що дозволяє забезпечити виробничі механізми необхідною механічною енергією, а також засобом управління технологічними процесами, оскільки завдання реалізації якості виробничих процесів в даний час в більшості випадків покладаються на системи управління регульованими електроприводами у поєднанні з системами технологічної автоматики. У зв'язку із зростанням цін на енергоносії, зокрема на електроенергію, та обмеженими можливостями збільшення потужності енергогенеруючих установок проблема енергозбереження, у тому числі зниження електроспоживання, набуває особливої актуальності.

Тому невід'ємною частиною регульованого електропривода є керований силовий перетворювач, який забезпечує плавне регулювання швидкості електричних двигунів шляхом перетворення фіксованих значень напруги і частоти мережі на величини, що змінюються.

Застосування частотно-регульованого електроприводу конвеєра, забезпечує плавне регулювання лінійної швидкості стрічки, що дозволяє отримати максимальну економію електроенергії транспортування вантажу при змінному вантажопотоку.

Мета роботи-підвищення ефективності функціонування електропривода стрічкового конвеєра шляхом перетворення фіксованих значень напруги і частоти мережі на величини, що змінюються.

Основні задачі:

Провести аналіз існуючого електроприводу стрічкового конвеєра, виявити проблеми та недоліки.

Розробити технічні рішення для модернізації електроприводу з метою оптимізації продуктивності та зниження споживання електроенергії.

Провести експериментальні дослідження та впровадити запропоновані зміни на практиці для оцінки їхньої ефективності.

Порівняти результати модернізації з показниками роботи електроприводу до модифікації для підтвердження покращення.

Об'єктом дослідження є електропривід стрічкового конвеєра другої стадії дроблення.

Предметом дослідження є процес модернізації електроприводу для підвищення продуктивності та надійності стрічкового конвеєра.

Методи: У роботі використовуються методи аналізу, моделювання, експериментального дослідження, а також методи технічного проектування та впровадження технічних змін.

Внесок здобувача: Здобувач дипломної роботи вніс важливий внесок у виявлення проблем електроприводу стрічкового конвеєра, розробку та впровадження технічних рішень для їх вирішення, а також у проведення експериментальних досліджень та аналіз отриманих результатів.

1 ЕЛЕКТРОПРИВОД СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

1.1 Роль конвеєра в схемі

Стрічковий конвеєр [1-4] призначений для транспортування подрібненої залізної руди другої стадії дроблення до бункеру. Продуктивність конвеєра складає 2500 т/г. Швидкість руху стрічки – 2 м/с, висота підйому матеріалу, який транспортується складає – 0 м, довжина шляху переміщення матеріалу – 80 м. Діаметр ведучого барабана – 1,29 м, передаточне число редуктора – 31,5, ККД редуктора – 0,98. ЕП встановлено в запиленому приміщенні, режим роботи конвеєра безперервний, напруга живлення трьохфазної мережі 380 В. Умови роботи електропривода дуже важкі. (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Параметри, визначаючі умови роботи роботи

Режим роботи	Час роботи в день, год	Властивості вантажу	Вологість повітря, %	Запилення повітря, мг/м ³	Темпер. навколишнього середовища, °С
Важкі	12-18	Насипна щільність: 2,0-2,4 т/м ³ ; Розмір куска: 40-60мм Абразивність і корозійність: середня;	65-90	100-150	від -20 до +40

Під дуже важкими умовами розуміють: робота в неопалювальному приміщенні, велике запилення абразивного пилу або великої вологості та погане освітлення і доступність для обслуговування. Забезпечити можливість зміни продуктивності конвеєра.

Насипний матеріалом виступає: залізна руда з наступними фізико-механічними властивостями (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні властивості насипного вантажу

Найм. вантажу	Насипна щільність ρ , т/м ³	Кут природного укосу вантажу у спокої, φ_0 , °	Найбільший кут, що допускається нахилу конвеєра, β , °
Руда крупністю 40-60 мм	2,4	35-45	18-20

1.2 Призначення регулювання швидкості електроприводу

По мірі зниження продуктивності ефективність роботи конвеєра знижується, так як збільшується відносна доля потужності, витрачена на подолання моменту холостого ходу як видно з формули:

$$P_* = M_* \omega_* = M_{x.x.} + (1 - M_{x.x.}) Q_* \quad (1.1)$$

При чому $P_* = \frac{P}{P_{\text{ном}}} = 1$; $\omega_* = \frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}$; $\omega = \frac{v \cdot i}{R}$; $P_{\text{ном}}$, $\omega_{\text{ном}}$ - номінальні

відповідно потужність і кутова швидкість на валу двигуна.

Більш економічним являється режим роботи конвеєра з зміною лінійної швидкості, забезпечуючи таку ж продуктивність, але при постійному зусиллі $F_{г*}$. [5,6] У відповідності з формулою (1.1) кутова швидкість в цьому випадку повинна змінюватися по закону $\omega_* = v_* = Q_*$, якому відповідає потужності на валу двигуна.

Характерним прикладом являється електропривод стрічкового конвеєру дільничних та магістральних конвеєрів вугільних шахт та гірничо-збагачувальних комбінатів працюючих із змінним навантаженням, зміни якої досить важко передбачувати через випадковий характер вантажопотоку. При цьому час роботи на холостому ході може досягати 20...40% часу від роботи конвеєра. [7]

Для оцінки можливого зниження енергоспоживання під час застосування регульованого електроприводу стрічкового конвеєра в порівнянні з нерегульованим електроприводом було обчислено відносне споживання електричної енергії при транспортування вантажу однакового обсягу системами з нерегульованим електроприводом, з частотно-

регульованим електроприводом, що забезпечує плавне регулювання швидкості стрічки конвеєра, з двошвидкісним електроприводом різним співвідношенням номінальних кутових швидкостей, рівним 1:2 і 1:3, що забезпечує дискретне регулювання лінійної швидкості стрічки конвеєра [5].

З аналізу даних табл. 1.3 слідує те, що застосування плавного регулювання лінійної швидкості стрічки, наприклад за допомогою частотно-регульованого електроприводу, дозволяє знизити енергоспоживання на 26...38% порівняно з нерегульованим електроприводом. Застосування дискретного регулювання лінійної швидкості стрічки конвеєра з використанням двошвидкісного електроприводу із співвідношенням кутових швидкостей 1:2 і 1:3 дозволяє знизити споживання електроенергії на 5... 21 % порівняно з нерегульованим приводом. Економія енергії при застосуванні регульованого приводу тим вище, чим нижче завантаження конвеєра.

Таблиця 1.3 – Споживання енергії конвеєрами в залежності від типу електропривода і навантаження

Тип електропривода конвеєра	Споживання енергії при завантаженні конвеєра, від. од.	
	низький	високий
Нерегульований асинхронний двигун	1,0	1,0
Частотно-регульований АД	0,62	0,74
Двошвидкісний АД із співвідношенням кутової швидкості:		
1:2	0,79	0,92
1:3	0,8	0,95

Таким чином, застосування частотно-регульованого електроприводу конвеєра, забезпечує плавне регулювання лінійної швидкості стрічки, що дозволяє отримати максимальну економію електроенергії транспортування

вантажу при змінному вантажопотоку. Важливе значення має можливість плавного пуску конвеєра.

1.3 Вимоги по експлуатації стрічкового конвеєра

У процесі огляду та пробного запуску протягом усієї роботи конвеєра необхідно стежити за ступенем натягу стрічки та центрування. Стрічку не можна сильно натягувати, т.к. це збільшує допустимі струми і витрата потужності двигуна, послаблює заклепки стику і робить стрічку дуже неточною установкою роликів опор. Слабке натяг теж неприпустимо, збільшує провисання стрічки, призводить до зменшення продуктивності вантажу, що транспортується.

Перед експлуатацією слід переконатися в тому, що натяжний барабан, що несуть і підтримують ролики, вільно обертаються. Для нормальної експлуатації стрічкового конвеєра матеріали, що транспортуються, необхідно подавати рівномірно, відповідному продуктивності стрічкового конвеєра.

Після закінчення роботи переконатись, що весь матеріал зійшов зі стрічки конвеєра, потім слід вимкнути електродвигун; оглядати підшипники стику стрічки.

1.4 Кінематична схема стрічкового конвеєра

На рисунку 1.1 зображена кінематична схема стрічкового конвеєра.

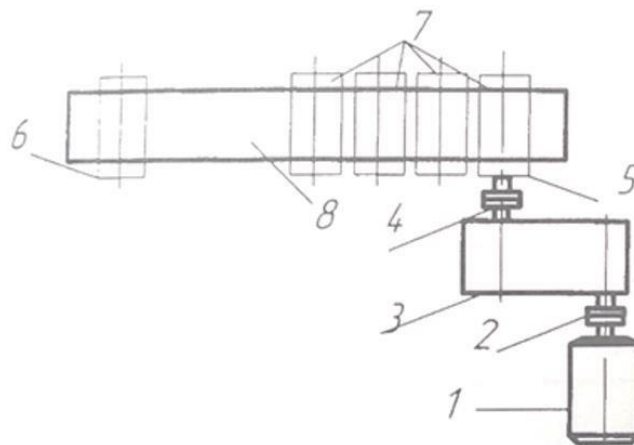


Рисунок 1.1 – Кінематична схема стрічкового конвеєра

На рисунку 1.1 зображено: 1 – електродвигун, 2, 4 – муфта, 3 – редуктор, 5 – барабан привідний, 6 – барабан натяжний, 7 – барабан відхиляючий, 8 – стрічка транспортерна.

1.5 Розрахунок потужності двигуна

Приближений тяговий розрахунок стрічкового конвеєру для визначення потужності ЕП визначено у [8].

Приближений метод тягового розрахунку зводиться до визначення окружного зусилля на привідному барабані, а також збігаючого та набігаючого зусилля на конвеєрній стрічці на привідному барабані.

Розрахункову продуктивність стрічкового конвеєру визначаємо за формулою:

$$Q = \frac{Q_{\text{п}} \cdot K_{\text{н}}}{K_{\text{в}} \cdot K_{\text{г}}^n}, \quad (1.2)$$

де $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт нерівномірності завантаження конвеєрної лінії. Величина коеф. нерівномірності залежить від організації вантажопотоку (при рівномірному вантажопотоку $K_{\text{н}} = 1 - 1,2$; при нерівномірному вантажопотоку $K_{\text{н}} = 1,5 - 2$ – похвилина – нерівномірність та $K_{\text{н}} = 1,2 - 1,5$ – погодина нерівномірність). Приймаємо значення $K_{\text{н}} = 1,2$.

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання конвеєрної лінії за часом. $K_{\text{в}} = 0,7 - 0,95$.

Приймаємо значення $K_{\text{в}} = 0,7$.

$K_{\text{г}}^n$ – коефіцієнт готовності конвеєрної лінії. Для стаціонарного конвеєру приймають $K_{\text{г}}^n = 0,96$. Приймаємо значення $K_{\text{г}}^n = 0,96$.

$$Q = \frac{2500 \cdot 1.2}{0.7 \cdot 0.96} = 4464.29 \left(\frac{\text{т}}{\text{год}} \right).$$

Швидкість стрічки конвеєру дорівнює $v = 2$ м/с.

Величина окружного зусилля на привідному барабані на завантаженому стрічковому конвеєрі визначається по формулі:

$$P = K_{\text{д}} \cdot L_{\text{г}} \cdot w \cdot (q_{\text{г}} + q_{\text{р}} + q_{\text{р}}'' + 2q_{\text{л}}) + q_{\text{г}} \cdot H_{\text{о}} \pm q_{\text{г}} \cdot H, \quad (1.3)$$

де κ_d – коефіцієнт додаткового опору, який визначається з рисунку 1.2 (приймаємо значення $\kappa_d = 1,9$)

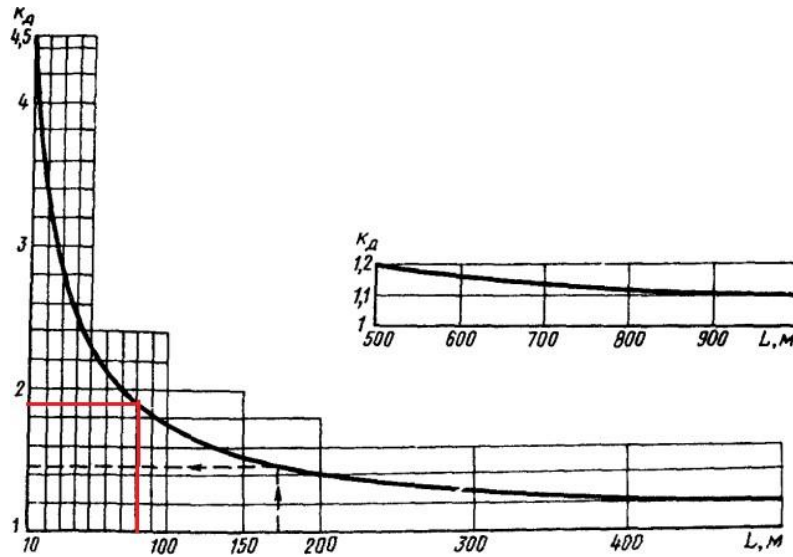


Рисунок 1.2 – Графік зніми коефіцієнту опору κ_d

q_Γ – лінійне навантаження (даН/м) від маси вантажу на стрічці, визначається за формулою:

$$q_\Gamma = \frac{Q \cdot g}{36 \cdot v} \quad (1.4)$$

$$q_\Gamma = \frac{4464.29 \cdot 9.81}{0.7 \cdot 0.96} = 608.26.$$

q_L – лінійне навантаження (даН/м) від стрічки, визначається за формулою:

$$q_L = 0.1 \cdot G_L \cdot g, \quad (1.5)$$

$$q_L = 0.1 \cdot 27.2 \cdot 9.81 = 26.7.$$

q_p – лінійне навантаження (даН/м) від маси обертових частин роликів опор верхньої гілки, визначається за формулою:

$$q_p = \frac{G_p \cdot g}{10 \cdot l_p} \quad (1.6)$$

Приймаємо значення $q_p = 33,5$ з каталогу.

q_p'' – лінійне навантаження (даН/м) від маси обертових частин роликів опор нижньої гілки, визначається за формулою:

$$q_p'' = \frac{G_p'' g}{10 \cdot l_p''} \quad (1.7)$$

Приймаємо значення $q_p'' = 18$ з каталогу.

w – величина коефіцієнту опору рухання стрічки по роликів опорам, яка приведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Коефіцієнту опору руху стрічки по роликів опорам

Довжина конвеєра, м	Умови експлуатації					
	Легкі	Середні	Важкі		Дуже важкі	
			літом	взимку	літом	взимку
До 100 включно	0,02	0,025	0,035	0,045	<u>0,04</u>	<u>0,055</u>
Більше 100	0,018	0,022	0,032	0,042	0,036	0,05

Розрахунок натягу вітки стрічки (даН), набігаючий на привідний барабан, визначаємо за формулою:

$$S_{нб} = \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1} P, \quad (1.8)$$

де $e = 2,72$ – основний натуральний логарифм;

μ – коефіцієнт тертя стрічки о поверхню барабану (приймаємо з таблиці 1.5).

$e^{\mu\alpha}$ – приймаємо з посібника до СНіП 2.05.07-85 з проектування конвеєрного транспорту, стрічкові конвеєри додатку 6 $e^{\mu\alpha} = 1,73$.

$$S_{нб} = \frac{1,73}{1,73-1} 5962,01 = 14129,12.$$

Таблиця 1.5 – Коефіцієнту тертя стрічки о поверхню барабану

Поверхня привідного барабану	Стан доторкання поверхні стрічка та барабану	Атмосферні умови	Умови експлуатації	Коеф. тертя стрічки о поверхню барабана
Футерована резиною	Чисте	Сухе	Легкі	0,5
	Запилене		Середні	0,4
	Забруднене	Сухе	Середні, тяжкі, дуже тяжкі	0,25
		Вологе	Тяжкі, дуже тяжкі	0,15

Розрахунок натягу вітки стрічки, збігаючого з привідного барабана, визначається за формулою:

$$S_{сб} = S_{нб} - P, \quad (1.9)$$

$$S_{сб} = 14129.12 - 5962.01 = 8167.11.$$

Розрахунок на валу привідного барабана визначається за формулою:

$$N_6 = \frac{P \cdot v}{100}, \quad (1.10)$$

$$N_6 = \frac{5962.01 \cdot 2}{100} = 119.24.$$

Розрахунок потужності двигуна привода конвеєра визначається за формулою:

$$N_e = \frac{N_6 \cdot K}{\eta_{\pi}}, \quad (1.11)$$

$$N_e = \frac{119.24 \cdot 1.2}{0.8} = 178.86.$$

Обираємо асинхронний двигун типу АИР355М6 (таблиця 1.6) згідно попереднім розрахункам потужності.

