

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"
Зав.кафедрою АВП
к.т.н., доцент
_____ Дідик О.К.
" ____ " _____ 2024р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему

"Автоматизована система керування вантажопотоками дробильно-
сортувальної фабрики гірничо-збагачувального комбінату"

"Automated cargo flow control system for the crushing and and screening
plant of a mining and processing plant"

Виконав: здобувач вищої освіти
IV курсу, групи АК-21-3ск
ОПП «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
спеціальність 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
_____ Вадим ГОЛІКОВ
" ____ " _____ 2024р.

Керівник роботи
професор, д-р техн.наук
_____ Василь КОНДРАТЕЦЬ
" ____ " _____ 2024р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ	5
1.1. Коротка характеристика процесу автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	5
1.2. Опис методів автоматизації процесу керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	10
1.3. Огляд і аналіз існуючих аналогів, що реалізують автоматизоване керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики ..	15
1.4. Розробка технічних вимог до автоматизованої системи керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	20
2. Обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу	24
2.1. Математичний опис процесу автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	24
2.2. Розробка структурної схеми та розрахунки для вибору обладнання для системи автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	35
2.3. Вибір складу обладнання для системи автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	41
3. Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи	44

3.1. Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	44
3.2. Апробація системи автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	54
3.3. Розробка технічних рішень з автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики	60
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Оптимізація управління вантажопотоками на гірничодобувному підприємстві є важливим завданням, яке принесе значний ефект, особливо при кризовому скороченні обсягів видобутку. Для комплексів машин безперервного транспорту в циклічно-поточних технологіях стрічкові конвеєри можуть переміщувати вантаж на великі відстані з мінімальними експлуатаційними та енергетичними витратами і наразі не мають альтернатив.

Конвеєри, об'єднані в розгалужені конвеєрні лінії великої довжини та високої продуктивності, є ключовими елементами для вирішення транспортних завдань підприємства. Для цього використовуються системи управління конвеєрним транспортом і багатодвигунні регульовані електроприводи конвеєрів.

Поряд з європейськими компаніями, Україна освоїла виробництво мікропроцесорних систем управління конвеєрним транспортом та комплектів обладнання для регульованих рудничних електроприводів у нормальному рудниковому виконанні. Це обладнання базується на використанні сучасних, перевірених промислових контролерів, перетворювачів частоти та шинних систем комунікації, візуалізації та діагностики.

Можливості цього обладнання наразі використовуються не повністю і мають великий потенціал для розвитку та широкого впровадження на рудниках. Основною метою є досягнення екстремуму узагальненого функціонала якості (критерію ефективності), який включає такі складові: продуктивність транспортування вантажів, безпеку експлуатації, а також матеріальні, енергетичні та інформаційні витрати.

Ці компоненти мають певну оцінку та значимість, яка відрізняється для кожного підприємства та умов його функціонування.

Зазвичай, транспортну задачу вирішують шляхом мінімізації витрат на тонно-кілометр транспортування. Для систем без регулювання швидкості оптимізуються тимчасові графіки роботи обладнання для виконання видобувних

завдань. Проте виконання цих графіків пов'язане з багатьма непередбаченими обставинами. Управління зводиться до пуску та зупинки конвеєрів, а ефективність забезпечується властивостями їх елементів.

Автоматичне керування зміною швидкості конвеєрів відкриває такі додаткові можливості, як:

1. Формування діаграм прискорення і гальмування (зупинки) з фіксацією початку і кінця процесу, або з оптимізацією часткової функції якості на етапах розгону / зупинки.

2. Керування швидкістю з метою оптимізації (зниження) енергоспоживання, зменшення зносу механічних частин або покращення інших показників, таких як час завантаження та прийому вантажу, кількість вантажу на конвеєрі при роботі зі змінною продуктивністю завантаження та у змінних умовах (наприклад, вологість чи температура навколишнього середовища).

3. Розподіл навантаження між вісями багатодвигунних приводних станцій і проміжними приводами для збалансування навантажень, уникнення просковзування та зменшення попереднього натягу стрічок.

4. Забезпечення контрольованих активних моментів і утримуючих сил у приводах конвеєрів під час зупинки та в режимі рекуперації енергії.

Виділення в задачі управління вантажопотоком вказаних завдань, які забезпечують оптимальність або раціональність управління, дозволяє спростити загальний алгоритм управління та визначити вимоги до підсистем стосовно їх складу, структури й продуктивності.

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

1.1 Коротка характеристика процесу автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

На збагачувальних фабриках проводяться послідовні операції переробки корисних копалин, які призводять до розділення корисних компонентів від домішок [15]. Процеси переробки корисних копалин класифікуються за їхнім призначенням на підготовчі, основні (збагачувальні) та допоміжні (заклучні). Підготовчі процеси спрямовані на розкриття або відкриття зерен корисних компонентів (мінералів), що містяться в корисних копалинах, та їхнє поділ на класи крупності, що відповідають технологічним вимогам наступних процесів збагачення. До підготовчих процесів відносяться дроблення, подрібнення, грохочення та класифікація.

Дроблення і подрібнення - це процес технологічної операції, спрямований на руйнування та зменшення розмірів грудок мінеральної сировини (корисної копалини) за допомогою зовнішніх механічних, теплових і електричних сил, що спрямовані на подолання внутрішніх сил зчеплення, які утримують разом частинки твердого тіла.

Роздрібнення та подрібнення фізично не різняться між собою принципово. Зазвичай вважають, що під час роздрібнення отримують продукти, розмір яких більший за 5 мм, у той час як під час подрібнення - менший за 5 мм.

Розмір максимальних часток, на які необхідно роздробити або подрібнити корисну копалину перед її збагаченням, залежить від розміру включень основних складових, які містяться у корисній копалині, а також від технічних можливостей устаткування, призначеного для наступної обробки дробленого (подрібненого) матеріалу.

Методи грохочення та класифікації використовуються для розділення корисної копалини на фракції різної крупності, або класи крупності. Грохочення

виконується шляхом просіювання корисної копалини через решета та сита з відкаліброваними отворами, щоб отримати дрібний (підрешітний) та крупний (надрешітний) продукти. Цей процес застосовується для розділення корисних копалин за розміром на просівних поверхнях з отворами різного діаметру, від декількох міліметрів до декількох сотень міліметрів.

В залежності від розміру початкового та роздробленого продуктів існують три етапи дроблення і три етапи подрібнення (табл.1.1) [15].

Таблиця 1.1 - Стадії дроблення і подрібнення

Дроблення			Подрібнення			
Стадія	Крупність продуктів, мм		Стадія	Крупність продуктів		
	вихід-ного	дробленого		Розмір зерна (мм) в		Вміст класу - 0,074 мм в подрібненому, %
				вихідному	подрібненому	
Крупне дроблення	1200 - 500	350 - 100	Крупне подрібнення	20 – 40	до 5	50 – 60
Середнє дроблення	350 - 100	100 - 40	Середнє подрібнення	до 5	до 0,6	60 - 80
Дрібне дроблення	100 - 40	40 - 10	Тонке подрібнення	до 5	до 0,15	понад 85

При подрібненні будь-яких матеріалів важливо дотримуватися принципу "унікальної дроблення", оскільки зайве подрібнення призводить до непотрібних витрат електроенергії, збільшення зносу обладнання та зменшення його продуктивності, що впливає на ефективність процесу обробки.

Однією з кількісних характеристик процесів дроблення і подрібнення є ступінь дроблення або подрібнення, який визначається як відношення розмірів зерна вихідного матеріалу до розмірів зерна матеріалу після дроблення (подрібнення). У промислових умовах для орієнтовного визначення цього ступеня широко використовується певна формула.

$$i = D_{max} / d_{max}, \quad (1.1)$$

де i – ступінь дроблення (подрібнення); D_{max} – розмір максимального зерна (грудки) у вихідному матеріалі, мм; d_{max} – Максимальний розмір частинки у подрібненому матеріалі, в мм.

Для більш точної оцінки ступеня дроблення (подрібнення) використовується співвідношення середніх діаметрів у продуктах до та після проведення процесу дроблення (подрібнення).

$$i = D_{cp}/d_{cp}, \quad (1.2)$$

де D_{cp} – середній діаметр зерен (грудок) вихідного матеріалу, мм; d_{cp} – середній діаметр зерен дробленого (подрібненого) матеріалу, мм.

На збагачувальних заводах зазвичай проводять дроблення та подрібнення корисних копалин на кілька етапів через те, що неможливо досягти необхідного ступеня дроблення в одній машині. Частину загального процесу дроблення або подрібнення, яка відбувається в межах однієї машини, називають етапом дроблення (подрібнення). Ступінь дроблення (подрібнення), який досягається на окремому етапі, вважається частковим, а загальний ступінь дроблення обчислюється як добуток ступенів дроблення (подрібнення) на кожному окремому етапі.

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n. \quad (1.3)$$

Кількість етапів дроблення і подрібнення залежить від фізико-механічних характеристик корисної копалини, розподілу корисного мінералу та необхідної крупності для наступних процесів збагачення. Машини, що виконують ці операції, відомі як дробарки і млини. Ефективність роботи дробарок (млинів) визначається кількістю обробленого матеріалу на 1 кВт·год спожитої електроенергії.

Для подрібнення великих, середніх і дрібних твердих і крихких порід рекомендується використовувати метод роздавлювання, а для твердих і в'язких порід - роздавлювання з використанням стирання [15]. М'які і крихкі породи

піддаються розколюванню для великого подрібнення, середні і дрібні - удару. Дробарки і млини можуть працювати в відкритих і замкнутих циклах. Залежно від потрібного ступеня подрібнення на збагачувальних фабриках застосовують одно-, дво-, три- і чотиристадійні схеми дроблення і подрібнення.

В схемах дроблення і подрібнення використовуються різноманітні типи стадій, як показано на рис.1.1: стадія А – відкрита; стадія Б – відкрита з переднім грохоченням; стадія В – замкнута з контрольним грохоченням; стадія Г – замкнута з комбінованим переднім і контрольним грохоченням; стадія Д – замкнута з окремими переднім і контрольним грохоченням.

Зазвичай використовується метод сухого дроблення. Мокре дроблення застосовується у випадках, коли гірнича маса містить глину (такі як марганцеві, бурозалізнякові та інші руди). Розмелювання зазвичай проводиться за допомогою мокрого методу. Сухе розмелювання застосовується тоді, коли додавання води необхідно уникнути (наприклад, при виготовленні пилоподібного палива), а також у випадках сухого збагачення розмеленого продукту.

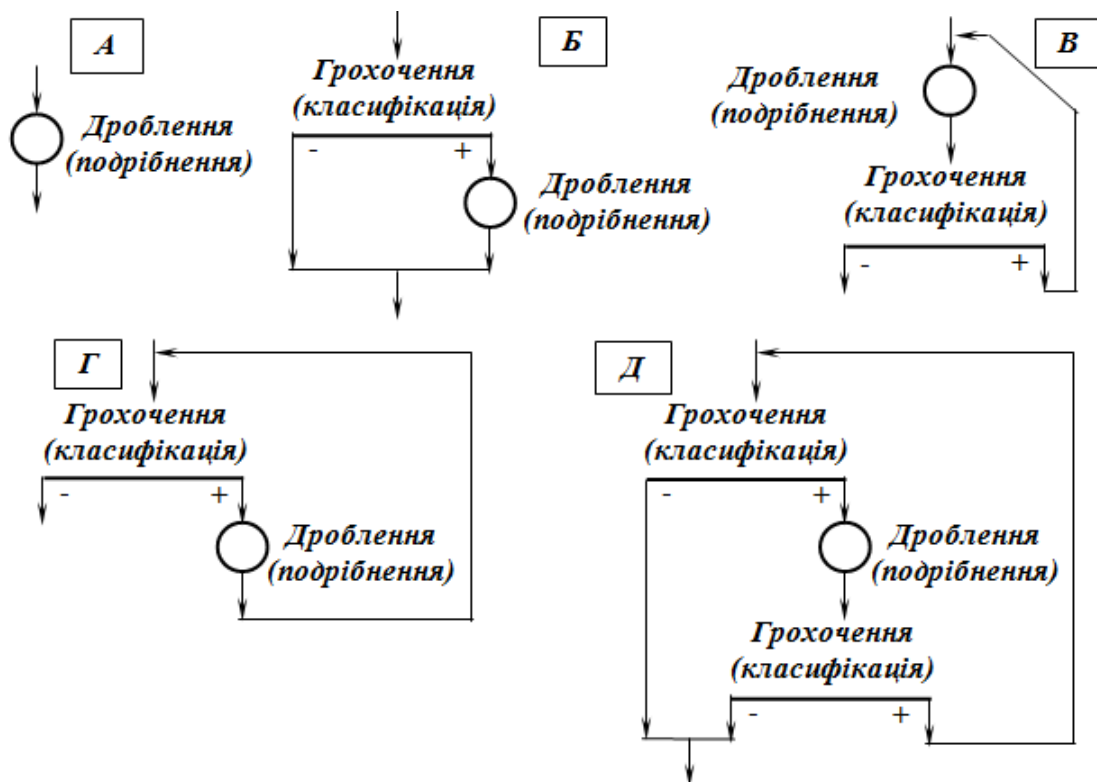


Рисунок 1.1 – Різновиди одностадійних схем дроблення і подрібнення.

Руда, що перевозиться у залізничних вагонах, розгружається на роторних вагоноперекидачах в бункер дробарки для грубого подрібнення, яка призначена для регулювання потоку матеріалу. Після подрібнення до розміру 350-0 мм, руда подається до бункера зони середнього і дрібного подрібнення через стрічковий транспортер (рис.1.2), який також використовується для рівномірного розподілу неперервного потоку руди. Зона складається з кількох, в середньому від п'яти до восьми ліній подрібнення. Кожна лінія включає в себе нормальноконусну (НКД) і короткокonusну (ККД) дробарки другої стадії, а також вузол проміжного грохочення перед дробаркою третьої стадії. Нормальноконусні дробарки (друга стадія) живляться рудою з бункера середнього дроблення, в який подається продукт першої стадії.

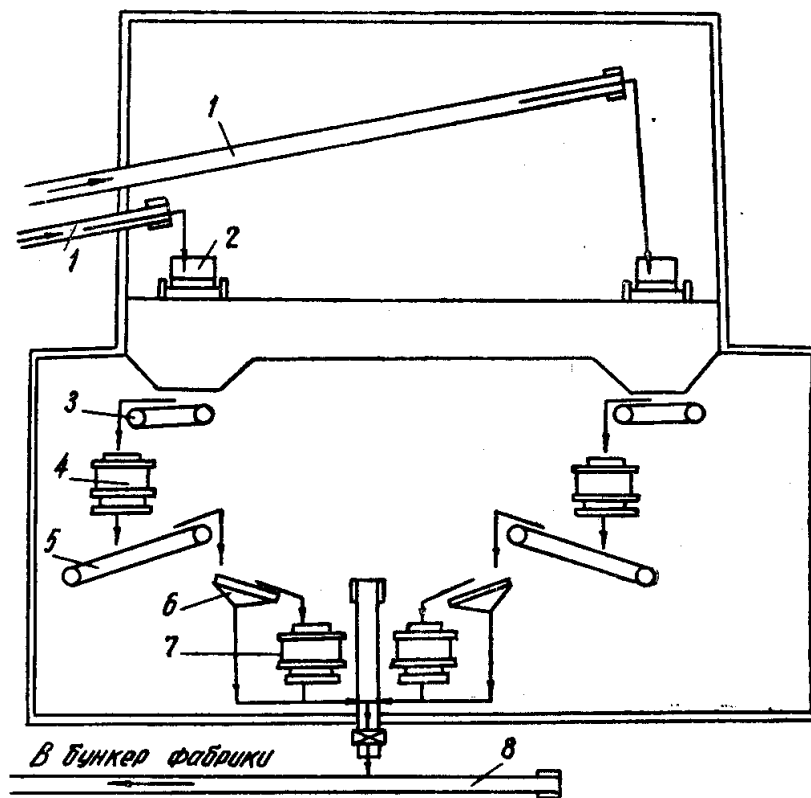


Рисунок 1.2 – Схема ланцюгу апаратів дробильного відділення

Руда з бункера номер 2 для середнього дроблення спочатку пройде через пластинчастий живильник номер 3, після чого потрапить до дробарки для середнього дроблення, позначеної як номер 4. Далі руда буде перенесена по похилому конвеєру номер 5 до вібраційного грохота, що має номер 6.

Надрешітний продукт грохота буде поданий у дробарку для дрібного дроблення, позначену як номер 7, а підрешітний продукт дроблення пройде через збірний транспортер номер 8 та потрапить у бункер збагачувальної фабрики. Вхідна руда характеризується різноманітністю мінералогічного складу та фізико-хімічними властивостями. Ситові характеристики руди в живленнях конусних дробарок другої і третьої стадій дроблення можуть змінюватися в значних межах в залежності від типу вхідної руди.

