

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

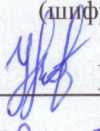
Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

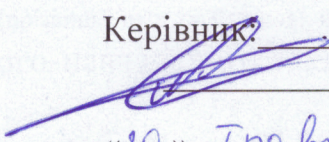
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА
В УМОВАХ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Богдан КОЛІСНИК
(ім'я, прізвище)
«20» Травня 2025 р.

Керівник:  к.т.н., доц. кафедри КЕМСК
Сергій БАБІЙ
(ім'я, прізвище)
«20» Травня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент кафедри
Євген Бабко О.В.
(ім'я, прізвище)
«10» червня 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри КЕМСК
Микола МОШНОРИЗ
(прізвище та ініціали)

«03» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц. Микола МОШНОРИЗ

“18” лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Коліснику Богдану Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електропривода стрічкового транспортера в умовах товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

керівник роботи Бабій Сергій Миколайович, К.Т.Н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року №97

2. Строк подання студентом роботи 03.06.2025р.

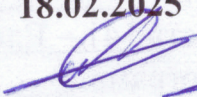
3. Вихідні дані до роботи: продуктивність транспортера – 50 т/год.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальні відомості про об'єкт дослідження. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Функціональна схема системи електропривода. Розрахунок і вибір системи електропривода. Схема електрична принципова системи електропривода. Охорона праці

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

Структурна схема системи електропривода. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Функціональна схема системи електропривода. Схема електрична принципова системи електропривода. Результати математичного моделювання.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф КЕМСК	18.02.2025 	06.05.2025 
Охорона праці	Кобилянський О.В., д. пед. н., зав. каф. БЖДПБ	18.02.2025 	20.05.2025 

6. Дата видачі завдання 18.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.2025	
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	
7	Рецензування БКР	10.06.2025	
8	Захист БКР	19.06.2025	

Здобувач освіти

(підпис)

Б. М. Колісник

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

С. М. Бабій

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 85 сторінок формату А4, містить 32 рисунки, 14 таблиць. Список використаних джерел налічує 11 найменувань.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо модернізації системи електроприводу стрічкового транспортера в умовах кар'єру. В основній частині роботи розраховано електропривод транспортеру. Розроблено функціональну схему системи керування електроприводом, вибрано елементну базу та розроблено відповідну принципову електричну схему. Коректність роботи розробленої системи електропривода перевірено шляхом комп'ютерного моделювання.

.Ключові слова: електропривод, автоматизована система, транспортер, безпека праці, моделювання.

ABSTRACT

The bachelor's thesis qualification work consists of 85 pages of A4 format, contains 32 figures, 14 tables. The list of used sources includes 11 items.

In the bachelor's qualification work, solutions were proposed for the modernization of the electric drive system of a belt conveyor in quarry conditions. In the main part of the work, the electric drive of the conveyor was calculated. A functional diagram of the electric drive control system was developed, an element base was selected and a corresponding schematic electrical diagram was developed. The correctness of the operation of the developed electric drive system was checked by computer modeling.

.Keywords: electric drive, automated system, conveyor, occupational safety, modeling..

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	8
1.1 Загальна характеристика ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр».....	9
1.2 Конструкція та принцип дії стрічкових транспортерів	10
1.3 Особливості коевеєра в умовах гірничого підприємства	12
1.4 Вимоги до електропривода стрічкового транспортера	16
2 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА...	19
2.1 Визначення параметрів приводу стрічкового транспортера	19
2.2 Розрахунок потужності приводного електродвигуна	26
2.3 Вибір приводного електродвигуна та розрахунок його характеристик	24
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	33
4 ПОБУДОВА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ	36
4.1 Розрахунок приведених статичних і динамічних моментів виробничого механізму	36
4.2 Перевірка двигуна за умовами пуску	37
4.3 Розробка структурної схеми електроприводу стрічкового транспортера	43
4.4 Розробка функціональної схеми електроприводу стрічкового транспортера.	41
4.5 Розрахунок параметрів і вибір перетворювача частоти.....	43
4.6 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода стрічкового транспортера.....	50
4.7 Моделювання перехідних процесів електропривода стрічкового транспортера.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	60
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
Додаток А Технічне завдання.....	75
Додаток Б Графічна частина.....	78
Додаток В Протокол перевірки на наявність текстових запозичень.....	87

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з постійним зростанням потреби в будівельних матеріалах зростає роль механізованих систем транспортування, зокрема стрічкових конвеєрів, які широко використовуються на гранітних кар'єрах. Такі конвеєри забезпечують безперервне й ефективне переміщення вантажів, що особливо важливо для сучасних високопродуктивних підприємств.

Актуальною є задача модернізації автоматизованого електропривода стрічкового транспортера, здатного змінювати продуктивність у залежності від технологічних умов. Це вимагає застосування сучасних засобів електроприводної техніки, керування та мікропроцесорної електроніки, що й зумовлює практичну цінність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами. Теоретичні та прикладні дослідження, виконані в межах даної роботи, проводились у рамках ініціативної тематики кафедри, пов'язаної з удосконаленням електроприводів та систем автоматизації транспортного обладнання.

Мета роботи: розробка автоматизованої системи електроприводу стрічкового транспортера, що забезпечує регулювання продуктивності транспортування матеріалу відповідно до технологічних вимог кар'єрного виробництва.

Об'єкт дослідження: процес роботи електричного приводу стрічкового транспортера, що використовується для транспортування щебеню.

Предмет дослідження: структура та параметри системи керування електроприводом стрічкового транспортера з регульованою швидкістю.

Методи проведення досліджень: аналітичні – для огляду технічної літератури та нормативної документації; теорії електричного приводу – для розрахунку потужності приводного двигуна; теорії автоматичного керування

та систем керування – для синтезу системи керування; комп’ютерного моделювання – для перевірки прийнятих рішень.

Практичні результати. Запропоновано і обґрунтовано структуру електропривода стрічкового транспортера із застосуванням частотного перетворювача. Обґрунтований вибір приводного електродвигуна, розраховані його механічні характеристики. Результати бакалаврської роботи можуть бути використані для впровадження ефективного та енергоощадного приводу на діючих підприємствах, що забезпечить підвищення надійності транспортування, зменшення енергоспоживання і покращення адаптивності технологічної лінії.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» є сучасним високотехнологічним підприємством, яке спеціалізується на видобутку та переробці природного каменю, зокрема граніту. Підприємство розташоване у місті Гнівань Вінницької області та займає провідні позиції серед кар'єрів регіону за обсягами видобутку та якістю продукції [1]. Кар'єр має значний промисловий досвід, розвинену інфраструктуру та висококваліфікований персонал, що дозволяє забезпечувати стабільне функціонування та реалізовувати великі замовлення. На рисунку 1.1 наведено навантаження гірської маси екскаватором у самоскид на ділянці видобутку та дробильно-сортувальний комплекс із системою стрічкових транспортерів для переробки та сортування щебеню).

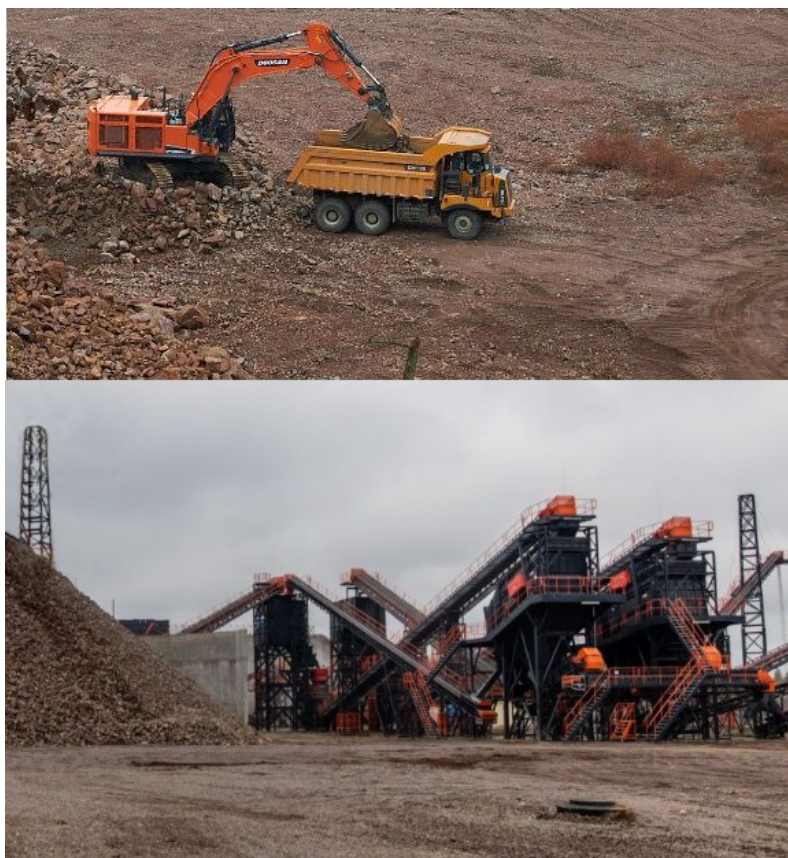


Рисунок 1.1. – Виробнича діяльність ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

Видами діяльності даного підприємства є добування піску, гравію, глини і каоліну, однак фактично підприємство зосереджене на розробці родовищ граніту та виробництві будівельного щебеню.

Гніванський кар'єр видобуває міцний, морозостійкий граніт, який характеризується високими фізико-механічними властивостями, зокрема значною щільністю, низьким водопоглинанням і стійкістю до стирання. Завдяки цим якостям продукція підприємства використовується у будівництві автошляхів, залізниць, мостів, а також для виробництва бетонних сумішей та тротуарної плитки. Асортимент включає щебінь різних фракцій, відсів, а також інші продукти переробки гірської породи.

Виробничий цикл підприємства охоплює кілька основних етапів: буропідривні роботи, під час яких здійснюється відокремлення гірської маси; навантаження й транспортування гірської маси за допомогою автосамоскидів і стрічкових транспортерів; первинне й вторинне дроблення, де відбувається зменшення розміру каменю до необхідних фракцій; сортування та відвантаження продукції відповідно до вимог замовника.

У межах технологічного процесу стрічкові транспортери відіграють важливу роль у переміщенні сировини та готової продукції між різними стадіями виробництва. Вони забезпечують безперервний та автоматизований процес транспортування, знижуючи потребу в ручній праці, мінімізуючи простої та втрати продукції.

Для приводу стрічкових транспортерів використовуються електроприводи, які мають забезпечувати необхідну потужність, пускові характеристики, надійність та енергоефективність. З огляду на інтенсивний режим роботи обладнання та складні умови експлуатації (вплив пилу, вологи, перепадів температури, вібрацій тощо), виникає необхідність у періодичній модернізації електроприводів, які прив'язані до транспортерних систем.

Модернізація електропривода стрічкового транспортера на такому підприємстві, як ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр», є актуальним завданням, яке дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити

експлуатаційні витрати, покращити надійність обладнання та загалом оптимізувати виробничий процес. Особливо це важливо в умовах зростання цін на енергоресурси та підвищених вимог до безпеки й ефективності промислових систем.

Таким чином, особливості функціонування підприємства, масштаби виробництва та роль транспортерів у технологічному процесі створюють передумови для проведення модернізаційних заходів, зокрема щодо систем електропривода, що й становить предмет дослідження у даній роботі.

1.2 Конструкція та принцип дії стрічкових транспортерів

Стрічкові транспортери (конвеєри) є одним із найпоширеніших типів транспортного обладнання, що використовується в різних галузях промисловості для переміщення сипучих, кускових та пакетованих матеріалів на значні відстані. Їхня популярність зумовлена простотою конструкції, надійністю, високою продуктивністю та можливістю автоматизації процесів транспортування.

Типовий стрічковий транспортер складається з таких основних елементів (рисунки 1.2):

- Стрічка – гнучкий тяговий та вантажонесучий елемент, виготовлений із гумотканинних, полімерних або металевих матеріалів.
- Приводна станція – включає електродвигун, редуктор та приводний барабан, що забезпечує рух стрічки.
- Натяжна станція – призначена для підтримання необхідного натягу стрічки, може бути вантажного або гвинтового типу.
- Роликові опори – підтримують стрічку по всій довжині транспортера, забезпечуючи її стабільне положення.
- Очисні пристрої – видаляють залишки матеріалу зі стрічки, запобігаючи її забрудненню та зносу.

- Рама – несуча конструкція, на якій закріплені всі елементи транспортера.

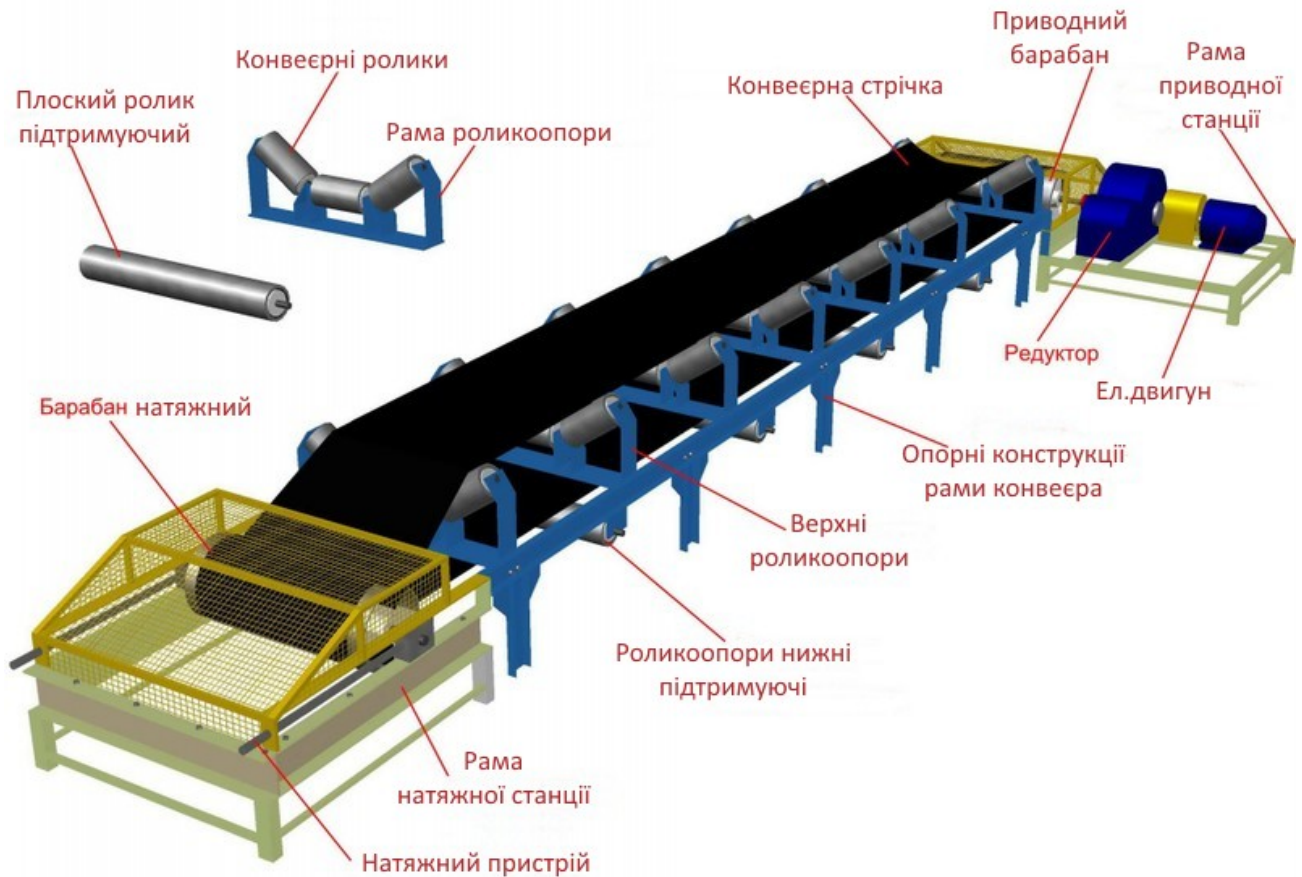


Рисунок 1.2. – Схема стрічкового транспортера

Принцип дії стрічкового транспортера полягає в наступному: електродвигун через редуктор обертає приводний барабан, який, у свою чергу, приводить у рух стрічку. Матеріал, що транспортується, подається на стрічку в зоні завантаження та переміщується до зони розвантаження під дією сили тертя між стрічкою та роlikоопорами. Натяжна станція забезпечує необхідний натяг стрічки для запобігання її прослизанню.

Стрічкові транспортери класифікуються [2] за різними ознаками (рисунок 1.2):

- За напрямком руху: горизонтальні, похилі, вертикальні.
- За типом стрічки: гладкі, з перегородками, з бортами, металеві.
- За мобільністю: стаціонарні, пересувні, телескопічні.

- За призначенням: для транспортування сипучих, кускових, пакетованих матеріалів.