Таблиця 1.6 – Технічні параметри електродвигуна АИР355М6

Тип двигуна	Ном. потужність, Вт	Ном. частота обертання, об/хв	При номінальному навантаженні		
			ККД, %	Коеф. потужнос ті	Ковзання, %
АИР355М6	200	1000	94,5	0,91	1
$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{i_{\text{дв}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	Ступінь захисту	Кліматичне виконання
1,9	2	1	6,7	IP54	У2

Термічний клас ізоляції обмоток F - до 150 ° С.

1.6 Розрахунок параметрів електродвигуна

Синхронна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \quad (1.12)$$

$$\omega_0 = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.72 \text{ (рад/с)}.$$

Номінальна частота обертання двигуна:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв н}}}{30}, \quad (1.13)$$

$$\omega_{\text{н}} = \frac{3.14 \cdot 990}{30} = 98,437 \text{ (рад/с)}.$$

Номінальний струм двигуна:

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad (1.14)$$

$$I_{1H} = \frac{200000}{3 \cdot 220 \cdot 0.91 \cdot 0.945} = 352 \text{ (A)}.$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H} \quad (1.15)$$

$$M_H = \frac{200 \cdot 10^3}{98,437} = 2031,76 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

1.7 Вибір редуктора

Передаточне число редуктора зазначено у вихідних даних і тому переходимо до вибору редуктора, виходячи з необхідного передатного числа, заданого значення номінальної потужності (або моментів тихохідному та швидкохідному валу) та швидкості обраного двигуна з урахуванням характеру навантаження (режиму роботи) робочої машини, для якої проектується електропривод.

Обраний редуктор повинен мати передаточне число, яке дорівнює або трохи менше розрахункового значення.

Згідно вище наведеними умовами було обрано циліндричний двоступеневий редуктор ЦДН-630 (таблиця 1.7) з передаточним числом 31,5.

Таблиця 1.7 Технічні характеристики редуктора ЦДН-630

Типорозмір редуктора	Номінальне передаточне число	Номінальне радіальне навантаження на тихохідному валу, Н	Номінальний крутний момент на тихохідному валу, Н·м	Вага, кг	ККД
ЦДН-630	31,5	67000	71000	3330	0,96

Приведення статичних моментів, моментів інерції до валу двигуна.

Значення моменту навантаження на валу барабана:

$$M_c = \frac{(T_{нб} - T_{сб})D}{2\eta}, \quad (1.16)$$

$$M_c = \frac{(141290 - 59620)1,29}{2 \cdot 0,9} = 58530 \text{ (Нм)}.$$

Величина приведенного моменту навантаження до валу:

$$M_c = \frac{M_c}{i}, \quad (1.17)$$

$$M_c = \frac{58530}{31,5} = 1858,1 \text{ (Нм)}.$$

Розрахунок схеми заміщення механічної системи електропривода конвеєра може бути представлена у вигляді одномасової системи (рисунок 1.3).

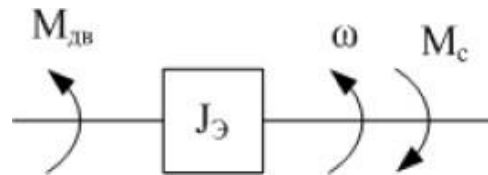


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема механічної системи привода

На рисунку 1.3 прийняті наступні позначення: $M_{дв}$ – момент на валу електродвигуна, Н·м; M_c – момент навантаження з урахуванням втрат у механізмі, приведений до валу двигуна, Н·м; ω – кутова швидкість, рад/с; J_e – еквівалентний момент інерції привода, приведений до валу двигуна, кг · м².

Приведений момент інерції механічних частини визначається за формулою:

$$J = \frac{m_{\Sigma} D^2}{i^2 4}, \quad (1.18)$$

де D – діаметр привідного барабану ($D = 1,29$ м);

m_{Σ} – сумарна вага, кг:

$$m_{\Sigma} = m_{1,2} + m_{3,4}, \quad (1.19)$$

де $m_{1,2}$ – вага нижньої ділянки гілки, кг:

$$m_{1,2} = (m_c^* + m_{\text{ван}}^*) \cdot l_{1,2}, \quad (1.20)$$

де m_c^* – вага 1м стрічки ($m_c^* = 27,2$ кг/м);

$m_{\text{ван}}^*$ – вага вантажу на 1м стрічки відповідно до продуктивності:

$$m_{\text{ван}}^* = \frac{Q}{3600 \cdot V}, \quad (1.21)$$

$$m_{\text{ван}}^* = \frac{2500000}{3600 \cdot 2} = 347,22 \text{ (кг/м)},$$

$$m_{1,2} = (347,22 + 27,2) \cdot 80 = 29953,78 \text{ (кг)},$$

Вага нижньої ділянки гілки:

$$m_{3,4} = m_c^* \cdot l_{3,4}, \quad (1.22)$$

$$m_{3,4} = 27,2 \cdot 80 = 2176 \text{ (кг)}.$$

$$m_{\Sigma} = 29953,78 + 2176 = 32129,6 \text{ (кг)}.$$

$$J = \frac{32129,6 \cdot 1,29^2}{31,5^2 \cdot 4} = 13,47 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Кутове прискорення барабана:

$$\varepsilon = \frac{0,105 n_{\text{НС}}}{V/a_{\text{доп}}}, \quad (1.23)$$

де 0,105 – коефіцієнт переходу між системами виміру об/хв та рад/с;

$V/a_{\text{доп}}$ – час прискорення конвеєра.

$$\varepsilon = \frac{0,105 \cdot 1000}{2/0,1} = 5,25 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right).$$

Кутове прискорення приведенне до двигуна:

$$\varepsilon = \varepsilon \cdot i, \quad (1.24)$$

$$\varepsilon = 5,25 \cdot 31,5 = 165,375 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right).$$

Найбільший момент двигуна:

$$M_{\max} = M_c + J \cdot \varepsilon, \quad (1.25)$$

$$M_{\max} = 1858,1 + 13,47 \cdot 165,375 = 4085,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Перевірка двигуна за перевантажувальну здатністю:

$$M_{\max} < \lambda \cdot M_H, \quad (1.26)$$

$$4085,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)} < 2 \cdot 2031,76 \text{ (Н} \cdot \text{м)},$$

$$4085,7 \text{ (Н} \cdot \text{м)} < 4063,52 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Двигун відповідає вимогам за перевантажувальною здатністю.

1.8 Визначення параметрів елементів схеми заміщення асинхронного двигуна

Для розрахунків характеристик асинхронного двигуна таких, як електромеханічні та механічні використовую математичну модель, яка являє собою Т-подібну еквівалентну схему (рисунок 1.4) [9,10]

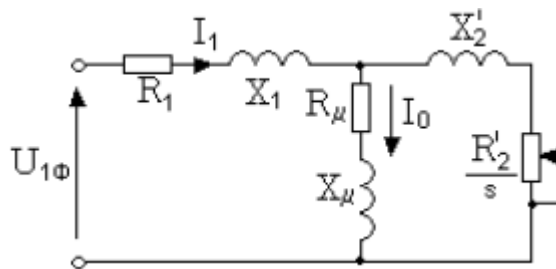


Рисунок 1.4 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Номінальна фазна напруга:

$$U_\Phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad (1.27)$$

$$U_\Phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (В)}.$$

Номінальний струм двигуна:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}, \quad (1.28)$$

де U_H – номінальна лінійна напруга двигуна В.

$$I_H = \frac{200000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.94 \cdot 0.91} = 355.24(\text{А}).$$

Номінальний момент:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (1.29)$$

$$M_H = \frac{200000}{103.67} = 1929 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Пусковий момент двигуна:

$$M_{\Pi} = M_{\Pi}^* \cdot M_H, \quad (1.30)$$

$$M_{\Pi} = 1.9 \cdot 1929 = 3666 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Визначимо параметри схеми заміщення.

Критичний момент двигуна:

$$M_{\Pi} = \lambda \cdot M_H, \quad (1.31)$$

$$M_{\Pi} = 2.0 \cdot 1929 = 3859 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Повний опір двигуна при загальмованому роторі:

$$Z_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi.\text{н.}}}{I_{\Pi}} = \frac{U_{\text{л.н.}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{н}} \cdot I_H}, \quad (1.32)$$

$$Z_{\text{кз}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 6.7 \cdot 355.24} = 0.092 (\text{Ом}).$$

Приведений активний опір ротора:

$$r_2' = \frac{M_{\Pi} \cdot Z_{\text{кз}}^2}{\frac{m_c U_{\phi.\text{н.}}^2}{\omega_0}}, \quad (1.33)$$

де m_c – кількість фаз статора;

ω_0 – кутова синхронна швидкість АД.

$$r_2' = \frac{3859 \cdot 0.092^2}{\frac{3 \cdot 220^2}{104.712}} = 0.023 (\text{Ом}).$$

Активний опір фазної обмотки статора:

$$r_1 = Z_{кз} \cdot \cos\varphi_{\pi} - r_2', \quad (1.34)$$

де $\cos\varphi_{\pi}$ – коефіцієнт потужності АД при загальмованому роторі (пусковий коефіцієнт потужності):

$$\cos\varphi_{\pi} = \cos\varphi_{\pi} \left[M_{\pi}^* \frac{\eta_{\pi}}{(1-s_{\pi}) \cdot I_{\pi}^*} + \lambda \cdot I_{\pi}^* (1 - \eta_{\pi}) \right], \quad (1.35)$$

$$\cos\varphi_{\pi} = 0.91 \left[1.9 \frac{0.94}{(1-0.96) \cdot 6.7} + 0.33 \cdot 6.7 (1 - 0.94) \right] = 0.366,$$

$$r_1 = 0.092 \cdot 0.366 - 0.23 = 0.011 (\text{Ом}).$$

Індуктивний опір АД при загальмованому роторі (повний індуктивний опір АД):

$$X_{кз} = Z_{кз} \cdot \sin\varphi_{\pi} = Z_{кз} \cdot \sqrt{1 - \cos^2\varphi_{\pi}}, \quad (1.36)$$

$$X_{кз} = 0.092 \cdot \sqrt{1 - 0.366^2} = 0.086 (\text{Ом}).$$

Повний активний опір АД:

$$R_{кз} = \sqrt{Z_{кз}^2 - X_{кз}^2}, \quad (1.37)$$

$$R_{кз} = \sqrt{0.092^2 - 0.086^2} = 0.034 (\text{Ом}).$$

Індуктивний опір АД:

$$X_{кз} = X_1 + X_2', \quad (1.38)$$

$$X_{кз} = 0.028 + 0.058 = 0.086 (\text{Ом}).$$

Критичне ковзання АД (для режиму двигуна):

$$s_{кр} = s_{\pi} (M_{\max} \pm \sqrt{M_{\max}^2 - 1}), \quad (1.39)$$

$$s_{кр} = 0.02 (2.5 \pm \sqrt{2.5^2 - 1}) = 0.037.$$

Струм холостого ходу статора (струм намагнічування двигуна):

$$I_0 = I_{xx} = I_H \left(\sin \varphi_H - \cos \varphi_H \cdot \frac{x_2}{r_1 + \frac{x_2^2}{s_H}} \right), \quad (1.40)$$

$$I_0 = 355.24 \left(0.415 - 0.91 \cdot \frac{0.058}{0.011 + \frac{0.023}{0.01}} \right) = 139.1 \text{ (A)}.$$

Повна індуктивність АД (при загальмованому роторі):

$$L_{кз} = \frac{X_{кз}}{\omega_c}, \quad (1.41)$$

$$L_{кз} = \frac{0.086}{314.16} = 0.000273 \text{ (Гн)}.$$

Електромагнітна стала АД:

$$T_\epsilon = \frac{L_{кз}}{R_{кз}}, \quad (1.42)$$

$$T_\epsilon = \frac{0.000273}{0.034} = 0.000273 \text{ (с)}.$$

Електромеханічна стала АД:

$$T_m = \frac{I \omega_0 s_H}{M_H}, \quad (1.43)$$

$$T_m = \frac{10.4 \cdot 104.712 \cdot 0.01}{1929} = 0.005645 \text{ (с)}.$$

Розрахунок параметрів елементів схем системи ЕП змінного струму[11,12]

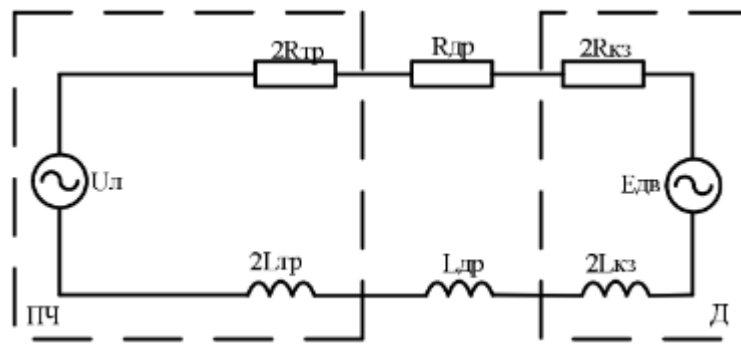


Рисунок. 1.5 – Схема заміщення системи перетворювач частоти-асинхронний двигун (ПЧ-АД)

Активний опір згладжуючого дроселя визначається з каталожних даних, у разі відсутності приймати $R_{др} \cong 0.101 \text{ Ом}$

Електромагнітна стала часу ЕП ПЧ-АД:

$$T_{\text{э}} = \frac{L_{\text{э}}}{R_{\text{э}}}, \quad (1.44)$$

$$T_{\text{э}} = \frac{0.101546}{0.099} = 1.031 \text{ (с)}.$$

Сумарний опір силового кола (еквівалентний опір схеми заміщення):

$$R_{\epsilon} = 2 \cdot (R_{\text{кз}} + R_{\text{тр}}) + R_{\text{др}} + \frac{2 \cdot (X_{\text{кз}} + X_{\text{тр}})}{2\pi}, \quad (1.45)$$

$$R_{\epsilon} = 2 \cdot 0.034 + 0.0038 + \frac{2 \cdot 0.086}{2\pi} = 0.099 \text{ (Ом)}.$$

Повний індуктивний опір силового кола (еквівалентна індуктивність схеми заміщення):

$$L_{\epsilon} = \frac{2 \cdot (X_{\text{кз}} + X_{\text{тр}})}{\omega_c} + L_{\text{др}}, \quad (1.46)$$

$$L_{\epsilon} = \frac{2 \cdot 0.086}{314.16} + 0.101 = 0.101546.$$

Електромеханічна стала постійна часу ЕП:

$$T_{\text{м}} = \frac{J \cdot R_{\epsilon}}{(k\Phi)^2}, \quad (1.47)$$

При чому:

$$k\Phi = \frac{3}{2} p_2 k_2 \psi_{2H}, \quad (1.48)$$

де:

$$k_2 = \frac{L_{\mu}}{L_2} = \frac{L_{\mu}}{L_2} = \frac{L_{\mu} \cdot \omega_c}{x_2}, \quad (1.49)$$

де:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{\omega_c}, \quad (1.50)$$

де:

$$X_{\mu} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}I_0}, \quad (1.51)$$

$$X_{\mu} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 139.1} = 1.577,$$

$$L_{\mu} = \frac{1.577}{314.16} = 5.021 \cdot 10^{-3},$$

$$\psi_{2\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_1}{\omega_0}, \quad (1.52)$$

$$\psi_{2\text{н}} = \frac{380 - 355.236 \cdot 0.011}{104.71} = 3.591$$

$$k\Phi = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 270442 \cdot 3.591 = 443.486,$$

$$T_{\text{м}} = \frac{(10.4 + 13.47) \cdot 0.099}{443.486^2} = 1.1959 \cdot 10^{-5} (\text{с}).$$

Постійна часу ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{X_2}{\omega_c R_2}, \quad (1.53)$$

$$T_2 = \frac{0.058}{314.16 \cdot 0.023} = 0.0081 (\text{с}).$$

1.9 Розрахунок статичних характеристик розімкнених систем електропривода

Природня механічна характеристика асинхронного двигуна $\omega(M)$ розраховується за виразом:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot [X_{\text{кн}}^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu}})^2]}, \quad (1.54)$$

де ω_0 – синхронна кутова швидкість, рад/с:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (1.55)$$

де p – кількість пар полюсів електродвигуна;

f – частота вихідної напруги.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot (30/40/50/60)}{3} = 62.83/83.77/104.72/125.66 \text{ (рад/с)},$$

$$M(s) = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.0058}{104.72 \cdot s \cdot [0.167^2 + (0.006 + \frac{0.0058}{s})^2 + (\frac{0.006 \cdot 0.0058}{s \cdot 1.65})^2]},$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (1.56)$$

Номінальний електромагнітний момент електродвигуна:

$$M_{\text{ЕДН}}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot [X_{\text{кн}}^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}})^2]} \quad (1.57)$$

$$M_{\text{ЕДН}}(s) = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.0058}{104.72 \cdot 0.01 \cdot [0.167^2 + (0.006 + \frac{0.0058}{0.01})^2 + (\frac{0.006 \cdot 0.0058}{0.01 \cdot 1.65})^2]} = 2165,97 \text{ (Нм)}.$$

Природна та штучна механічні характеристики двигуна наведена на рисунку 1.6.