Аналіз представленої технологічної схеми вказує на те, що окрім процесів дроблення і грохочення, важливими є також процеси зберігання і транспортування руди. Тому ключовими аспектами автоматизації дробильного відділення фабрики є питання автоматичного регулювання потоками рудного матеріалу, що сприятиме підвищенню ефективності всієї технологічної лінії.

1.2 Опис методів автоматизації процесу керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Інтенсифікація виробництва у різних секторах промисловості нерозривно пов'язана з покращенням якості транспортних засобів. Серед них конвеєрний транспорт займає провідне місце і є найбільш економічно доцільним у різних умовах експлуатації. Неспівпадіння виробничої якості конвеєрів з вимогами споживачів може спричинити аварійні зупинки обладнання та зниження його ефективності. Процес адаптації конвеєрів до змінних умов передбачає, що при визначеному рівні якості виробництва вони здатні виконувати свої функції.

Можливо керувати конвеєрним транспортом за допомогою створення систем адаптивного керування з метою досягнення оптимального стану системи при змінних умовах експлуатації та невизначеностях у параметрах, структурі, алгоритмах керування та керуючому впливі.

Велика кількість монографій [3-8] та наукових статей [9-12] приділяють увагу проблемі адаптивного керування, де розглядаються основні концепції, принципи створення адаптивних систем керування, методи їх втілення, критерії

ефективності та вимоги до засобів керування. Однак до цього часу такі питання залишаються невирішеними щодо конвеєрного транспорту, оскільки на практиці обмежений контроль вхідних і вихідних параметрів, не використовується системний аналіз, декомпозиція конвеєрних систем та структурний аналіз об'єкта керування, не досліджуються кореляційні зв'язки між зовнішніми факторами та вихідними параметрами, і практично відсутні математичні моделі, які б підходили для адаптивного керування окремими процесами та вузлами конвеєра.

Конвеєрний транспорт є складною системою з численними компонентами, яка може переходити в різні стани в залежності від зовнішніх та внутрішніх умов експлуатації.

Для розробки адаптивного управління такою системою потрібно розглянути можливість поділу її на кілька ієрархічних рівнів. Отже, управління системою конвеєрного транспорту поділяється на три ієрархічні рівні.

На верхньому рівні управління вирішується завдання автоматизованого контролю конвеєрних ліній. Датчики на вході в систему конвеєрного транспорту передають інформацію про вантажопотоки на обчислювальний пристрій (ОП), а також дані про оцінки надійності конвеєрів з бази даних. Оброблена інформація передається оператору. Оператор, порівнюючи еталонні значення параметрів (максимальна середня пропускна здатність та мінімальна середня енергоємність транспортування) з поточними значеннями, приймає рішення про переключення вантажопотоків, яке передається на другий рівень адаптивного управління.

На другому рівні управління ділянками конвеєрних ліній вирішується завдання запуску або зупинки послідовно з'єднаних конвеєрів, а також виконується адаптивне керування швидкостями живильників та елементами перевантажувальних вузлів.

На третьому рівні управління вирішується завдання контролю за запуском, розподілом тягового зусилля та переміщенням стрічки конвеєра.

При застосуванні адаптивного управління системою конвеєрного транспорту (лінії) структурна невизначеність вирішується через вибір найбільш оптимального маршруту транспортування насипного вантажу [7,8,9]. Це вимагає

наявності основного та резервного обладнання, яке активується у місцях, де ймовірність аварійних ситуацій найвища. Основною метою стає структурна адаптація системи конвеєрного транспорту для забезпечення стабільних параметрів вантажопотоку в умовах змін обсягів вантажів та випадкових відмов конвеєрів [3,4,6].

При екстремальному керуванні оптимальні значення показників якості досягаються за допомогою вибору відповідних керуючих впливів. Зазвичай такі системи керування є одноканальними і передбачають наявність одного екстремуму у критеріях ефективності функціонування керованого об'єкта.

Щодо конвеєрного транспорту, такі системи впроваджуються у випадку, коли параметри математичної моделі залишаються незмінними, а критерії ефективності роботи конвеєрного транспорту є залежними від впливу керуючих функцій.

Параметрична невизначеність виявляється під час застосування адаптивного керування при запуску конвеєрів (ліній), розрахунку тягової спроможності, налаштуванні завантажувальних пристроїв та центруванні стрічки на конвеєрі. Для цих аспектів розроблено математичні моделі їх функціонування.

Впровадження вказаних методів адаптивного управління передбачає наявність основних складових: математичного, інформаційного, організаційного і технічного забезпечення.

Організаційне забезпечення використовує ієрархічний підхід, що дозволяє встановити рівні складності системи та підрівні керування системою. Цей підхід включає декомпозицію системи - розбиття системи на локальні підсистеми керування конвеєрними лініями та окремими вузлами конвеєра.

Математичне забезпечення включає розробку математичних моделей функціонування конвеєрного транспорту з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків між ними. Аналіз вхідно-вихідної інформації включає в себе регресійні та кореляційні моделі.

За допомогою інформаційного забезпечення та датчиків контролю (діагностики) можна в реальному часі визначати параметри математичних

моделей підсистем конвеєра, а також коригувати ці параметри відповідно до зміни умов експлуатації (вирішуючи параметричну невизначеність) з урахуванням апріорної інформації з бази даних [4,9].

Технічне забезпечення охоплює набір технічних засобів, які дозволяють оцінити роботу конвеєра (або його вузлів) у визначених або змінених умовах згідно з показниками ефективності [4].

Кожна з вищезазначених складових автоматизованого управління системою конвеєрного транспорту має враховувати як суб'єктивний, так і науковий підхід у своєму обґрунтуванні. Найчастіше для розв'язання управлінських завдань застосовують системний підхід, що передбачає [3,4,10]:

- постановку задачі досліджень, вибір мети і критеріїв для її досягнення;
- Аналіз впливу зовнішніх чинників на систему керування включає визначення вхідних та вихідних параметрів системи.
- Формалізація означає розроблення математичної моделі системи (або підсистеми), що дозволяє встановити взаємозв'язки між початковими параметрами та зовнішніми факторами, а також її наукове обґрунтування.

Можна відібрати вихідний масив факторів зовнішнього середовища з загальної кількості, прийнятих у СПЯП для гірничих машин (за стандартом показників якості продукції) [13], які включають гірничотехнічні, фізичні властивості порід, технологічні, експлуатаційні, економічні, екологічні та ергономічні.

Значущі фактори визначаються в такій послідовності:

- спочатку відбирають ті, які відображають специфіку роботи конвеєра;
- впорядковують значимість обраних факторів;
- встановлюють взаємозв'язок між важливими факторами за допомогою парної кореляції;
- зменшують кількість важливих факторів з урахуванням їх інформативності та достовірності.

Параметри вибираються з огляду на їхню інформативність або базуючись на апріорній інформації (результатів досліджень, досвіду експлуатації або

попередніх систем управління). Для конвеєрної лінії і стрічкового конвеєра приймаються такі вихідні параметри, за якими оцінюється їхня ефективність у функціонуванні:

- пропускна здатність конвеєра (лінії);
- енергоємність транспортування вантажу;
- час і динамічні навантаження при пуску стрічкового конвеєра;
- тягова здатність приводу стрічкового конвеєра;
- різниця між швидкістю вантажу і швидкістю руху стрічки при завантаженні на конвеєр;
- поперечні зміщення стрічки на конвеєрі.

У першому випадку, для визначення ключових факторів з усього спектру, застосовується метод експертних оцінок, який вже був використаний для складних систем [13].

Експерти складаються з проектних інженерів (з проектних інститутів), наукових працівників (з НДІ та навчальних закладів) і представників виробництва (працівників підприємств).

Необхідно перевірити зв'язок між факторами зовнішнього середовища та вихідними параметрами. Для цього здійснюються збір даних і проводяться регресійний і кореляційний аналізи, згідно з [14], на основі даних експлуатації або результатів експериментів.

Отримані результати підлягають аналізу та узагальненню. Якщо кореляційний зв'язок між окремими факторами і параметрами системи перевищує значення 0,6, можна припустити, що існує взаємозв'язок між ними, який може бути обумовлений впливом неврахованих факторів або наявністю зворотного зв'язку. У випадку, коли кореляційний зв'язок менший за 0,6, необхідно використовувати багатокритеріальний кореляційний аналіз для окремих показників і чинників [4,5].

Розбиття системи автоматизованого керування конвеєром на складові передбачає розділення його на локальні підсистеми, керування окремими вузлами, які мають причинно-логічні зв'язки. Цей підхід дозволяє структурувати

систему на рівні, що відповідають певним ознакам, з урахуванням взаємозв'язків між системою та підсистемами для досягнення прийнятої мети: регулювання, навчання, самоорганізація, адаптація [3,4,12].

1.3 Огляд і аналіз існуючих аналогів, що реалізують автоматизоване керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

У сучасних дробарках неможливо оперативно змінювати розміри розвантажувальної щілини, тому автоматичне регулювання процесу переважно обмежується стабілізацією навантаження на дробарку [17]. Автоматичне регулювання продуктивності дробарки можна здійснити шляхом стабілізації обсягу подачі руди, ступеня завантаження дробарки матеріалом, електричного струму або потужності, споживаної електродвигуном дробарки, і споживання електроенергії на одиницю продукції.

На рис. 1.3 та 1.4 показано дві різновиди схем автоматизації конусної дробарки [17]. Технологічні схеми цих варіантів відрізняються лише наявністю операції грохочення (3) у схемі на рис.1.3.

Перший схематичний зразок (рис. 1.3) втілює автоматичну стабілізацію навантаження на дробарку, використовуючи потужність, що споживається двигуном, як сигнал відхилення.

Система включає в себе первинний пристрій для перетворення споживаної потужності (2-1), стандартний набір компонентів САР (другорядний пристрій, регулятор зі змінювачем і пульт керування). У якості приводу пластинчастого живильника використовується асинхронний електродвигун (2-5) з тиристорним управлінням, що дозволяє плавно змінювати продуктивність живильника. Головним недоліком такої системи автоматизації є те, що споживана потужність двигуна залежить від властивостей руди (твердість, розмір, вологість). Оскільки САР розрахований для роботи з рудою середніх механічних властивостей, існує ризик перевантаження завантажувальної частини дробарки при подачі більш м'якої або дрібної руди. Важливо зазначити, що наявність грохота між об'єктом

регулювання (дробарка) і регулятором (живильник) значно ускладнює роботу САР через транспортне запізнення.

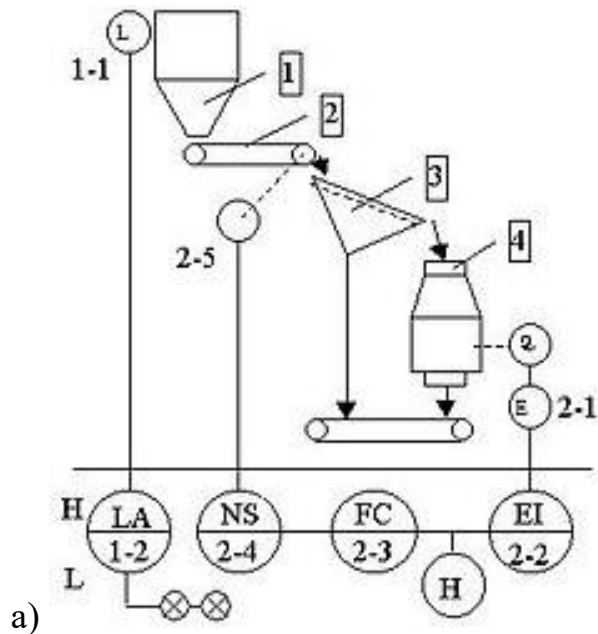


Рис. 1.3. Схема автоматизації процесу дроблення руди за споживаною потужністю: 1 – бункер; 2 – пластинчатий живильник; 3 – грохот; 4 – конусна дробарка; 5 – конвеєр.

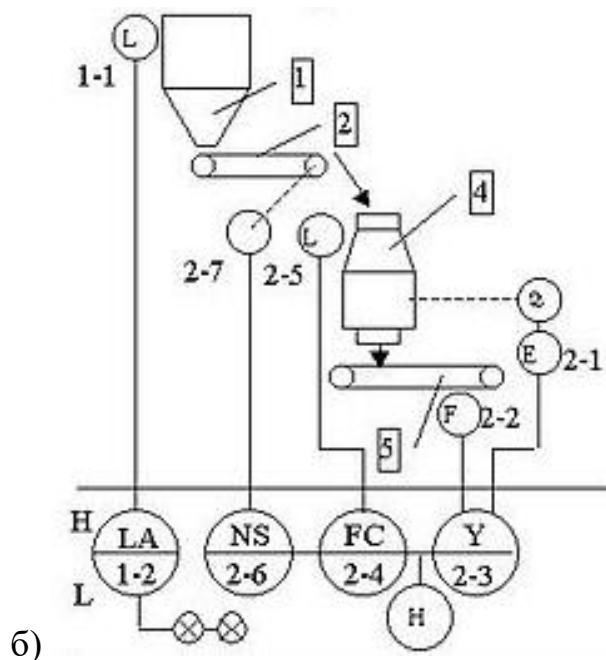


Рисунок 1.4. Схема автоматизації процесу дроблення руди за споживаною потужністю: 1 – бункер; 2 – пластинчатий живильник; 3 – грохот; 4 – конусна дробарка; 5 – конвеєр.

Виявлені недоліки не притаманні схемі автоматизації, показаній на рис. 1.4. У цій схемі вхідним сигналом є відхилення питомої витрати електроенергії [17]. Сигнал, що пропорційний питомій витраті енергії, визначається шляхом поділу в блоку (2-3) сигналу від перетворювача потужності (2-1) на сигнал від системи вимірювання ваги (2-2). У випадку перевищення допустимого рівня заповнення дробарки матеріалом, що може бути обумовлено, наприклад, зниженням його міцності, на регулятор (2-4) надходить інформація від датчика рівня (2-5), який запобігає подальшому збільшенню навантаження на дробарку.

Обидві схеми автоматизації включають у себе моніторинг верхнього та нижнього рівнів у бункерах вихідного матеріалу (1).

На практиці частіше використовується принцип стабілізації потоку й запасу матеріалу для процесів грубого, середнього й дрібного розмелювання за допомогою управління потоково-транспортною системою (ПТС) цехів і наповнення дробарок і грохотів рудою. Управління ПТС забезпечує стійкість потоку руди за технологічною схемою, включаючи елементи, такі як бункери, конвеєри, грохоти, дробарки, живильники та перевантажувальні вузли.

На ПрАТ "Полтавський ГЗК" технологічна схема дробильної фабрики містить дві технологічні лінії, які обробляють руду РОФ 1 і РОФ 2 [18].

Управління кожним з конвеєрів здійснюється за допомогою пульта машиніста та електротехнічного обладнання, яке знаходиться поруч з черговим електриком [18]. Роботою конвеєрів керує та координує начальник дільниці. Технічні характеристики стрічок та приводних двигунів конвеєрів наведено в табл. 1.2 та 1.3 відповідно.

Таблиця 1.2 – Перегляд технічних специфікацій і термінів експлуатації стрічкових конвеєрів ДФ ПГЗК.

Найменування	Показник	Показник	Показник	Показник
Індекс конвеєра	4Б	1Б	2-К2	2-К3
Тип стрічки	РТЛ-3500	РТЛ-4000	РТЛ-5000	РТЛ-4000
Довжина, м	220	384	525	812
Довжина навішування, п. м	460	870	1220	1800
Ширина стрічки, м	1600	1600	2000	2000
Швидкість двигуна, об/хв.	740	740	740	1000
Швидкість стрічки, м/с	2.5	2.5	2.5	2.5
Продуктивність, т/год	6000	6000	6000	5600
Кут нахилу, °	14	10	16	2
Строк служби стрічки, міс	32	30	25	62

Таблиця 1.3 – Характеристики приводних двигунів для конвеєрів на лінії ДФ.

Тип конвеєра	Привод	Потужність, Р, кВт
2К-2	Тип №1 АКНЗ-4-15-57843	800
2К-2	АКНЗ-4-15-57843	800
2К-2	Тип №3 АКНЗ-4-15-57843	800
2К-3	Тип №1, Тип №2, Тип №3 АКНЗ-13-52-6	800
2П-1	Привід АКЗ-12-39-6	320
4Б	Привід АКНЗ-4-15-45-8-У	320
1Б	Привід АКНЗ-4-15-45-8У	800

Використання систем автоматичного управління для контролю режимів роботи конвеєрної установки (таких як швидкість руху стрічки, розподіл тягового зусилля між барабанами, плавний запуск навантаженого конвеєра тощо) призводить до підвищення показників, таких як коефіцієнти готовності та використання.