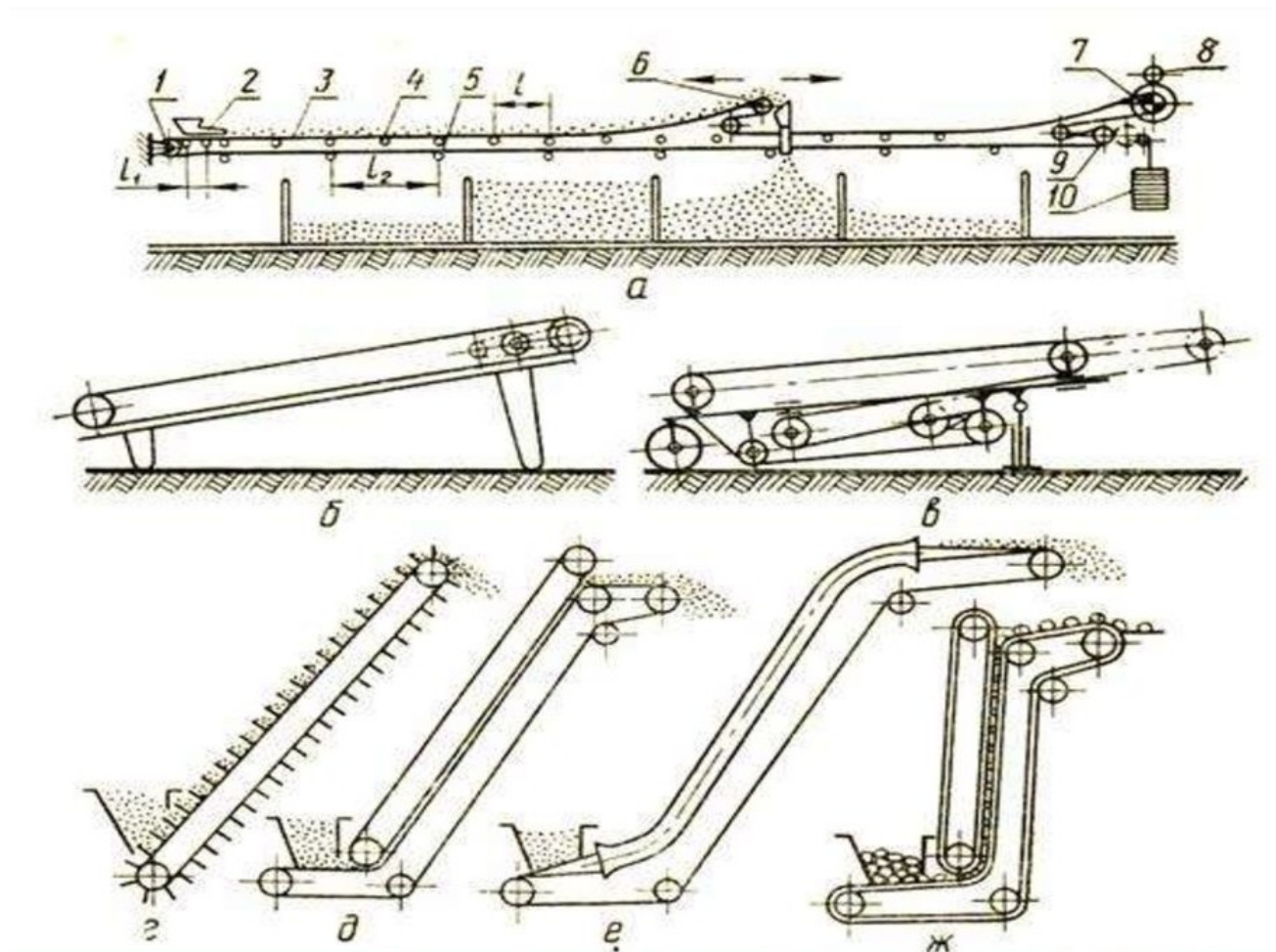


Рисунок 1.3 – Типи стрічкових конвеєрів

На рисунку 1.3: а – стаціонарний; б – переносний; в – пересувний з висувною консоллю; г – з планками, д – двострічковий, е – стрічково-трубчатий, ж – з м'якими стрічками.

1.3 Особливості коевеєра в умовах гірничого підприємства

На ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» застосовуються переважно стрічкові транспортери відкритого типу, які експлуатуються як у горизонтальному, так і в похилому положенні. Їх основне призначення – транспортування гірської маси та щебеню між дробильними й сортувальними установками, а також подача готової продукції до бункерів або пунктів навантаження.

На рисунку 1.4 зображено стрічкові транспортери, що входять до складу переробного комплексу. Особливістю таких транспортерів є велика довжина транспортної ділянки, використання ролюкоопор для зменшення опору руху, а також оснащення приводним електродвигуном із редуктором та барабаном. В умовах підвищеного пилового навантаження, вологи та абразивного зносу на підприємстві впроваджуються заходи з технічного обслуговування та періодичного ремонту, зокрема – перевірка натягу стрічки, стану підшипників, стану ущільнень і функціонування захисних огорожень.



Рисунок 1.4 – Стрічковий транспортер на території кар'єру

Основним конструктивним елементом такого стрічкового конвеєра є рама, що складається з двох частин: нижньої (опорної) та верхньої (рухомої, або стріли). Опорна частина встановлена на ходових колесах і котках, що забезпечують переміщення установки. На кінці опорної рами розташовано натяжний барабан, а на кінці стріли – приводний (головний) барабан. Між цими барабанами натягнута конвеєрна стрічка, яка підтримується спеціальними ролюковими опорами.

Рух стрічки конвеєра здійснюється електродвигуном, який передає крутний момент на приводний барабан через передачу. Завдяки цьому стрічка приводиться в рух, забезпечуючи транспортування матеріалу.

Опорна і рухома частини рами з'єднані шарнірно, що дає змогу змінювати положення стріли у вертикальній площині.

Робоча (верхня) частина стрічки підтримується верхніми роликowymi опорами, кожна з яких складається з трьох роликів: одного центрального і двох бокових, що обертаються на осях. Оси встановлені в підшипниках, змонтованих у металевих корпусах.

Нижня частина стрічки підтримується нижніми роликowymi опорами, які складаються з одного ролика, закріпленого на осі. Кінці осі встановлені в підшипниках, що розміщені в закритих корпусах зі встановленими упорними та захисними кришками.

Регулювання положення стріли транспортера в просторі здійснюється за допомогою підйомного механізму, що включає ручну лебідку, сталевий канат та систему напрямних блоків. Канат фіксується на гаку, проходить через блоки, розміщені попарно на рамі та стрілі, і обмотується навколо барабана лебідки. Обертання лебідки дозволяє піднімати або опускати стрілу. Для фіксації її положення використовуються спеціальні штирі, які вставляються в отвори на стрілі, косинках і опорних дугах. Натяг стрічки здійснюється за допомогою гвинтового натяжного механізму. Обертаючи маховик, приводять у дію натяжні гвинти, які переміщують підшипники разом з віссю та натяжним барабаном по напрямних станини, забезпечуючи необхідний рівень натягу.

Завантаження матеріалу може здійснюватися через воронку, виготовлену з листової сталі, яка закріплюється до приймального лотка за допомогою вушок і штирів. Бічні щити спрямовують потік матеріалу на стрічку, а нижні кромки лотка та щитів ущільнені гумовими стрічками для зменшення втрат сипучих матеріалів.

Конвеєр монтується на рамі, що складається з верхньої та нижньої ферм. Вона спирається на шасі з двома колесами і стійками. Переміщення конвеєра у просторі також здійснюється за допомогою лебідки. Для уникнення провисання стрічки в процесі експлуатації застосовуються верхні

та нижні роликові опори. Вертикальне переміщення рами також забезпечується канатно-блочною системою управління. При обертанні барабана лебідки та намотуванні каната, шарнірна стійка повертається, що дозволяє підняти або опустити раму завдяки впливу на ролики.

Отже, у дробильно-сортувальному комплексі ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» активно застосовуються стрічкові транспортери відкритого типу. Вони забезпечують ефективне транспортування гірської маси між основними вузлами технологічної обробки. Конструктивно це транспортери з гнучкою прогумованою стрічкою, встановлені на металевих рамах зі спеціальними роликовими опорами. Привідна частина включає електродвигун з редуктором, що дозволяє забезпечити необхідні крутні моменти при різних навантаженнях.

Зовнішній вигляд транспортера для роботи у умовах гранітного кар'єру зображено на рисунку 1.5. [15]

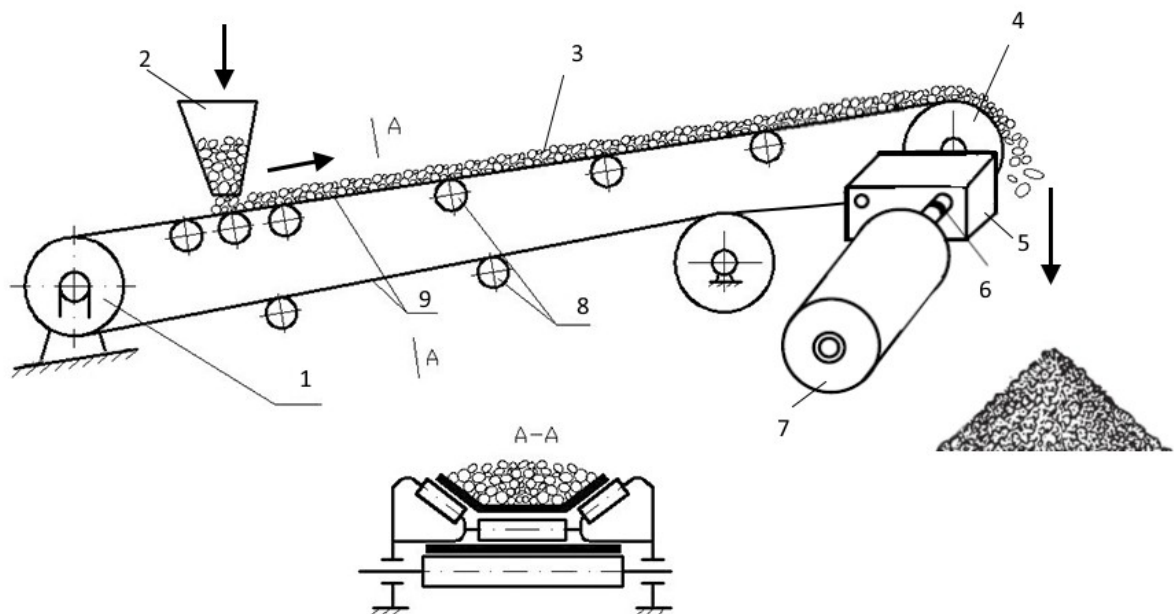


Рисунок 1.5 – Схема загального вигляду копмонентів стрічкового транспортера

Рисунок 1.5 ілюструє загальну схему роботи стрічкового конвеєра, що використовується для транспортування сипучих матеріалів (наприклад, щебеню, гравію) на підприємствах гірничої промисловості. На рисунку: 1 –

ведений барабан; 2 – завантажувальний бункер; 3 – транспортований матеріал; 4 – приводний барабан; 5 – редуктор; 6 – муфта; 7 – електродвигун; 8 – роликоопори; 9 – транспортуюча стрічка. Поперечний переріз А-А, який демонструє жолобчасту форму стрічки, що утворюється завдяки опорним роликам. Така конструкція покращує утримання матеріалу під час транспортування.

1.4 Вимоги до електропривода стрічкового транспортера

Умови експлуатації стрічкових транспортерів визначають специфічні вимоги до їх електроприводів, що враховують як статичні, так і динамічні характеристики системи. Незважаючи на конструктивну різноманітність транспортерів, у контексті електропривода вони належать до однорідної групи механізмів, які зазвичай не потребують широкого діапазону регулювання швидкості. У більшості випадків транспортування матеріалів відбувається з постійною швидкістю, що спрощує вибір приводу. Лише для окремих задач допускається незначне регулювання швидкості задля адаптації темпу подачі матеріалу.

Електроприводи стрічкових транспортерів повинні відповідати таким вимогам:

- Надійність у складних умовах експлуатації, зокрема при роботі у запилених, вологих або агресивних середовищах, при високих або низьких температурах, а також на відкритому повітрі.
- Високий пусковий момент, оскільки опір спокою часто перевищує номінальний, що пов'язано, зокрема, із застиганням мастила, зношеністю деталей та великою масою переміщуваних матеріалів.
- Забезпечення плавного пуску для зменшення динамічних навантажень на стрічку, барабани та підшипникові вузли.
- Захист від пробуксовування стрічки та контроль натягу — особливо актуально для похилих та довгих конвеєрів.

- Можливість роботи у гальмівному режимі, що необхідно при транспортуванні вантажів на ухилі (режим рушія або рекуперації енергії).
- Координація кількох приводів, коли декілька двигунів приводять у рух довгий або розгалужений транспортер: важливо забезпечити узгоджене обертання й вирівнювання навантажень.
- Регулювання швидкості (у магістральних або енергоощадних системах) – з метою підвищення енергоефективності та зменшення зносу тягового органу.
- Синхронізація в технологічному процесі: у випадку перевалювання вантажу з одного транспортера на інший важливо дотримуватись черговості увімкнення (в зворотному напрямку вантажопотоку) та вимкнення (в напрямку вантажопотоку) для уникнення завалів у точках перевантаження.

Оптимальним типом двигуна для більшості стрічкових транспортерів є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, що забезпечує простоту обслуговування, надійність та економічність. У складніших випадках (великі пускові навантаження, похилі транспортери, вимоги до регулювання швидкості) доцільне застосування асинхронних двигунів з фазним ротором або регульованих приводів на основі частотних перетворювачів.

Сучасні системи керування дозволяють реалізувати функції плавного пуску, адаптивного регулювання швидкості в діапазоні не менше 10:1, балансування навантаження між двигунами, та захисту обладнання від аварійних режимів.

Висновок. Стрічкові транспортери є невід’ємною частиною технологічного процесу на багатьох підприємствах. Їхня ефективна робота залежить від правильного вибору конструкції, матеріалів та умов експлуатації. У даному розділі було розглянуто конструкції, принцип роботи та вимоги до електропривода стрічкового транспортера в умовах гірничодобувного підприємства, а саме – гранітного кар’єру. Правильно підібрана

система електроприводу є критично важливою для забезпечення ефективної, стабільної та безпечної роботи стрічкових транспортерів у гірничо-дробильному виробництві.

2 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА

2.1 Визначення параметрів приводу стрічкового транспортера

Розрахунок статичного моменту опору стрічкового конвеєра, призначеного для транспортування гранітного щебеню на гранітному кар'єрі, виконується відповідно до кінематичної схеми [2], представленій на рисунку 2.1.

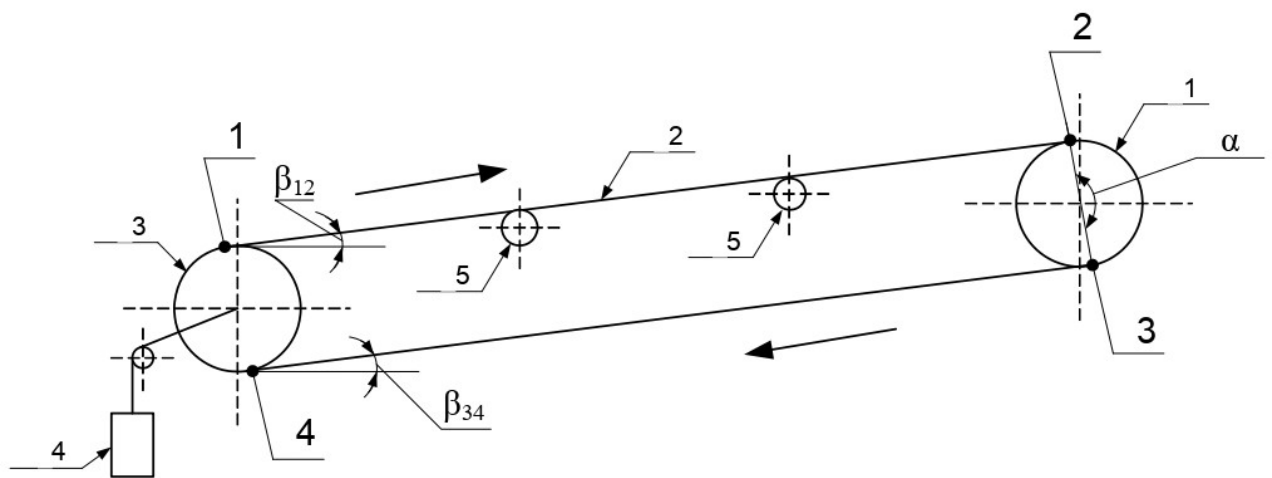


Рисунок 2.1 – Кінематична схема стрічкового транспортера

Під час запуску електродвигуна обертальний момент передається на приводний барабан, унаслідок чого приводиться в рух стрічка (поз. 2), яка, охоплюючи всі опори, здійснює транспортування матеріалу. Натяг стрічки забезпечується натяжним барабаном (поз. 3), на якому розміщений вантаж (поз. 4). Підтримувальні ролики (поз. 5) утримують стрічку від провисання, зберігаючи її положення під час руху.

Як вихідні дані прийнято конструктивні параметри стрічкового конвеєра кар'єрного типу, що експлуатується наразі на підприємстві. Значення основних параметрів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Конструктивні параметри стрічкового транспортера

Параметри	Значення
Продуктивність транспортера, т/год.	50
Довжина транспортера, м	25
Допустиме прискорення стрічки, м/с ²	0,12
Кількість роликкоопор, шт.	5
Маса 1 м стрічки транспортера, кг	9
Сумарний коефіцієнт опору на ділянці вигину	0,6
Коефіцієнт тертя	0,3
Діаметр приводного барабана, м	0,4
Діаметр роликів, м	0,1
Діаметр натяжного барабана, м	0,325
Ширина барабана, м	0,7
Кут нахилу транспортера до горизонту, рад	0,263
ККД механізму при номінальному навантаженні	0,9
Коефіцієнт, що враховує пружні деформації	0,65
Кут обхвату приводного барабана, рад	3,158

Приводний електродвигун працює в номінальному тривалому режимі (S1), що відповідає сталому навантаженню без частих пусків і зупинок.

Кінематичну схему електроприводу стрічкового конвеєра [2, 3] приведено на рисунку 2.2. Обертання від електродвигуна Д передається через муфти М1 і М2 на редуктор Р, а далі – на приводний барабан стрічкового конвеєра. Робочим органом (РО) є гумова стрічка, яка прилягає до барабанів.