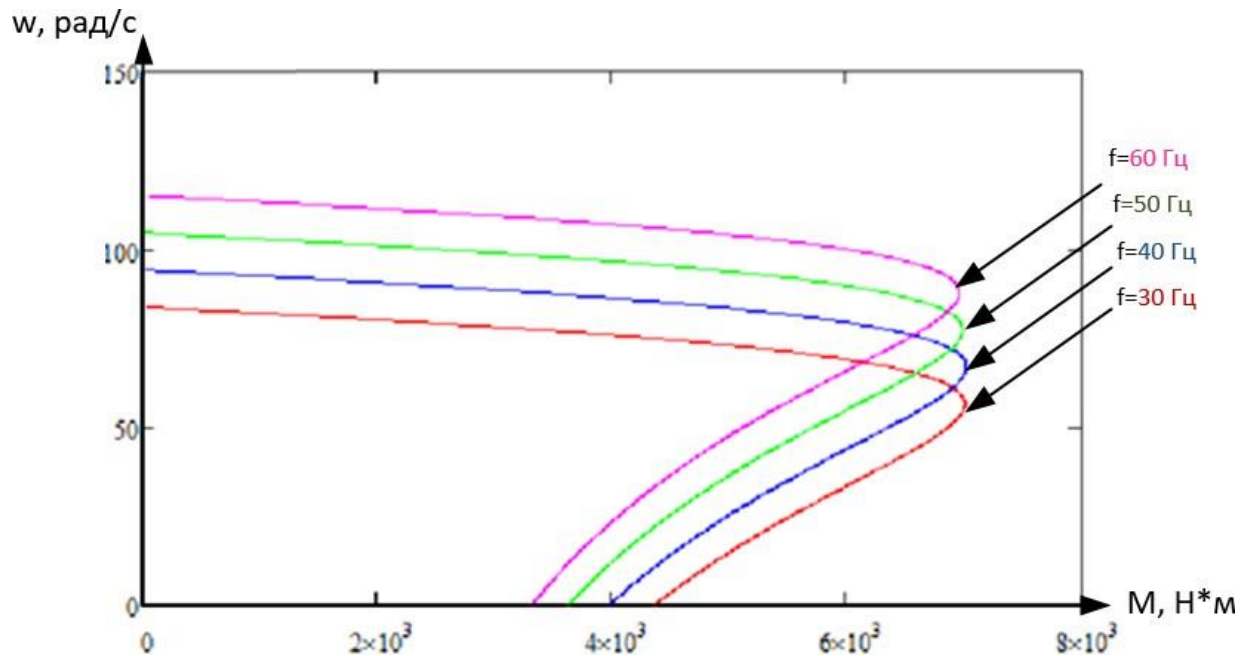


Рисунок 1.6 – Природна та штучні механічні характеристики двигуна

$$M = f(\omega)$$

Механічна характеристика (рисунок 1.6), отримана при розрахунках по параметрам схеми заміщення, відповідає асинхронному двигуну з ненасиченою магнітною системою, та її своєрідність визначається залежністю індуктивного опору ротора від ковзання.

Природні та штучні електромеханічні характеристики $\omega(I_1)$ та $\omega(I_2)$ асинхронного двигуна розраховується за виразами:

$$I_2(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + X_{KH}^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu})^2}}, \quad (1.58)$$

$$I_2(s) = \frac{220}{\pm \sqrt{(0,006 + \frac{0,0058}{s})^2 + 0,167^2 + (\frac{0,006 \cdot 0,0058}{s \cdot 1,65})^2}},$$

$$I_1(s) = \sqrt{(I_0^2 + I_2(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(s)^2 \cdot \sin \varphi_2)}, \quad (1.59)$$

$$I_1(s) = \sqrt{(130,21^2 + I_2(s)^2 + 2 \cdot 130,21 \cdot I_2(s)^2 \cdot \sin \varphi_2)},$$

$$I_0 = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1H} + X_\mu)^2}}, \quad (1.60)$$

де:

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + X_{KH}^2}}, \quad (1.61)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{0,167}{\sqrt{(0,006 + \frac{0,0058}{s})^2 + 0,167^2}},$$

$$I_0 = \frac{220}{\sqrt{0,006^2 + (0,0395 + 1,65)^2}} = 130,21 \text{ (A)}.$$

Природня та штучні електромеханічні характеристики ($I = f(\omega)$) двигуна $\omega(I_1)$ та $\omega(I_2)$ приведені на рисунку 1.7.

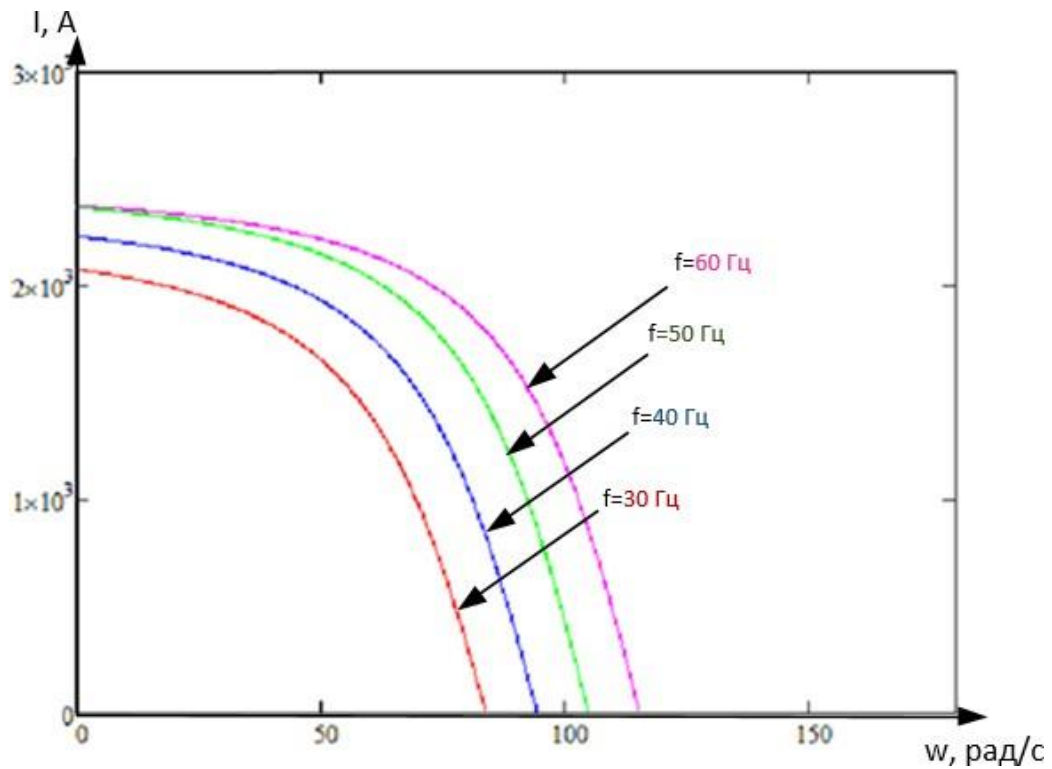


Рисунок 1.7 – Природна та штучні швидкісні характеристики двигуна

Розраховані характеристики на робочих ділянках досить добре відповідають каталожним параметрам електродвигуна. Це підтверджує, що прийняті параметри схеми заміщення відповідають дійсним параметрам електродвигуна і можуть бути використані для розрахунку статичних характеристик та імітаційного моделювання динамічних процесів в асинхронному електродвигуні при частотному регулюванні.

Коефіцієнт корисної дії для системи ПЧ-АД розраховується за виразом:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100\%, \quad (1.62)$$

де ΔP_{Σ} – загальні втрати потужності у системі електропривода, які визначаються як сума постійних та змінних втрат потужності:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}}. \quad (1.63)$$

Для системи електропривода ПЧ-АД постійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{мех.н.}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 = k_{\text{мех.}} \cdot P_H \cdot \frac{1-s(f)}{1-s_H} = k_{\text{мех.}} \cdot P_H \cdot \frac{1-\frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}}{1-s_H}, \quad (1.64)$$

де $k_{\text{мех.}}$ - коефіцієнт механічних втрат ($k_{\text{мех.}} = 0.015$).

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{змін}} = M \cdot \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + 3 \cdot \frac{I^2 \cdot R}{1} \cdot \frac{1}{1} \quad (1.65)$$

У результаті розрахунку повинна бути побудована характеристика $\eta = f(\omega)$ для декілька значень моменту двигуна і декілька значень частоти живлення (рисунок 1.8).

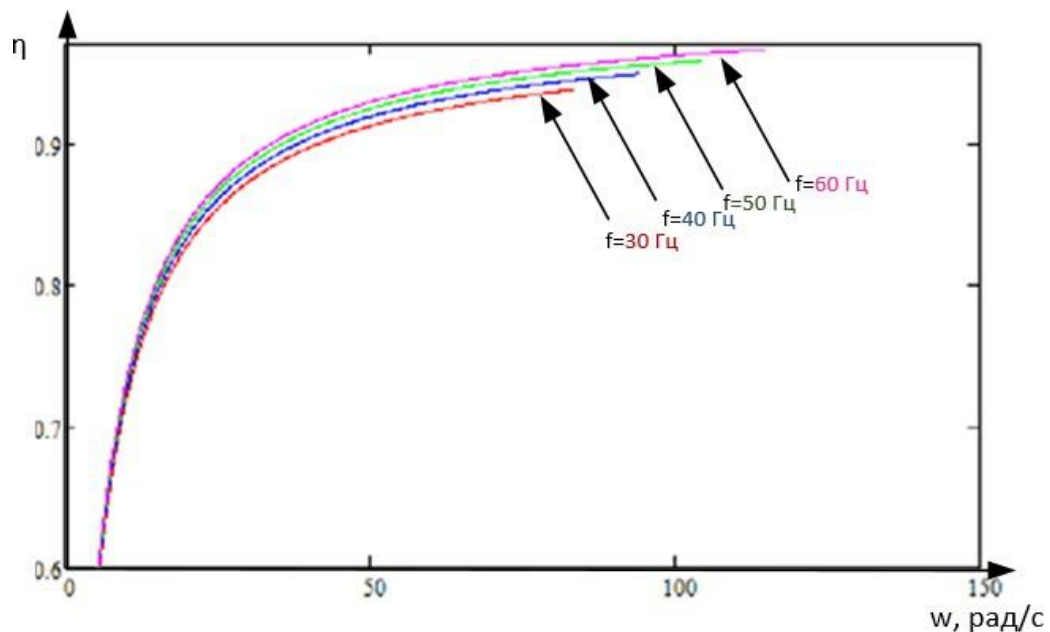


Рисунок 1.8 – Природна та штучні енергетичні характеристики двигуна

$$\eta = f(\omega)$$

Для системи ПЧ-АД коефіцієнт потужності визначається за залежністю:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{M \cdot \omega}{\eta}}{\sqrt{3 \cdot U_H \cdot I_H \cdot f^*}} \quad (1.66)$$

Значення η беруться із розрахунку ККД для відповідних значень моменту і швидкості двигуна.

Необхідно побудувати залежність $\cos \varphi = f(\omega)$ для декілька значень моменту двигуна і декілька значень частоти живлення (рисунок 1.9).

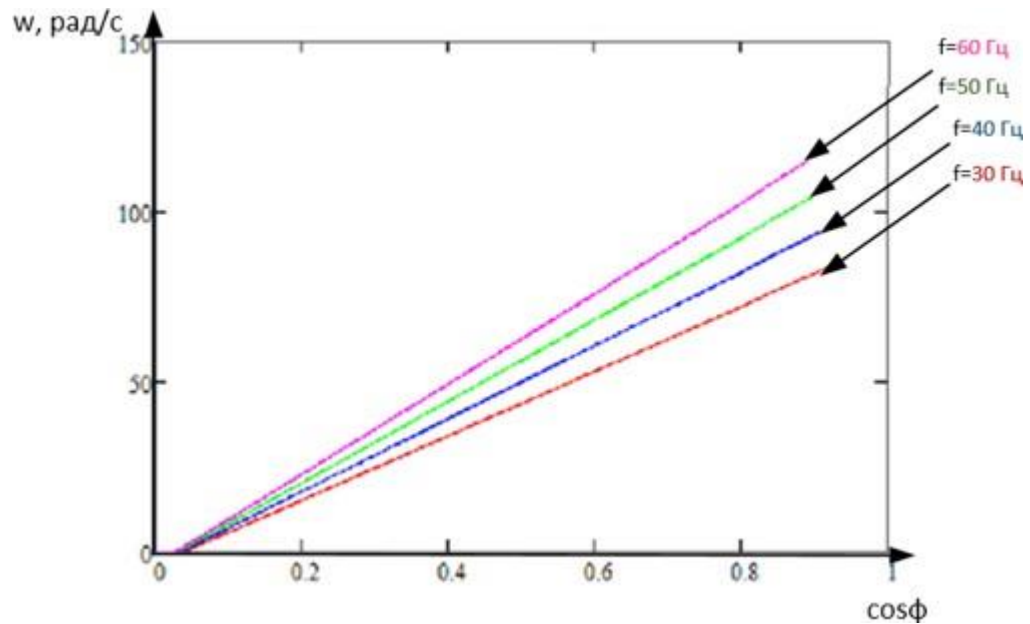


Рисунок 1.9 – Природна та штучні енергетичні характеристики двигуна

$$\cos \varphi = f(\omega)$$

1.10 Висновки до розділу 1

В розділі розглянуто загальну характеристику об'єкта модернізації. Показано, що застосування частотно-регульованого електропривода конвеєра забезпечує плавне регулювання швидкості лінійної стрічки, що дозволяє економити електроенергію і забезпечувати плавний пуск привода конвеєра. Сформульовано основні вимоги до експлуатації стрічкового конвеєра. Обгрунтовано кінематичну схему стрічкового конвеєра. Виконано розрахунок параметрів її складових елементів: двигуна, муфти, редуктора, барабанів: привідного, натяжного, відхиляючого стрічки конвеєра. Визначено параметри схеми заміщення двигуна, а також розрахунок статичних характеристик розімкнутої системи електропривода

2 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

2.1 Структура системи керування

В системі ПЧ-АД живлення двигунів змінного струму (ПЧ-АД) може виконуватись від тиристорних і транзисторних перетворювачів частоти як з безпосереднім зв'язком (ПЧБЗ), що складаються з декількох керованих випрямлячів, підключених до мережі змінного струму, так і від дволанкових перетворювачів частоти з автономними інверторами (ПЧ-АІ), що здійснюють перетворення напруги мережі живлення послідовно в напругу постійного струму, а потім в трифазну напругу регульованої частоти.