Дослідження [18] демонструють, що вплив параметрів використання стрічкових конвеєрів на собівартість транспортування має складний характер. З одного боку, регулювання інтенсивності вантажного потоку та швидкості транспортування призводить до зменшення енерговитрат, підвищення терміну

служби конвеєрної стрічки та полегшення умов експлуатації обладнання за умови зниження його швидкості. З іншого боку, цей фактор спричиняє недоліки через додаткові процеси пуску та гальмування в електромеханічній системі конвеєра. Крім того, зниження швидкості приводу зменшує його коефіцієнт корисної дії та збільшує споживання реактивної енергії. Зазначено, що енергетичні показники електроприводу є максимальними при номінальних значеннях, і вони значно зменшуються у разі недовантаження (що відбувається при постійній швидкості транспортування). У таких умовах може мати місце нераціональне використання приводу через велике споживання реактивної енергії. Застосування сучасних засобів автоматизації та регулювання для багатобарабанного конвеєру повинне забезпечувати не лише підтримку коефіцієнта готовності конвеєра на рівні, який передбачений стандартом.

Розумно враховувати можливість поступового введення (або виведення з експлуатації) двигунів, що приводять барабани, у залежності від навантаження, з метою досягнення їх максимально можливої ефективності в цій ситуації. Це сприятиме підвищенню загальних енергетичних показників приводу.

Проектowana система керування буде орієнтована на забезпечення саме такого режиму роботи конвеєрної лінії, оскільки тільки в цьому випадку можливо раціонально використовувати енергоресурси.

Дослідження існуючих систем контролю та управління конвеєрними лініями виявило, що всі вони базуються на застарілій мікропроцесорній техніці і використовують застаріле програмне забезпечення.

Завдяки появі потужних і надійних програмованих логічних контролерів, таких як TSX Quantum і TSX Micro, а також більш точних і надійних датчиків технологічних параметрів, інформаційні системи і системи керування тепер проектується на основі новітнього обладнання.

1.4 Розробка технічних вимог до автоматизованої системи керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Таким чином, при розробці системи управління конвеєрним транспортом, що використовується на гірничих підприємствах, можна визначити такі завдання автоматизованого управління:

- автоматизоване управління конвеєрними лініями, яке дозволяє перемикати потоки насипного вантажу між різними лініями, а також забезпечує послідовний запуск і зупинку конвеєрних ліній;
- автоматичне управління запуском і зупинкою стрічкового конвеєра з мінімальним часом запуску та динамічним навантаженням на його привід
- автоматичне регулювання натягу конвеєрної стрічки, що забезпечує її роботу без пробуксовування
- автоматичний розподіл тягових зусиль, що гарантує максимальне зчеплення стрічки з приводними барабанами
- автоматичне центрування стрічки, яке гарантує її бокову стійкість при нецентрованому завантаженні насипного матеріалу і криволінійності конвеєрного тракту;
- автоматичне керування перевантажувальними вузлами стрічкових конвеєрів, яке забезпечує їх ефективну роботу при зміні вантажопотоків і режимів роботи конвеєрного обладнання

Для виконання визначених завдань рекомендується використовувати наступні методи автоматизованого управління:

- Використовуючи математичну модель об'єкта управління з невизначеністю в керуючому впливі (системи екстремального управління).
- Скориставшись математичною моделлю керованого об'єкта з невизначеністю в керуючому впливі та параметрах.
- Використовуючи математичну модель об'єкта керування з невизначеністю у керуючому впливі, параметрах і структурі (системи керування, які самоорганізуються).

- Скориставшись математичною моделлю об'єкта управління з нерозкритою невизначеністю щодо керуючого впливу, параметрів, структури системи, алгоритмів управління та цільової функції.

Необхідно включити до функціональної структури системи управління конвеєром наступні елементи:

а) Інформаційна система, яка включає набір файлів та програм для збору, обробки, і систематизації введеної інформації, передачі вхідних даних у програми для генерації результатів, прогнозування або розрахунку параметрів математичних моделей, оновлення їх, вибору оптимальних управлінських впливів на основі даних експериментальних досліджень та критеріїв ефективності функціонування конвеєрів або вузлів, визначення вихідних параметрів і їх порівняння зі стандартами, та прийняття рішень про виконання керуючих впливів.

б) Розробка простої структурної схеми конвеєра (або його вузла), яка включає мінімальну кількість ієрархічних рівнів, і створення математичних моделей їхньої роботи (банк моделей).

г) Математичні моделі, які використовуються для визначення та вибору оптимальних значень параметрів конвеєра (або його складових).

в) Критерії ефективності роботи конвеєра (або його вузла) та аналітичні закономірності їх залежності від початкових і кінцевих параметрів, а також від впливу управління.

д) Технічне обладнання, що дозволяє вимірювати вхідні та вихідні параметри конвеєрів і їх складових вузлів.

е) Засоби впливу, забезпечені виконавчими механізмами з можливістю дистанційного або автоматичного управління їх приводами.

ж) Інформаційні характеристики, які в реальному часі використовуються для ідентифікації математичних моделей роботи конвеєра (або вузла).

з) Технічне обладнання, включаючи мікропроцесори, перетворювачі частоти, контролери, блоки та пульти управління, що взаємодіють між собою.

Система автоматизованого управління повинна працювати в реальному часі, адаптуючись до змінних умов експлуатації за допомогою оновлених математичних моделей. З урахуванням керуючих впливів формується набір рішень, які дозволяють конвеєру (вузлу) працювати в нових умовах з максимальною ефективністю.

Функціональні зв'язки між окремими вузлами конвеєра мають чітко описувати процеси, які відбуваються під час транспортування насипного вантажу, та гарантувати виконання основних управлінських завдань для досягнення поставленої мети з належною достовірністю.

Програмне забезпечення для майбутнього розвитку систем адаптивного керування конвеєром повинно включати в себе коригування структури керуючих алгоритмів на основі отриманого досвіду, оновлення бази даних, що керують впливами, та необхідні засоби для їх реалізації.

Автоматизовані системи керування конвеєрним транспортом мають враховувати структурні особливості системи, функціональні зв'язки між її складовими, моделі окремих процесів або конвеєрів (вузлів), управління, моделювання вихідних параметрів і прийняття рішень для підвищення ефективності роботи конвеєрного транспорту. З часом алгоритми адаптивного управління коригуються на основі отриманого досвіду в їх застосуванні.

Для ефективного впровадження системи автоматизованого управління конвеєрним транспортом в промислових умовах рекомендується використовувати такі технічні засоби:

- Комплекс технічних засобів (КТЗ) включає у себе засоби для запуску обладнання, контролю за його режимами роботи, управління технологічними процесами, виконання інформаційних функцій, моніторингу вхідних і вихідних параметрів, а також керування конвеєрним обладнанням.

- Технічні засоби обчислювальної техніки верхнього та нижнього рівнів забезпечують реалізацію всіх функцій керування та обробки інформації. Ці засоби включають в себе керуючий комп'ютер, контролери, перетворювачі,

засоби нормалізації, а також засоби введення та передачі даних до комп'ютера верхнього рівня.

- Датчики моніторять різні параметри конвеєра, такі як: навантаження, положення стрічки, ступінь її натягу, запуск конвеєрів, а також виявлення прослизання стрічки на барабані та інші.

- Засоби технічного контролю за швидкістю руху стрічки конвеєра, живильників та складових перевантажувальних вузлів (частотні регулятори).

2 Обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу

2.1 Математичний опис процесу автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Відповідно до студій [19], подача руди до бункера дробарки ККД може бути модельована синусоїдою з деякою мірою неточності. Характеристики цієї синусоїди визначаються таким способом. Амплітуда синусоїди

$$A_m = \frac{\pi Q_{ep}}{2\tau} = 17,94 \text{ т/с}, \quad (2.1)$$

де Q_{ep} – Об'єм вантажівки у середньому складає 80 тонн у гірничо-збагачувальному комбінаті. Частота коливань синусоїди

$$\omega = \frac{\pi}{\tau} = 0,449 \text{ 1/с}, \quad (2.2)$$

де τ – Середній час, необхідний для того, щоб руда потрапила до бункера на гірничо-збагачувальному комбінаті, складає близько 7 секунд.

Характеристику вантажопотоку, що надходить до відділення великого подрібнення, можна охарактеризувати за допомогою синусоїдальної функції

$$\begin{aligned} x_1(t) &= A_m \cdot \sin(\omega \cdot t); \\ x_1(t) &= 17,94 \cdot \sin(0,449 \cdot t). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Таким чином, потік руди через один вхід можна уявити як послідовні ритмічні імпульси з періодом T , який визначається тривалістю розвантаження транспортного засобу і інтервалом між повтореннями [19]. $T = \tau + t_p = 78,3 \text{ с}$.

Графік сигналу наведено на рис 2.1.

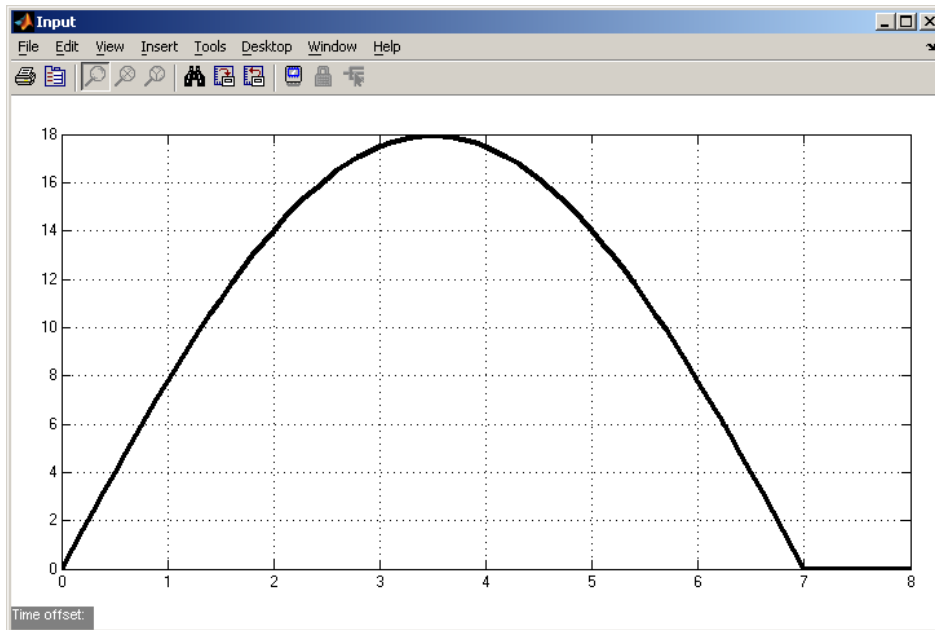


Рисунок 2.1. Графічне зображення вхідного сигналу:

вісь абсцис – час, s ; вісь ординат – продуктивність вантажопотоку, t/s

Основні аспекти процесу дроблення включають у себе такі фактори, як швидкість вхідного потоку руди, розмірні характеристики вхідного матеріалу, його міцність, ширина виходу для вивантаження та інші параметри. У цьому підході основним параметром є швидкість вантажопотоку руди. Дробарки описуються аперіодичними механізмами другого порядку з відставанням [19]

$$W(p) = \frac{\Delta Q_{вих}}{\Delta Q_{вх}} = \frac{1}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}, \quad (2.4)$$

де T_1, T_2 – сталі часу попередньої та ефективної зон дроблення, s .

При цьому

$$T_1 + T_2 = \frac{T_{dp}}{k_{c.o.}}, \quad (2.5)$$

де T_{dp} – стала часу дробарки, s ; $k_{c.o.}$ – коефіцієнт самовирівнювання об'єкту, s . Проте з практичної перспективи рекомендовано користуватися спрощеним описом процесу розбиття на дробини.

$$W(p) = \frac{e^{-(\tau_1 + \tau_2)p}}{(T_e \cdot p + 1)^2}, \quad (2.6)$$

де τ_1, τ_2 – Затримка часу, спричинена часом, необхідним для вільного падіння руди з живильника до камери дроблення та падіння з дробарки на конвеєр, вимірюється у секундах. T_e – еквівалентна стала часу, яку можна обчислити за формулою

$$T_e = \sqrt{T_1 \cdot T_2}. \quad (2.7)$$

Отже, характеристики руху у процесі дроблення відповідають аперіодичній ланці з запізненням першого рівня.

Враховуючи факт наявності приймального бункера дробарки для крупного дроблення, ефективність вихідного потоку вантажу можна розглядати в трьох основних інтервалах: до досягнення максимального наповнення, під час насичення та після досягнення максимального рівня, як зображено на рис. 2.2.

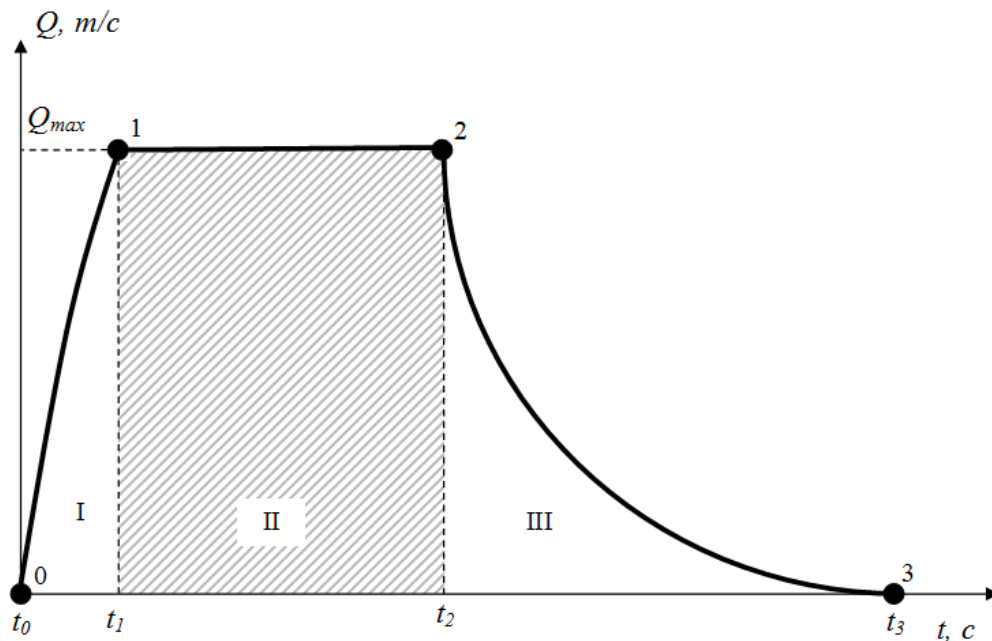


Рисунок 2.2. Продуктивність вихідного потоку дробарки

Як можна помітити на рис.2.2, функція продуктивності дробарки відображає кілька визначних проміжків. Давайте розглянемо їх уважніше.

Протягом періоду I (рис.2.2) виявляється збільшення ефективності вивантаження вантажного потоку з дробарки. Для опису цього вивантаження на виході дробарки на даному проміжку використовуємо формулу перехідної функції аперіодичного зв'язку

$$y_1(t) = K \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \cdot x_1(t), \quad (2.8)$$

де $x_1(t)$ - функція вхідного вантажопотоку.

Отже, можна виразити частину початкової функції, що відображає збільшення продуктивності перевезення вантажів, таким чином

$$\begin{aligned} y_1(t) &= \left[K \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \right] \cdot [A_m \cdot \sin(\omega \cdot t)]; \\ y_1(t) &= K \cdot A_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right); \\ y_1(t) &= 17,94 \cdot \sin(0,449 \cdot t) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{41,3}}\right) (m / c). \end{aligned} \quad (2.9)$$

Необхідно провести інтегрування функції продуктивності вантажопотоку для визначення обсягу переробки руди протягом вказаного інтервалу

$$\begin{aligned} M_1 &= \int_{t_1}^{t_2} [y_1(t)] dt; \\ M_1 &= \int_{t_1}^{t_2} \left[K \cdot A_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \right] dt; \end{aligned} \quad (2.10)$$

Отримавши результати наближеного обчислення кількості руди, ми отримали такі висновки: тривалість інтервалу $I - \Delta T_I = 2$ с; обсяг руди – $M_I = 0,446$ т.

Отже, на даному інтервалі функцію продуктивності дробарки можна упрощено описати як прямокутну функцію, площа якої відповідає кількості руди, що було перероблено. Тривалість цього інтервалу буде

$$\Delta T_I' = \frac{M_I}{Q_{\max}} (c), \quad (2.10)$$

де $\Delta T_I'$ - тривалість спрощеного інтервалу, M_I – Об'єм руди, видобутої протягом першого інтервалу, $Q_{\max}$ – максимальна продуктивність дробарки.