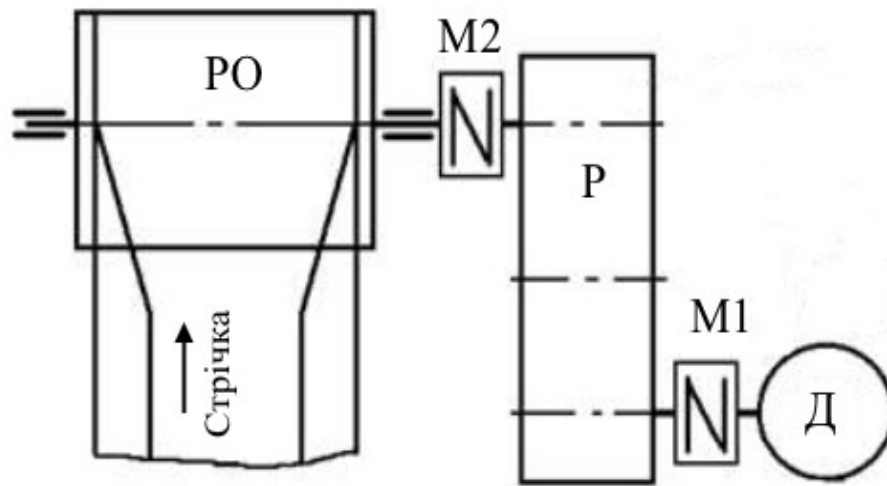


Рисунок 2.2 – Кінематична схема електроприводу стрічкового транспортера

Для приводу стрічкових транспортерів зазвичай застосовуються циліндричні прямозубі редуктори. У випадках, коли потрібно забезпечити значне передавальне відношення, використовують двоступеневі редуктори з послідовним зниженням частоти обертання.

Для забезпечення високого передаточного числа доцільно використовувати черв'ячний редуктор. Його конструкція дозволяє утримувати вихідний вал у нерухомому стані без потреби в додаткових гальмівних пристроях, завдяки явищу самогальмування. Це особливо важливо у випадках, коли вантаж транспортується під нахилом. При зупинці навантаженої стрічки вантаж прагне опуститися вниз під дією сили тяжіння, тому необхідно передбачити електричне гальмування двигуна. Якщо ж застосовано черв'ячний редуктор, така потреба відпадає.

Величину тягової сили, яку має забезпечити приводна станція стрічкового конвеєра, визначають шляхом виконання тягового розрахунку. Для цього контур руху (трасу) стрічки поділяють на окремі розрахункові ділянки, в межах яких опір руху описується сталою величиною.

Усі сили опору класифікують за залежністю від натягу гнучкого тягового елемента:

- незалежні – спричинені масою вантажу та стрічки, опором роликів опор тощо;
- залежні – виникають в місцях обгину барабанів, зірочок або на криволінійних ділянках, де натяг стрічки змінюється.

На рисунку 2.3 схематично зображено точки дотику стрічки до роликів та барабанів, у яких відбувається вигин і розтяг. Точки 1 та 8 відповідають приводному барабану. Для збільшення кута обхвату приводного барабана гумовою стрічкою застосовується напрямний ролик – на ньому позначено точки 2 і 3. Це дозволяє підвищити коефіцієнт тертя стрічки при контакті з барабаном. Точки 4 і 5 знаходяться на натяжному барабані. Точки 6 і 7 – на напрямному ролику, який забезпечує горизонтальну ділянку переміщення.

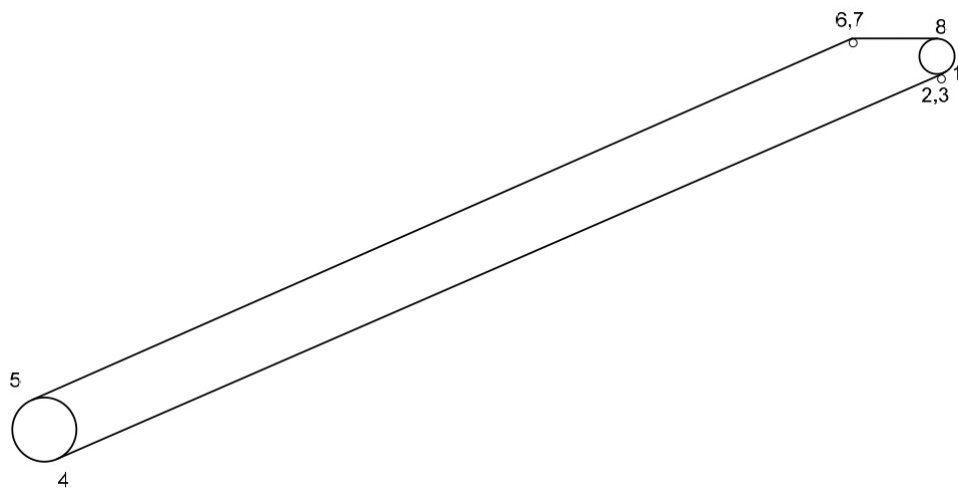


Рисунок 2.3 – Розбиття вантажонесучої стрічки конвеєра на окремі розрахункові ділянки

Розрахунок необхідної потужності приводу стрічкового конвеєра, включає такі етапи:

- розрахунок сил опору руху стрічки на кожній з розрахункових ділянок;
- визначення результуючої сили опору руху;
- розрахунок натягу стрічки в точках входу і виходу з приводного барабана;

- визначення необхідної потужності приводного електродвигуна.

2.2 Розрахунок потужності приводного електродвигуна

Необхідна потужність приводу стрічкового конвеєра визначається на основі тягового зусилля, швидкості руху стрічки та коефіцієнта корисної дії (ККД) механізму. Спочатку визначимр потужність, необхідну для забезпечення сталого руху конвеєра при номінальному навантаженні, без урахування інерційних та пускових моментів.

Розрахункова потужність приводного двигуна (кВт):

$$P_{\text{роз}} = \frac{F_{\text{т}} \cdot V}{1000 \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

де $F_{\text{т}}$ – тягове зусилля, Н;

V – лінійна швидкість руху транспортуючої стрічки, м/с;

η – коефіцієнт корисної дії приводу транспортера.

Для обчислення тягового зусилля [5] скористаємось формулою:

$$F_{\text{т}} = (m_{\text{с}} + m_{\text{в}}) \cdot g \cdot (\mu + \sin \alpha), \quad (2.2)$$

де $m_{\text{с}}$ – маса стрічки, кг;

$m_{\text{в}}$ – маса вантажу, кг;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

μ – коефіцієнт тертя;

α – кут нахилу конвеєра до горизонту.

Маса стрічки:

$$m_{\text{с}} = 9 \cdot 25 = 225 \text{ (кг)}.$$

Маса вантажу на стрічці:

$$m_{\text{в}} = \frac{Q}{3600} \cdot \frac{L}{V}, \quad (2.3)$$

$$m_{\text{в}} = \frac{50000}{3600} \cdot \frac{25}{1,25} = 278 \text{ (кг)}.$$

Тягове зусилля:

$$F_T = (225 + 278) \cdot 9,81 \cdot (0,3 + 0,26) = 2764 \text{ (Н)}.$$

Розрахункова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{роз}} = \frac{2764 \cdot 1,25}{1000 \cdot 0,9} = 3,83 \text{ (кВт)}.$$

Потужність приводного електродвигуна з врахуванням коефіцієнта запасу ($k_z = 1,15 \dots 1,3$):

$$P_{\text{роз}} = 3,83 \cdot 1,15 \dots 1,3 = 4,41 \dots 4,96 \text{ (кВт)}.$$

З врахуванням обчисленої потужності слід обрати приводний стандартний приводний двигун з каталогу.

2.3 Вибір приводного електродвигуна та розрахунок його характеристик

Для приводу стрічкового конвеєра з врахуванням досвіду експлуатації та техніко-економічних параметрів використовується трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором. Такий тип двигуна характеризується надійністю, простотою конструкції, доступністю обслуговування і відповідає умовам експлуатації стрічкових конвеєрів у кар'єрних і промислових умовах.

На основі попереднього розрахунку необхідної потужності з урахуванням режиму роботи системи електроприводу та технологічних вимог по каталожних даних вибираємо двигун за умови:

$$P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \quad (2.4)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт;

Отже, доцільно вибрати електродвигун номінальною потужністю 5 кВт, що забезпечить надійність та достатній запас потужності при роботі в

умовах змінного навантаження. У якості стандартної моделі виберемо двигун типу AIP112M4 УЗ, параметри якого наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродвигуна AIP112M4 УЗ

Параметри	Значення
Тип двигуна	AIP112M4 УЗ
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	5,5
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
Номінальна частота обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	1440
$\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,85
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}$, %	85
Номінальний момент $M_{\text{ном}}$, Н·м	36,7
Пусковий момент $M_{\text{пуск}}$, Н·м	84,4
Максимальний момент M_{max} , Н·м	91,7
Номінальний струм статора $I_{1 \text{ ном}}$, А	11,7
Пусковий струм $I_{\text{ном.п}}$, А	70,2
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,015
Маса, кг	50
Режим роботи	S1 (тривалий)

У разі відсутності зазначеного типу двигуна або за інших причин можуть застосовуватись повні функціональні аналоги, такі як: 4A112M4, АД112M4, 4АМУ112М4 та ін [4].

Обраний електродвигун працює у номінальному тривалому режимі S1, що відповідає умовам експлуатації стрічкового конвеєра. Даний асинхронний двигун відноситься до серії асинхронних двигунів загального призначення. Вона реалізована у 18 габаритних виконаннях, охоплює діапазон потужностей від 0,025 до 400 кВт і має висоту осі обертання від 45 до 355 мм.

Структура серії передбачає такі групи виконань:

- стандартне виконання;

- модифікації за характеристиками;
- варіанти для роботи в різних умовах навколишнього середовища;
- варіанти з додатковими пристроями;
- точне виконання за розмірами;
- вузькоспеціалізовані модифікації.

Дані електродвигуни мають:

- покращені енергетичні показники;
- поліпшені пускові характеристики (відповідно до МЕК 34-12);
- знижений рівень шуму;
- зменшене споживання активних матеріалів (мідь – на 2,5 %, електротехнічна сталь – на 4 %);
- зменшену масу двигуна.

Пуск двигуна – прямий, допускаються часті пуски: не менше 2000 за період експлуатації, не більше 250 на рік. Двигун допускає запуск з холодного та гарячого стану з інтервалом не менше трьох годин.

Обмотка статора має шість вивідних кінців, закріплених на чотирьох ізоляторах у клемній коробці. З'єднання фаз виконується за схемою «зірка». Двигун допускає обидва напрямки обертання.

Зовнішній вигляд двигуна АІР112М4 з габаритно-приєднувальними розмірами наведено на рисунку 2.4.

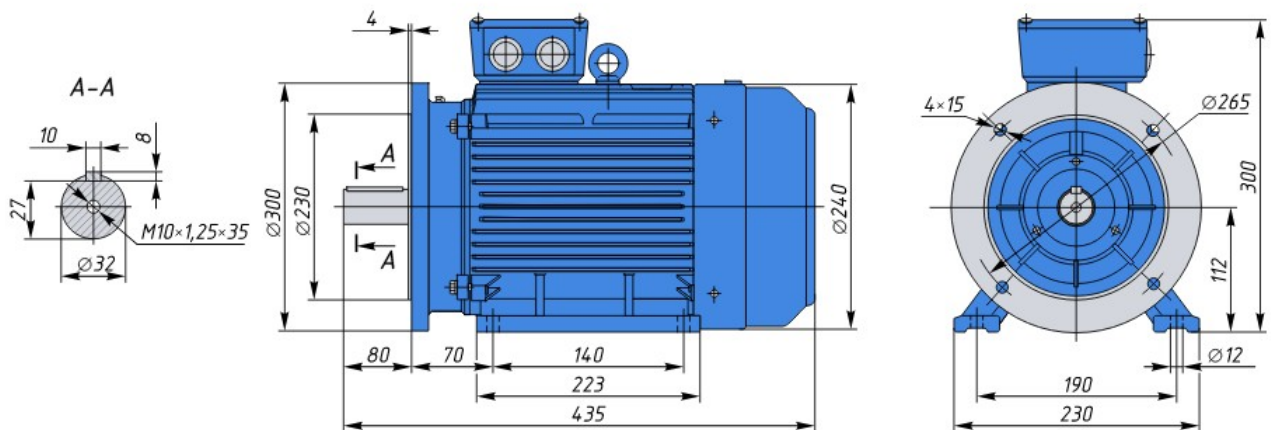


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд електродвигуна

Перевантажувальна здатність двигуна за моментом:

$$\lambda_{m \max} = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}, \quad (2.5)$$

$$\lambda_{m \max} = \frac{91,7}{36,7} = 2,5.$$

Перевантажувальна здатність двигуна за моментом при пуску:

$$\lambda_{m \text{ пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}, \quad (2.6)$$

$$\lambda_{m \text{ пуск}} = \frac{84,4}{36,7} = 2,3.$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = M_{\max} = 91,7 \text{ (Н}\cdot\text{м)}. \quad (2.7)$$

Синхронна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}, \quad (2.8)$$

де f_1 – частота напруги живлення ($f_1 = 50$ Гц);

p – число пар полюсів електричної машини ($p = 2$),

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ (с}^{-1}\text{)},$$

Номінальна кутова швидкість обертання [6]:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{60}, \quad (2.9)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1440}{60} = 150,65 \text{ (об/хв)}.$$

Номінальне ковзання:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0}, \quad (2.10)$$

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04.$$

Критичне ковзання [6]:

$$S_k = S_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda_{\text{m max}} + \sqrt{\lambda_{\text{m max}}^2 - 1}), \quad (2.11)$$

$$S_k = 0,04 \cdot (2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,192.$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{\text{ф.НОМ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.12)$$

$$U_{\text{ф.НОМ}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}.$$

Механічні втрати приймаються рівними 5% від номінальної потужності:

$$P_{\text{мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (2.13)$$

$$P_{\text{мех}} = 0,05 \cdot 5,5 = 0,275 \text{ (кВт)} = 275 \text{ (Вт)}.$$

Для побудови природної механічної характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором використано математичні залежності, що базуються на формулі Клосса та формулі Чекунова [6].

Механічна характеристика, побудована за формулою Клосса, має такий аналітичний вигляд:

$$M(S) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + 2 \cdot a \cdot S_k + \frac{S_k}{S}}, \quad (2.14)$$

де M_k – критичний момент двигуна;

S – ковзання;

S_k – критичне ковзання;

a – коефіцієнт, що визначається за співвідношенням опорів.

Значення розрахункових параметрів обчислено на основі паспортних характеристик двигуна. Для цього було знайдено приведені до статора значення активного опору ротора та статора, а також номінальну фазну напругу. Усі обчислення наведено у відповідних формулах (2.15)-(2.19).

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{НОМ}} + P_{\text{Мех}}}{I_{\text{НОМ}}^2 \cdot \frac{1 - S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{НОМ}}}}, \quad (2.15)$$

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{5500 + 275}{17,7^2 \cdot \frac{1 - 0,04}{0,04}} = 0,586 \text{ (Ом)}.$$

$$U_{\text{ф.НОМ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.16)$$

$$U_{\text{ф.НОМ}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}.$$

$$R_c = \frac{U_{\text{ф.НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot (1 - \eta_{\text{НОМ}})}{I_{\text{НОМ}}} - C^2 \cdot R'_p - \frac{P_{\text{Мех}}}{3 \cdot I_{\text{НОМ}}^2}, \quad (2.17)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт ($C = 1,04$).

$$R_c = \frac{219,393 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,85)}{11,7} - 1,25^2 \cdot 0,586 - \frac{275}{3 \cdot 11,7^2} = 1,106 \text{ (Ом)}. \quad (2.18)$$

Коефіцієнт a :

$$a = \frac{R_c}{R'_p}, \quad (2.19)$$

$$a = \frac{1,106}{0,586} = 1,887.$$

Вираз (2.14) набуде вигляду:

$$M(S) = \frac{2 \cdot 91,19 \cdot (1 + 1,87 \cdot 0,192)}{\frac{S}{0,192} + 2 \cdot 1,87 \cdot 0,192 + \frac{0,192}{S}}.$$

Механічна характеристика, побудована за формулою Чекунова, має вигляд:

$$M(S) = M_k \cdot \frac{2 + (S^2 - S_k^2) \cdot K_s}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (2.20)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт, який визначається на основі кратностей пускового та максимального моментів двигуна:

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{m \text{ пуск}}}{\lambda_{m \text{ max}}} \cdot \left(\frac{1}{S_k} + S_k \right)}{1 - S_k^2}, \quad (2.21)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,3}{2,5} \cdot \left(\frac{1}{0,192} + 0,192 \right) - 2}{1 - 0,192^2} = 0,309.$$

Вираз (2.20) набуде вигляду:

$$M(S) = 91,8 \cdot \frac{2 + (S^2 - 0,192^2) \cdot 0,309}{\frac{S}{0,192} + \frac{0,192}{S}}.$$

Для визначення частоти обертання ротора в залежності від ковзання використовуємо співвідношення:

$$\omega(S) = \omega_0 \cdot (1 - S). \quad (2.22)$$

На підставі отриманих виразів (2.14) і (2.20), за допомогою програмного середовища Mathcad було побудовано графіки природних механічних характеристик двигуна.

На рисунку 2.5 наведено побудовані механічні характеристики обраного двигуна за формулами Клосса (крива 1) та Чекунова (крива 2).

Аналіз графіків показує, що характеристика, побудована за формулою Чекунова, точніше відображає реальні властивості асинхронного двигуна, оскільки враховує зміну моменту при різних значеннях ковзання з вищою точністю.