Вибір типу перетворювачів залежить від частоти мережі живлення необхідного діапазону зміни частоти на виході перетворювача, що визначається діапазоном зміни швидкості обертання двигуна, від потужності двигуна, діапазоном зміни навантаження на валу двигуна, наявності або відсутності реверсу, режими роботи двигуна.

При частоті мережі 50 Гц і вихідних частотах 25 ... 12,5 Гц і нижче для будь-якого типу привода доцільно використовувати перетворювач з безпосереднім зв'язком.[13]

При вихідних частотах 50 Гц і нижче або вище 50 Гц використовуються перетворювачі з автономними інверторами напруги АІН або струму АІС.

Застосування АІС доцільно в приводах, що працюють з підтриманням заданої величини моменту. При широких діапазонах регулювання швидкості двигуна подібні перетворювачі використовуються лише в замкнутих системах електроприводу.

Відповідно вище наведених даних можна зробити висновок, що для регулювання і підтримування швидкості обертання ЕП стрічкового конвеєру найкраще підійде – перетворювач з автономним інвертором напруги (АІН) або струму (АІС).

Основними елементами такого перетворювача є випрямляч, фільтр проміжної ланки постійного струму та автономний інвертор.

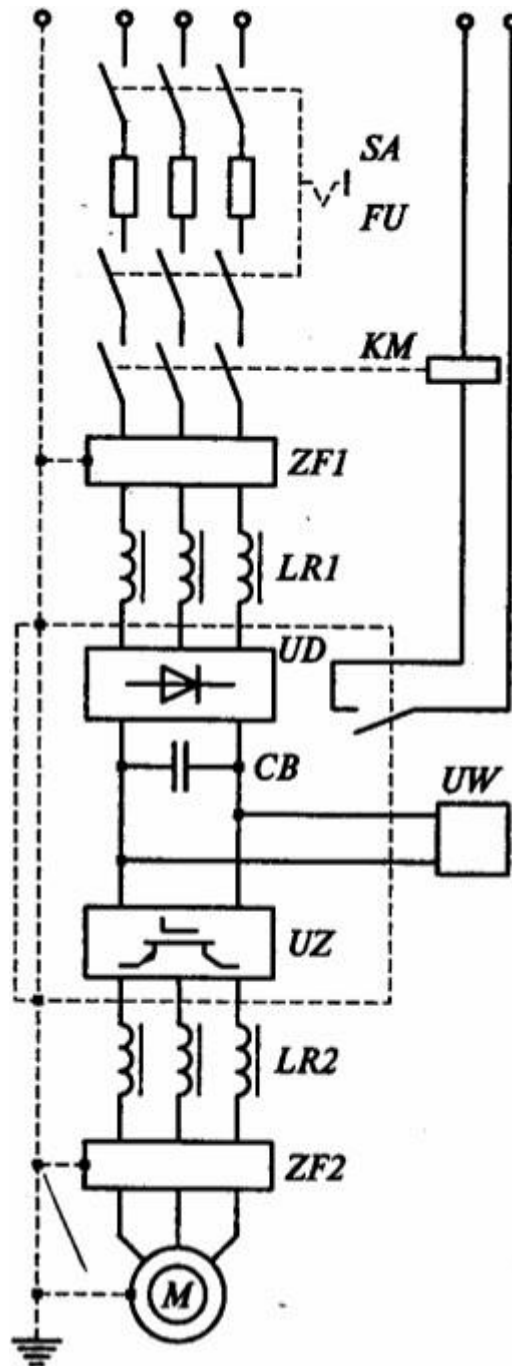


Рисунок 2.1 – Схема силового ланцюга частотно-регульованого асинхронного електропривода

На рисунку 2.1: SA – головний вимикач; FU – лінійний запобіжник; KM – головний контактор; ZF1 – вхідний фільтр; LR1 – вхідний реактор; UD – випрямляч; CB – фільтр ланцюга постійного струму; UW – пристрій гальмування; UZ – автономний інвертор напруги; LR2 – вихідний реактор; ZF2 – вихідний фільтр; M – асинхронний електродвигун.

2.2 Елементи систем керування

Вибір перетворювача частоти змінного струму (ПЧ-АД), здійснюється за номінальної напругою, номінальним і максимальним струмом двигуна:[14]

$$\begin{cases} U_{\text{ПЧ}} \geq U_{\text{дв}}, \\ I_{\text{точ}} \geq I_{\text{дв}}. \end{cases} \quad (2.1)$$

Обираю перетворювач частоти від Schneider Electric з такими технічними характеристиками (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 Технічні характеристики перетворювач частоти

Тип	Потужність , кВт	Ном. напруга живлення , В	Безперервни й вихідний струм, А	Фільт р ЕМС	Ступінь захисту IP
АТВ950К20Н4 Ф	200	380...440	370	+	54

Розглянемо процес керування.

Для кращого використання двигуна та отримання високих енергетичних показників його роботи (коефіцієнтів потужності, корисної дії та перевантажувальної здатності) одночасно із частотою необхідно регулювати і напругу, яка підводиться до двигуна. Співвідношення частоти і напруги отримало назву закону частотного керування. [15,16]

При виборі співвідношення між частотою і напругою, яка підводиться до статора асинхронного двигуна, найчастіше виходять з умови збереження перевантажувальної здатності асинхронного двигуна, тобто кратності критичного моменту M_k до моменту статичного навантаження M_c , для будь-якої з регульованих механічних характеристик: $\lambda = \frac{M_k}{M_c} = const.$

Діапазон регулювання швидкості електроприводу стрічкового конвеєру невеликий, тому це може бути досить простий і найбільший поширений метод

управління: вольт/частота $U_1/f_1 = const$, крім того, цей закон забезпечує сталість необхідного критичного моменту для даного виду навантаження.

До складу перетворювача частоти входять такі основні елементи:

- інверторний модуль
- випрямний модуль
- автоматичний вимикач
- контактор
- дросель мережевого реактора
- вбудований фільтр RFI
- фільтр dv/dt
- Випрямний модуль

Живлення двигунів передбачається від перетворювача за трифазною мостовою схемою випрямлення з роздільним управлінням тиристорних груп. Керування випрямляча здійснюється за допомогою регулювання кута α в межах від 0° до 90° в якості випрямляча та від 90° до 300° в якості інвертора. Регулювання кута α дозволяє змінювати величину випрямленої напруги. Керований випрямляч формує постійну напругу, середнє значення якого дорівнює $U_c = 1.35 \cdot 380 \cdot \cos \alpha$.

Вибір автоматичного вимикача (таблиця 2.2) здійснюється за такими характеристиками:

$$\begin{cases} U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.р}}, \\ I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}} \end{cases}, \quad (2.2)$$

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики обраного автоматичного вимикача

Тип	Ном. напруга, В	Ном. струм, А	Ном. гранична здатність відключення при к.з., кА
NSX630H	415	400	85

Вибір контактора здійснюється за такими характеристиками:

$$\begin{cases} U_{\text{ном.к}} \geq U_{\text{ном.р}}, \\ I_{\text{ном.к}} \geq I_{\text{ном.р}} \end{cases} \quad (2.3)$$

Його технічні характеристики наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Технічні характеристики обраного контактора

Тип	Ном. напруга, В	Ном. струм, А	Номінальна імпульсна напруга, кВ	Номінальна відключаюча здатність, А	Номінальний короткочасний струм, кА
LC1G400BE EA	1000	400	8	3480	3,6 кА – 10 сек 2,4 кА – 30 сек 1,7 кА – 1хв

ЕМВ фільтри:

1. Мережеві дроселі (АС-реактори).

Мережевий дросель дозволяє забезпечити кращий захист перетворювача від перенапруг у мережі та зменшити гармоніки струму, які виробляються перетворювачем частоти. Використання мережевого дроселя особливо рекомендується в наступних випадках:

- при паралельному ввімкненні декількох перетворювачів з близько розташованими з'єднаннями;
- за наявності в мережі живлення значних перешкод від іншого обладнання;
- при асиметрії напруги живлення між фазами $>1,8$ % номінальної напруги;
- при живленні перетворювача від лінії з низьким повним опором (перетворювач розміщений поряд з трансформаторами в 10 і більше разів потужніших, ніж перетворювач);

2. Дроселі шини постійного струму (DC-реактори).

Дросель ланки постійного струму необхідний для зниження пульсацій

вихідного струму і зменшення гармонік струму, споживаного з мережі перетворювачами частоти. Крім того, наявність дроселя ланки постійного струму дозволяє збільшити ресурс силових конденсаторів ланки постійного струму, і ресурс перетворювача в цілому.

3. Фільтри зниження радіоперешкод (RFI фільтри).

Перетворювачі частоти це джерело радіоперешкод. Радіоперешкоди виникають внаслідок переключення IGBT транзисторів вихідного каскаду з високою частотою. Джерелами випромінювання перешкод є кабелі, з'єднання ПЧ з двигунами, двигуни та перетворювачі частоти.

4. Дроселі двигуна (du/dt).

Дроселі двигуна (вихідний дросель) дозволяє:

- збільшити максимальну довжину кабелю між перетворювачем і двигуном до 200 м;
- обмежити dU/dt до значення 500 В/мкс;
- обмежити пікові перенапруги на двигуні;
- відфільтрувати перешкоди, зумовлені спрацюванням контактора, що знаходиться між фільтром і двигуном;
- зменшити струм витоку на землю двигуна.

Дані дроселі призначені для захисту двигуна від піків напруги, які виникають при роботі перетворювача частоти. Піки напруги – результат роботи IGBT транзисторів з високою частотою, при цьому значення du/dt може досягати 12 кВ/мс. Величина пульсацій залежить від несучої частоти ПЧ, довжини та типу кабеля. Du/dt фільтри рекомендується використовувати при невеликій відстані кабеля двигуна (до 100 – 150 метрів), в інших випадках краще використовувати синусні фільтри.

5. Синусні фільтри (sin-фільтри).

Вихідний синусний фільтр використовується у випадках, які потребують:

- великої довжини кабелю між перетворювачем і двигуном (до 1000 м);

- використання проміжного трансформатора між перетворювачем і двигуном;
- паралельного включення двигунів.

Синусні фільтри представляють собою комбінацію ємностей і індуктивних елементів. Дані фільтри мають перевагу перед du/dt дроселями, так як висока несуча частота ПЧ практично повністю поглинається фільтрами і на виході отримуємо повністю синусоїдальну напругу, що дозволяє значно підвищити довжину кабельної лінії від ПЧ до двигуна та позбутися від використання екранування кабеля.

2.3 Контур регулювання

Призначення регулятора полягає в підтримці заданого значення $x_3(t)$ деякого значення шляхом зміни іншого значення $y(t)$. Регулятор порівнює головний сигнал («завдання», «уставка», «шукане значення») з сигналами зворотного зв'язку від датчиків і визначає невідповідність (помилка управління) - різницю між заданим і фактичним станом. Якщо він дорівнює нулю, контроль не потрібен. При наявності різниці регулятор подає керуючий сигнал, який прагне звести невідповідність до нуля. Схема регулятора наведена на рисунку 2.2.

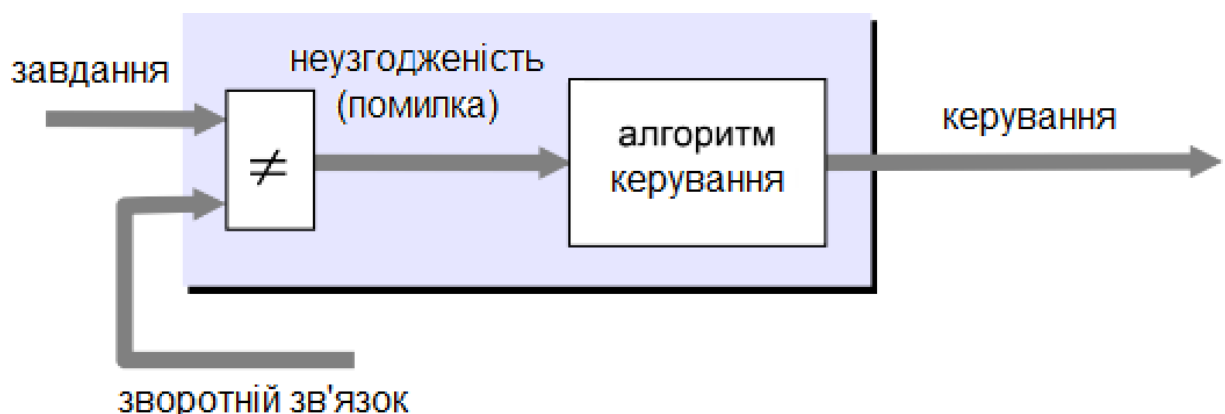


Рисунок 2.2 – Структурна схема ПІД-регулятора

Значення $x_3(t)$ називається заданою величиною (або уставкою, в техніці), а різниця $(e(t) = x_3(t) - y(t))$ називається незалишковим (або

помилкою регулювання, в технології), невідповідністю або відхиленням значення від зазначеного.

Види регуляторів:

1. За загальним принципом функціонування: адаптивні, модальні регулятори тощо.

2. По лінійності закону регулювання: лінійні та нелінійні регулятори.

3. За законом регулювання (для лінійних регуляторів). Під законом регулювання розуміється основна, принципова аналітична залежність вихідного впливу регулятора об'єкт регулювання від зміни вхідного сигналу, одержуваного регулятором від об'єкта регулювання. Відповідно до цього розрізняють:

- пропорційний (П-регулятор);
- інтегруючий (І-регулятор);
- диференціюючий (Д-регулятор);
- пропорційно-інтегруючий (ПІ-регулятор);
- пропорційно-диференціюючий (ПД-регулятор);
- пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор;
- інші.

Вибір типу регулятора

Про аналізувавши кожен тип регулятора, можна зробити висновок, що для системи регулювання швидкості електропривода стрічкового конвеєра найбільш вдалим буде використання ПІД регулятора так, як він поєднує всі переваги та недоліки кожного.

І таким чином кожен регулятор надає свій специфічний вплив на функціонування системи: пропорційний закон відповідає за сьогодення (реагує на поточну помилку), диференціальний – за майбутнє (реагує на тенденцію зміни помилки), а інтегральний – за минуле (накопичуючи попередні помилки та згладжуючи високочастотні шуми).

Закон ПД-управління виглядає як сума ПД-регулятора, що входять до складу ПД керуючих компонентів (рисунок 2.3) $u_{pid}(t) = u_p(t) + u_i(t) + u_d(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int e(t)dt + k_d \cdot (y(t) - y(t - 1))$.