За розрахунками він становитиме

$$\Delta T_I' = \frac{0,446}{0,653} = 0,683 \text{ с.}$$

На інтервалі II (рис. 2.2), дробарка працює на максимальній продуктивності. В цей час вхідний сигнал не впливає на роботу (його вже враховано нелінійною моделлю на етапі отримання вихідної продуктивності дробарки при надходженні на вхід однієї порції руди, рис. 2.2). Це можна пояснити прямою, яка паралельна осі абсцис на рівні 0,653 т/с

$$\begin{aligned} y_2(t) &= Q_{\max}; \\ y_2(t) &= 0,653 (m / c). \end{aligned} \quad (2.11)$$

Для того щоб визначити обсяг обробки руди протягом певного проміжку часу, треба здійснити обчислення площі під графіком функції продуктивності вантажного потоку, яке може бути спрощено, замінивши інтегрування на обчислення площі прямокутника

$$M_2 = Q_{\max} \cdot \Delta T_{II}, \quad (2.12)$$

де $Q_{\max}$ – максимальна продуктивність дробарки, ΔT_{II} – час, протягом якого працює дробарка в режимі насичення

При наближеному розрахунку кількості руди ми отримали такі результати: період часу II – $\Delta T_{II} = 80$ с, обсяг руди – $M_2 = 52,24$ т.

Продуктивність вивантаження з дробарки зменшується на третьому інтервалі, як показано на рис. 2.2.

Можна взяти опис з формули імпульсної перехідної функції аперіодичної ланки

$$y_3(t) = \frac{K}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot x_3(t), \quad (2.13)$$

де $x_3(t)$ - функцію вхідного вантажопотоку

У даному випадку сума вхідних вантажів повинна дорівнювати об'єму руди, який може бути оброблений робочою камерою дробарки крупного дроблення. Інакше кажучи, за фізичним змістом постійної часу дробарки, час,

необхідний для обробки вказаного запасу руди, повинен бути рівним цій постійній

$$\begin{aligned} t_3 - t_2 &= T; \\ t_3 - t_2 &= 41,3 \text{ с.} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Вхідну функцію можна подати як результат множення дельта-функції на коефіцієнт, що чисельно відповідає кількості руди у робочій камері дробарки

$$x_3(t) = M_{PKD} \cdot \delta(t), \quad (2.15)$$

де M_{PKD} – кількість руди у заповненій робочій камері дробарки, $\delta(t)$ – дельта-функція. Можна виразити частину початкової функції, що описує зменшення продуктивності вантажопотоку, наступним чином

$$\begin{aligned} y_3(t) &= \frac{K}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot M_{PKD} \cdot \delta(t); \\ y_3(t) &= \frac{K \cdot M_{PKD}}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot \delta(t). \end{aligned} \quad (2.16)$$

Щоб з'ясувати, скільки руди обробляється протягом певного проміжку часу, потрібно проінтегрувати функцію продуктивності вантажного потоку

$$\begin{aligned} M_3 &= \int_{t_1}^{t_2} [y_3(t)] dt; \\ M_3 &= \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{K \cdot M_{PKD}}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot \delta(t) \right] dt; \end{aligned} \quad (2.17)$$

При апроксимації обчислення кількості руди ми отримали такі результати: час тривалості третього інтервалу – $\Delta T_{III} = 251$ с, об'єм руди – $M_3 = 27,0322$ т. Важливо врахувати, що вихід руди на даному інтервалі з дробарки не є однорідним, як показано на рис.2.3 і 2.4.

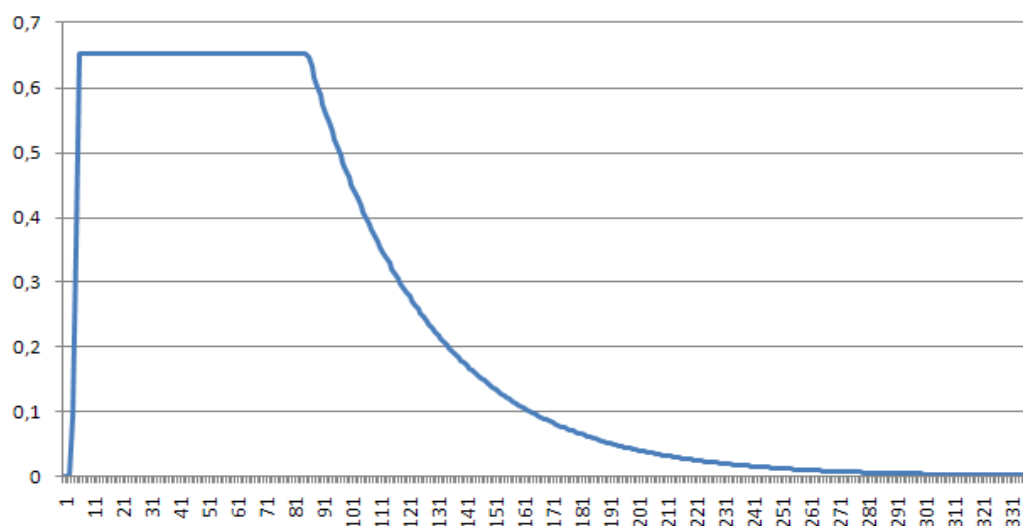


Рисунок 2.3. Продуктивність вихідного вантажопотоку дробарки при надходженні на вхід порції руди.

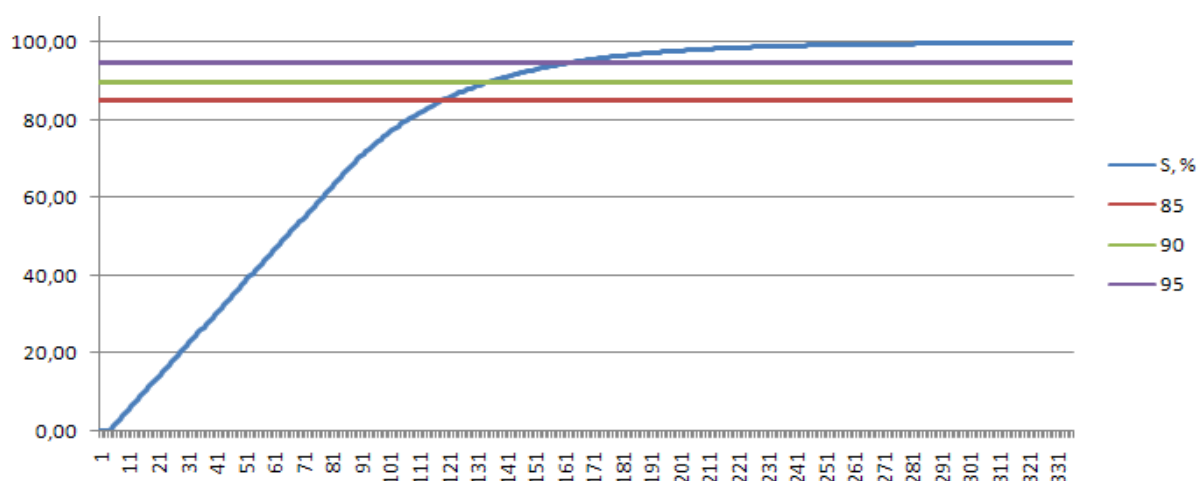


Рисунок 2.4. Частка продуктивності (з накопиченням) вантажопотоку руди від обсягу руди у перероблюваній порції

Інформація про нерівномірність продуктивності вихідного вантажопотоку розглянута детальніше у табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Продуктивність вихідного вантажопотоку дробарки на інтервалі III

Кількість руди		Час переробки		Залишок руди, т	тах продукт. т/с	Час переробки залишку, с
%	т	%	с			
100	79,7183	100	335	0	0,653	0
85	67,7605	35	118	11,9577	0,653	18,31
90	71,7465	40	135	7,9718	0,653	12,21
95	75,7324	49	163	3,9859	0,653	6,10

Згідно з даними у табл.2.1, 85% обсягу руди буде оброблено протягом 35% від загального часу обробки, 90% обсягу - протягом 40% часу, а 95% обсягу - протягом 49% часу.

Отже, на цьому інтервалі функцію продуктивності дробарки можна упрощено описати як прямокутну функцію, площа якої відповідає кількості руди, обробленої протягом цього періоду. Тривалість цього спрощеного інтервалу буде

$$\Delta T_{III}' = \frac{M_3}{Q_{\max}} (c), \quad (2.18)$$

де $\Delta T_{III}'$ - тривалість спрощеного інтервалу, M_1 – обсяг руди, пороблений протягом даного інтервалу I, $Q_{\max}$ – максимальна продуктивність дробарки.

За розрахунками він становити

$$\Delta T_{III}' = \frac{27,0322}{0,653} = 41,3969 c.$$

Отже, час загальної обробки рудної порції за спрощеною моделлю буде таким

$$\begin{aligned} \Delta T' &= \Delta T_I' + \Delta T_{II}' + \Delta T_{III}' (c); \\ \Delta T' &= 0,683 + 80,000 + 41,397 = 122,062 (c). \end{aligned} \quad (2.19)$$

Давайте порівняємо кількість руди, що подається на вхід та виходить з дробарки. На вході було 80,000 тонн руди, яка перебувала в дробарці протягом 7 секунд. На виході звичайної моделі було 79,718 тонн руди, яка перебувала в дробарці 335 секунд. А вже вихід спрощеної моделі складав 79,707 тонн руди, за 122 секунди роботи.

Отже, можна вважати, що реакція дробарки на руду може бути виражена як прямокутний імпульс за спрощеною моделлю, і тривалість цього імпульсу залежить від маси руди, яка була засипана до дробарки

$$T = \frac{M}{Q_{\max}} \quad (2.20)$$

У цьому конкретному випадку можна розрахувати M за допомогою формули

$$M = \int_{t_1}^{t_2} [A_m \cdot \sin(\omega \cdot t)] dt \quad (2.21)$$

де t_1, t_2 – Час, коли починається та закінчується висипання руди з думпкару або автосамоскиду, в секундах. A_m – амплітуда вхідного сигналу, т; ω – частота вхідного сигналу, Гц.

Отже

$$T = \frac{1}{Q_{\max}} \cdot \int_{t_1}^{t_2} [A_m \cdot \sin(\omega \cdot t)] dt \quad (2.22)$$

Як було вказано раніше, процес висипання руди з думпкара або автосамоскида з невеликою похибкою може бути визначений за допомогою синусоїди. Графік такої функції за Лапласом можна представити таким чином [19]

$$X(p) = \frac{A_m \omega}{p^2 + \omega^2} \cdot \frac{1 + e^{-\tau \cdot p}}{1 - e^{-T \cdot p}}, \quad (2.23)$$

де A_m – амплітуда функції продуктивності вхідного вантажопотоку, т; ω – частота, Гц; τ – час висипання руди з одного думпкару, с; T – повторність операції висипання (сума часу висипання та часу перегруження думпкарів або автосамоскидів), ст.

Зважаючи на вищевикладене, можна переформулювати, що зображення функції вихідної продуктивності дробарки за Лапласом може бути визначено як різниця між двома ступінчастими функціями, де амплітуда відповідає максимальній продуктивності дробарки $Q_{KKД\max}$, а різниця в часі відображає розрахований інтервал $\Delta T'$

$$Y(p) = \frac{Q_{KKД\max}}{p} - \frac{Q_{KKД\max}}{p} \cdot e^{-p\Delta T'} = \frac{Q_{KKД\max}}{p} \cdot \left(1 - e^{-p\Delta T_{KKД}'}\right);$$

$$Y(p) = \frac{0,653}{p} \cdot \left(1 - e^{-122,062 \cdot p}\right) \quad (2.24)$$

Вищезазначені розрахунки можна візуалізувати за допомогою графіків, зображених на рисунку.

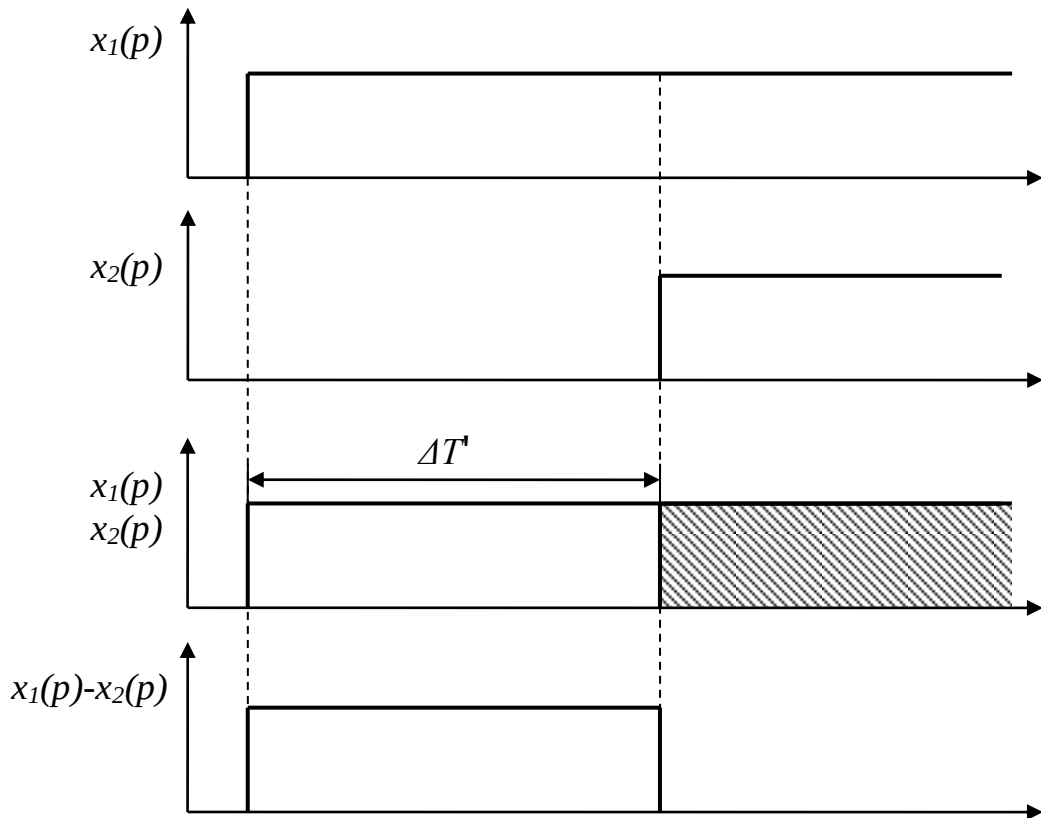


Рисунок 2.5. Створення прямокутного імпульсу певної тривалості за допомогою двох сигналів зі ступенями.

Отже, можна визначити функцію передавання, порахувавши відношення між зображенням вхідного сигналу та вихідним

$$W_{KKД}(p) = \frac{Y_{KKД}(p)}{X_{KKД}(p)}; \quad (2.25)$$

$$W_{KKД}(p) = \frac{\frac{Q_{KKД \max}}{p} \cdot \left(1 - e^{-p \Delta T_{KKД}'}\right)}{\frac{A_m \omega}{p^2 + \omega^2} \cdot \frac{1 + e^{-\tau \cdot p}}{1 - e^{-T \cdot p}}}. \quad (2.26)$$

Після перетворення попереднього виразу ми отримаємо формулу передавальної функції дробарки великого розміру через канал "вихідна продуктивність - вхідна продуктивність"

$$W_{KKД}(p) = \frac{Q_{KKД \max} \cdot (p^2 + \omega^2) \cdot \left(1 - e^{-p \Delta T_{KKД}'}\right) \cdot (1 - e^{-T \cdot p})}{p \cdot A_m \omega \cdot (1 + e^{-\tau \cdot p})}. \quad (2.27)$$

Подібно до того, як ми розглядали раніше, визначимо передавальну функцію та зображення вихідного сигналу для дробарки додаткового дроблення. Ми припускаємо, що фактична продуктивність двох дробарок КРД не може перевищувати продуктивність дробарки ККД, від якої вони отримують живлення. Отже, продуктивність однієї дробарки КРД не може бути більшою за половину продуктивності дробарки ККД

$$Q_{\text{КРД max}} = \frac{Q_{\text{ККД max}}}{2} (m / c);$$

$$Q_{\text{КРД max}} = \frac{0,653}{2} = 0,3265 m / c. \quad (2.28)$$

Обсяг руди, який потрапляє до дробарки КРД, можна розглядати як половину обсягу вихідної порції, що надходить до дробарки ККД

$$M_{\text{КРД}} = \frac{M_{\text{ККД}}}{2} (m);$$

$$M_{\text{КРД}} = \frac{80}{2} = 40 m. \quad (2.29)$$

Тоді, час, необхідний для обробки порції руди, можна приблизно розрахувати за допомогою такої формули

$$\Delta T_{\text{КРД}}' = \frac{M_{\text{КРД}}}{Q_{\text{КРД max}}} (c);$$

$$\Delta T_{\text{КРД}}' = \frac{40}{0,3265} = 122,512 c. \quad (2.30)$$

Давайте визначимо, як виглядає функція продуктивності вихідного вантажопотоку за допомогою теореми Лапласа

$$Y_{\text{КРД}}(p) = \frac{Q_{\text{КРД max}}}{p} - \frac{Q_{\text{КРД max}}}{p} \cdot e^{-p \Delta T_{\text{КРД}}'} = \frac{Q_{\text{КРД max}}}{p} \cdot \left(1 - e^{-p \Delta T_{\text{КРД}}'}\right);$$

$$Y(p) = \frac{0,3265}{p} \cdot \left(1 - e^{-122,512 \cdot p}\right) \quad (2.31)$$

Ми використовуємо вихідний сигнал дробарки ККД як вхідний сигнал для дробарки КРД і обчислюємо її передавальну функцію

$$W_{KPD}(p) = \frac{Y_{KPD}(p)}{X_{KPD}(p)}; \quad (2.32)$$

$$W_{KPD}(p) = \frac{\frac{Q_{KPD \max}}{p} \cdot \left(1 - e^{-p\Delta T_{KPD}'}\right)}{\frac{Q_{KKD \max}}{p} \cdot \left(1 - e^{-p\Delta T_{KKD}'}\right)}. \quad (2.33)$$

Так як час реакції дробарок ККД і КРД на порцію руди однаковий

$$\Delta T_{KKD}' \approx \Delta T_{KPD}', \quad (2.34)$$

вираз передавальної функції можна спростити наступним чином

$$W_{KPD}(p) = \frac{Q_{KPD \max}}{Q_{KKD \max}}; \quad (2.35)$$

$$W_{KPD}(p) = \frac{1}{2}. \quad (2.36)$$

Математичні моделі, які були зазначені раніше, будемо використовувати для створення структурної схеми та проведення розрахунків для вибору необхідного обладнання для системи автоматизованого керування вантажопотоками на дробильно-сортувальній фабриці.