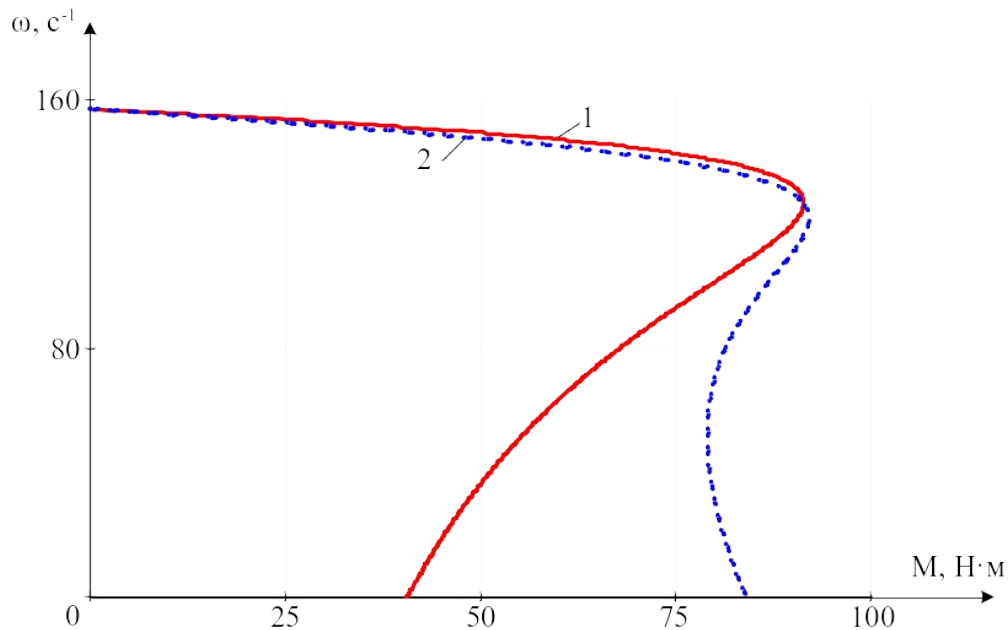


Рисунок 2.5 – Природні механічні характеристики за формулами Клоса (1) та Чекунова (2)

Таким чином, для розрахунків та моделювання доцільно використовувати механічну характеристику, побудовану за формулою Чекунова.

Вибір редуктора виконуємо виходячи зі значень радіусу приводного барабану та швидкості руху стрічки транспортера:

$$\omega_6 = \frac{V}{R_6}, \quad (2.23)$$

$$\omega_6 = \frac{0,9}{0,2} = 4,5 \text{ (c}^{-1}\text{)}.$$

Необхідне передаточне число редуктора:

$$i = \frac{\omega_0}{\omega_6}, \quad (2.24)$$

$$i = \frac{157,08}{4,5} = 34,9$$

З урахуванням отриманого значення передаточного числа, вибираємо черв'ячний редуктор МЧ-80/35, що має передавальне число 35.

Такий редуктор забезпечує:

- необхідне зниження обертів до 43 об/хв;
- компактність конструкції;
- сумісність із електродвигуном потужністю 5,5 кВт;
- простоту обслуговування та монтажу.

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики черв'ячного редуктора МЧ-80/35

Показник	Значення
Передаточне число	35
ККД, %	0,75-0,78
Вхідна частота обертання, об/хв	1500
Номінальний крутний момент, Н·м	400

Висновок. Проведено розрахунок потужності, необхідної для приведення в рух приводної станції стрічкового транспортера гранітного кар'єру. За результатами розрахунків обрано асинхронний електродвигун потужністю 5,5 кВт із номінальною синхронною частотою обертання 1500 об/хв. До складу приводу також включено черв'ячний редуктор із передаточним числом 35, що забезпечує узгодження швидкості обертання привідного барабана з параметрами електродвигуна.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Для приводу механізму конвеєра можуть бути застосовані такі системи електричного привода: релейно-контакторна схема – двигун постійного струму (РКС-ДПС); релейно-контакторна схема – асинхронний двигун з фазним ротором (РКС-АД з ФР); тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ТП-ДПС); тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (ТРН-АД); перетворювач частоти - асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (ПЧ-АД).

Приводний двигун та система керування повинені бути розраховані на тривалий режим роботи, забезпечувати надійний пуск транспортера з навантаженою стрічкою, мати можливість плавного регулювання швидкості, високу енергоефективність, бути надійними і передбачати простоту обслуговування, відповідати кліматичним умовам експлуатації.

Застосування електроприводів на основі двигунів постійного струму є недоцільним у контексті сучасних промислових систем через їхні значні масо-габаритні показники у порівнянні з асинхронними двигунами змінного струму.

Асинхронні двигуни з фазним ротором (АД з контактними кільцями) у порівнянні з двигунами з короткозамкненим ротором (КЗ-ротором) є більш громіздкими, складнішими у конструкції та дорожчими. Однак їхньою перевагою є можливість зменшення пускового струму за допомогою пускового реостата при одночасному збільшенні пускового моменту.

Двигуни з короткозамкненим ротором найчастіше використовуються в електроприводах, де не потрібне регулювання швидкості, або як допоміжні двигуни для отримання знижених частот обертання. Основним недоліком таких двигунів є високий пусковий струм, що у 5-7 разів перевищує номінальний струм у сталому режимі роботи.

Системи електроприводу типу ПЧ–АД (з перетворювачем частоти та асинхронним двигуном з КЗ-ротором) характеризуються широким діапазоном регулювання частоти обертання, високою жорсткістю механічної характеристики, добрими енергетичними показниками та низькими втратами.

Системи типу ТРН-АД використовуються завдяки простоті улаштування та обслуговування. Вони дозволяють реалізовувати базові функції керування, змінювати напрям обертання, однак мають обмежений діапазон регулювання швидкості, також їм притаманне різке зменшення крутного моменту при зниженні напруги живлення. А від цього зменшується перевантажувальна здатність, що не підходить для такого механізму, як стрічковий транспортер із постійним моментом навантаження, тому економічні показники цієї системи рахувати не доцільно.

За критерієм приведених витрат визначаємо використання якої з розглянутих систем ЕП буде найбільш економічно вигідним:

Приймемо для нашої системи:

- Номінальна потужність двигуна 5,5 кВт.
- Час роботи на рік – типове значення $\approx 2000-2500$ год.
- Тариф на електроенергію 6,9 грн/кВт·год.
- ККД двигуна $\approx 90\%$, ПЧ $\approx 98\%$.
- Норматив ефективності капіталовкладень $E_n = 0,17$.

Приведені витрати визначаються за формулою:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_i, \quad (3.1)$$

де i – кількість розглянутих варіантів;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

K_i – обсяг капітальних вкладень, грн;

C_i – загальні щорічні витрати, що включають амортизаційні відрахування та інші витрати, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця

Показник	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-ДПС	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	30000	20000	30000	8500
Вартість системи керування СК, грн	7000*	7000*	35000	12000
Капітальні вкладення К, грн	37000	26000	65000	20500
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	6290	5420	11050	3485
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	3700	2600	6500	2050
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	740	520	1300	410
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	5316,9	3736,2	2227,4	2945,9
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	487,3	342,4	856,1	270
Загальні відрахування C , грн/рік	10244,2	7198,6	17996,6	5675,8
Приведені витрати Z , грн/рік	16534,2	11618,6	29046,6	9160,8

* вартість найпростіших варіантів елементів релейно-контактних схем у вигляді щитів керування взята за знайденими комерційними пропозиціями з мінімальними цінами, слід уточнити по кінцевій специфікації (наприклад: <https://tera-elektro.prom.ua/ua/p1400085535-schit-upravleniya-elektroprivodom.html>).

Висновок. Проведено аналіз техніко-економічних показників різних варіантів систем електропривода для застосування у технологічному процесі. За результатами розрахунків встановлено, що найбільш технічно і економічно доцільним є використання системи з частотним перетворювачем та асинхронним двигуном. Дана система відповідає як технічним, так і експлуатаційним вимогам до приводу стрічкового транспортера в умовах кар'єрного виробництва.

4 ПОБУДОВА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

4.1 Розрахунок приведених статичних і динамічних моментів виробничого механізму

Визначимо статичний момент стрічкового конвеєра:

$$M_c = \frac{P_{\text{роз}}}{\omega_6}, \quad (4.1)$$

де $P_{\text{роз}}$ – розрахована вище статична потужність навантаженого виробничого механізму;

ω_6 – кутова швидкість барабана.

$$M_c = \frac{3830}{4,5} = 851,1 \text{ (Нм)}.$$

Приведене до валу двигуна значення статичного моменту:

$$M'_c = \frac{M_c}{i \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

$$M'_c = \frac{851,1}{35 \cdot 0,9} = 31,4 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Оскільки стрічковий транспортер функціонує в сталому навантаженому режимі з тривалим характером роботи, динамічні навантаження в системі зазвичай відсутні під час нормальної експлуатації електродвигуна. Вони виникають лише у моменти пуску або зупинки приводу.

Розрахуємо величину динамічного моменту, що діє на електродвигун у процесі його пуску.

Обчислимо тривалість пуску двигуна:

$$t_{\text{п}} = \frac{V}{a_{\text{доп}}}, \quad (4.3)$$

де $a_{\text{доп}}$ – допустиме прискорення стрічки конвеєра.

$$t_{\text{п}} = \frac{1,25}{0,4} = 2,25 \text{ (с)}.$$

Сумарний приведений момент інерції системи з урахуванням коефіцієнта запасу, що враховує наявність з'єднувальних муфт та момент інерції редуктора, становить:

$$J_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 0,015 \cdot \frac{155,8}{50^2} = 0,081 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2 \text{)}.$$

Середнє значення динамічного моменту двигуна визначається за формулою:

$$M_{\text{д}} = J_{\text{пр}} \cdot \frac{\omega_{\text{д}}}{t_{\text{п}}}, \quad (4.4)$$

де $\omega_{\text{д}}$ – номінальна кутова швидкість;

$t_{\text{п}}$ – час пуску.

Після підстановки значень отримаємо:

$$M_{\text{д}} = 0,081 \cdot \frac{150,6}{2,25} = 5,4 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Сумарний момент на валу двигуна під час пуску:

$$M_{\Sigma 1} = M'_{\text{с}} + M_{\text{д}}, \quad (4.5)$$

$$M_{\Sigma 1} = 31,4 + 5,4 = 36,8 \text{ (Нм)}.$$

4.2 Перевірка двигуна за умовами пуску

Перевірку електродвигуна стрічкового транспортера за умовами нагрівання при тривалому сталому навантаженні не проводимо, оскільки двигун підбирається за номінальною потужністю, розрахованою на основі режиму роботи. Далі буде виконано перевірку за умовами пуску.

Перевірка двигуна за умовами пуску:

$$M_{c_{\text{пуск}}} \leq k_u^2 \cdot M_{\text{пуск}}, \quad (4.6)$$

де $M_{c_{\text{пуск}}}$ – максимальний статичний пусковий момент електроприводу;
 k_u – коефіцієнт, що враховує можливе зниження напруги у мережі під час пуску ($k_u = 0,9$);

$M_{\text{пуск}}$ – пусковий момент двигуна.

$$M_{c_{\text{пуск}}} = M_{\Sigma 1}, \quad (4.7)$$

$$36,8 \leq 0,9^2 \cdot 84,4,$$

$$36,8 \leq 68,3.$$

Отже, перевірка за умовами пуску виконується.

Враховуючи, що умова перевірки виконується, обраний електродвигун відповідає вимогам для роботи у складі електроприводу стрічкового транспортера.

Перевірка забезпечує надійний пуск двигуна при найбільших навантаженнях, та уникнення перевищення пускового моменту.

За отриманими розрахунками побудуємо навантажувальну діаграму електропривода (рисунок 4.1)

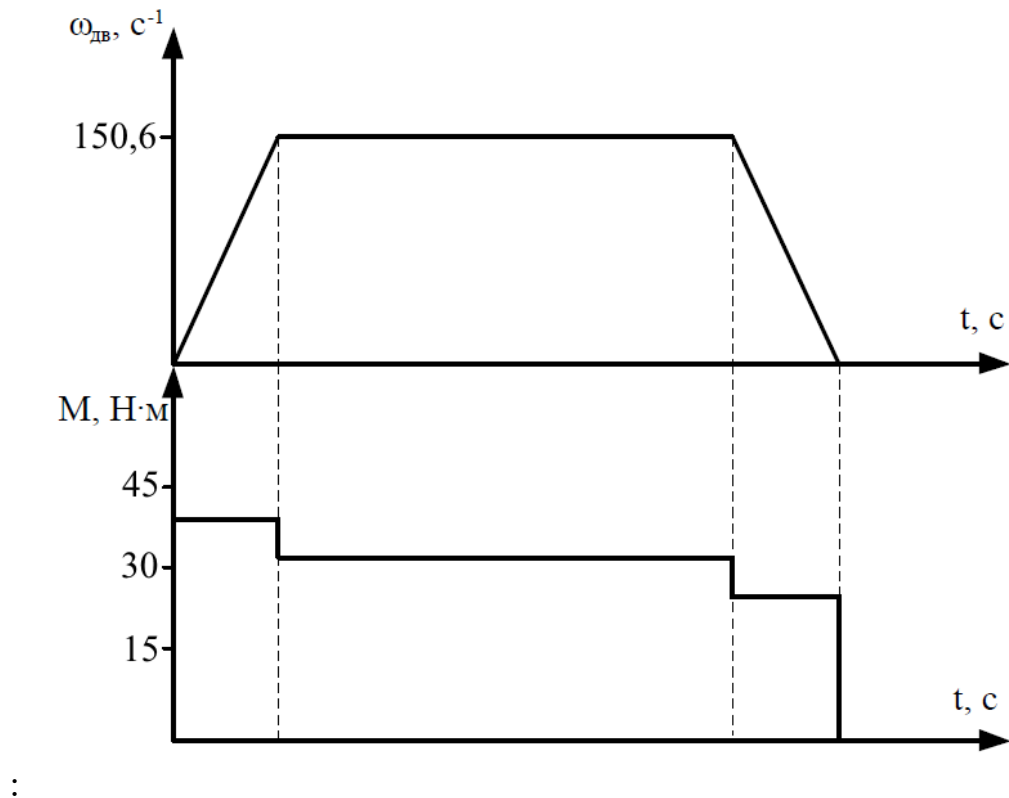


Рисунок 4.1 – Тахограма руху та навантажувальна діаграма

Отже, для вибраного електродвигуна стрічкового транспортера були пораховані його приводні характеристики, приведений статичний, динамічний та сумарний моменти. Умови перевірки двигуна виконується, отже, електродвигун може бути використаний для приводу стрічкового транспортера. За отриманими результатами розрахунків побудована тахограма та навантажувальна діаграма електропривода.

4.3 Розробка структурної схеми електроприводу стрічкового транспортера

Для забезпечення надійної, плавної та енергоефективної роботи стрічкового транспортера в умовах гранітного кар'єру розроблено структуру системи керування електроприводом (рисунок 4.2). Вона реалізує принцип каскадного регулювання. У системі передбачено два контури: внутрішній – за струмом статора двигуна, і зовнішній – за швидкістю обертання.

Внутрішній контур має меншу сталу часу, що забезпечує високу швидкодію регулювання моменту. Зовнішній контур визначає задавання для внутрішнього, залежно від похибки між заданою та реальною швидкістю..



Рисунок 4.2 – Структурна схема системи керування електроприводом стрічкового транспортера

Опис елементів структурної схеми:

1. Задавач швидкості – формує задавальну напругу завдання, яка відповідає бажаній швидкості обертання ротора електродвигуна.
2. Регулятор швидкості – порівнює задавальну напругу з напругою зворотного зв'язку по швидкості та формує сигнал похибки керування.
3. Регулятор струму – отримує сигнал з регулятора швидкості та зворотний сигнал від сенсора струму; формує керуючий вплив.
4. СІФК випрямляча – формує імпульси керування тиристорами випрямляча.
5. Випрямляч – перетворює змінну напругу мережі на постійну керовану напругу.
6. СІФК інвертора – керує роботою ключів інвертора відповідно до сигналу з регулятора струму.
7. Інвертор (АІН) – перетворює постійну напругу на трифазну змінну з керованими параметрами.
8. Двигун – асинхронний електродвигун, обертає редуктор і приводить у дію транспортерну стрічку.
9. Редуктор – передає обертовий момент від двигуна до конвеєра.

10. Конвеєр – механізм для транспортування вантажів.

11. Сенсор струму – вимірює струм статора і передає сигнал до регулятора струму.

12. Сенсор швидкості – вимірює кутову швидкість обертання і подає сигнал до регулятора швидкості.

Структурна схема відображає замкнутий цикл роботи системи керування електроприводом із урахуванням силової, вимірювальної та керуючої частин.

4.4 Розробка функціональної схеми електроприводу стрічкового транспортера

Система електроприводу стрічкового транспортера повинна забезпечувати надійне, стабільне й плавне регулювання швидкості обертання ведучого барабана, дотримуючись при цьому вимог до продуктивності, захисту двигуна та енергоефективності. Для цього розроблено функціональну схему системи керування, у якій реалізовано замкнене керування за кутовою швидкістю та струмом статора двигуна. У схемі також враховано потребу в обмеженні амплітуди керуючих сигналів, що підвищує стійкість роботи системи (рисунки 4.3).