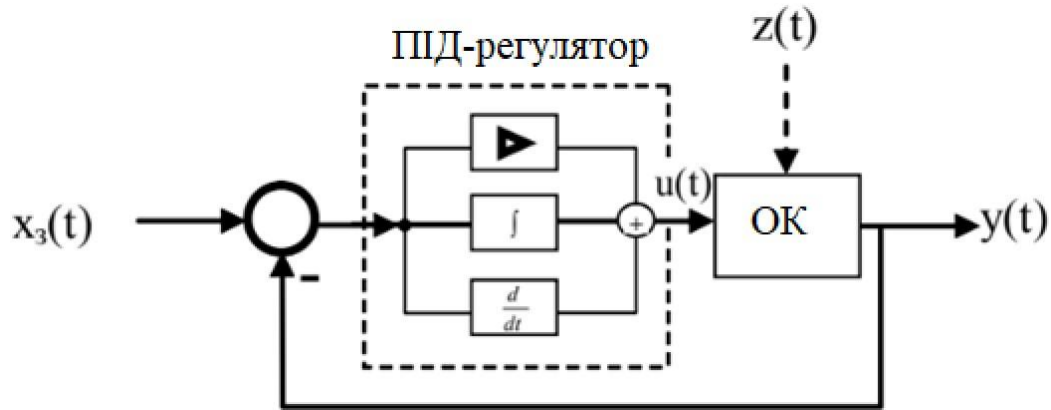


Рисунок 2.3 – Система з ПД-регулятором

Передаточна функція ПД-регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p) = k_p + \frac{k_i}{p} + k_d p. \quad (2.4)$$

Налаштування регулятора

Налаштування параметрів ПД-регулятора (коефіцієнтів k_p , k_i та k_d) – це самий складний процес. Це налаштування залежить від складу нашої системи, характеристик її складових частин, від розв'язуваного завдання. Навіть якщо встановлений один і той же тип конвеєра, але налаштування приводу, траса і тип вантажу відміні, тоді регулятор повинен мати свої налаштування для кожного випадку.

Існує декілька способів налаштування коефіцієнтів регулятора:

1. Налаштування теоретичне. Для налаштування необхідно намалювати структурну схему системи. При цьому потрібно знати всі характеристики всіх компонентів (для обізнаних: треба знати передавальні функції всіх ланок). Далі обчислюється передавальна функція системи. За цією передатною функцією можна визначити якість перехідних процесів, точність тощо. Тобто.

розрахувати коефіцієнти регулятора так, щоб наше завдання вирішувалося оптимальним чином.

Це ідеальна ситуація. Основна проблема в тому, що навряд чи можна отримати адекватну математичну модель системи, і врахувати всі нелінійності, випадковості тощо.

2. Налаштування інженерне. Необхідно створити налагоджувальний стенд, що складається з тестового обладнання, системи його зв'язку з комп'ютером, осцилографом та іншими корисними вимірювальними приладами. Далі слід подавати на вхід системи східчасте вплив і аналізувати відгук системи. Цей відгук, званий перехідною функцією, і буде аналізуватись, за ним і підбиратимуться коефіцієнти регулятора (рисунок 2.4).

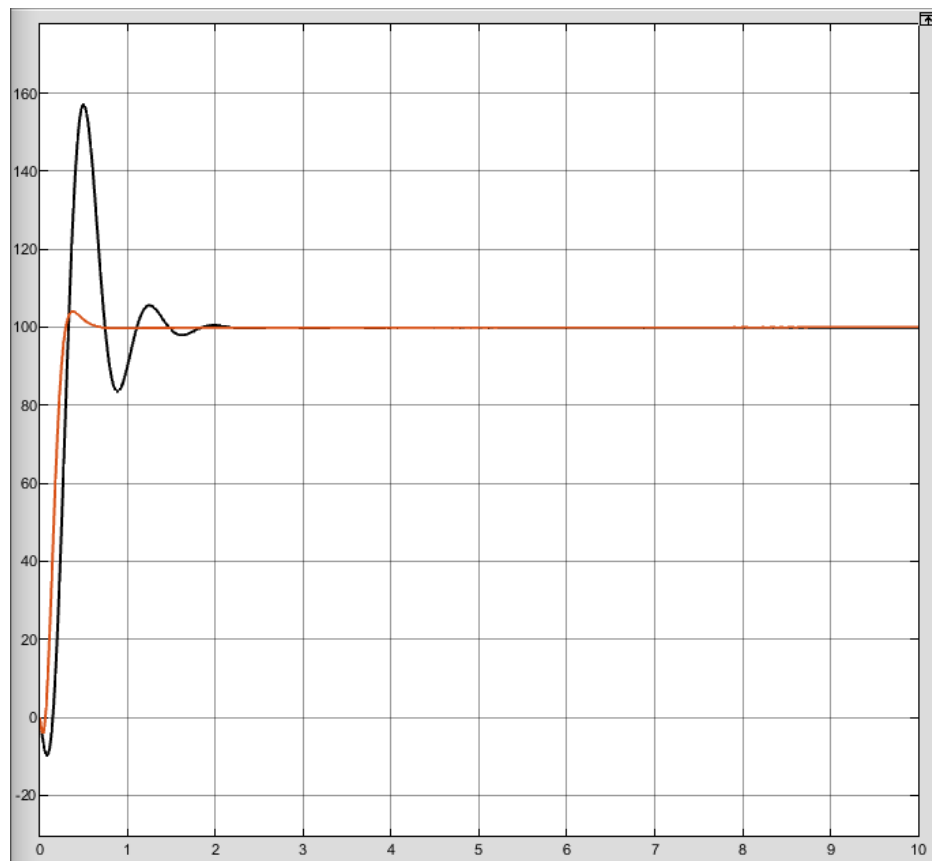


Рисунок 2.4 – Графік перехідного процесу швидкості обертання ЕД з та без ПД-регулятора

2.4 Висновок до розділу 2

Використання ПД-регулятора у контурі регулювання дало змогу позбутися перегулювання, коливальних процесів та збільшити швидкодію системи.

На основі проведеного аналізу встановлено, що для регулювання і підтримки швидкості обертання ЕП стрічкового конвеєра найкраще застосовувати перетворювач з автономним інвертором напруги або струму. Основними елементами такого перетворювача є випрямляч, фільтр проміжної ланки постійного струму та автономний інвертор. Здійснено вибір перетворювача частоти змінного струму та закон частотного керування і елементи системи керування. Виконано аналіз контура регулювання. Запропоновано ПД регулятор та проведено аналіз його характеристик.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Моделювання динамічних режимів системи керування електроприводу виконується у середовищі MATLAB на основі структурної схеми. Створення моделі відбувається шляхом з'єднання окремих блоків системи електропривода із бібліотек Simulink. Параметри цих блоків задаються згідно розрахунків параметрів елементів схеми заміщення і датчиків (при необхідності).[17,18]

При моделюванні динамічних режимів необхідно дослідити зміну керованих параметрів (швидкість, струм) при пуску, усталеному режимі та накиді навантаження. У разі неможливості отримати стійкі перехідні процеси у розімкненій системі треба ввести зворотній зв'язок за швидкістю і повторити моделювання. З метою поліпшення якісних показників перехідного процесу допускається змінювати параметри зворотніх зв'язків відносно розрахованих (рисунки 3.1-3.4).

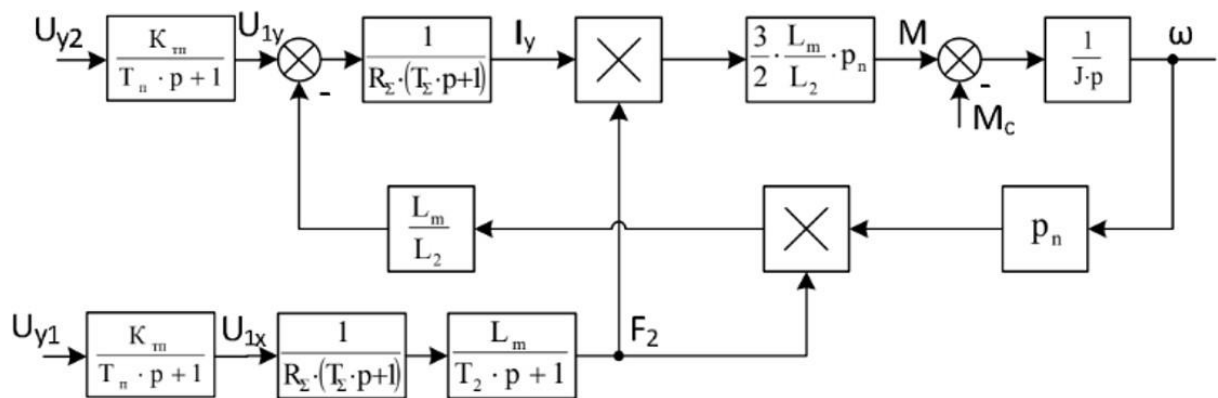


Рисунок 3.1 – Структурні схеми систем електропривода з ідеально жорсткими механічними частинами без зовнішніх зворотніх зв'язків

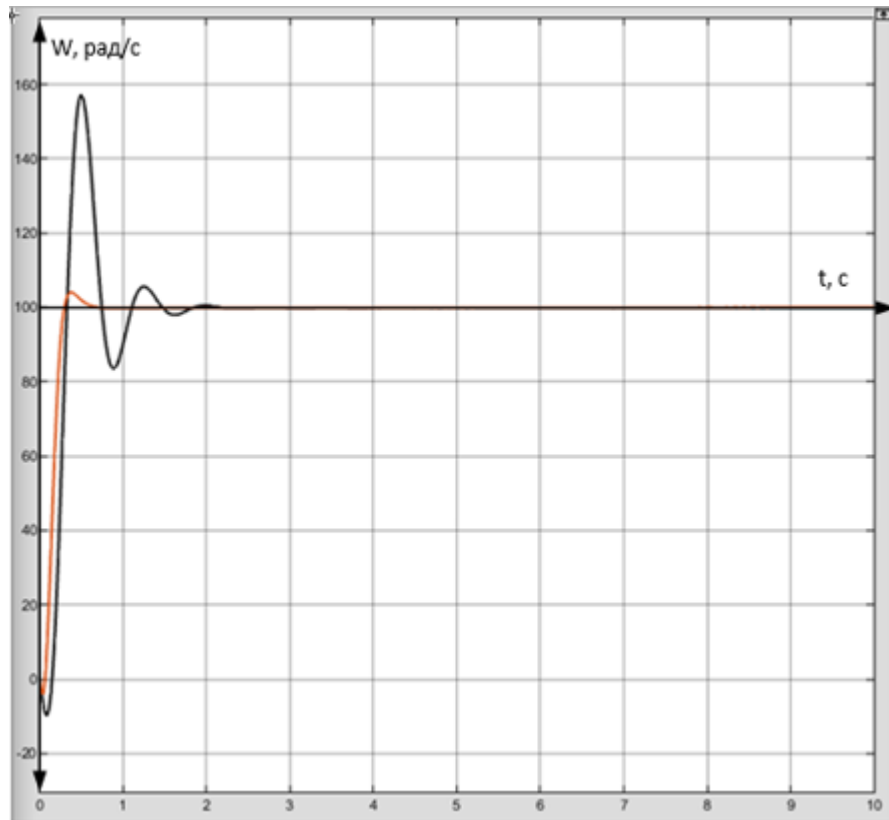


Рисунок 3.2 – Графік динамічного режиму швидкості

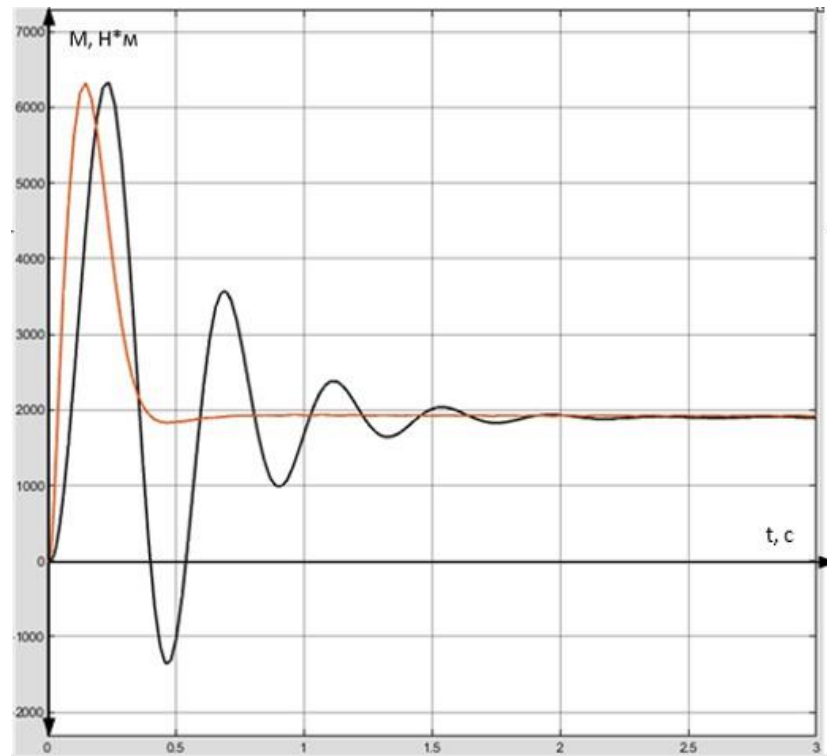


Рисунок 3.3 – Графік динамічного режиму моменту

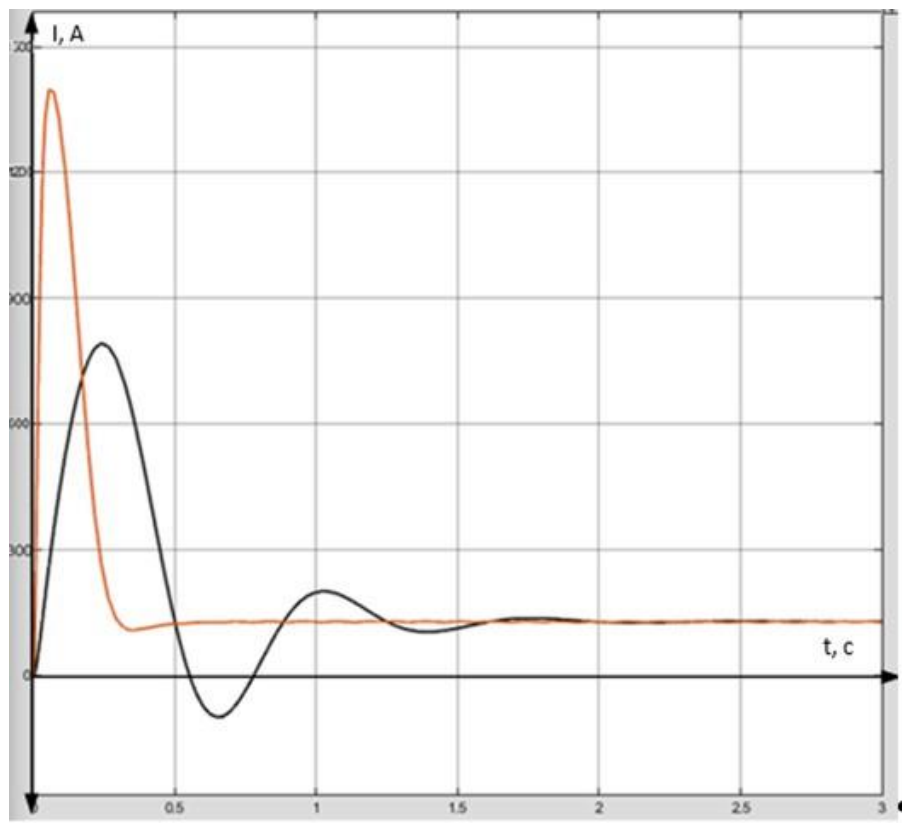


Рисунок 3.4 – Графік динамічного режиму струму

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У даній роботі проводиться оптимізація режимів роботи електропривода стрічкового конвеєра, яка здійснюється на сучасній елементній базі, має високі технологічні і функціональні можливості. Підприємство, яке експлуатує даний стрічковий конвеєр, є багатoproфільним підприємством, займає значну територію, має у своєму складі велику кількість обладнання з різними виробничими потужностями, умовами експлуатації, та характером середовища. Підприємство відноситься до I категорії електропостачання, живлення здійснюється від підстанції 10/0,4 кВ, яка знаходиться на відстані 5 км.

На оперативно-ремонтний персонал, що обслуговує стрічковий конвеєр, згідно ГОСТ 12.0.003-74 впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори.

Фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може

виникнути через тіло людини.

Хімічні:

- по характеру дії на організм людини:
токсичні (оксид вуглецю).