2.2 Розробка структурної схеми та розрахунки для вибору обладнання для системи автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Одним з особливих аспектів гірничо-збагачувальних підприємств є велика енергоефективність процесу видобутку корисної копалини та значні непродуктивні втрати електроенергії, особливо у зв'язку з великими споживачами, до яких входить конвеєрний транспорт. Загальна потужність дільничних конвеєрів становить 400-500 кіловат, а магістральних - кілька тисяч кіловат.

Електроенергія, витрачена магістральними конвеєрами під час безвантаженого режиму, становить 75-90% від загального енергоспоживання на транспортування руди. Покращення їх енергоефективності може досягати 12-57% в порівнянні з мінімальним рівнем споживання електроенергії. Це, в свою чергу, означає, що резерви для підвищення енергоефективності складають близько 3-4% щорічних витрат підприємства з виробничою потужністю 1,0-1,2 млн т руди на рік.

Існують кілька чинників, які негативно впливають на енергоефективність роботи конвеєрів, таких як значне недовантаження основних конвеєрів та тривала робота в режимі холостого ходу. Витрата електроенергії при транспортуванні вантажів конвеєром розраховується за формулою [20]

$$W_k = 0,013L_k \cdot w[C \cdot V_{\text{л}} \cdot t_p + 0,28 \cdot Q(1 \pm \sin \beta / w)] , \quad (2.37)$$

де W_k – витрата електроенергії конвеєром, кВт•год; w – коефіцієнт опору руху, рівний 0,02 ... 0,03; C – маса одного метра рухомих частин конвеєра, кг/м; Q – продуктивність за час t_p , т; t_p – время работы конвейера, ч; L_k – довжина конвеєра, км; β – кут установки конвеєра, град.; $V_{\text{л}}$ – швидкість руху стрічки конвеєра, м/с.

Аналіз (2.37) підкреслює, що при відкиданні неефективних витрат часу, що зазвичай відбуваються під час бездіяльності конвеєра, можна знизити споживання електроенергії та підвищити продуктивність транспортної системи.

В наш час для керування потоком вантажів у системі транспорту ГЗК використовується частотне регулювання приводів конвеєрів. Проте, застосування цього підходу має кілька суттєвих недоліків:

– Для таких механізмів існує обмежений діапазон регулювання частоти в сталому режимі. Підвищення швидкості може призвести до падіння вантажу зі стрічки, а зниження частоти обертання вимагає забезпечення робочого моменту на валу двигуна. Крім того, використання високопродуктивного конвеєра для транспортування невеликого обсягу вантажу стає нерентабельним.

– Робота перетворювача на низьких частотах тривало може спричинити перегрів як привідного двигуна, так і самого перетворювача.

З точки зору зменшення енерговитрат, доцільніше регулювати вхідний потік вантажу, щоб наблизити його до номінального значення, ніж регулювати продуктивність конвеєра. Найбільш ефективним способом запобігання режиму холостого ходу та скорочення часу роботи конвеєрів у цьому режимі є використання акумулюючих бункерів.

Щоб зменшити витрати електроенергії на перевезення вантажу, необхідно регулювати швидкість стрічки та інтенсивність розвантаження бункера на конвеєрі. Для забезпечення оптимальної ефективності системи підземного транспорту важливо знайти найбільш вигідне співвідношення цих параметрів і скоротити час простоювання стрічки.

Схема електроприводу для окремих ліній конвеєра (рис. 2.6) розроблена з урахуванням необхідності забезпечення однакової швидкості руху цих ліній.

У потоковому виробництві виникає потреба у такій системі, коли після проведення необхідних технологічних операцій на різних лініях виробництва різні компоненти повинні бути зібрані на одній ділянці у відповідності один до одного. Ця схема дозволяє одночасно запускати та припиняти декілька конвеєрних ліній, а також регулювати їх швидкість руху.

Рис. 2.6. Схема електроприводу конвеєрних ліній з погодженим рухом

Рух, який координується, досягається за допомогою активації двигунів через схему синхронного валу, що включає загальний перетворювач частоти (ПЧ). Контроль швидкості двигунів Д1 і Д2 здійснюється шляхом зміни швидкості ПЧ за допомогою редуктора Р зі змінним передавальним відношенням.

Оператори, які моніторять роботу конвеєрів на найбільш відповідальних ділянках, мають право на запуск конвеєрів. Активація кнопок готовності SB3 і SB4 призводить до включення сигнальних ламп ЛС1 і ЛС2, а також спрацьовування реле К1 і К2. Останні активують пускове реле К3, коли натиснута кнопка SB5 "Пуск". К3 вмикає контактор К4, і відбувається синхронізація положення ПЧ, Д1 і Д2. За допомогою маятникових реле, вбудованих у контактори К4 і К5, послідовно вмикається К5, вимикається К4 і вмикається К6. Двигун перетворювача частоти запускається за принципом часу, використовуючи реостатний пуск за допомогою реле часу К10, К11 і К12.

Ця схема має перевагу в однаковій швидкості руху електродвигунів, а також в її простоті і вигідності з точки зору конструкції.

Недоліки схеми управління електроприводами через реле та контактори з використанням пуско-регулюючих резисторів для керування трифазним асинхронним двигуном із фазним ротором призводять до значних експлуатаційних витрат.

Недоліки схеми управління електроприводами через реле та контактори з використанням пуско-регулюючих резисторів для керування трифазним асинхронним двигуном із фазним ротором призводять до значних експлуатаційних витрат.

Обладнання з реле та контакторів, яке використовується дуже активно (до 600 включень на годину), потребує постійного уваги і страждає від низької надійності, що може спричиняти простої в роботі обладнання.

Ми обираємо керований мостовий перетворювач тиристора як ключовий пристрій управління для регулювання асинхронного електроприводу.

Для забезпечення нормальної роботи розроблюваної системи управління складемо структурну схему всього комплексу, зображену на рис.2.7. Напряга

мережі подається на трансформатор (ТР), де зменшується до необхідного рівня для живлення керованого мостового перетворювача тиристора (КМТП). Це забезпечує обертання асинхронного двигуна (АД), на валу якого закріплений тахогенератор (ТГ) у вигляді елемента зворотного зв'язку за швидкістю за допомогою механічного зв'язку. Отримані сигнали зворотного зв'язку за швидкістю, струму і напруги через блок зворотних зв'язків (БЗЗ) подаються в систему управління (СУ), що дозволяє регулювати роботу КМТП. Система управління доповнюється додатковим джерелом живлення (ДЖ). На основі складеної структурної схеми рис.2.7 була створена функціональна схема, яка представлена на рис.2.8.

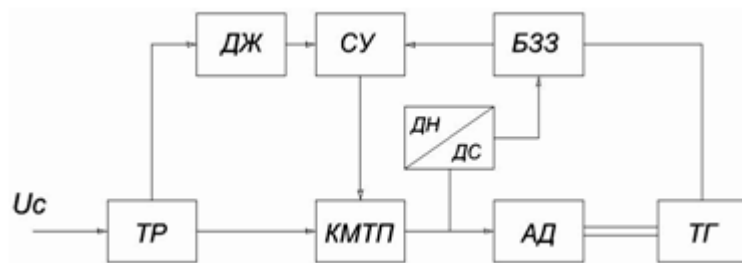


Рисунок 2.7. Структурна схема системи управління стрічкового конвеєра

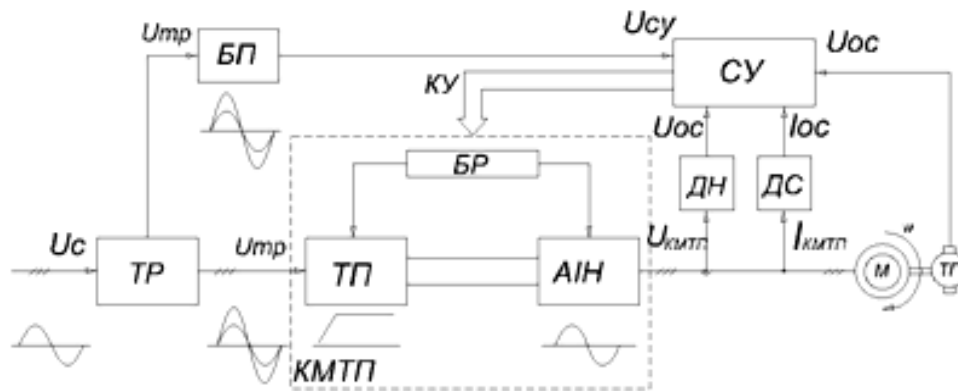


Рисунок 2.8. Функціональна схема системи управління стрічкового конвеєра

Трехфазна мережева напруга U_c подається на трансформатор (ТР), де зменшується до потрібного рівня. Отримана на виході напруга $U_{тр}$ вводиться на керований мостовий тиристорний перетворювач (КМТП), що складається з тиристорного перетворювача (ТП) та автономного інвертора напруги (АІН). Як зазначено на функціональній схемі (рис.2.8), тиристорний перетворювач ТП перетворює трьохфазну синусоїдальну напругу в однофазну постійну. Отримана напруга $U_{тп}$ потім подається до АІН. Цей комплекс КМТП дозволяє реалізувати

частотне управління виконавчим приводом стрічкового конвеєра. Закони управління КМТП виконуються за допомогою системи управління (СУ). Сформовані імпульси управління передаються через канал управління (КУ) до блоку регулювання (БР). Рівень управління визначається за допомогою використаних в системі зворотних зв'язків, які реалізовані на датчиках струму (ДС) та датчиках напруги (ДН), що забезпечують зворотний зв'язок по струму та напрузі відповідно.

Тахогенератор (ТГ) виявить зміну частоти ω , яка впливає на обертання привода М, виконуючи функцію зворотного зв'язку за швидкістю.

2.3 Вибір складу обладнання для системи автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Автоматичні конвеєрні ваги призначені для безперервного зважування та підрахунку маси матеріалу, що рухається по стрічці конвеєра. Матеріал на стрічці зважується за допомогою підвісок, закріплених на платформі з двома роликowymi опорами. Результати зважування неперервно підсумовуються та відображаються на табло лічильника за допомогою системи важелів та шестерень.

Ваги, що вбудовані у конвеєр, визначають масу матеріалу на стрічці за допомогою хитної роlikової опори. Зусилля, передані через тяги на тензодатчики, перетворюються на сигнал, який потім підсилюється і подається на привід двигуна реохорда. Рух цього двигуна переміщує стрілку покажчика.

Отже, можна обрати ваги для вимірювання вхідної продуктивності. З табл. 2.2 видно, що найбільш підходять конвеєрні ваги марки MULTIBELT від компанії Schenck. Це через їхню трохи вищу точність порівняно з іншими вагами з табл.2.3, прийнятну ціну, наявність контролера та можливість дистанційної індикації.

Таблиця 2.2 – Вибір конвеєрних ваг для виміру вхідної продуктивності

№ п/п	Назва фірма- виготовлюв ача	Продуктивні сть конвеєра, т/год	Вивід на індикацію	Вихід на контролер	Ціна, грн	Клас точності, %
1	Belt-Way (Vega)	12000	+	RS242	35500	0,5; 1,0
2	Контек	10800	-	RS242	33600	1,0
3	МЕТРА	9000	+	RS242	30800	1,0
4	Schenck MULTIBEL T	12000	+	RS242, RS485	34000	0,5; 1,0

Таблиця 2.3 – Вибір конвеєрних ваг для виміру вихідної продуктивності

№ п/п	Назва фірма- виготовлювача	Продуктивні сть конвеєра, т/год	Вивід на індикацію	Вихід на контролер	Ціна, грн	Клас точності, %
1	Scales.TechPack	2000	+	RS242	21200	0,5; 1,0
2	Schenck MULTIBELT	4000	-	RS242, RS485	25000	0,5; 1,0
3	ЕрМак ВЛ2-4*2	3000	+	RS242	22000	0,5; 1,0

Згідно з даними в табл.2.3, можна обрати невеликі ваги для вимірювання вихідної продуктивності кожної секції бункера. В даному випадку рекомендується вибрати ваги від фірми ЕрМак, оскільки вони мають середню ціну, вбудований контролер, індикацію та потрібну точність вимірювань.

Конвеєрні ваги з багаторівневою функціональністю використовуються для неперервного вимірювання обсягу та інтенсивності подачі матеріалу. Вони призначені для монтажу на конвеєрах з постійним рухом та досягають точності від 0,5 до 1,0%.

Переваги ваг фірми ЕрМак-ВЛ:

- Елементна база ведучих світових виробників електронної техніки;
- Робота в діапазоні живлячої напруги від 100 до 264 В;
- Енергонезалежна пам'ять, яка дозволяє зберігати результати вимірювань без потреби в автономних джерелах живлення (акумуляторах, батареях);

– Меморі-панель, вбудована в систему, дозволяє відстежувати як робочі, так і аварійні режими функціонування.

– Захист від перенапружень в живлячій мережі;

– Автоматичне тестування обладнання та автоматичне виправлення помилок електронних пристроїв під час роботи без перерви.

Технічна характеристика:

1. Швидкість стрічки конвеєра: від 0,005 до 6,0 м/с

2. Продуктивність конвеєра: без обмежень

3. Ширина стрічки конвеєра: від 400 до 3000 мм

3 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність системи

3.1 Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Програмне забезпечення PLC TSX Micro PL7 дозволяє програмувати на п'яти мовах. Меню з попередньо встановленими налаштуваннями спрощує конфігурацію різних прикладних модулів. Під час налагодження або обслуговування PL7 дозволяє змінювати налаштування точок в основному для визначення невідомих значень або виявлення помилок у програмі.

Завдяки PL7, загальному середовищу програмування для Micro і Premium, ви отримуєте надзвичайну гнучкість у виборі вашого наступного курсу дій. Прикладні програми можуть бути переносні та використовуватися на обох платформах.

Розробка та конфігурація програм для ПЛК Micro виконується за допомогою програм PL7 Micro/Junior/Pro. Ці програми мають удосконалені інструменти для редагування та застосування додатків і використовують можливості операційних систем Windows 95, Windows 98 та Windows NT.

Поміж удосконалень у програмі PL7 Pro також варто зазначити наступні можливості: здатність організації додатка для ПЛК у вигляді деревоподібної структури, розділеної на функціональні модулі; можливість імпорту та експорту функціональних модулів з перенесенням змінних у відповідний діапазон при імпортуванні; наявність бібліотеки діагностичних функціональних блоків (DFB). Ці блоки спеціально розроблені для створення діагностики додатків, а події зберігаються в діагностичному буфері ПЛК Premium.

Редактор екранів під час виконання з додатковими можливостями, такими як можливість налаштування вікна для відображення даних з діагностичного

буфера ПЛК Premium. Основна мета оновлення програмного забезпечення - подальше підвищення продуктивності.

Редактор конфігурації графічно відображає і налаштовує різні складові, що використовуються в ПЛК Micro: процесор, завдання, спеціалізовані модулі введення-виведення та пам'ять.

Після клацання на незаконфігурованій позиції, відкриється діалогове вікно (рис. 3.1), де будуть показані наявні модулі введення та виведення, розподілені за групами. Після розташування різних модулів можна отримати доступ до вхідних параметрів кожного модуля, обравши їх.

Ми переходимо до вкладки Configuration у Application Browser і налаштовуємо контролер у розділі Hardware Configuration.