На схемі: РШД – регулятор швидкості двигуна; ОШ – обмежувач керуючого сигналу швидкості на виході регулятора швидкості; РСД – регулятор струму статора двигуна; ОС – обмежувач сигналу струму двигуна на виході регулятора струму; СІФКВ – система імпульсно-фазового керування випрямлячем; СІФКІ – система імпульсно-фазового керування інвертором; ФП – функціональний перетворювач; $U_{\text{зш}}$ – напруга задання швидкості обертання ротора двигуна; $U_{\text{зв.ш}}$ – сигнал зворотного зв'язку від датчика швидкості обертання валу двигуна; $U_{\text{зс}}$ – напруга задання струму двигуна; $U_{\text{зв.с}}$ – сигнал зворотного зв'язку від датчика струму статора; $U_{\text{кв}}$ – напруга керування випрямлячем; $U_{\text{кл}}$ – напруга керування інвертором; $\alpha_{\text{ВІР}}$ – кут відкривання ключів випрямляча; $\alpha_{\text{ІН}}$ – кут відкривання транзисторів інвертора.

Зовнішній контур виконує регулювання швидкості обертання ротора двигуна. На регулятор швидкості РШ подається задаючий сигнал $U_{зш}$, який визначає потрібну швидкість. Одночасно на вхід РШ надходить сигнал зворотного зв'язку $U_{зв.ш}$, що формується від сенсору СШ. Різниця між цими сигналами утворює сигнал похибки керування, який обробляється і відпрацьовується регулятором РШД. Для запобігання перевищенню допустимих значень вихідного сигналу регулятора використовується елемент обмеження швидкості ОШ.

Вихідний сигнал з ОШ є задавальним для регулятора струму РСД, а також подається на вхід блоку функціонального перетворювача (ФП). ФП реалізує закон керування типу “U-f”, формуючи керуючий сигнал $U_{к1}$ для СІФКІ. В залежності від обраного алгоритму, функціональний перетворювач може:

- реалізувати пропорційне співвідношення між напругою та частотою;
- реалізувати параболічне співвідношення (наприклад, $U \sim f^2$);
- формувати сигнал за допомогою кореневої залежності, залежно від типу навантаження.

Аналогічна логіка реалізована і для випрямляча (В), який керується через СІФКВ сигналом $U_{кв}$, що формує кут α_v відкриття ключів випрямляча.

Отже, розроблено функціональну схему керування електроприводом стрічкового конвеєра. Завдяки такій структурі реалізується двоконтурне керування електроприводом, при якому внутрішній контур (регулювання струму) підпорядковується зовнішньому контуру (регулювання швидкості). Це забезпечує необхідні динамічні характеристики при розгоні, гальмуванні та роботі при зміні навантаження.

4.5 Розрахунок параметрів і вибір перетворювача частоти

Перетворювач частоти обирається згідно з розрахунковими даними та відповідними умовами [12]. Необхідні значення потужності та струму

перетворювача частоти визначаються відповідно до параметрів електродвигуна, яким він керує:

$$\begin{cases} P_{\text{пер}} \geq P_{\text{дв.сп}} \\ I_{\text{пер}} \geq I_{\text{дв.н}} \end{cases}, \quad (4.7)$$

де $P_{\text{дв.сп}}$ – потужність, що споживається в номінальному усталеному режимі роботи, кВт;

$I_{\text{дв.ном}}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Потужність, яку споживає електродвигун при роботі в номінальному режимі [12]:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (4.8)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$),

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{1,05 \cdot 5,5}{0,85} = 6,7 \text{ (кВт)}.$$

Необхідна робоча потужність перетворювача частоти при пуску [12]:

$$P_{\text{пер}} = \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{пер}}}, \quad (4.9)$$

де $P_{\text{дв.пуск}}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{пер}}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{\text{пер}} = 1,2 \dots 1,7$).

Розрахунок пускової потужності електродвигуна здійснюється з урахуванням номінальної частоти обертання та пускового моменту:

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot n_{\text{дв}}}{9550 \cdot \eta_{\text{дв.н}}} \cdot 1,5 \cdot M_{\text{дв.н}}, \quad (4.10)$$

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{1 \cdot 1440}{9550 \cdot 0,85} \cdot 1,5 \cdot 36,7 = 9,5 \text{ (кВт)}.$$

Відповідно до виразу (4.9):

$$P_{\text{пер}} = \frac{9,5}{1,5} = 6,4 \text{ (кВт)}.$$

Отже, умови вибору перетворювача частоти, згідно (4.7), матимуть вигляд:

$$\begin{cases} P_{\text{пер}} \geq 6,4 \text{ (кВт)}, \\ I_{\text{пер}} \geq 11,7 \text{ (А)}. \end{cases}$$

Таким чином для живлення приводного двигуна стрічкового транспортера на основі порівняння технічних параметрів, цін, а також доступності обслуговування та сервісу в Україні, рекомендовано вибираємо перетворювач частоти Siemens SINAMICS G120C, артикул 6SL3210-1KE21-7UB1 фірми «Siemens» [13].

Зовнішній вигляд перетворювача частоти приведено на рисунку 4.4. А його технічні параметри наведені у таблиці 4.1.



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд о перетворювача частоти SINAMICS G120C
фірми Siemens

Таблиця 4.1– Технічні параметри частотного перетворювача SINAMICS G120C [10, 13]

Характеристики	Значення
Бренд	Siemens
Серія	Sinamics G120
SKU	6SL3210-1KE21-7UB1
Потужність	7.5 кВт
Напруга живлення	3x380 В
Кількість фаз/напруга на виході	3x380 В
Mmax (1 min)	150 %
Номинальний струм	16.5 А
Струм протягом 1хв.	24.8 А
ЕМС фільтр	-
Вбудований ПІД	присутній
Скалярний режим керування	+
Векторний режим керування без енкодера	+
Векторний режим керування з енкодером	+
Інтерфейси	Modbus RTU
Захисти	Перенапруга, перевантаження, перегрів
Функція STO (безпечне вимкнення моменту)	Так
Тип керування	V/f, Sensorless Vector
Ступінь захисту	IP20
Монтаж	Щитовий або настінний
Орієнтовна вартість	~27 400 грн

На рисунку 4.5 зображено рекомендований приклад електричної схеми підключення перетворювача частоти Siemens SINAMICS. Усі клеми приладу можна умовно розділити на дві основні групи: силові клеми та сигнальні (керуючі) клеми [9].

Силова частина даної схеми призначена для під'єднання:

- трифазного живлення 3×380 В до клем L1, L2, L3;
- асинхронного двигуна до клем U, V, W;

- гальмівного резистора (опційно);
- DC-реактора (при необхідності, із зняттям заводської перемички).

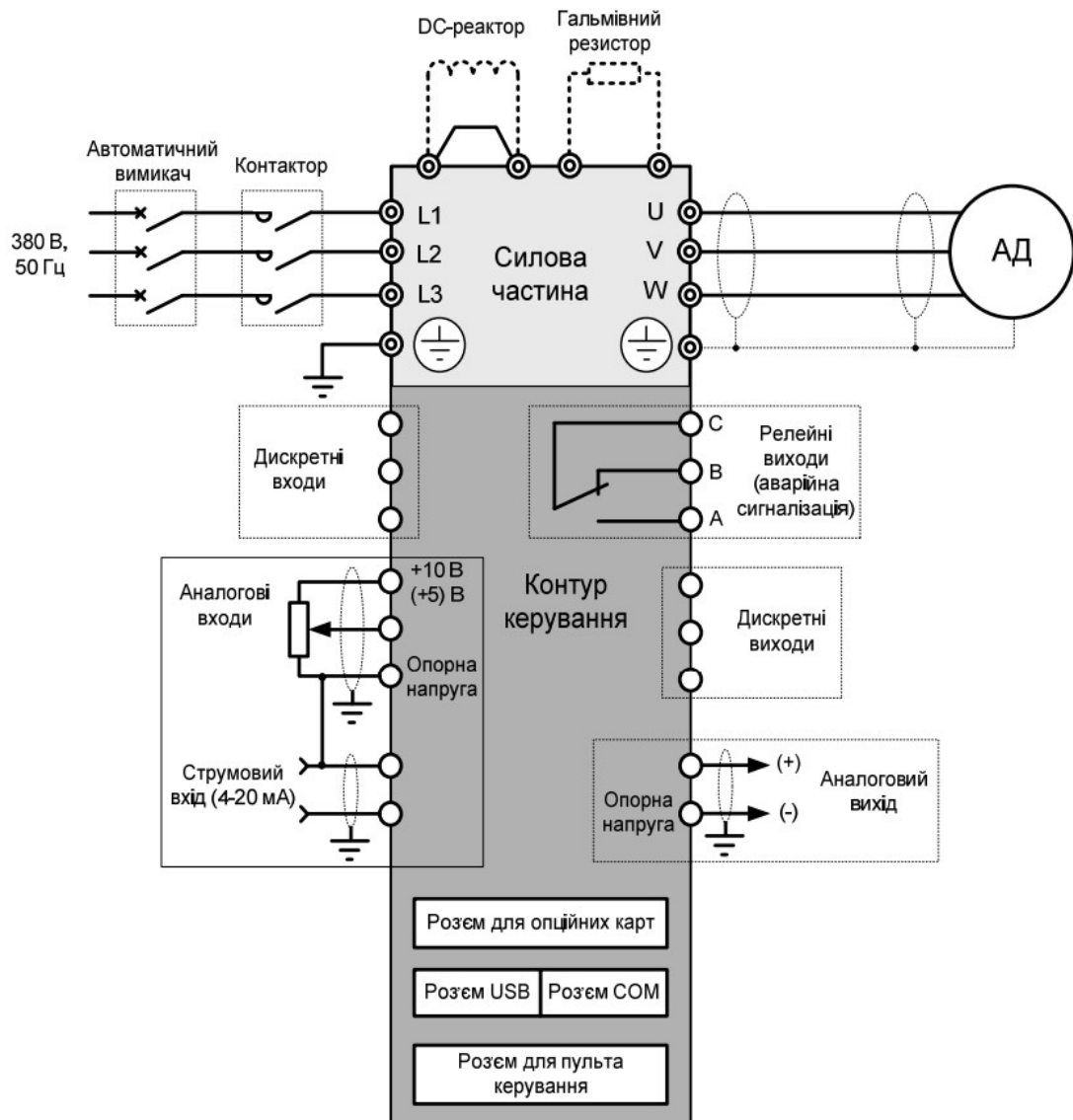


Рисунок 4.5 – Структурна електрична схема підключення та керування частотного перетворювача

Контур керування забезпечує гнучке програмоване управління роботою ПЧ:

- релейні виходи А, В, С використовуються для сигналізації аварій або відключення кола контактора живлення. У разі несправності — реле розриває коло та вимикає ПЧ;

- аналогові входи (напруга або струм) дозволяють підключення потенціометра, датчиків тиску, швидкості тощо (можна використовувати вбудоване живлення +10 В або +5 В);
- дискретні входи служать для реалізації команд типу «ПУСК», «СТОП», «РЕВЕРС», а також перемикання заданих частот обертання;
- аналоговий вихід може використовуватися для передачі зворотного сигналу про швидкість, струм або іншу вимірювану величину;
- релейний вихід аварії – для підключення зовнішньої сигналізації (лампи, зумера тощо).

Крім цього, перетворювач частоти має порти підключення COM/USB, а також роз'єм для пульта керування або додаткових опційних карт.

З метою контролю сходу стрічки конвеєра використовується датчик КСЛ-2 [7], який є типовим для систем автоматизації (рис. 4.6). Він призначений для виявлення відхилення стрічки та подачі сигналу в автоматизовану систему шляхом замикання або розмикання контактів.



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд сенсора контролю сходу стрічки типу КСЛ-2

Для реалізації загального аварійного контролю застосовується датчик КТВ-2, який здійснює моніторинг усіх можливих аварійних ситуацій у стрічковому конвеєрі (рис. 4.7). Датчик конструктивно виконано у вигляді вимикача з кабельно-тросовим приводом і призначено для аварійного зупинення приводу або технологічної лінії у випадку виникнення нештатної ситуації.



Рисунок 4.7 – Сенсор контролю аварійних ситуацій КТВ-2

Для контролю швидкості руху стрічки використовується датчик ДКС-1763 (рис. 4.8), який генерує електричний сигнал, що відповідає фактичній швидкості конвеєра. Це дозволяє реалізувати функції захисту, сигналізації або адаптивного керування.



Рисунок 4.8 – Сенсор контролю швидкості типу ДКС

Для виявлення наявності сторонніх предметів на стрічці застосовується ємнісний датчик перешкод типу CR18-8DN (рис. 4.9). Він реагує на появу об'єктів у зоні контролю та формує відповідний сигнал, який може використовуватись для зупинки системи або виведення тривоги..



Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд сенсора перешкод типу CR18-8DN

Блок ручного керування реалізується на основі готового блоку, змонтованого у стандартному монтажному ящику. До складу блоку управління конвеєром (БУК) входять елементи ручного керування, індикації, а також клеми підключення виконавчих пристроїв.

Для сигналізації режимів роботи конвеєрної лінії використовуються світлові індикатори типу AD22DS. Керування режимами виконується за допомогою кнопок, під'єднаних до блоку керування.

Принципова електрична схема електрприводу конвеєра приведена у додатках.

4.6 Розрахунок параметрів регуляторів електропривода стрічкового транспортера

Розглянемо лінеаризовану модель асинхронного двигуна, яка описується рівнянням:

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{S_k} \cdot S = \frac{2 \cdot M_k}{S_k} \cdot \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right) = \frac{2 \cdot M_k}{S_k \cdot \omega_0} \cdot (\omega_0 - \omega) = \beta \cdot (\omega_0 - \omega), \quad (4.11)$$

де β – модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики асинхронного двигуна.

Відповідно до рівняння, структурна схема лінеаризованої моделі АД наведена на рисунку 4.6. У ній враховано, що динаміка двигуна визначається параметрами інерції та статичної жорсткості.

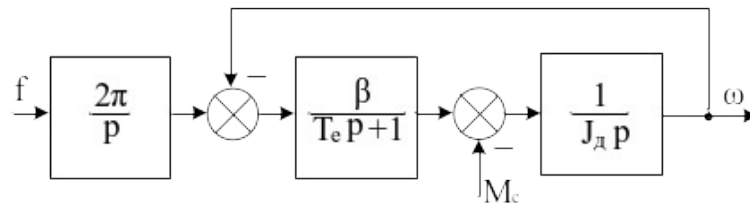


Рисунок 4.6 – Структурна схема лінеаризованої моделі АД

Для двоконтурної системи електропривода типу ПЧ-АД із внутрішнім зворотним зв'язком за моментом, структурна схема представлена на рисунку 4.7. У моделі відсутній явний сигнал струму, тому застосовується еквівалентне представлення зворотного зв'язку за моментом.

На основі прийнятих припущень розрахуємо: модуль жорсткості; електромагнітну сталу часу; електромеханічну сталу часу; передаточні функції двигуна та його механічної частини; коефіцієнт перетворювача частоти, враховуючи підсилення по частоті; передаточну функцію перетворювача частоти; передаточну функцію внутрішнього контуру моменту; коефіцієнти зворотного зв'язку за швидкістю та моментом; передаточну функцію регулятора моменту; передаточну функцію регулятора швидкості.

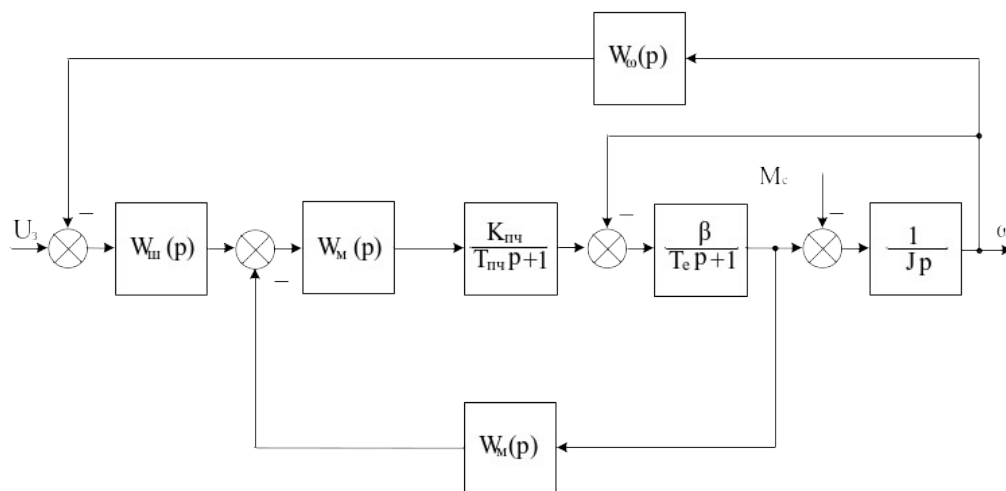


Рисунок 4.7 – Структурна схема електропривода за системою ПЧ-АД

Модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики АД:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_0 \cdot S_K}, \quad (4.12)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 91,19}{157,08 \cdot 0,192} = 4,669.$$

Електромагнітна стала часу АД:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot S_K}, \quad (4.13)$$

$$T_e = \frac{1}{157,08 \cdot 0,192} = 0,015 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція лінійної моделі АД:

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1}, \quad (4.14)$$

$$W_{AD}(p) = \frac{4,669}{0,015 \cdot p + 1}.$$

Електромеханічна стала часу АД з врахуванням механізму:

$$T_m = J_{np} \cdot \frac{S_K \cdot \omega_0}{2 \cdot M_K}, \quad (4.15)$$

$$T_m = 0,081 \cdot \frac{0,192 \cdot 157,08}{2 \cdot 91,19} = 0,254 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція механічної частини АД:

$$W_{AD\text{ мех}}(p) = \frac{1}{\beta \cdot T_m \cdot p}, \quad (4.16)$$

$$W_{AD\text{ мех}}(p) = \frac{1}{1,185 \cdot p}.$$

Коефіцієнт перетворювача частоти з врахуванням коефіцієнта АД підсилення по частоті:

$$K_{пч} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{\max}}{p \cdot U_{\max}}, \quad (4.17)$$

де $f_{\max}$ – максимальна частота ($f_{\max} = 50$ Гц);

p – число пар полюсів електричної машини ($p = 2$);

$U_{\max}$ – максимальна задаюча напруга ($U_{\max} = 10 \text{ В}$).

$$K_{\text{пч}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2 \cdot 10} = 10,472.$$

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1}, \quad (4.18)$$

де $T_{\text{пч}}$ – стала часу перетворювача частоти ($T_{\text{пч}} = 0,005 \text{ с}$),

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{10,472}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_{\omega} = \frac{U_{\max}}{\omega_{\max}}, \quad (4.19)$$

де $\omega_{\max}$ – максимальна кутова швидкість ($\omega_{\max} = \omega_0 = 157,07 \text{ с}^{-1}$),

$$K_{\omega} = \frac{10}{157,07} = 0,095.$$

Передаточна функція контуру зворотного зв'язку за швидкістю:

$$W_{\omega}(p) = K_{\omega} = 0,095, \quad (4.20)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом двигуна:

$$K_M = \frac{U_{\max}}{M_{\max}}, \quad (4.21)$$

де $M_{\max}$ – максимальний момент двигуна ($M_{\max} = M_k = 91,19 \text{ Н}\cdot\text{м}$),

$$K_M = \frac{10}{91,19} = 0,063.$$

Передаточна функція контуру зворотного зв'язку за моментом має вигляд:

$$W_M(p) = K_M = 0,063. \quad (4.22)$$

Розглянемо окремо внутрішній контур струму та зовнішній контур регулювання швидкості.