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційне перевантаження).
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;

- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень вібрації.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Оператор даної установки (стрічкового конвеєра) повинен дотримуватись наступних основних правил техніки безпеки:

1. Необхідно візуально обстежити установку у відповідності з інструкцією по експлуатації і переконатися в її повній справності.
2. Забороняється експлуатація установок з несправним керуванням, гальмами і звуко/світловими сигналами. Якщо немає можливості усунення пошкодження на місці своїми силами, необхідно залучити до робіт фахівців спеціалізованої організації.
3. Забороняється керування установкою вологими або замасленими руками.
4. Забороняється збільшувати вантажопідйомність установки.
5. Рух установки повинен здійснюватись на безпечній швидкості.
6. Роботи по монтажу і модернізації системи керування проводяться за допомогою справного інструменту.

Для забезпечення безпечного ведення робіт обслуговуючий персонал зобов'язаний суворо дотримуватись правил техніки безпеки при експлуатації, технічному обслуговуванні, ремонті кранів. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до отримання травм та втрати працездатності.

Живлення схеми системи керування установки, що розробляється, здійснюється від трифазної промислової мережі напругою 380В з частотою 50Гц.

В чотирьох провідних мережах з заземленою нейтраллю металеві корпуси електрообладнання з'єднують з нульовим провідником.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмопровідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються під час їх роботи.

Під час роботи електродвигунів заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднують електродвигуни з РУ(збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаної з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлюють поряд з тим, на якому проводять роботи, слід вивісити плакат

«Стій! Напруга» незалежно від того, чи перебувають вони у роботі чи у резерві.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99.

Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відотною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Робота оператора установки відноситься до категорії Іб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією становлять - до 140-174 Вт.

Допустимі норми температури, відотної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При роботі системи вентиляції та провітрювання у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. їх ГДК відповідно до [18] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні оператори

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо-добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;

- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

Природне освітлення

Підприємство знаходиться у Вінницькій області, система природного освітлення цеху відноситься до бокової. Характеристика робіт - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». При боковому освітленні КПО = 0,9%.

Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (4.1)$$

де m_N – коефіцієнт світлового клімату, $m_N=0,9$.

$$e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8\%.$$

Природне освітлення одностороннє і здійснюється через вікна, які орієнтовані на схід.

Штучне освітлення

Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення відіграє важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні занесені до таблиці 4.3:

Таблиця 4.3 – Норми освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк	
						Штучне освітлення	
						Комбіноване	Загальне
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	IV I	в	Середній, малий	Середній, темний	450	200

Для освітлення вибираємо світильники прямого світла ЛПО-02 з двома люмінесцентними лампами. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

На виробництві джерелом шуму є обладнання, машини, механізми - механічний шум.

Шум - це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 10\lg(I/I_0) = 10\lg(p/p_0) = 10\lg(U/U_0). \quad (4.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

p – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість, 5-10 м/с;

P_0 – нульове значення звукового тиску, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^5$ Па.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум - широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньогеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують проти шумні навушники, які закривають вушну раковину.

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці).

Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

с	Октавні смуги з середньогеометричними частотами, Гц									
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-

В чисельнику таблиці середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонансу; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

4.3 Пожежна безпека

Приміщення цеху для переміщення сільськогосподарської продукції відносять до категорії В з вибухонебезпечними зонами класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися нечасто і існувати недовго (у разі аварії).

Будівля цеху характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступенем вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важко горючими листовими, а також нитковими матеріалами. До елементів покриття висувається вимога помежах огнестійкості та межах розповсюдження полум'я; при цьому елементи покриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці.

Межі вогнестійкості занесені у таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем, несучі конструкції перекриття)	Елементи перекриттів	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
III	1/0	0,5/0	0,2/40	0,2/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

В таблиці 4.7 приведені протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості.

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

Цех обладнаний системою протипожежної сигналізації і спеціальним водогоном. Площа цеху деревообробки становить 741 м², необхідно встановити біля входу 1 пожежний щит (стенд).

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Номер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів
1	Протипожежні стіни	1	2.5
		2	0.75
2	Протипожежні перегородки	1	0.75
		2	0.25
3	Протипожежні перекриття	1	2.5
		2	1
		3	0.75
4	Протипожежні вікна і двері	1	1.2
		2	0.6
		3	0.25

В таблиці 4.8 приведена допустима кількість поверхів і площа поверху і межах пожежного відсіку будівлі відповідно до ступеня вогнестійкості.

Таблиця 4.8 – Допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , будівель		
			1 поверхових	багатопверхових	
				2 поверхи	3 поверхи і більше
В	1	III	Не обмежується		
			4800	-	-

До комплексу засобів пожежегасіння, які розміщені на ньому, включенні: вогнегасники ВП-5 – 3шт., ящик з піском - 1шт., покривало з негорючого

теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2м х 2м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт.

Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до III ступеня вогнестійкості становлять 12 м.

Ящик для піску повинен має місткість 3.0м^3 та укомплектований совковою лопатою. Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

4.4 Висновки по розділу

Підприємство, для якого проводиться оптимізація режимів роботи електропривода стрічкового конвеєра відноситься до I категорії електропостачання, живлення здійснюється від підстанції 10/0,4 кВ.

На оперативно-ремонтний персонал, що обслуговує стрічковий конвеєр, впливають шкідливі та небезпечні фактори, зокрема фізичні, хімічні, психофізіологічні. Тому в роботі напрацьовані технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта та технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії. Значна увага приділена пожежній безпеці. Дотримання розроблених положень і рекомендацій сприятиме охороні праці та безпеці життєдіяльності при роботі і обслуговуванні стрічкового конвеєра.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи є модернізація електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики.

В результаті виконаної випускної кваліфікаційної роботи спроектований електропривод, що повністю відповідає вимогам технічного завдання, розрахунок електроприводу та системи керування виконанні коректно та відповідають вимогам. Електропривод забезпечує потрібний діапазон регулювання швидкості при заданій кратності пускового та максимального моменту і точності підтримки швидкості щонайменше 5%..

Основними результатами, які можуть бути отримані шляхом заміни нерегульованого електроприводу на сучасний асинхронний електропривод із перетворювачем частоти, є наступні:

- плавний пуск конвеєра з малими навантаженнями електричного та механічної частин приводу і малим впливом на мережу живлення;
- незалежне керування конвеєром дозволяє здійснити плавне регулювання швидкості відповідно до технологічного процесу;
- перетворювачі частоти легко інтегруються у загальну систему управління як низовий інтелектуальний елемент автоматики, що не вимагають складних узгоджувальних схем і володіють широким набором сервісних можливостей, включаючи контроль струму та швидкості приводного двигуна та розвинену систему захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маренич К.М. Автоматизований електропривод машин і установок шахт і рудників / Маренич К.М., Товстик Ю.В., Турупалов В.В., Василюк С.В., Лізан І.Я. // Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – 2015. – 141-149 с.
2. Yusong Pang. Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control / Yusong Pang. – Technische Universiteit Delft, 2010. – 196 с.
3. Bart Zeeuw van der Laan. System reliability analysis of belt conveyor / Bart Zeeuw van der Laan. – Transportation Engineering, 2016. – 73 с
4. Принципи побудови систем підпорядкованого регулювання в електроприводах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lektsii.com>
5. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабко В. В. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 89 с.
6. Розробка і реалізація ПД-регуляторів в середовищі Matlab [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://matlab.com>
7. Семенов А.О., Громова Л.П. Сердюк .В., Макарова Т.В. Положення про кваліфікаційні роботи на першому рівні (бакалаврському) вищої освіти. Розглянуто та схвалено Вченою радою ВНТУ, протокол №16 від 25.06.2021 Р.
8. ДСТУ ІЕС60050-161: 2003. Словник електротехнічних термінів. Глава 161 Електромагнітна сумісність друк. К. Держспожив стандарт України, 2005.- 60 с.
9. MIL STD 461 Military standard Rtgurtmtnt of elektromagnetic chaharacterictics - 269p.
10. MIL STD 462 Militari standard Measurement of elektromagnetic interferens chracterictic-203p.
11. Перхач В.С. Теоретична електротехніка.- К.: Вища школа, 1992.- 439 с.

12. Електромагнітна сумісність радіоелектронної апаратури /В. О. Іванов, Є.І. Гарбусенко, Л.Я. Ільницький, О. А. Щербіна – К.: НАУ , 2014.-312 с.
13. Буткевич О.Ф., Кириленко О.В., Кузнецов В.Г. Один із аспектів енергетичної безпеки України // Техн. Електродинаміка.- 2003.- С.100-103.
14. Зіньковський Ю. Ф.,Клименко В.Г. Електромагнітна інформація на захищеність та сумісність електронних апаратів. –Житомир: ЖІТІ, 1999.-376 с.
15. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття // Під ред. А.К.Шидловського, М.П.Ковалка.- Київ: Українські енциклопедичні знання, 2001.-400 с.
16. Електромагнітна сумісність електропостачання, . Підручник /І. В. Жежеленко, А,К, Шидловський, Півняк Г.Г.,Ю.П.Саєнко .Д. Нац. гірн. у-тет.- 2009-319 .с.
17. Енергозабезпечення електронної апаратури Практикум навчальний посібник В.В. Пілінський, М.В. Радіонова, О.І Рибін; за ред. Пілінського В.В. – К. Вища школа, 2020.-550 С.
18. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
19. В.М. Кутін, М.В. Кутіна, Н.А. Гудзевич. Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024). Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/21273/17845>

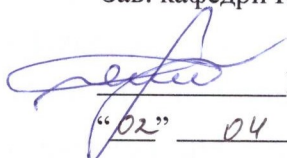
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«02» 04 2024р.

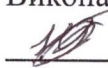
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ДРУГОЇ СТАДІЇ ДРОБЛЕННЯ ДРОБИЛЬНОЇ ФАБРИКИ

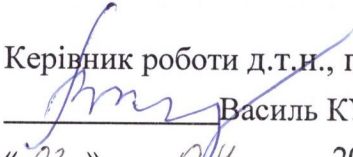
08-24.БДР.003.00.000 ТЗ

Виконав: ст. гр. 1ЕМ-206

 Назар ГУДЗЕВИЧ

«02» 04 2024р.

Керівник роботи д.т.н., проф.

 Василь КУТІН

«02» 04 2024р.

Вінниця ВНТУ 2024

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики»

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Призначення розробки полягає в покращенні ефективності, надійності та продуктивності конвеєрної системи, що забезпечує переміщення матеріалів на другій стадії дроблення. Головною метою модернізації є оптимізація робочих процесів, зменшення витрат енергії, підвищення якості продукту і зниження часу простою обладнання.

Галузь використання цієї розробки може охоплювати будь-яку промислову сферу, де використовуються стрічкові конвеєри для транспортування матеріалів на обробку, такі як гірничо-металургійна, будівельна, хімічна, цементна промисловість тощо.

4 Вимоги до розробки

Розробка має забезпечити підвищення продуктивності та ефективності електроприводу стрічкового конвеєра. Вимоги також включають зменшення витрат енергії та підвищення надійності обладнання, сприяючи безперебійній роботі на протязі процесу дроблення.

5 Комплектація розробки

Нові електродвигуни з підвищеною потужністю та ефективністю. Сучасні системи керування та моніторингу, що дозволяють оптимізувати робочі параметри.

6 Технічні характеристики

Потужність електродвигунів: наприклад, 15 кВт.

Напруга живлення: наприклад, 380 Вольт.

Керування: можливість автоматизованого керування через панель керування або програмне забезпечення.

7 Джерела розробки

1. Маренич К.М. Автоматизований електропривод машин і установок шахт і рудників / Маренич К.М., Товстик Ю.В., Турупалов В.В., Василець С.В., Лізан І.Я. // Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – 2015. – 141-149 с.

2. Yusong Pang. Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control / Yusong Pang. – Technische Universiteit Delft, 2010. – 196 с.

3. Bart Zeeuw van der Laan. System reliability analysis of belt conveyor / Bart Zeeuw van der Laan. – Transportation Engineering, 2016. – 73 с

Принципи побудови систем підпорядкованого регулювання в електроприводах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lektsii.com>

8 Елементна база

Електродвигуни: високоефективні електродвигуни потужністю від 5 кВт до 30 кВт з вбудованими захисними системами.

Частотні приводи: для регулювання швидкості конвеєра та оптимізації споживання енергії.

Сенсори та датчики: для вимірювання швидкості, температури, тиску та інших параметрів для моніторингу та керування процесом.

9 Конструктивне виконання

Структура конвеєра: Зроблена з міцних матеріалів, таких як сталь або алюміній, з врахуванням необхідної міцності та довговічності.

Електродвигуни та приводи: Розташовані таким чином, щоб забезпечити оптимальну ефективність та доступність для обслуговування.

10 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування і ремонт здійснюється кваліфікованими інженерами

11 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б Ілюстративні матеріали

Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики

Виконав: ст.гр. 1ЕМ-206 Гудзевич Назар Анатолійович

Керівник: д.т.н., професор Кутін Василь Михайлович

Актуальність, мета, об'єкт, предмет та задачі дослідження

Автоматичні системи регулювання та керування є невід'ємною частиною сучасних електронних, електричних, механічних пристроїв та систем. При незадовільній роботі системи керування придатність до експлуатації електромеханічних систем втрачається. Кожен кваліфікований спеціаліст має мати знання та навички контролю і корекції систем керування, та розуміти процеси, які в них відбуваються, закони керування, принципи побудови й функціонування систем керування, методи їх дослідження і налаштування. Сучасні технологічні процеси на існуючих підприємствах багаторазово покращили ефективність своєї роботи та продуктивність в транспортуванні твердих та сипучих речовин за рахунок конвеєрних систем. Робота конвеєрних систем зазвичай відбувається у безперервному режимі, за допомогою керованого електроприводу.

Мета роботи: підвищення ефективності функціонування електропривода стрічкового конвеєра шляхом перетворення фіксованих значень напруги і частоти мережі на величини, що змінюються.

Об'єктом дослідження є електропривід стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики.

Предметом дослідження є процес модернізації електроприводу для підвищення продуктивності та надійності стрічкового конвеєра.

Основні задачі:

1. Провести аналіз існуючого електроприводу стрічкового конвеєра, виявити проблеми та недоліки.
2. Розробити технічні рішення для модернізації електроприводу з метою оптимізації продуктивності та зниження споживання електроенергії.
3. Провести експериментальні дослідження та впровадити запропоновані зміни на практиці для оцінки їхньої ефективності.
4. Порівняти результати модернізації з показниками роботи електроприводу до модифікації для підтвердження покращення.