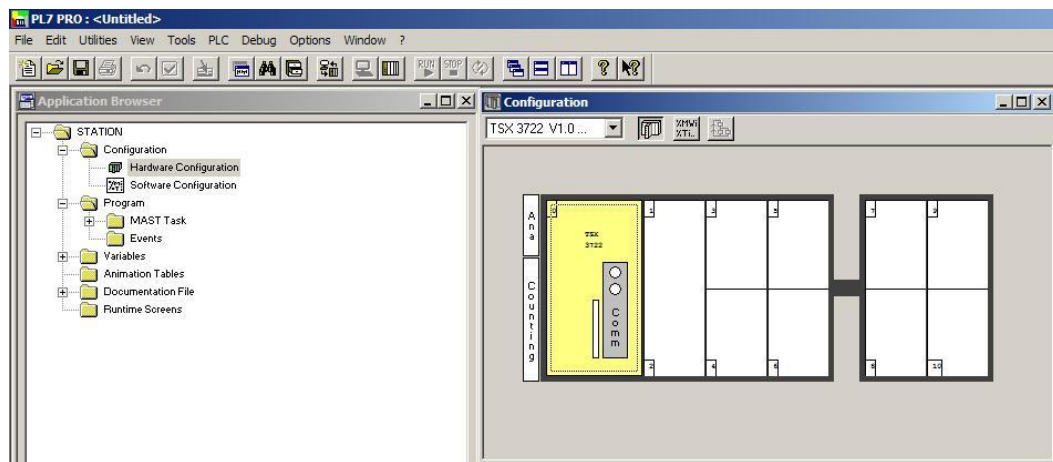


Рисунок 3.1. Редактор конфігурацій Configuration

Додаємо модуль TSX DMZ 28TDK, рис. 3.2.

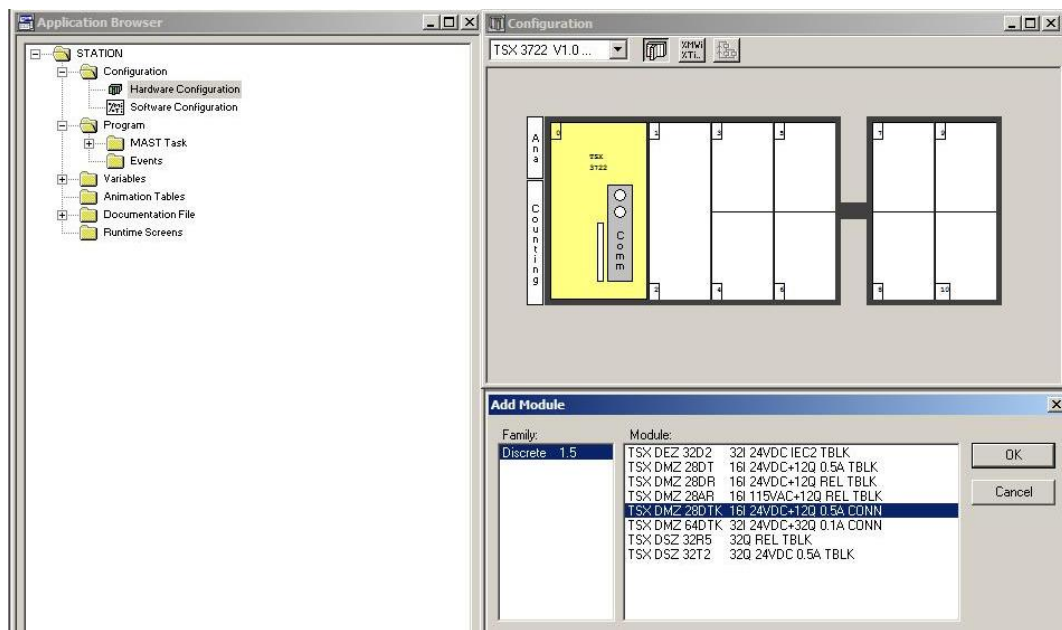


Рисунок 3.2. Вибір модулю TSX DMZ 28TDK

Також додаємо модуль TSX ASZ 401, рис.3.3.

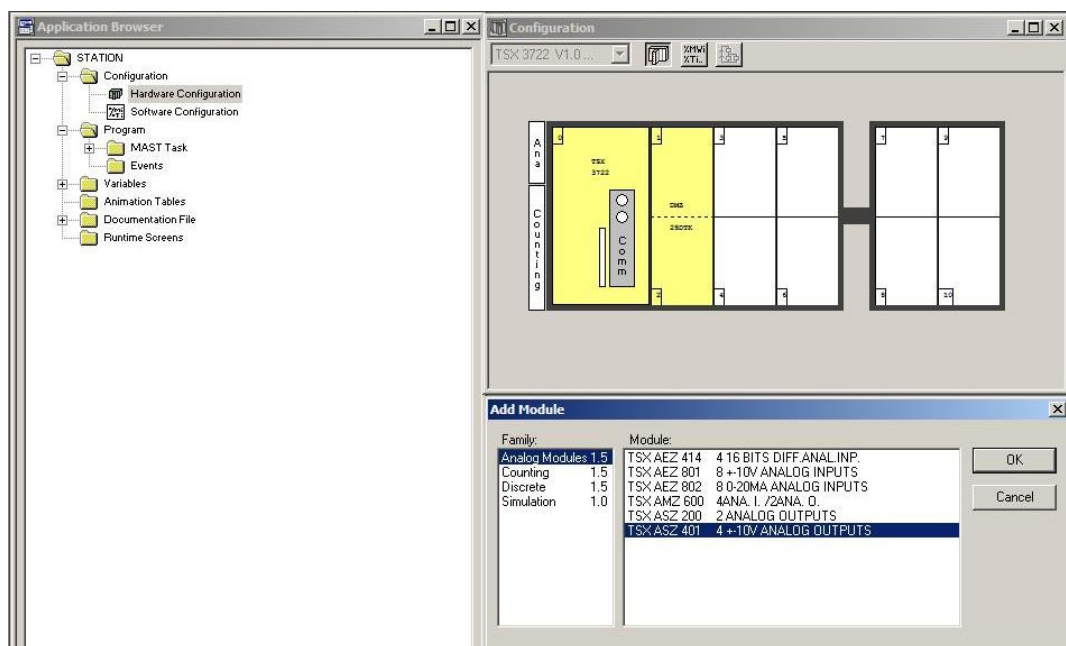


Рисунок 3.3. Вибір модулю TSX ASZ 401

Після того як всі потрібні модулі підключені вікно програми має такий вигляд, рис. 3.4.

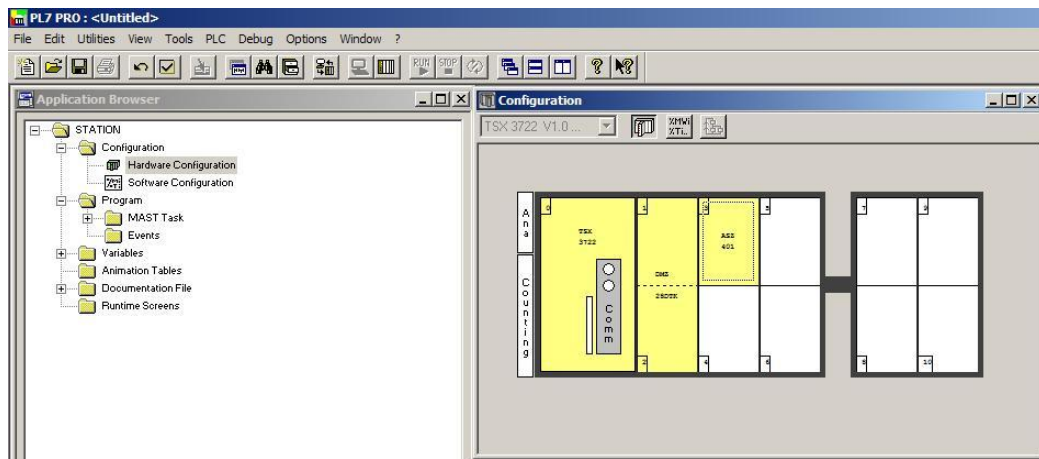


Рис. 3.4. Вікно програми після конфігурації контролеру

Продовжуємо виконання програми в Runtime Screens, який є складовою частиною версій 3.0 PL7-PRO та PL7-PRODYN. Цей інструмент розроблено для спрощення управління автоматизованим процесом. Оператор має змогу регулювати та контролювати хід технологічного процесу, а в разі виникнення проблем — швидко їх вирішувати. Завдяки Runtime screens проектувальник може створювати екрани, які ілюструють прогрес технологічного процесу, роботу основних вузлів та механізмів.

Завдяки цьому інструменту ми можемо наочно побачити як відбувається керування вантажопотоками на дробильній фабриці (рис. 3.5).

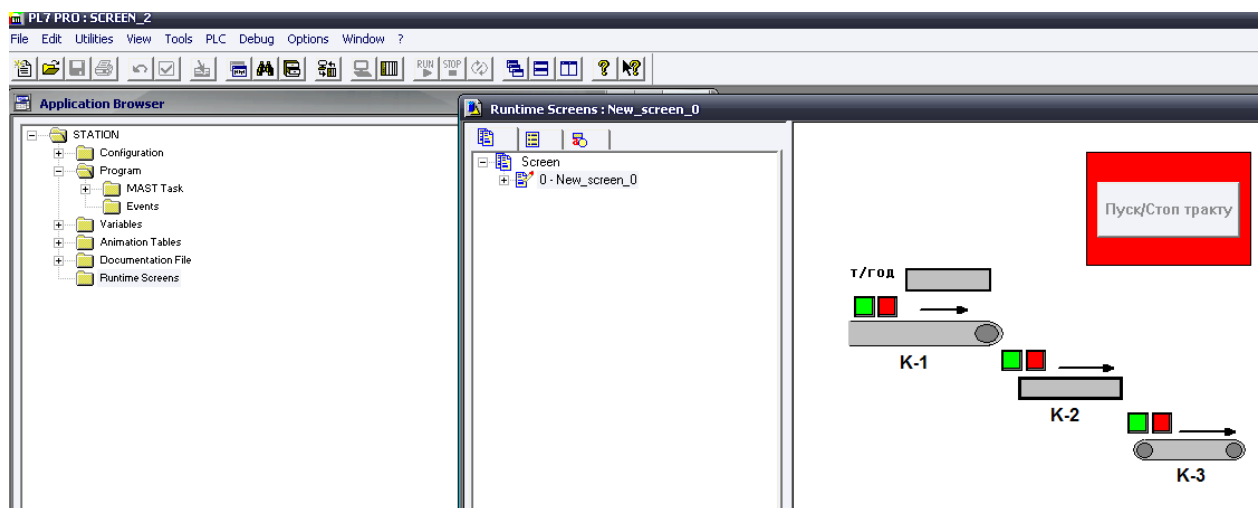


Рисунок 3.5. Вікно програми керування рудо потоками у Runtime Screens

Для створення графічної схеми використовуйте бібліотеку, зображену на рис. 3.6, де ви зможете вибрати всі необхідні компоненти.

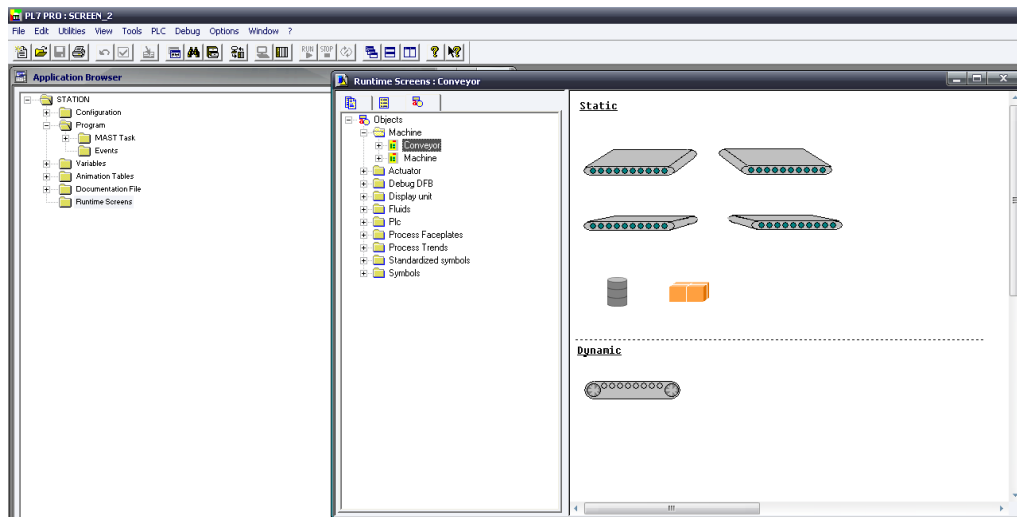


Рисунок 3.6. Вибір елементів з бібліотеки

Після розміщення елементів у відповідному порядку, необхідно налаштувати їх властивості. Це можна здійснити, вибравши елемент і використовуючи кнопку Properties або відповідний пункт меню.

1. Кнопка “Пуск/Стоп тракту”

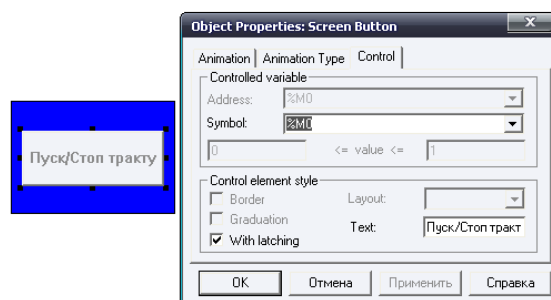


Рисунок 3.7. Налаштування кнопки “Пуск/Стоп тракту”

2. Налаштування елемента, який вказує на операційну активність конвеєрів і випалювальної машини.

Індикаторів має бути два, оскільки він матиме два стани: увімкнено та вимкнено



Рисунок 3.8. Індикатори ввімкнено та вимкнено

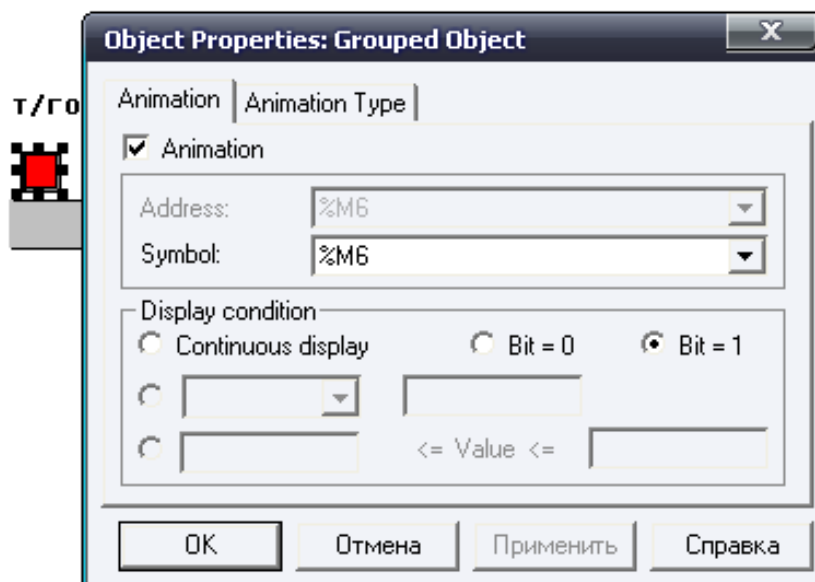


Рисунок 3.9. Налаштування елемента який сигналізує роботу конвеєрів

Елемент червоного кольору відповідно для режиму “ВИКЛ” bit=0.

Для зеленого кольору відповідно для режиму “ВКЛ” bit=1. Отже, такі налаштування застосовуються для кожного відповідного елемента на графічній схемі рис.3.10.

3. Налаштування компонента для відображення даних з сенсорів

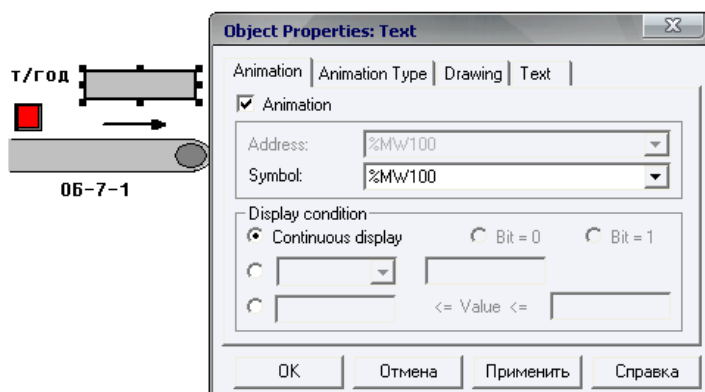


Рисунок 3.10. Налаштування елемента для відображення значення з датчиків

Відповідні налаштування виконуються для кожного елемента з основної схеми.