Оскільки струм у моделі, зображений на рисунку 4.7, явно не представлений, замість зворотного зв'язку за струмом використовується зворотний зв'язок за моментом.

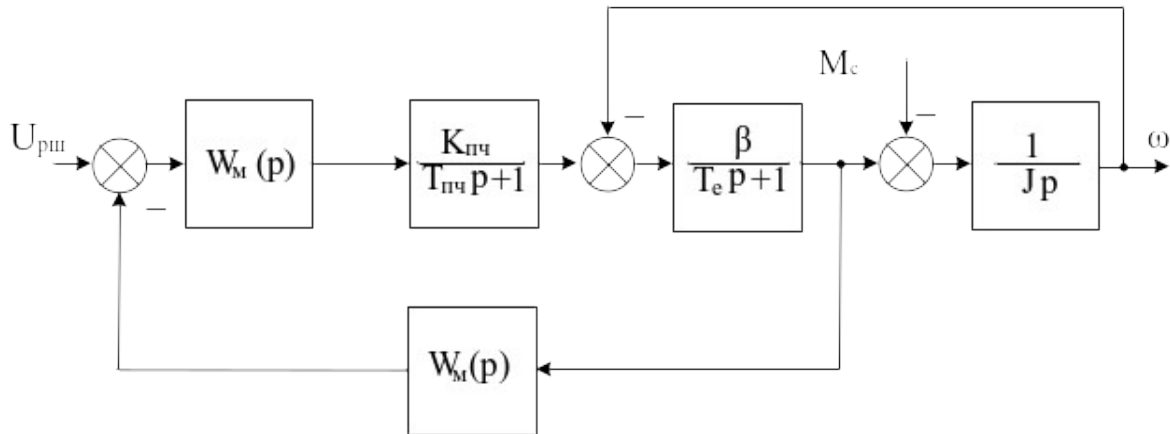


Рисунок 4.7 – Структурна схема внутрішнього контуру моменту

Для визначення типу регулятора необхідно отримати передаточну функцію об'єкта регулювання для контуру моменту. Об'єкт регулювання у даному випадку є послідовним з'єднанням передаточних функцій перетворювача частоти та жорсткої механічної характеристики двигуна.

Передаточна функція внутрішнього контуру, на підставі якої здійснюється вибір регулятора:

$$G_M(p) = \frac{1}{T_{0M}p}, \quad (4.23)$$

де T_{0M} – мала некомпенсована стала часу даного контуру. Для подальших розрахунків приймаємо $T_{пч} = 0,005$ с, оскільки ця величина є на порядок меншою від електромагнітної сталої часу двигуна $T_e = 0,015$ с).

Розділивши $G_M(p)$ на передаточну функцію об'єкта регулювання, отримаємо передаточну функцію регулятора моменту:

$$W_{рм}(p) = \frac{64,63}{p} + 1,278. \quad (4.24)$$

Таким чином, із отриманої передаточної функції випливає, що регулятор моменту має бути ПІ-регулятором.

Доповнивши структуру, зображену на рисунку 4.7, регулятором швидкості та зворотним зв'язком за швидкістю, аналогічно визначаємо форму та параметри регулятора швидкості.

Передаточна функція регулятора швидкості:

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{157,5}{p + 67,68} - \frac{3,577}{p + 198} + 76,97. \quad (4.25)$$

Для перевірки адекватності побудованої системи керування було виконано моделювання у середовищі MATLAB Simulink.

4.7 Моделювання перехідних процесів електропривода стрічкового транспортера

На рисунку 4.8 представлено модель асинхронного двигуна у режимі холостого ходу та з навантаженням.

Рисунки 4.9 і 4.10 відображають механічні характеристики двигуна і графіки перехідних процесів відповідно. Вони показують динаміку зміни моменту, кутової швидкості та кривої збудження при різних умовах роботи.

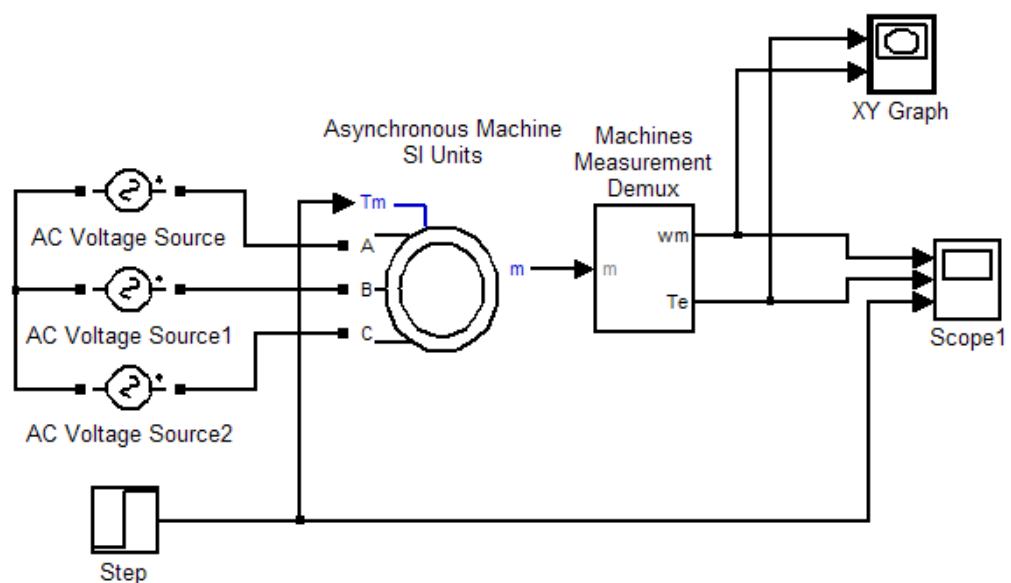


Рисунок 4.8 – Модель асинхронного двигуна в Simulink MATLAB.

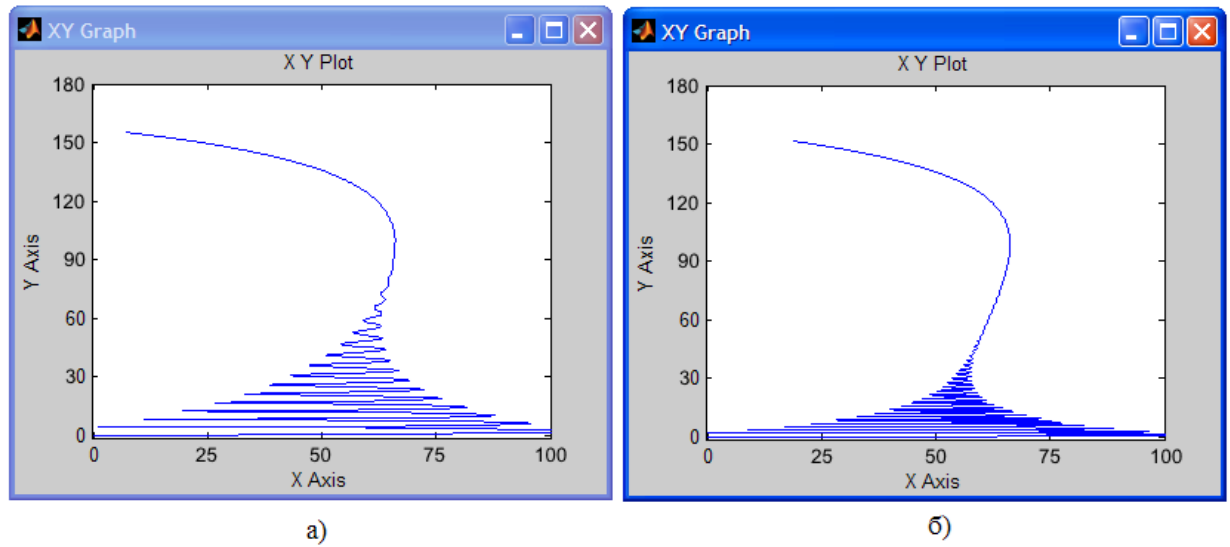


Рисунок 4.9 – Механічні характеристики двигуна для режиму холостого ходу (а) та номінального навантаження (б)

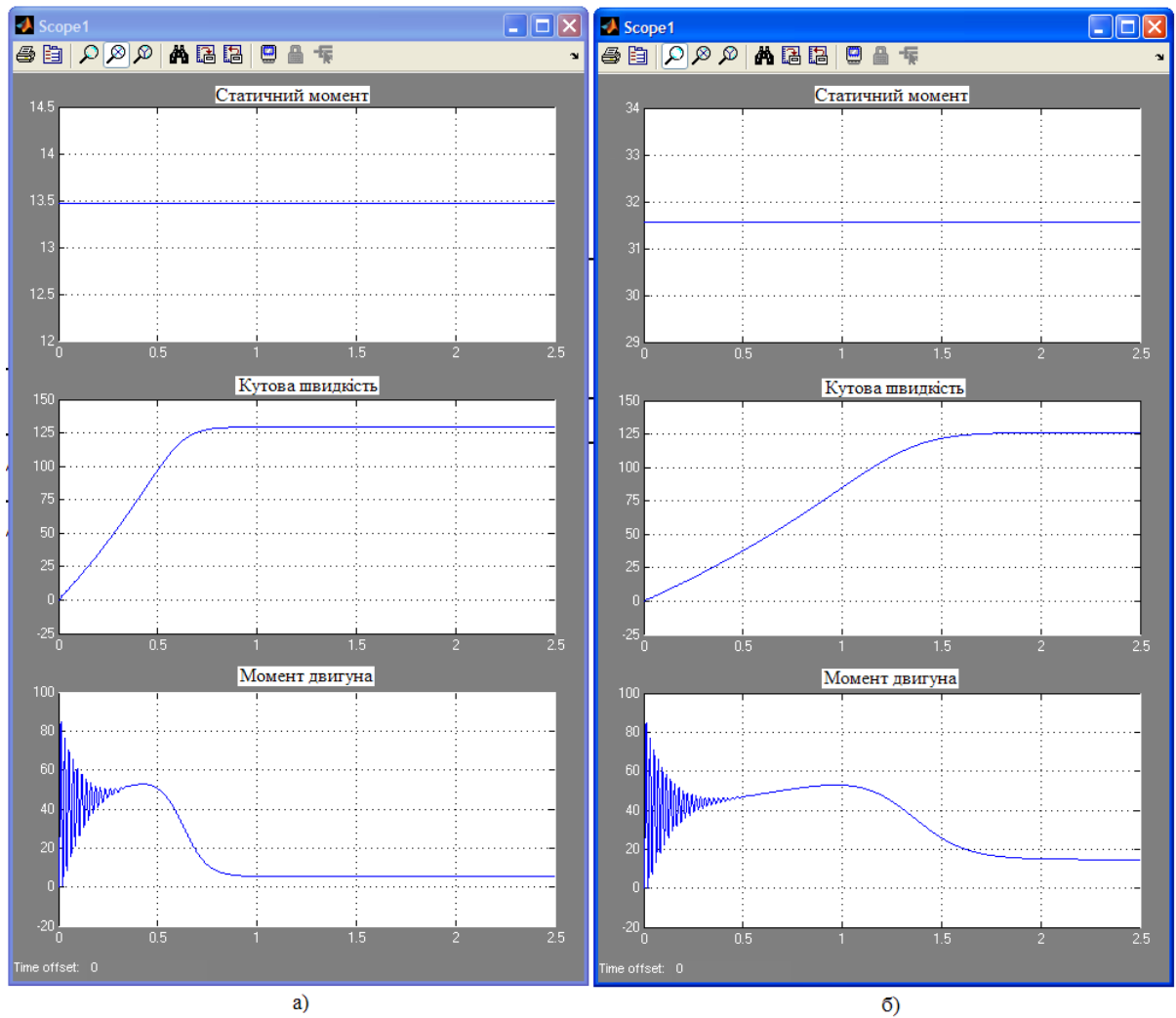


Рисунок 4.10 – Графіки перехідних процесів при холостому ході (а) та номінальному навантаженні виробничого механізму (б)

Модель системи керування з контуром моменту та швидкості, побудована у Simulink, подана на рисунку 4.11. У цій моделі реалізовані розраховані параметри регуляторів. На рисунку 4.12 наведено графіки перехідних процесів при різкому зростанні навантаження.

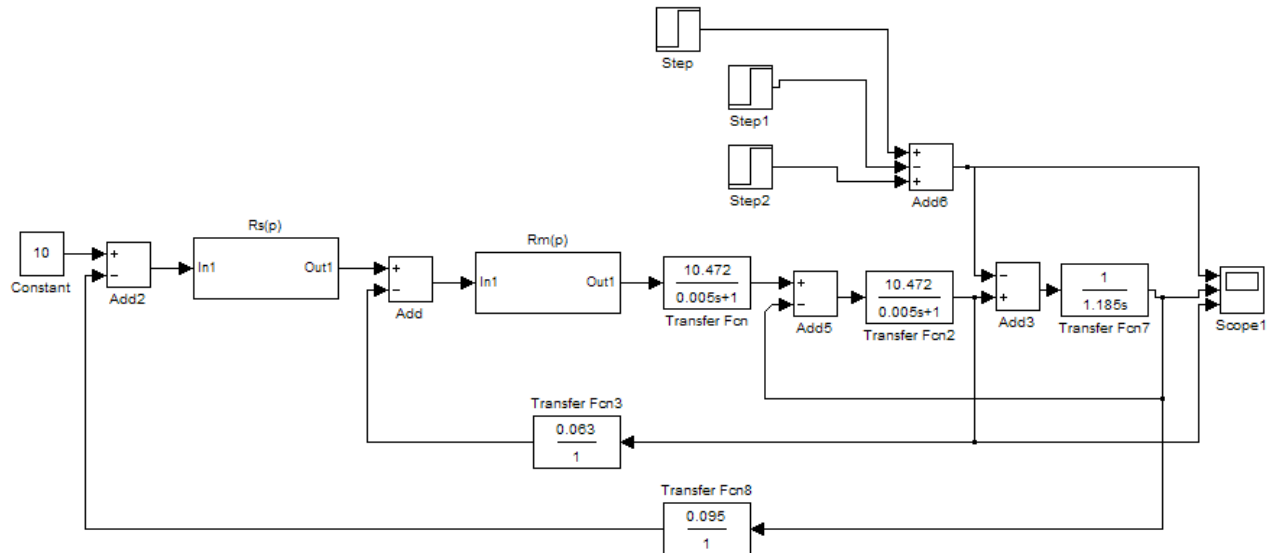


Рисунок 4.11 – Модель системи керування в Simulink MATLAB

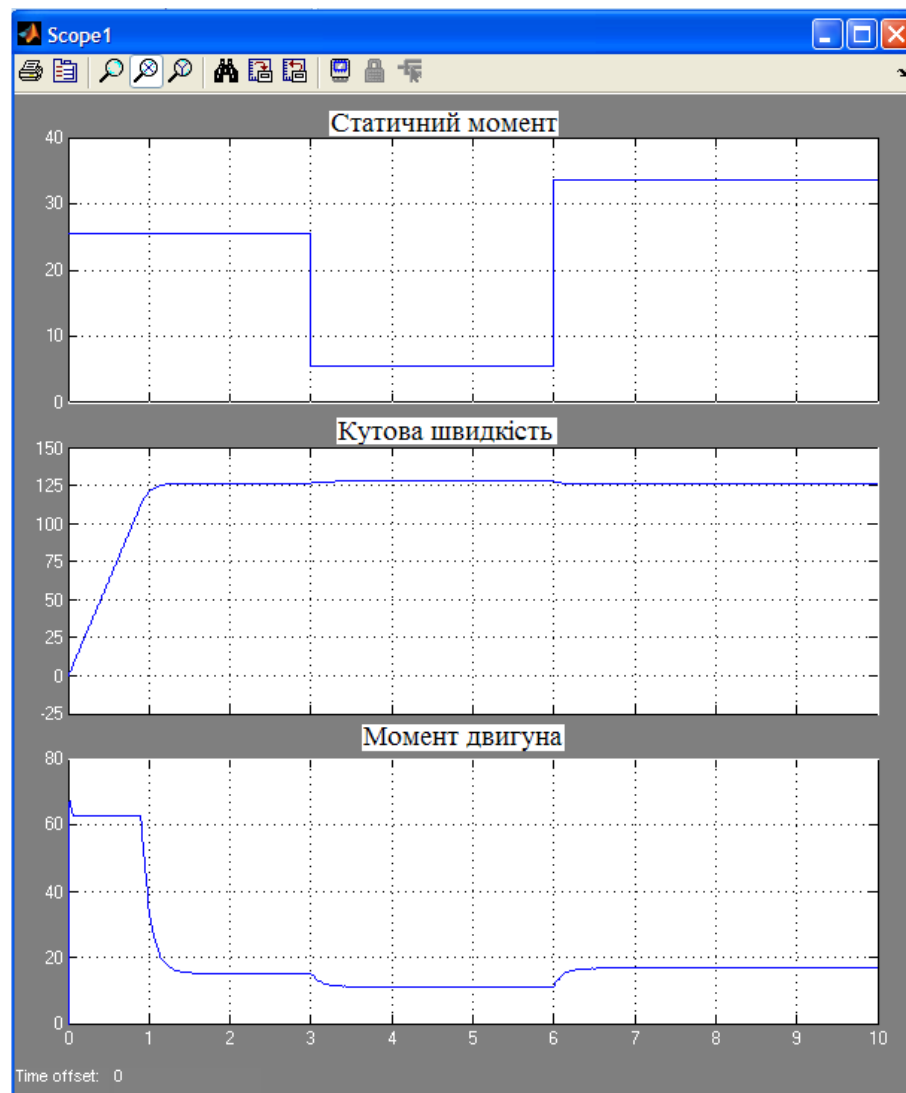


Рисунок 4.12 – Результати моделювання системи при зміні навантаження

З аналізу представлених результатів видно, що при пуску двигун досягає номінальної швидкості обертання за короткий час, після чого стабілізується. У момент зміни навантаження відбувається короткочасне відхилення моменту і швидкості, однак завдяки роботі системи керування відновлюється стабільна робота.