Роль конвеєра в схемі

Стрічковий конвеєр призначений для транспортування подрібненої залізної руди другої стадії дроблення до бункеру. Насипний матеріалом виступає: залізна руда з наступними фізико-механічними властивостями:

Таблиця 1.1. Фізико-механічні властивості насипного вантажу

Найм. вантажу	Насипна щільність ρ , т/м ³	Кут природного укосу вантажу у спокої, φ_0 , °	Найбільший кут, що допускається нахилу конвеєра, β , °
Руда крупністю 40-60 мм	2,4	35-45	18-20

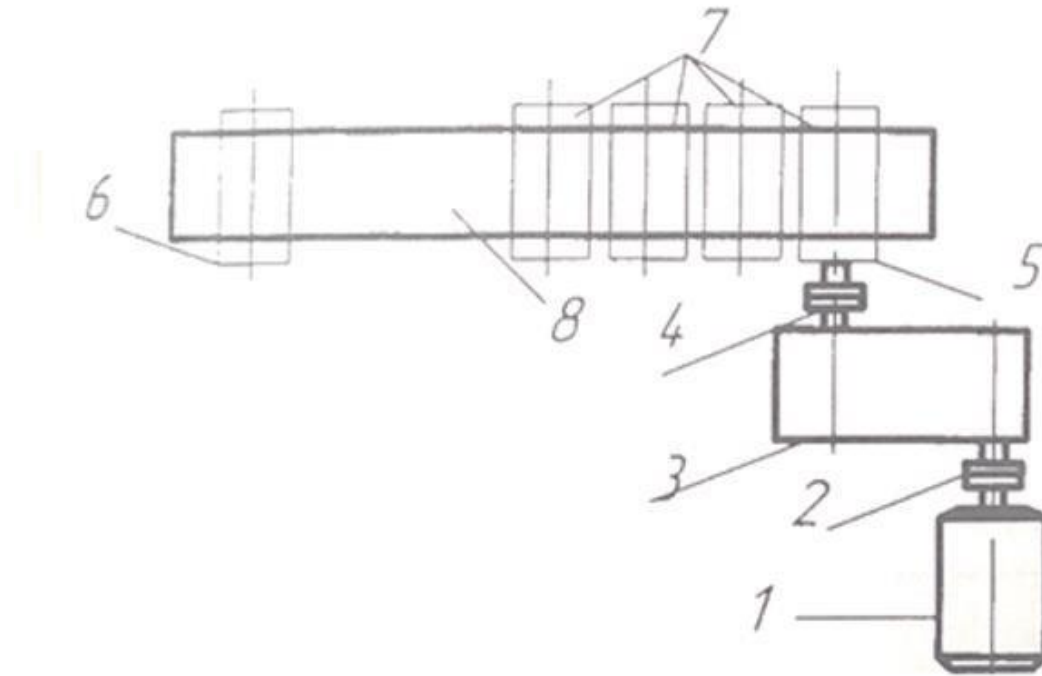
Таблиця 1.2. Параметри, визначаючі умови роботи

Режим роботи	Час роботи в день, год	Властивості вантажу	Вологість повітря, %	Запилення повітря, мг/м ³	Темпер. навколишнього середовища, °С
Важкі	12-18	Насипна щільність: 2,0-2,4 т/м ³ ; Розмір куска: 40-60мм Абразивність і корозійність: середня;	65-90	100-150	від -20 до +40

Споживання енергії конвеєрами в залежності від типу електропривода і навантаження

Тип електропривода конвеєра	Споживання енергії при завантаженні конвеєра, від. од.	
	НИЗЬКИЙ	ВИСОКИЙ
Нерегульований асинхронний двигун	1,0	1,0
<u>Частотно-регульований АД</u>	0,62	0,74
<u>Двухшвидкісний АД із співвідношенням кутової швидкості:</u>		
1:2	0,79	0,92
1:3	0,8	0,95

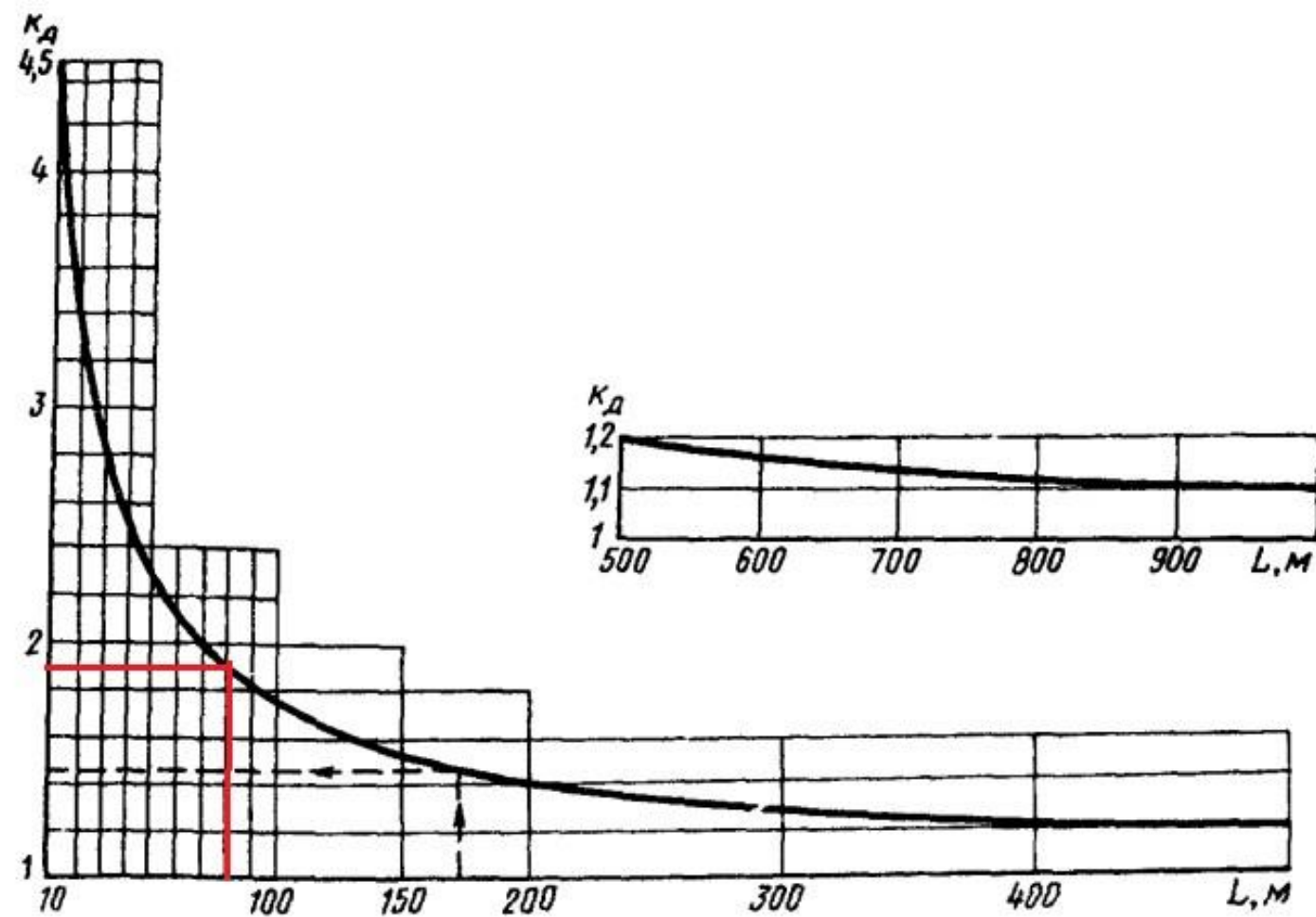
Кінематична схема стрічкового конвеєра



На рисунку прийняті наступні позначення:

1 – електродвигун; 2,4 – муфта, 3 – редуктор, 5 – барабан привідний, 6 – барабан натяжний, 7 – барабан відхиляючий, 8 – стрічка транспортерна.

Графік зміни коефіцієнту опору κ_D



Схеми заміщення

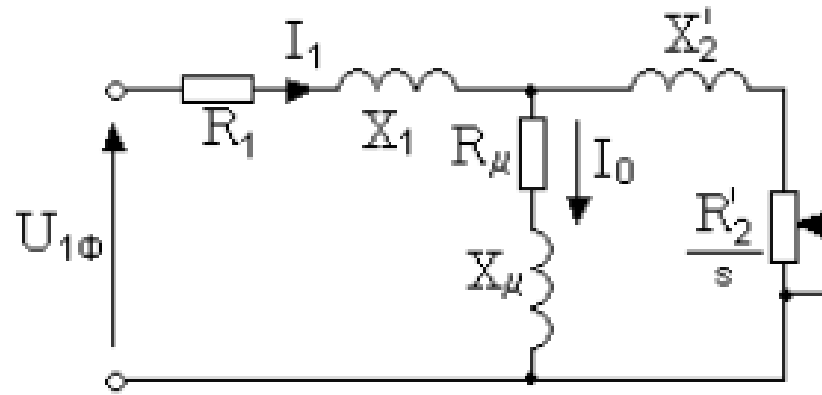


Схема заміщення асинхронного двигуна

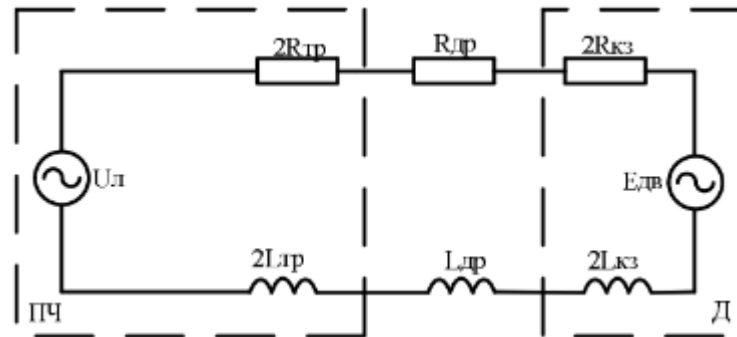
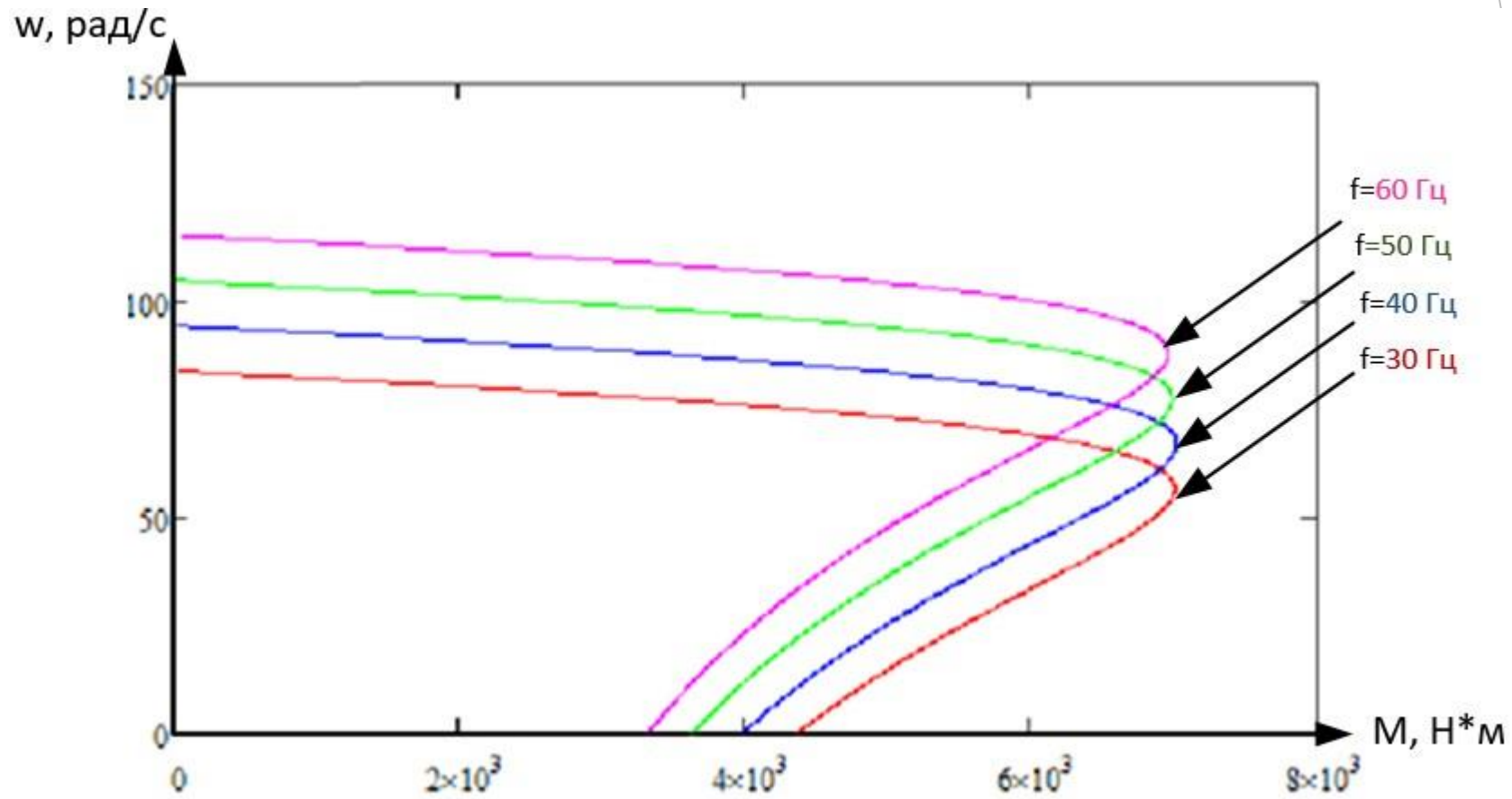


Схема заміщення системи перетворювач частоти-асинхронний двигун (ПЧ-АД)

Природна та штучні механічні характеристики двигуна $M = f(\omega)$



Природна та штучні швидкісні характеристики двигуна

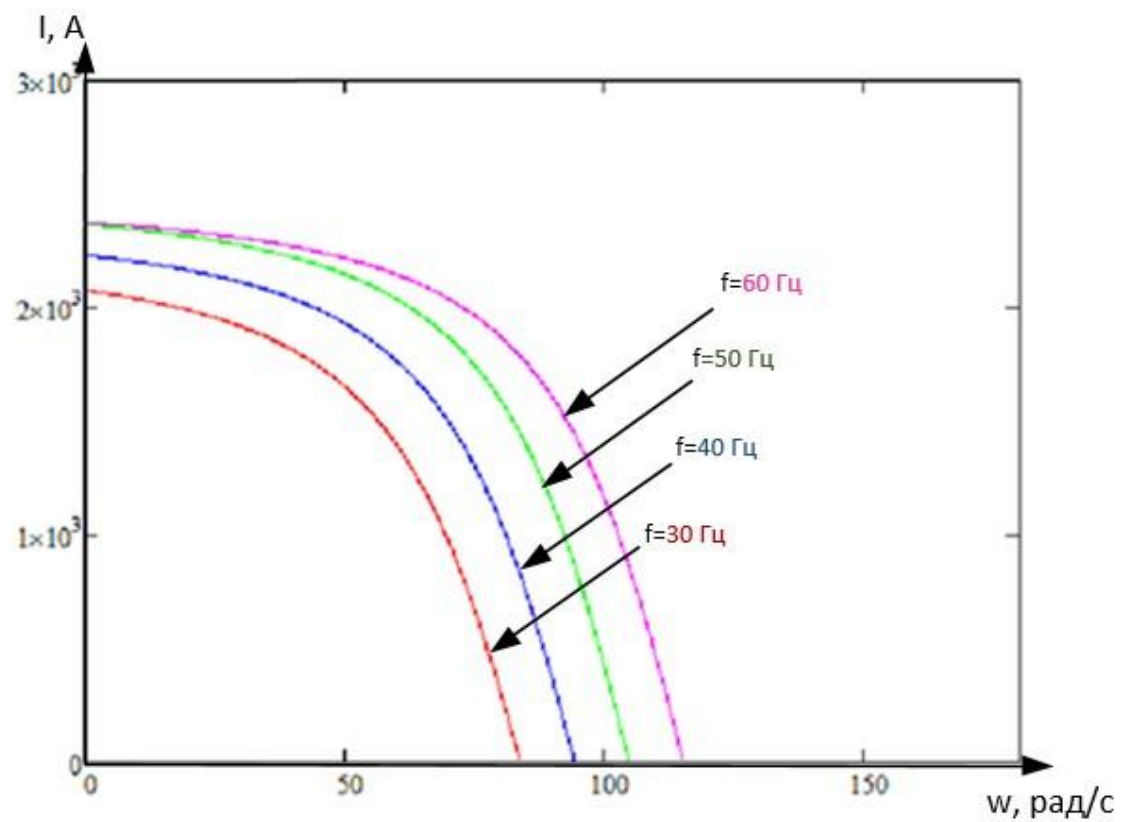
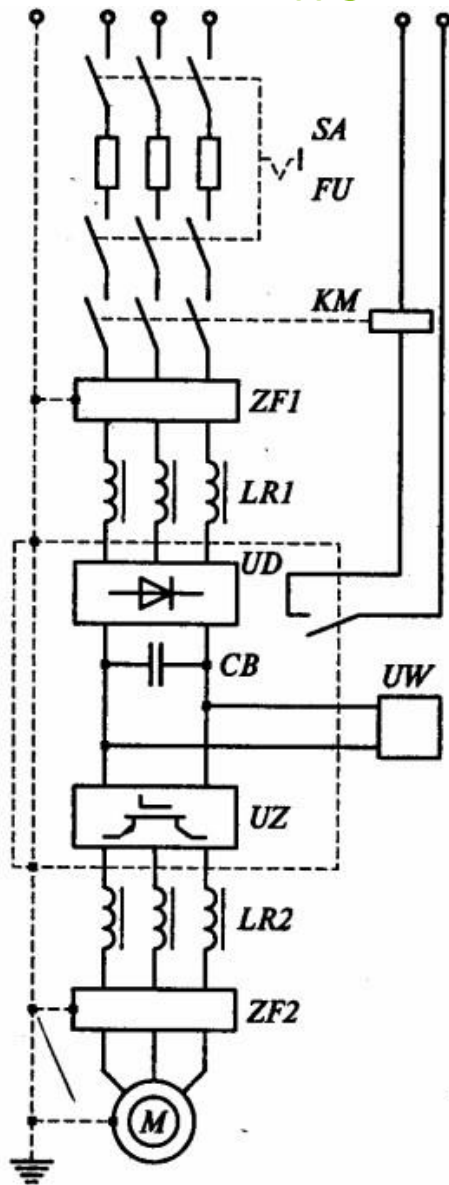