4. Налаштування елемента керування

Для управління додамо елемент – повзунок на схему. Для цього використаємо інструмент Scale Indicator, який розташований в тому ж місці, що і Screen Browse. Повзунок виглядає наступним чином

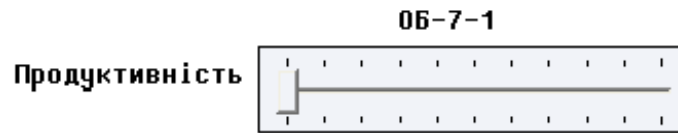


Рисунок 3.11. Елемент «Повзунок»

На рис. 3.12 зображені властивості повзунка

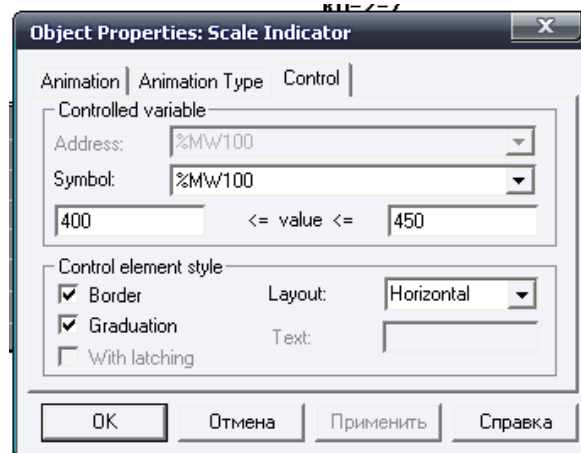


Рисунок 3.12. Налаштування повзунка

У властивостях цього елемента потрібно зазначити об'єкт, управління яким здійснюватиметься за допомогою цього повзунка.

Після редагування та налаштування всіх елементів для роботи схеми, необхідно написати наступну програму мовою LD.

На мові сходових діаграм (LD) програма має вигляд релейно-контакторної схеми, що складається з умовних графічних позначень релейно-контакторних елементів, розташованих у відповідних місцях і з'єднаних певним чином. Елементи розташовують між двома шинами живлення. Виконання програми на мові сходових діаграм (LD) відбувається послідовно від одного ланцюга до іншого, а всередині ланцюга - зверху вниз та зліва направо.

Для зручності програмування контакторна схема поділена на 11 колонок та 7 рядків. Кожен ланцюг може мати мітку та супроводжуватися коментарем до 222 символів. Перші 10 колонок утворюють зону тестування і можуть включати

нормально-замкнені та нормально-розімкнені контакти, детектори фронтів, функціональні блоки (таймери, лічильники тощо). Остання колонка називається зоною дії і може містити прямі та інверсні котушки, включаючі та виключаючі котушки, котушки виклику підпрограм та інші.

Редактор мови LD оснащений кількома зручними інструментами для створення схем.

- набір графічних елементів, що включає у себе символічні зображення контактів, датчиків фронтів, котушок, компараторів функціональних блоків та операційних блоків;
- можливо вводити та відображати об'єкти мови у формі адресної та символічної репрезентації;
- під час програмування вибирається елемент з графічної палітри та розміщується у відповідному положенні на екрані;
- функція автоматичного формування ліній допомагає скоротити кількість операцій, які потрібно виконати оператором.

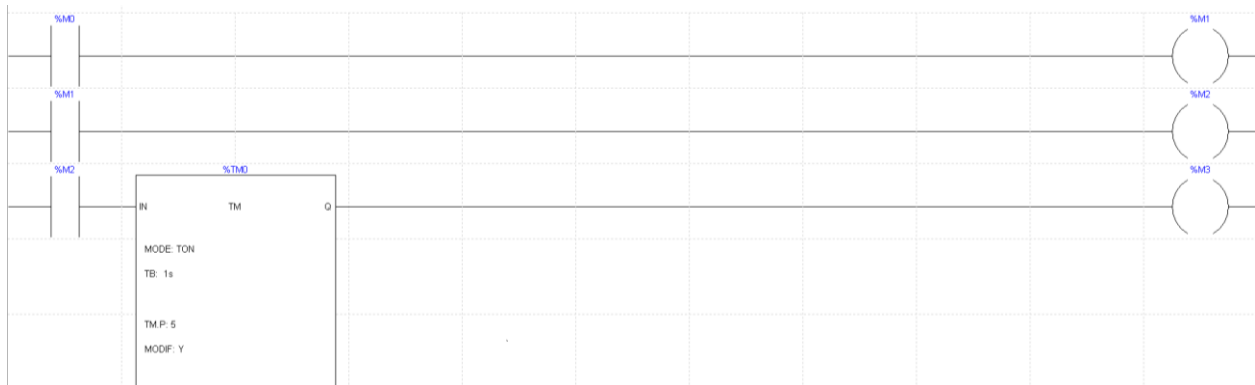


Рисунок 3.13. Частина тексту програми на мові LD

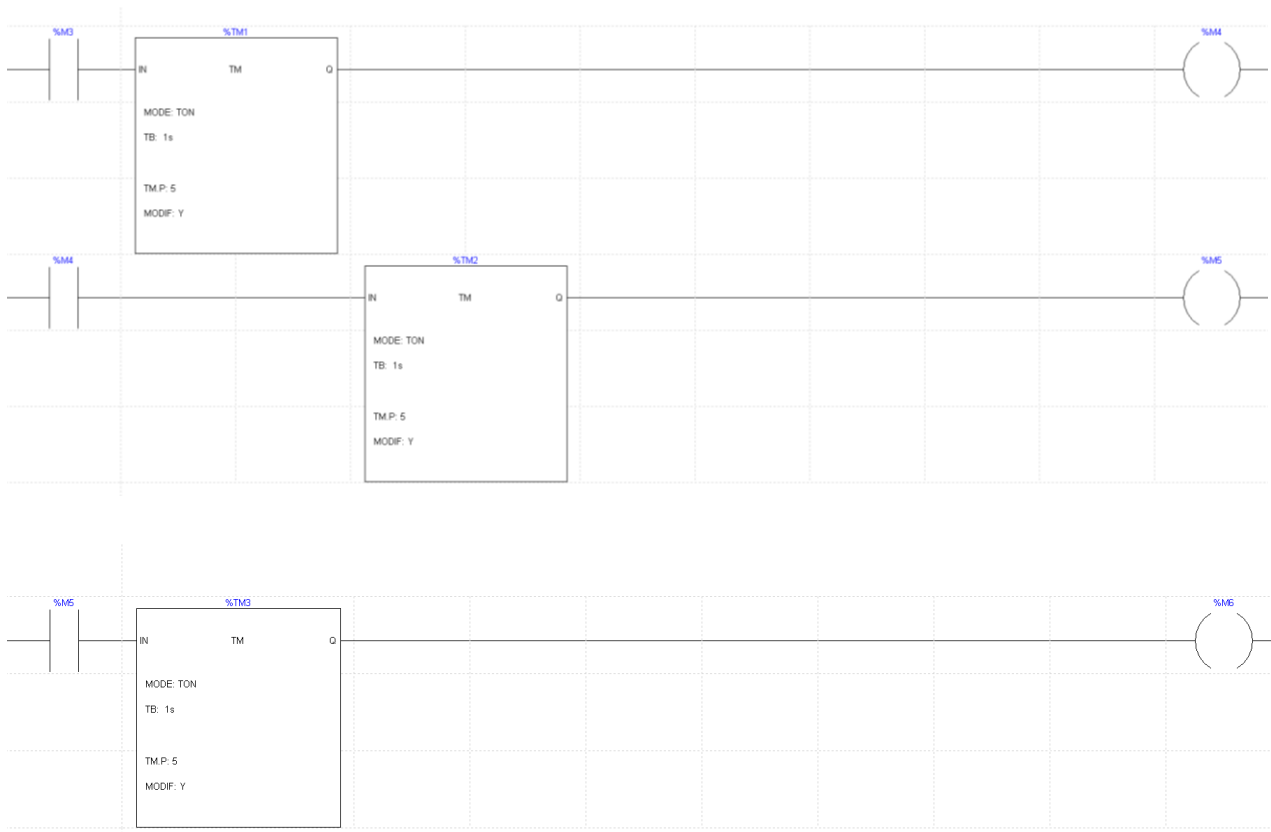
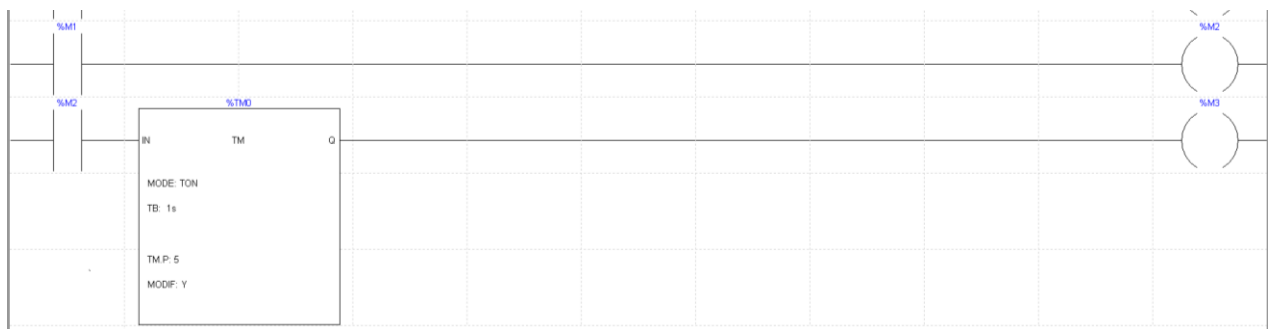


Рис. 3.14. Продовження програми написаної на мові LD

Розглянемо детальніше принцип роботи частини програми



Коли з'єднання %M1 буде закрито, що означає, що біт встановлюється в 1, котушка %M2 активується. Після цього контакт котушки %M2 також буде закритий, але активація котушки %M3 відбудеться з певною затримкою. Для цього застосовано функціональний блок Таймер. В редакторі LD таймер має наступний вигляд, рис. 3.15.

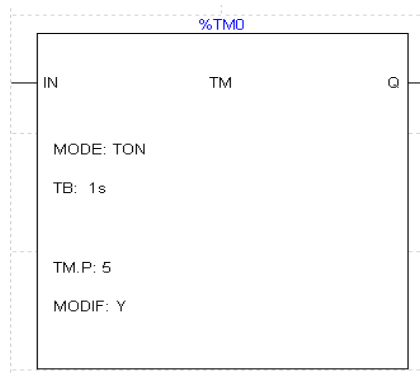


Рисунок 3.15. Елемент «Таймер»

Функціональний блок “ таймер ” має наступні параметри:

- *TB* – Часова база може складатися з однієї секунди, однієї мілісекунди, 100 мікросекунд або 10 мікросекунд. Використання таймерів із часовою базою 10 мікросекунд обмежено - дозволяється використовувати не більше 16 таких таймерів.
- *%TMi.V* – Значення, яке може бути прочитане, але не може бути встановлене програмно, це поточне значення.
- *%TMi.P* – уставка таймеру. Час таймеру дорівнює $%TMi.P * TB$.
- *MODIF* – Цей параметр встановлює можливість (Y) або неможливість (N) змінювати *%TMi.P* під час роботи контролера (чи це буде зроблено програмно чи вручну).

Для налаштування таймерів (тобто встановлення параметрів *MODE*, *TP*, *%TMi.P*, *MODIF*), виконайте наступні кроки у редакторі змінних *Variables* (рис.3.16). Спочатку у вікні *Application Browser* клацніть мишею по пункту *Variables*, а потім оберіть рядок *Predefined FB*. У відкритому вікні *Variables* виберіть тип змінних *TM* та встановіть прапорець у полі *Parameters*. Потім у полі *Mode* оберіть тип таймера, в полі *TB* встановіть часову базу, а в полі *Preset* введіть значення уставки.

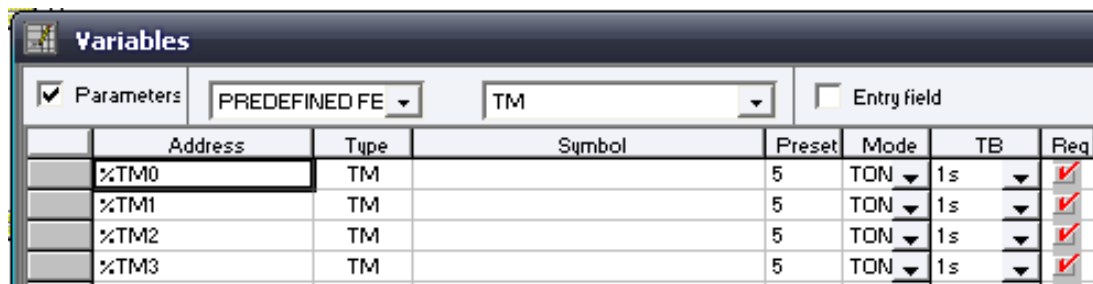


Рисунок 3.16. Вікно редактора змінних *Variables*

Отже, після створення програми та налаштування її компонентів, можна запустити програму на виконання. Для цього достатньо натиснути кнопку "Виконати" на панелі.

3.2 Апробація системи автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

Під час розробки різноманітних систем автоматизації часто виникає потреба забезпечити стабільну швидкість обертання вала двигуна, яка не змінюється в залежності від поточного навантаження.

Швидкість обертання вала двигуна залежить не лише від напруги на ньому, а також від різних зовнішніх чинників, таких як змінна сила тертя, коливання навантаження, температура, якість змащення та інші фактори. Отже, завдання досягнення певної швидкості обертання вала двигуна полягає в створенні відповідної напруги на ньому, яка забезпечить бажану швидкість обертання, не залежно від впливу зовнішніх випадкових факторів.

Ця задача вимагає обчислення та впровадження регулятора швидкості ПД.

Під-регулятор забезпечує потрібну швидкість руху виконавчого механізму (двигуна), незалежно від постійного або поступово змінюючогося навантаження на нього.

Регулятор, що має в собі всі три типи: пропорційний, інтегральний та диференціальний, називається ПД-регулятором. У нього є пропорційний

коефіцієнт (K_p), інтегральний коефіцієнт (K_i/p) та диференціальний коефіцієнт (K_d), кожен з яких має свій рівень підсилення.

Пропорційний елемент множить сигнал помилки $e(t)$ на коефіцієнт K_p , утворюючи вихідний сигнал y_n

$$y_n(t) = K_n \cdot \varepsilon(t) \quad (3.1)$$

Інтегральна ланка проводить інтегрування сигналу $e(t)$ відносно часу, множить його на коефіцієнт K_i , і створює вихідний сигнал y_u

$$y_u(t) = K_u \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \quad (3.2)$$

Диференціальна ланка виконує диференціювання сигналу помилки у відношенні до часу $e(t)$, після чого множить отриманий результат на коефіцієнт K_d і генерує вихідний сигнал y_d

$$y_d(t) = K_d \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (3.3)$$

Суматор ПІД-регулятора агрегує сигнали упродовж часу t , отримані від $y_n(t)$, $y_u(t)$ і $y_d(t)$, і створює вихідний сигнал $U(t)$

$$U(t) = y_n(t) + y_u(t) + y_d(t) \quad (3.4)$$

Розглянемо метод настроювання ПІД-регулятора в Simulink.

Пакет інструментів для нелінійного керування Nonlinear Control Design Blockset (NCD - Blockset) має графічний інтерфейс, який дозволяє користувачам налаштовувати параметри динамічних об'єктів, щоб досягти потрібної якості перехідних процесів. Для досягнення цієї мети використовується оптимізаційний підхід, що спрямований на мінімізацію функції штрафу за порушення динамічних обмежень. Інструмент дозволяє налаштовувати параметри нелінійних моделей Simulink, включаючи будь-яку кількість змінних, таких як скаляри, вектори і матриці. Під час налаштування можуть враховуватися невизначеності параметрів у математичній моделі, що дозволяє створювати стійкі закони управління.

Візуалізація використовується для виконання завдань динамічних обмежень. NCD - Blockset автоматично створює завдання скінченномірної оптимізації на основі цих обмежень, забезпечуючи відповідність точки

екстремуму в просторі параметрів усім вимогам до якості процесу. Ця задача вирішується за допомогою спеціалізованої процедури квадратичного програмування з пакету Optimization Toolbox. Процес оптимізації контролюється на екрані за допомогою відображення графіку контрольованого процесу та поточних значень функції, яку мінімізується. Після завершення процесу його результат зафіксується в робочому просторі.

Давайте розглянемо принцип налаштування місцевої системи автоматичного контролю (САК) конвеєра.

Створимо модель управління в Simulink, відповідну до схеми на рис.3.17. Вставимо блоки Constant (з бібліотеки Sources), Sum (з бібліотеки Math Operations), PID Controller (з бібліотеки Continuous), Transfer Fcn (з бібліотеки Continuous), PID Controller (з бібліотеки Simulink Extras / Additional Linear) в вікно моделі.