Висновок. Проведено розрахунок динамічного моменту та перевірено відповідність вибраного асинхронного електродвигуна вимогам до пускового режиму, побудовано навантажувальну діаграму та тахограму, що дозволяє оцінити характер зміни моментів під час пуску та номінального режиму роботи. На основі отриманих параметрів розроблено структурну та функціональну схему автоматизованої системи керування електроприводом, що включає контури регулювання струму та швидкості, а також реалізує принципи частотного керування. Здійснено вибір відповідного частотного перетворювача на основі техніко-економічного обґрунтування, що враховує технічні характеристики та вартість обладнання. Побудовано математичну модель системи електропривода і виконано комп'ютерне моделювання у середовищі MATLAB Simulink, результати якого підтвердили адекватність та ефективність розробленої системи керування

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі модернізації та експлуатації електропривода стрічкового конвеєра в умовах ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр». Визначаємо шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [16, 17]: *фізичні фактори*: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); *хімічні фактори*: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); *фактори трудового процесу*: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Електропривод приводних двигунів змінного струму стрічкового конвеєра потребує постійного обслуговування оперативно-ремонтним персоналом. Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмопровідних частин електродвигуна або до частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять у рух, необхідно зупинити електродвигун і на його пусковому пристрої або ключі керування вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди» [18, 19].

Під час роботи на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його

приєднанні в РУ. Під час роботи на електродвигуні напругою до 1000 В або механізмі, який приводиться ним у рух, зняття напруги і заземлення струмопровідних жил кабелю слід виконувати згідно з вимогами.

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів і вентиляторів, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засувки і шибери цих механізмів, а також вжити заходів щодо гальмування роторів електродвигунів.

Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються, під час їх роботи. Обслуговувати щітковий апарат електродвигуна, що працює, допускається одноособово оперативному працівнику або виділеному для цього навченому працівнику з групою III. В цьому разі необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:

- працювати в головному уборі і застібнутому спецодязі, остерігаючись захвату його частинами машини, що обертаються;
- користуватися діелектричним взуттям або гумовими килимками;
- не торкатися руками одночасно до струмопровідних частин двох полюсів або струмопровідних і заземлених частин.

Кільця ротора допускається шліфувати на електродвигуні, що обертається, лише за допомогою колодок з ізоляційного матеріалу, із застосуванням захисних окулярів. Під час роботи на електродвигуні заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаній з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

Якщо на відключеному електродвигуні роботи не провадять або їх перервано на кілька днів, то від'єднана від нього кабельна лінія має бути заземлена з боку електродвигуна. В тих випадках, коли перетин жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається у електродвигунів напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним

провідником, перетином не меншим від перетину з жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення і з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативному журналі нарівні з переносним заземленням.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому провадять роботи, слід вивісити плакати «Стій! Напруга» незалежно від того, перебувають вони в роботі чи у резерві.

Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

Під час видавання дозволу робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу – в оперативному журналі цеху (дільниці), що провадить випробування.

Ремонт і налагоджування електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконавчим механізмом, регулювальних органів і запірної арматури, можна проводити за розпорядженням. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на виведення електроприводу в ремонт, налагодження. Про це слід зробити запис під час оформлення розпорядження.

Вмикання електродвигуна для випробування до повного закінчення роботи здійснюється після виведення бригади з робочого місця. Після випробування провадиться повторний допуск з оформленням у наряді. Під час виконання роботи за розпорядженням на повторний допуск розпорядження дається знову.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання ліфтів і системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою,

тому що підлога у приміщеннях, що реконструюються та будуються, є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх потрібно захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями – 5 см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробоя і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення

Оперативно-ремонтні з обслуговування приводного двигуна змінного струму відносяться до категорії Пб по важкості праці [20]. Енерговитрати за цією категорією становлять – до 140-174Вт. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря

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

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [20].

При здійсненні монтажних робіт виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні в приміщення може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при оздоблювальних технологічних процесах в будівництві, що знаходяться в повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

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

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ДСН [7] проектом передбачені наступні рішення [21]: застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на ділянках 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.

5.2.3 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність. Характеристика зорових робіт – середньої точності [22]. Відповідно з ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в табл. 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп [E27 LED 15W NW A60 "SG"](#). Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів).

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		

Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4
--------------------	------------------------	----	---	------------------------	-------------------------	-----	-----	---	-----

5.2.4 Виробничий шум

Під час виконання монтажних робіт виникає виробничий шум з такими характеристиками: за характером спектру – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – механічний і гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 3.3.6.037 [23] і наведені в таблиці 5.4.

Для зменшення рівня шуму до допустимого двигуни будівельних машин і механізмів виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	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	80

5.2.5 Виробничі вібрації

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 загальної вібрації на постійних місцях у виробничих приміщеннях [24] наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-

В чисельнику 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 резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [25, 26]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Приміщення кар'єру, де встановлюється обладнання приводу двигунів змінного струму стрічкового конвеєра, за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються)

зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.6.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [26] наведено в таблиці 5.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.8 (знаменник) [26].

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормують-ся	

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративними будинками, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

В приміщенні, де знаходиться обладнання приводу двигунів змінного

струму стрічкового конвеєра, встановлено 5 вогнегасників ВП-5(8).

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено систему автоматизованого електропривода стрічкового транспортера, призначену для забезпечення регульованого транспортування сипких матеріалів крупної фракції, таких як щебінь, гравій, відсів відповідно до виробничих вимог.

На основі аналізу технологічного процесу та порівняльного техніко-економічного обґрунтування обрано оптимальну структуру електропривода на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та частотним керуванням (система типу ПЧ–АД). Для приводу було обрано електродвигун потужністю 5,5 кВт і частотний перетворювач Siemens SINAMICS потужністю 7,5 кВт.

Проведено розрахунок основних навантажувальних параметрів: побудовано тахограму, визначено статичні та динамічні моменти, здійснено перевірку електродвигуна за умовами пуску. Побудовано природну механічну характеристику двигуна за формулами Клосса та Чекунова.

В рамках роботи виконано побудову навантажувальної діаграми, розраховано параметри регуляторів контурів струму та швидкості. Розроблено математичну модель системи керування, на основі якої здійснено комп'ютерне моделювання в середовищі MATLAB та перевірено працездатність розробленої системи. В результаті моделювання зроблено висновки про адекватність поведінки системи реальним фізичним та електромеханічним процесам, що підтверджує правильність прийнятих технічних рішень.

Розроблено структурну, функціональну та принципову електричні схеми системи приводу, обґрунтовано вибір апаратної реалізації, виконано підбір елементної бази.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці при експлуатації системи електропривода, а також надійності та безпечності її функціонування.

Результати роботи мають практичну цінність і можуть бути реалізовані в системах автоматизації транспортного обладнання на підприємствах видобувної та переробної промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ТОВ «Гранітний кар'єр». Офіційний сайт : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gran-karier.com.ua/>
2. Машинобудування. Схеми. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.79401.cz/strojnictvi/zkousky_pdf/zkousky_strojnictvi_E.pdf
3. Продуктивність стрічкового конвеєра. Розрахунок. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.granconveyor.com/how-to-calculate-tph-of-belt-conveyor/>
4. Systemax. Трифазні асинхронні електродвигуни загальнопромислового призначення AIR [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://systemax.ua/ua/elektrodvigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodvigateli/air/>
5. Forbo Siegling. Calculation methods – conveyor belts [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://forbo.blob.core.windows.net/forbodocuments/_/7375/304_fms_transilon-calculation-methods-conveyor-belts_en.pdf
6. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 101 с.
7. Датчик контролю сходу стрічки типу КСЛ-2 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <http://delcom.com.ua/production/catalogue/ksl-2/>
8. Вимоги до конвеєрного транспорту, вантажопотоку, сфер застосування, характеристики вантажів., [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://bukvar.su/promyshlennost-proizvodstvo/page,5,89079-Issledovanie-irazrabotka-SAR-skorosti-lenty-konveyera-KL5250-dlya-eksavatora-ERSHR-D5250.html>
9. Ловеїкін В. С., Ромасевич Ю. О. Частотне керування асинхронним приводом: методичні вказівки для самостійної роботи з

дисципліни «Основи електропривода» для студентів напряму підготовки 6.100101 – «Енергетика та електротехнічні системи в АПК». – Ніжин: [б. в.], 2011. – 98 с.

10. SINAMICS G120C. Frequency Converter 6SL3210-1KE21-7UB1 [Електронний ресурс] // Siemens Industry Mall. – Режим доступу: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/se/Catalog/Product/6SL32101KE217UB1>

11. Тиристори. Режим доступу: <http://kazus.ru/guide/thiristors/t161-125-160.html>

12. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.

13. Siemens G120C [Електронний ресурс] // Lprom.com.ua. – Режим доступу: <https://lprom.com.ua/tekhnologiya-elektroprivoda/preobrazovateli-chastoty/siemens-g120c-380v-7-5-kvt-37>

14. Вимикач кабель-тросовий КТВ-2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://contragent.com.ua/produksiya/g-sh-o/item/vyklyuchatel-kabel-trosovyj-ktv-2>

15. Anreite. Принцип роботи стрічкового конвеєра [Електронний ресурс] // Anreite Industrial Technology Co., Ltd. – Режим доступу: <https://www.anreite.com/news/product-knowledge/20230630445.html>

16. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

17. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

18. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.
19. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
20. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
22. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
24. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
25. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
26. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
27. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

Додаток А

(Обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Мошнорізі М. М.

“ 4 ” березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

Модернізація електропривода стрічкового транспортера в умовах товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

08-24.БКР.010.00.000 ТЗ

Керівник роботи

доцент

М. М. Бабій

“ 4 ” березня 2025 р.

Виконавець: ст. гр. ЕМСА-216

Б. М. Колісник

“ 4 ” березня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Модернізація електропривода стрічкового транспортера в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод транспортера».

Замовник – кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електропривод стрічкового конвеєра призначений для транспортування готової гранітної продукції в умовах кар'єра.

4 Вимоги до розробки

Електропривод стрічкового конвеєра повинен забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі. Експлуатація здійснюється в умовах запиленості приміщень, підвищеної вологості повітря.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу.

6 Технічні характеристики

Кількість двигунів – 1 шт.; продуктивність транспортера – 50 т/год.

7 Джерела розробки

Індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу.

8 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

9 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, що реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	06.05.2025
Графічна частина	20.05.2025
Охорона праці	20.05.2025

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на півроку. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане трифазною напругою 0,4 кВ від силової мережі підприємства.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА В
УМОВАХ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР»

Актуальність роботи

Актуальність теми. У зв'язку з постійним зростанням потреби в будівельних матеріалах зростає роль механізованих систем транспортування, зокрема стрічкових конвеєрів, які широко використовуються на гранітних кар'єрах. Такі конвеєри забезпечують безперервне й ефективне переміщення вантажів, що особливо важливо для сучасних високопродуктивних підприємств.

Актуальною є задача модернізації автоматизованого електропривода стрічкового транспортера, здатного змінювати продуктивність у залежності від технологічних умов. Це вимагає застосування сучасних засобів електроприводної техніки, керування та мікропроцесорної електроніки, що й зумовлює практичну цінність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Мета роботи: розробка автоматизованої системи електроприводу стрічкового транспортера, що забезпечує регулювання продуктивності транспортування матеріалу відповідно до технологічних вимог кар'єрного виробництва.

Мета досягається шляхом вирішення наступних задач:

- аналіз літературних джерел по темі роботи;
- визначення основних параметрів виробничого механізму, від яких залежить вибір типу електродвигуна та системи керування;
- моделювання роботи системи електропривода з урахуванням динамічних режимів роботи.

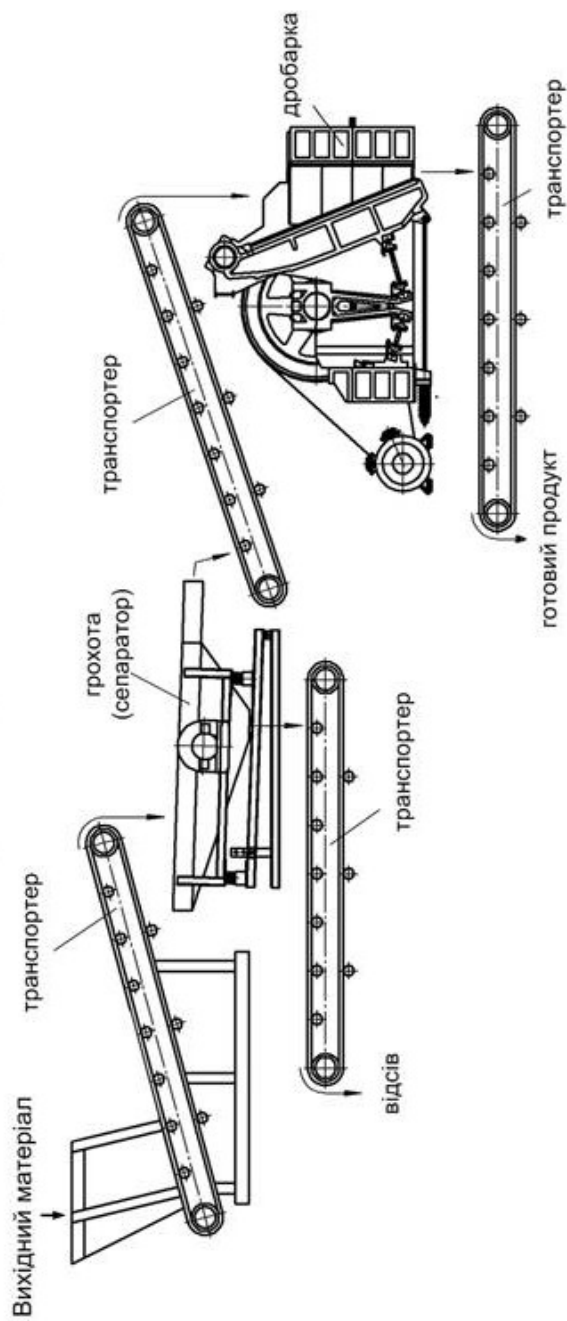
Об'єкт дослідження – процес роботи електричного приводу стрічкового транспортера, що використовується для транспортування щебеню.

Предмет дослідження – структура та параметри системи керування електроприводом стрічкового транспортера з регульованою швидкістю.

Методи досліджень: аналітичні – для огляду технічної літератури та нормативної документації; теорії електричного приводу – для розрахунку потужності приводного двигуна; теорії автоматичного керування та систем керування – для синтезу системи керування; комп'ютерного моделювання – для перевірки прийнятих рішень.

Постановка задачі проектування. Згідно завдання у роботі необхідно вдосконалити електропривод транспортера гранітного кар'єру, застосувавши для нього сучасні технічні рішення, виходячи з умов роботи даного технологічного механізму, вимог по надійності, ефективності та економічності.