Схема силового кола частотно-регульованого асинхронного електропривода



SA – головний вимикач;

FU – лінійний запобіжник;

KM – головний контактор;

ZF1 – вхідний фільтр;

LR1 – вхідний реактор;

UD – випрямляч;

CB – фільтр ланцюга постійного струму;

UW – пристрій гальмування;

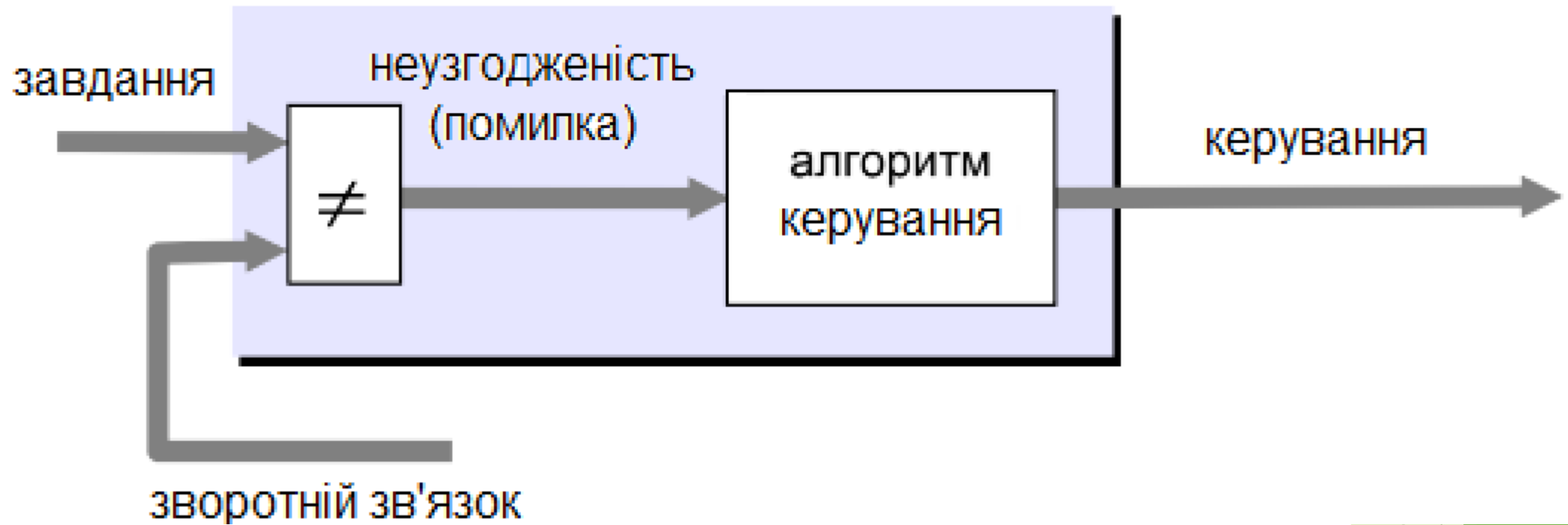
UZ – автономний інвертор напруги;

LR2 – вихідний реактор;

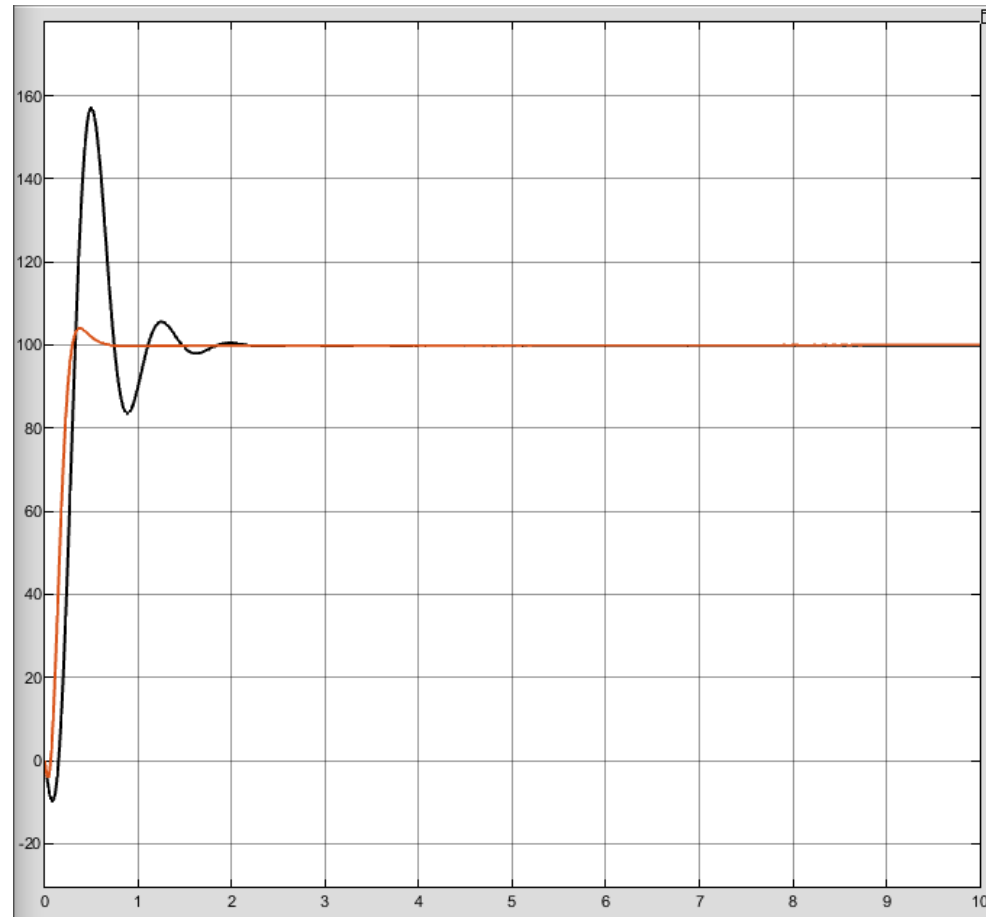
ZF2 – вихідний фільтр;

M – асинхронний електродвигун;

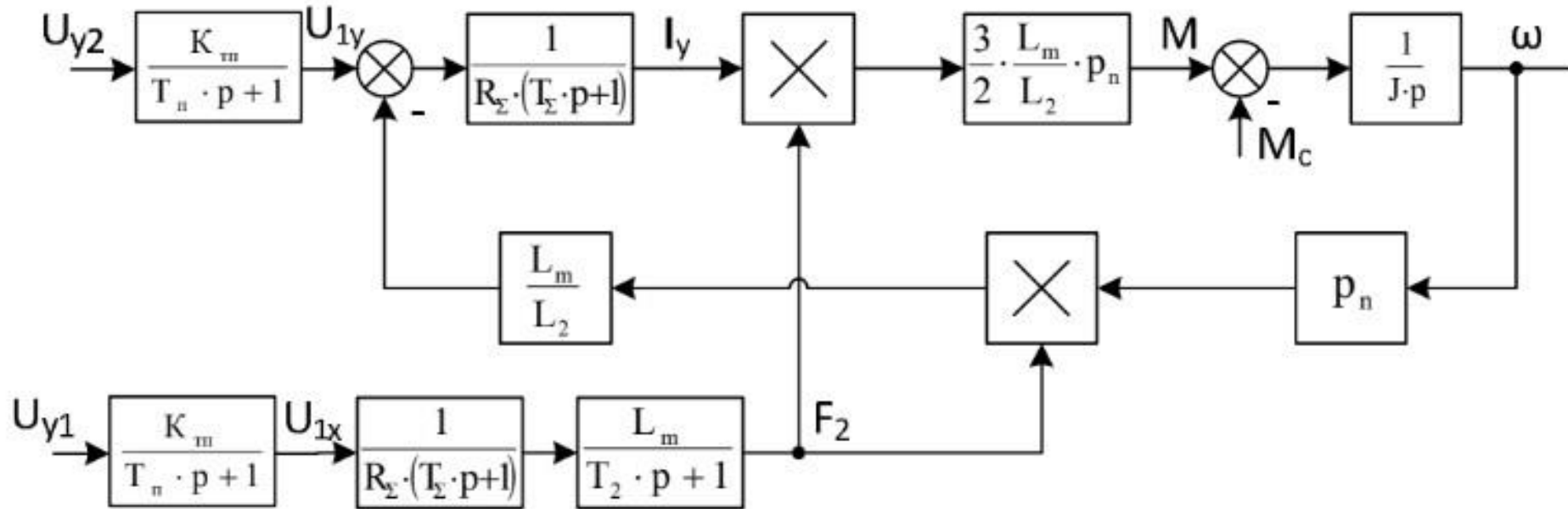
Структурна схема ПІД-регулятора



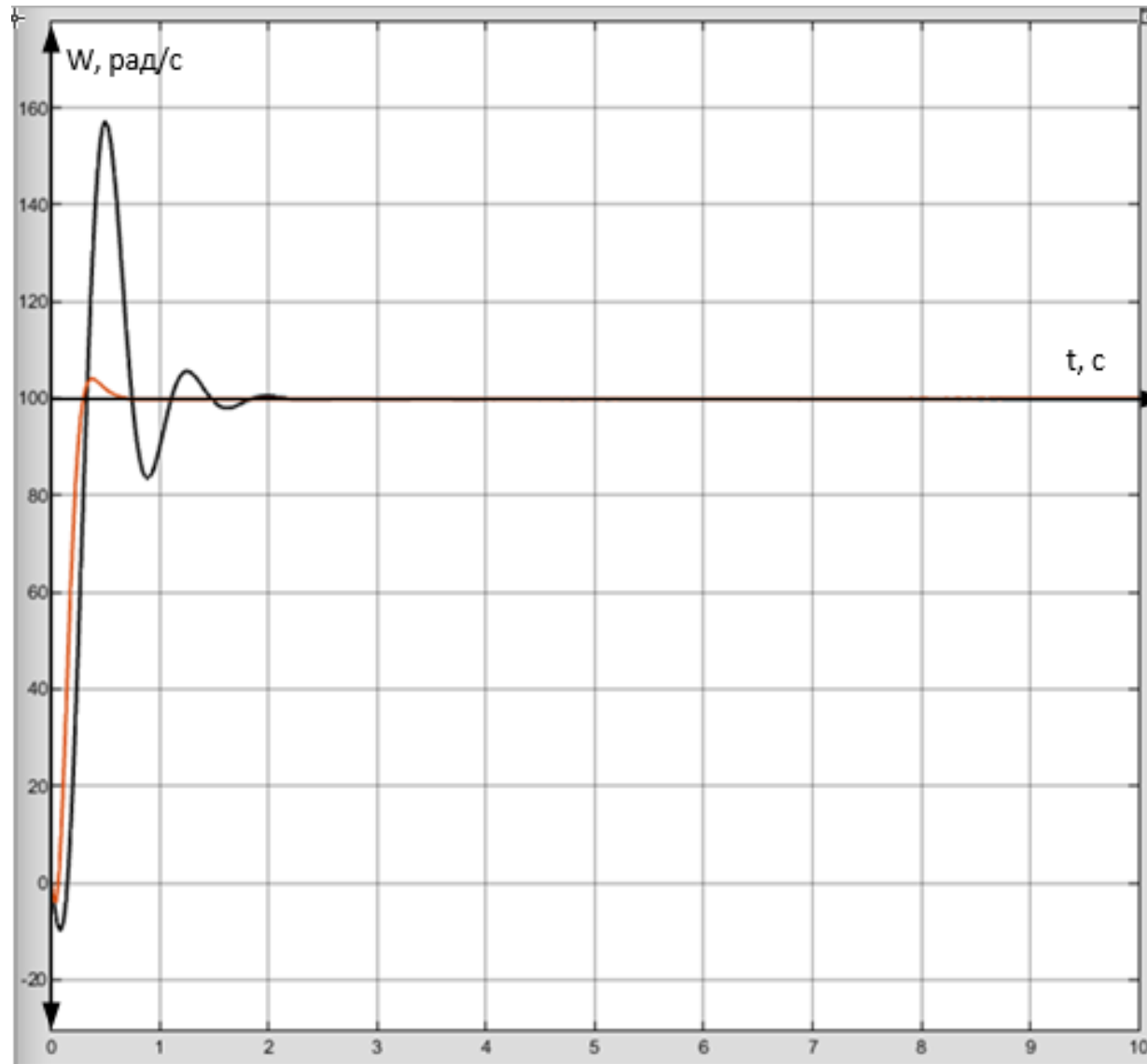
Графік перехідного процесу швидкості обертання електродвигуна з та без ПІД-регулятора



Структурна схема системи електропривода з ідеально жорсткими механічними частинами без зовнішніх зворотніх зв'язків



Графік динамічного режиму швидкості



ВИСНОВКИ

В результаті виконаної випускної кваліфікаційної роботи спроектований електропривод, що повністю відповідає вимогам технічного завдання, розрахунок електроприводу та системи керування виконані коректно та відповідають вимогам. Електропривод забезпечує потрібний діапазон регулювання швидкості при заданій кратності пускового та максимального моменту і точності підтримки швидкості щонайменше 5%.

Основними результатами, які можуть бути отримані шляхом заміни нерегульованого електроприводу на сучасний асинхронний електропривод із перетворювачем частоти, є наступні:

- плавний пуск конвеєра з малими навантаженнями електричного та механічного частин приводу і малим впливом на мережу живлення;
- незалежне керування конвеєром дозволяє здійснити плавне регулювання швидкості відповідно до технологічного процесу;
- перетворювачі частоти легко інтегруються у загальну систему управління як низовий інтелектуальний елемент автоматики, що не вимагають складних узгоджувальних схем і володіють широким набором сервісних можливостей, включаючи контроль струму та швидкості приводного двигуна та розвинену систему захисту.

Апробація результатів роботи: взята участь у конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)» та опубліковано тези доповіді.

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Модернізація електропривода стрічкового конвеєра другої стадії дроблення дробильної фабрики

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. 1ЕМ-206

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кутін В.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	83,7 %
Схожість	16,3 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи

(підпис)

Гудзевич Н.А.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кутін В.М.

(прізвище, ініціали)

Інв. N ориг.	Підп. і дата	Взам. инв. N
Зм.	Арк.	№ докумен.
Розробив:	Гудзевич Н.А.	Підпис
Перевірів	Кутін В.М.	Дата
Т. контр.		
Реценз.	Перешкодин	10.06
Норм.кон.	Бомбик В.С.	28.05
Затверд.	Мошноріз М.М.	28.05

08-24.БДР.003.00.000 ЕЗ			
Модернізація електроприводу стрічкового конвеєра		Літ.	Маса
другої стадії дроблення дробильної фабрики		Аркуш 1	Аркуш
Схема силового кола частотно-регульованого асинхронного електропривода		ВНТУ, гр. 1 ЕМ-20	

Структурна схема ПД-регулятора