Технологічний процес виробництва гранітної продукції



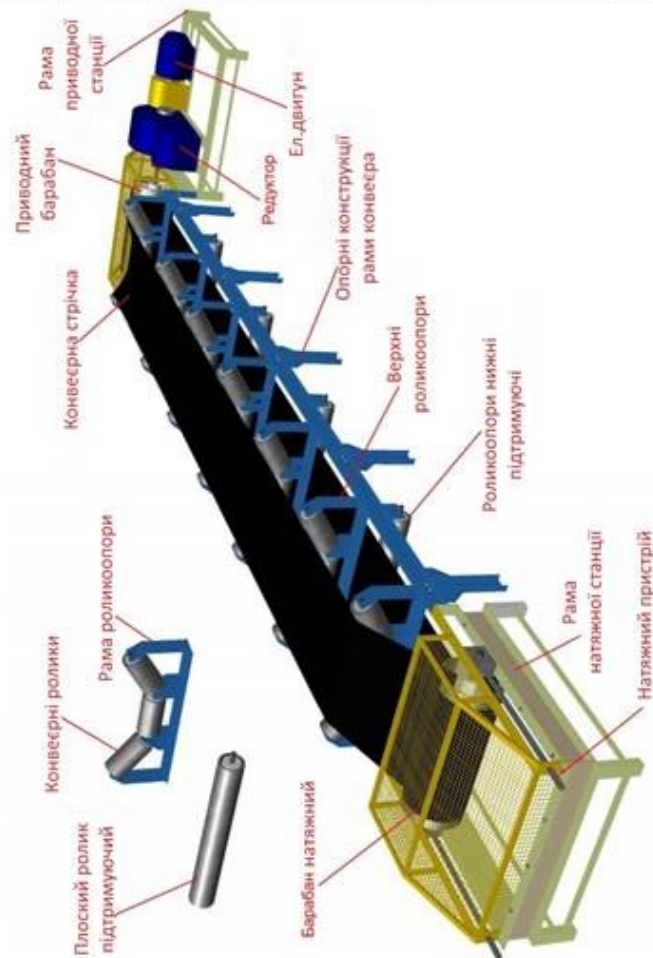
Узагальнена схема технологічного процесу виробництва щебеню



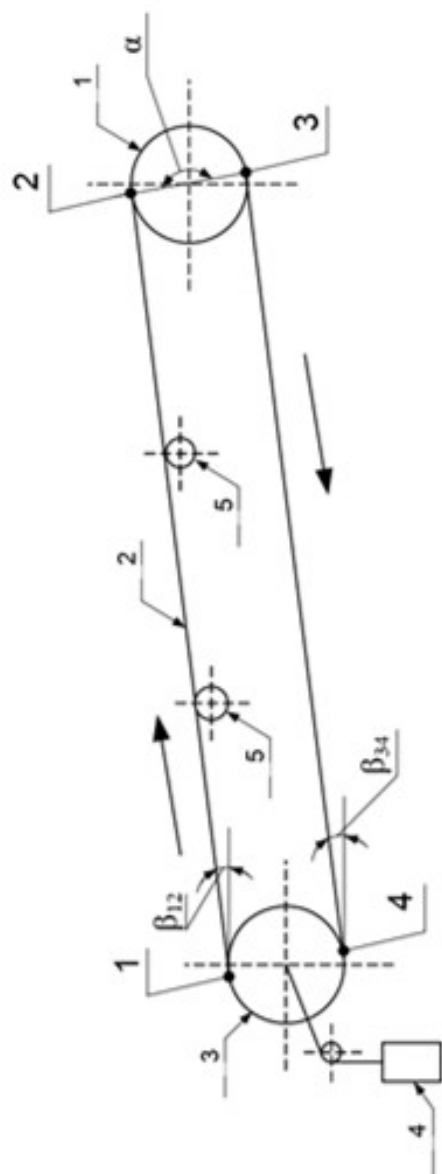
Загальний вигляд стрічкового транспортеру в умовах ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

Конструкція і технічні параметри транспортера

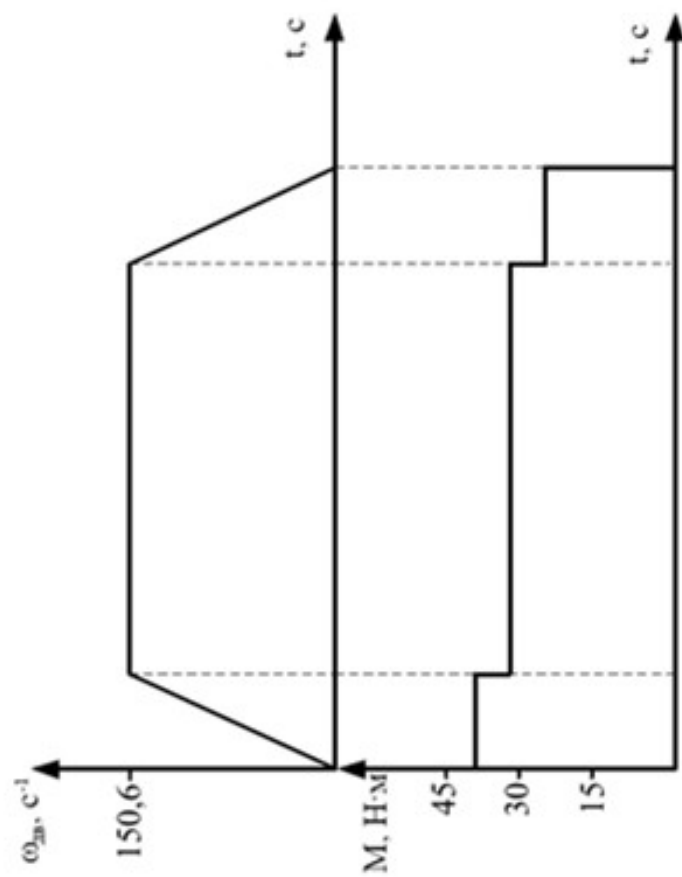
Параметри	Значення
Продуктивність транспортера, т/год.	50
Довжина транспортера, м	25
Допустиме прискорення стрічки, м/с ²	0,12
Кількість роликкоопор, шт.	5
Маса 1 м стрічки транспортера, кг	9
Сумарний коефіцієнт опору на ділянці вигину	0,6
Коефіцієнт тертя	0,3
Діаметр приводного барабана, м	0,4
Діаметр роликів, м	0,1
Діаметр натяжного барабана, м	0,325
Ширина барабана, м	0,7
Кут нахилу транспортера до горизонту, рад	0,263
ККД механізму при номінальному навантаженні	0,9
Коефіцієнт, що враховує пружні деформації	0,65
Кут обхвату приводного барабана, рад	3,158



Кінематичні характеристики транспортера



Кінематична схема стрічкового транспортера



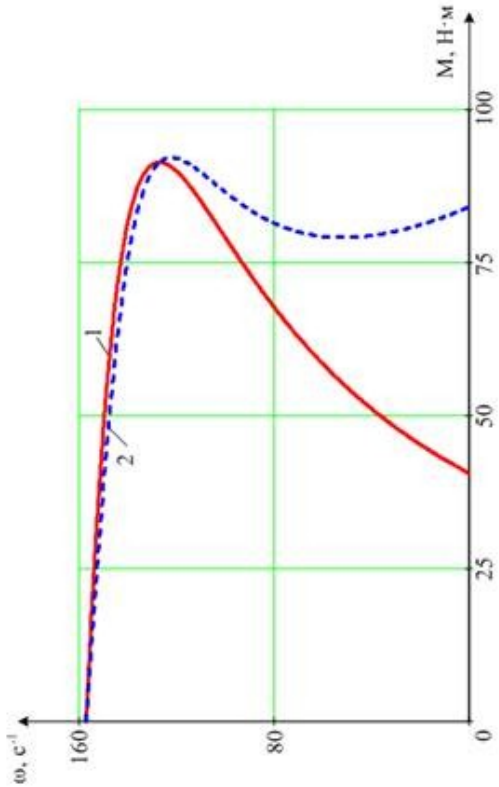
Тахограма руху та навантажувальна діаграма

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

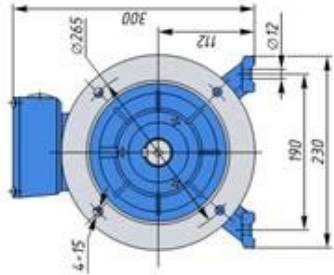
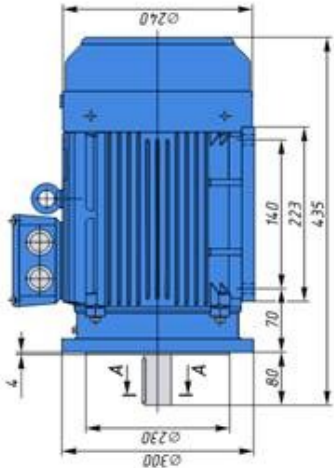
Показник	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-ДПС	ПЧ-АД
Вартість двигуна D , грн	30000	20000	30000	8500
Вартість системи керування СК, грн	7000*	7000*	35000	12000
Капітальні вкладення K , грн	37000	26000	65000	20500
Річні капітальні витрати $K_{річн.}$ грн/рік	6290	5420	11050	3485
Амортизаційні відрахування C_A грн/рік	3700	2600	6500	2050
Відрахування на ремонт C_R , грн/рік	740	520	1300	410
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	5316,9	3736,2	2227,4	2945,9
Відрахування на обслуговування C_O грн/рік	487,3	342,4	856,1	270
Загальні відрахування C , грн/рік	10244,2	7198,6	17996,6	5675,8
Приведені витрати Z грн/рік	16534,2	11618,6	29046,6	9160,8

Характеристики вибраного електродвигуна

Параметри	Значення
Тип двигуна	АІР112М4 У3
Номінальна потужність $P_{ном}$, кВт	5,5
Номінальна напруга $U_{ном}$, В	380
Номінальна частота обертання $n_{ном}$, об/хв	1440
$\cos\varphi_{ном}$	0,85
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{ном}$, %	85
Номінальний момент $M_{ном}$, Н·м	36,7
Пусковий момент $M_{пуск}$, Н·м	84,4
Максимальний момент M_{max} , Н·м	91,7
Номінальний струм статора $I_{1 ном}$, А	11,7
Пусковий струм $I_{1 пуск}$, А	70,2
Момент інерції ротора $J_{рот}$, кг·м ²	0,015
Маса, кг	50
Режим роботи	S1 (тривалий)

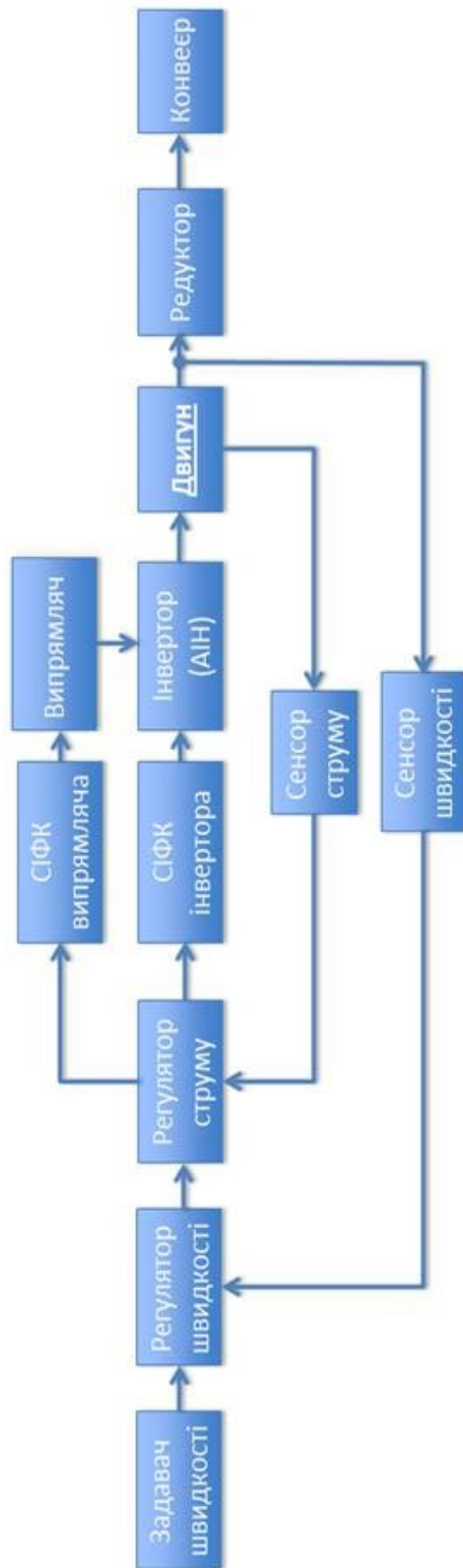


Природні механічні характеристики за формулами
Клоса (1) та Чекунова (2)

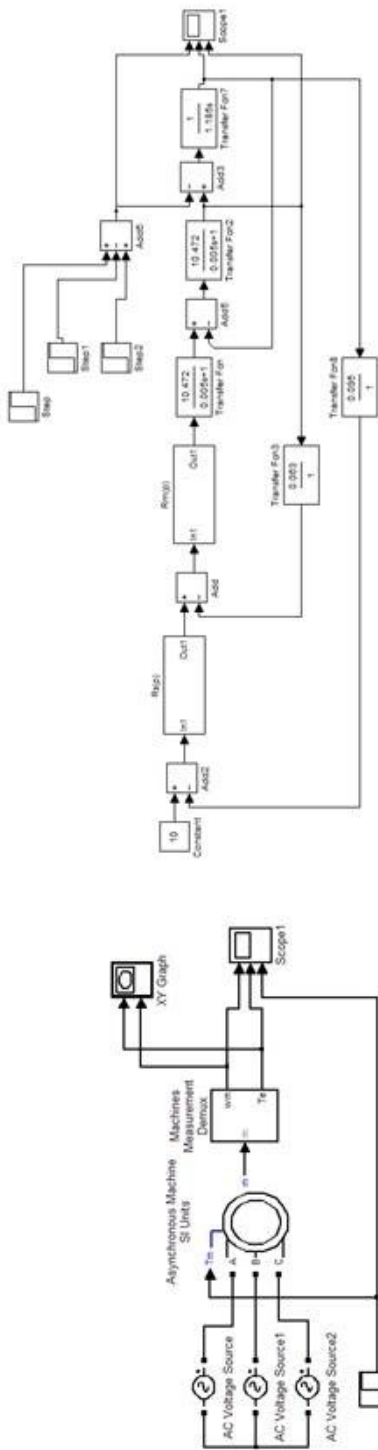


Зовнішній вигляд електродвигуна

Структурна схема електропривода

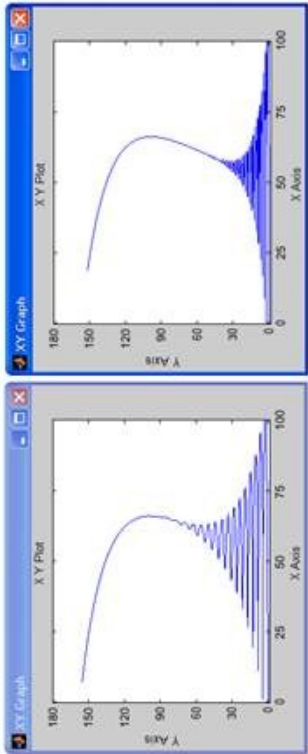


Результати моделювання системи електропривода



Модель системи керування в Simulink MATLAB

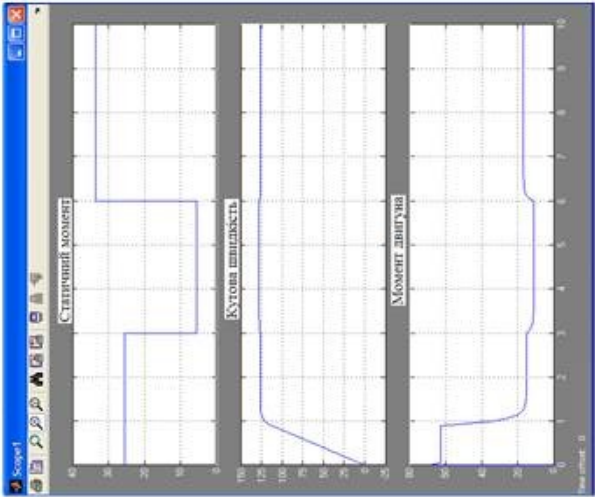
Модель електродвигуна в Simulink MATLAB



б)

а)

Механічні характеристики двигуна для режиму холостого ходу (а) та номінального навантаження (б)



Результати моделювання системи при зміні навантаження

Висновки

В бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено систему автоматизованого електропривода стрічкового транспортера, призначену для забезпечення регульованого транспортування транспортування сипких матеріалів крупної фракції, таких як щебінь, гравій, відсів відповідно до виробничих вимог.

Проведено розрахунок динамічного моменту та перевірено відповідність вибраного асинхронного електродвигуна вимогам до пускового режиму, побудовано навантажувальну діаграму та тахограму, що дозволяє оцінити характер зміни моментів під час пуску та номінального режиму роботи. На основі отриманих параметрів розроблено структурну та функціональну схему автоматизованої системи керування електроприводом, що включає контури регулювання струму та швидкості, а також реалізує принципи частотного керування. Запропоновано і обґрунтовано структуру електропривода стрічкового транспортера із застосуванням частотного перетворювача, що дозволяє реалізувати гнучке керування подачею сировини з урахуванням змін у технологічному процесі. Обґрунтований вибір приводного електродвигуна та перетворювача частоти, розраховані їх механічні характеристики.

Здійснено вибір відповідного частотного перетворювача на основі техніко-економічного обґрунтування, що враховує технічні характеристики та вартість обладнання. Запропоновано математичну модель системи електропривода і виконано комп'ютерне моделювання у середовищі MATLAB Simulink, результати якого підтвердили адекватність та ефективність розробленої системи керування.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація електропривода стрічкового транспортера в умовах товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism **8,56 %**

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

✓ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Бабій С.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Колісник Б.М.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.009.00.000				
					Модернізація електропривода стрічкового транспортера в умовах ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»	Літ.	Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата					
Розробив:		Колісник Б.М.		20.03					
Перевірів		Бабій С.М.		20.03					
Т. контр.									
Реценз		Байков		18.06		Аркуш	Аркушів		
Норм.кон.		Мішко		03.06		ВНТУ, гр. ЕМСА-216			
Затверд.		Мошноріз М.М.		03.06					

					08-24.БДР.009.00.000				
					Модернізація електропривода стрічкового транспортера в умовах ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»	Літ.	Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата					
Розробив:		Колісник Б.М.		20.03					
Перевірив		Бабій С.М.		20.03					
Т. контр.									
Реценз		Байдинов		18.06		Аркуш	Аркушів		
Норм.кон.		Мішко		03.06		ВНТУ, гр. ЕМСА-216			
Затверд.		Мошноріз М.М.		03.06					