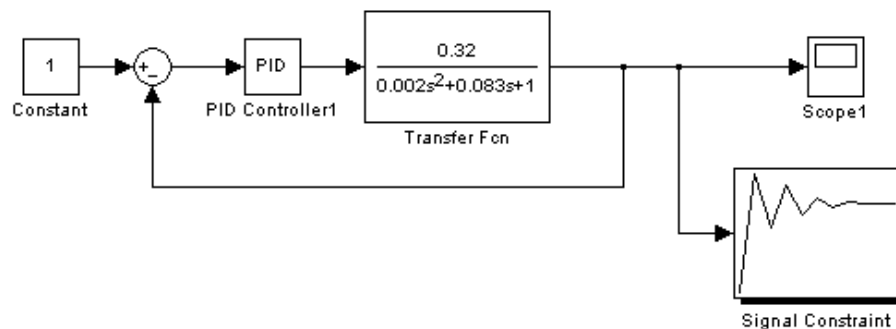


Рисунок 3.17. Модель САК конвеєра

Змінимо налаштування моделі двигуна, встановивши інші значення для параметра Denominator блока Transfer Fcn. Для цього використаємо вектор [0,002 0,083 1]. Також встановимо нове значення коефіцієнта Numerator coefficient рівним 0,32, як показано на рис.3.18.

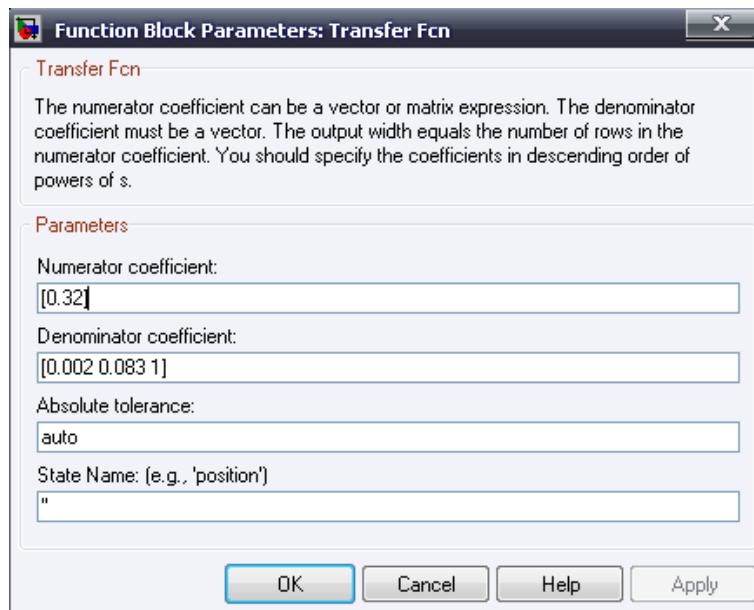


Рисунок 3.18. Налаштування блоку Transfer Fcn

Наступним кроком буде ініціалізація змінних $K_p=1$, $K_i=1$, $K_d=0$ у командному вікні Matlab, після чого налаштуємо параметри блоку PID Controller (рис.3.19), встановлюючи значення K_p у поле Proportional, K_i у поле Integral та K_d у поле Derivative.

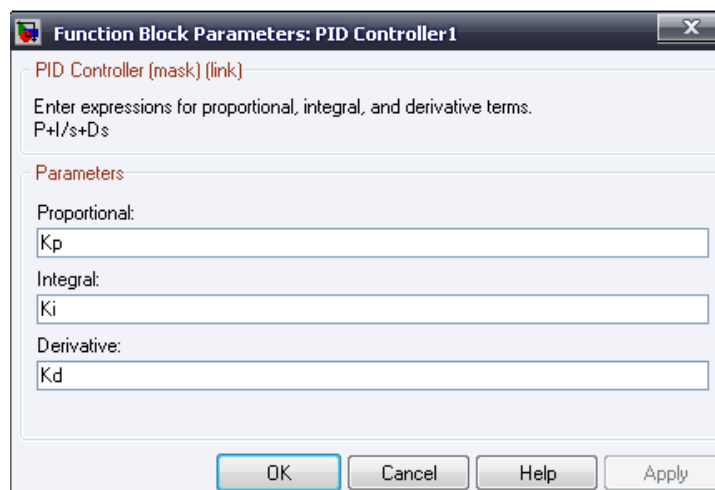


Рисунок 3.19. Налаштування блоку PID Controller

Отже, ми створили локальну модель управління приводом конвеєра у Simulink і тепер можемо розглянути встановлення обмежень для вихідної системи (блоку Transfer Fcn).

Натискання двічі на блок Signal Constraint викличе відкриття вікна, зображеного на рис.3.20. Потім ми встановлюємо необхідні межі коридору відповідно до встановленої задачі, як показано на рис.3.21.

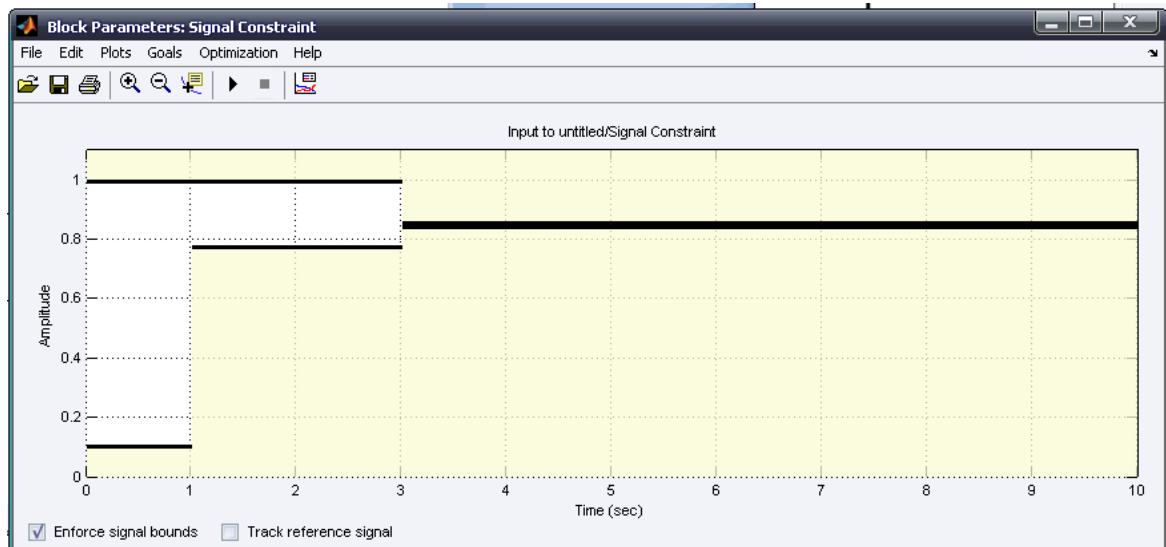


Рисунок 3.20. Налаштування блоку Signal Constraint

Необхідно розробити систему керування для двигуна візків випалювальної машини, який має передатну функцію

$$W_6(p) = \frac{0,32}{(0,024 \cdot 0,083 p^2 + 0,083 p + 1)}$$

Завдання полягає у створенні системи, де час, необхідний для досягнення стабільності значення входу на рівні 1%, складає менше 6 секунд. У якості засобу зворотного зв'язку ми використовуватимемо ПД-регулятор з передатною функцією такого типу:

$$R(p) = K_p + K_i \cdot \frac{1}{p} + K_d \cdot p$$

Треба вибрати коефіцієнти так, щоб вони відповідали вимогам до якості перехідного процесу.

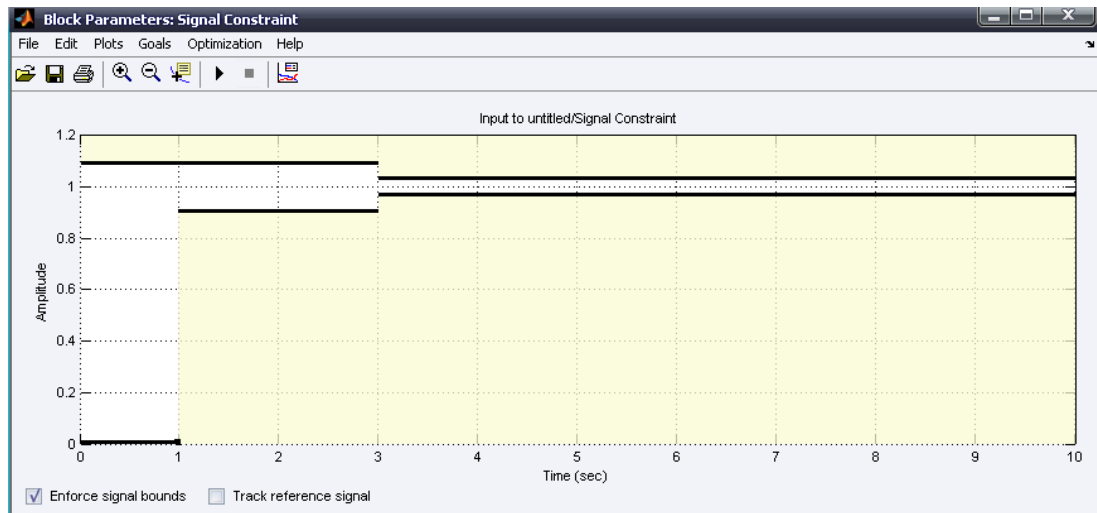


Рисунок 3.21. Налаштування блоку Signal Constraint відповідно до заданої умови

Наступним кроком буде вибір пункту Tuned Parameters у меню Optimization. Це відкриє вікно, де потрібно вказати імена змінних K_p , K_i , K_d , які піддаються налаштуванню, у полі Tunable parameters, як показано на рис.3.22.

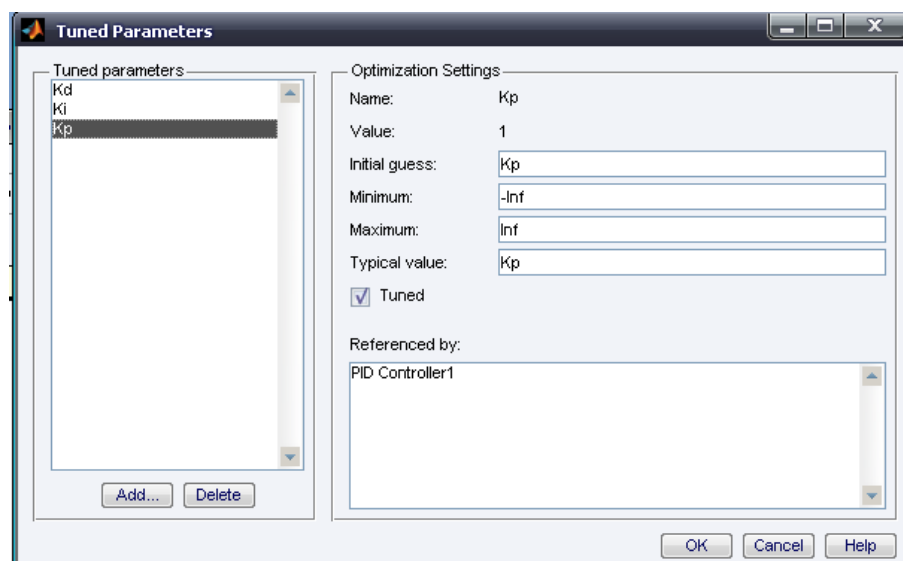


Рисунок 3.22. Налаштування Tuned Parameters

Зараз усе готово для початку оптимізаційного процесу. Натиснемо кнопку "Старт" і будемо спостерігати за його прогресом. Для кожного етапу оптимізації у вікні відображаються графіки сигналу, які відображають початкові (синій колір) та поточні (чорний колір) значення параметрів, див. рис. 3.23. Командне вікно MATLAB також показує інформацію про прогрес оптимізації.

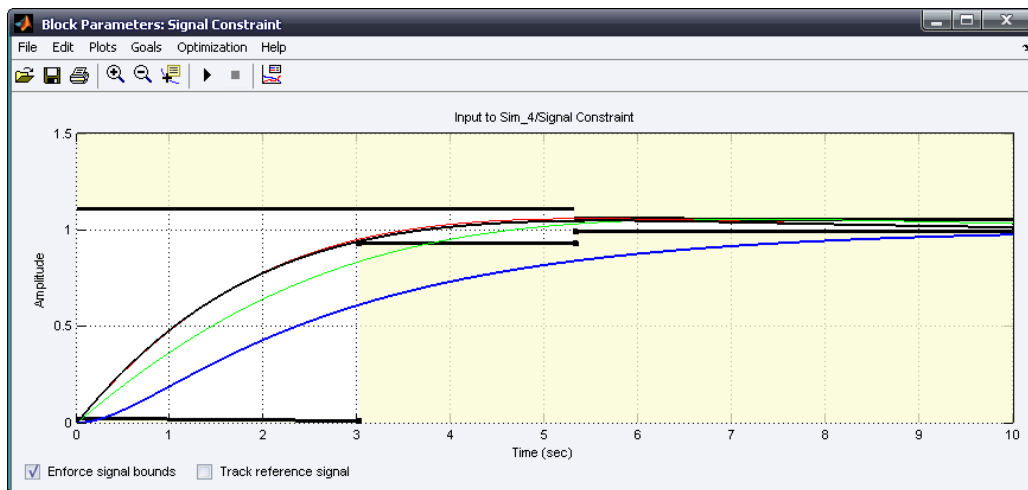


Рисунок 3.23. Графік оптимізації

Після завершення процесу оптимізації, значення змінних, які були налаштовані і відповідають чорній кривій, залишаються в робочому просторі MATLAB. У цьому випадку конкретні значення: $K_p = 5,6928$; $K_d = 9,2930$; $K_i = 2,9440$.

3.3 Розробка технічних рішень з автоматизованого керування вантажопотоками дробильно-сортувальної фабрики

На рис.3.24 зображено структурну схему системи автоматизації. Дві транспортні стрічки, позначені як 1 та 2 для зручності, утворюють транспортну мережу. У цій системі використовуються перетворювачі частоти ПЧ, які з'єднані з приводним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором (Д), а також блоки керування перетворювачем частоти (БК). Пульти керування (ПК) відповідає за збір, обробку та видачу керуючих команд на БК, а також передачу інформації на вищий рівень.

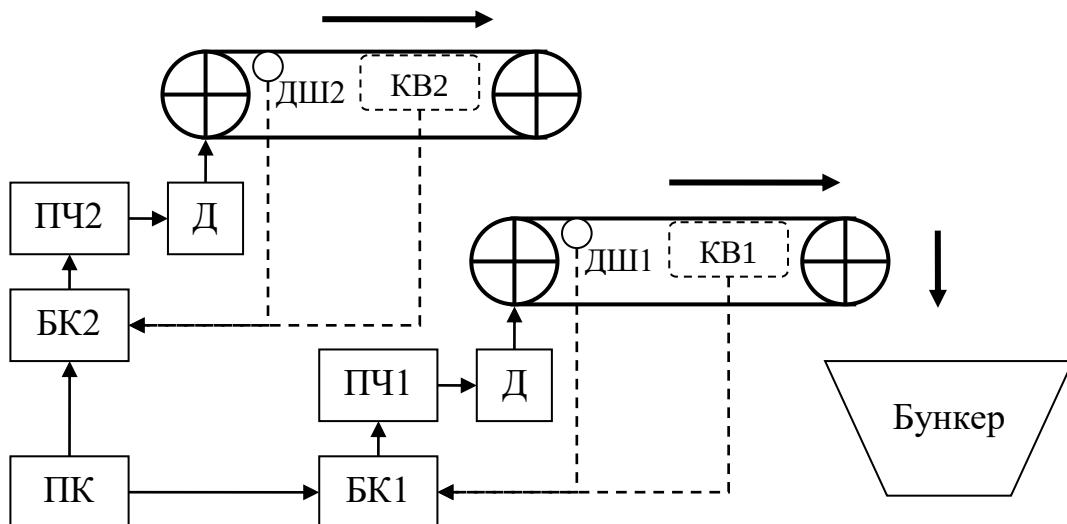


Рисунок 3.24. Структурна схема системи автоматизації

Інформація від датчика швидкості ДШ та конвеєрних ваг КВ подається до блоку керування БК, де проводиться її аналіз (порівняння з встановленим значенням, заданим ПК), та випуск керуючого (аналогового) сигналу на привод ПЧ. Крім того, блок БК забезпечує плавний запуск двигуна конвеєра.

Пульт управління комп'ютером відповідає за запуск конвеєрної лінії, регулює швидкість всього процесу в залежності від навантаження, виконує зупинку лінії або її частини в аварійних ситуаціях, а також у випадку недостатнього навантаження. Він передає інформацію про стан лінії диспетчеру на верхньому рівні управління.

Дані між ПК та БК обмінюються через інтерфейс RS-485, що дозволяє створювати мережі значної протяжності та великої кількості приймально-передавачів без необхідності в ретрансляторах (до 256). БК передає дані про стан параметрів окремого конвеєра, на основі яких ПК забезпечує координоване управління всією конвеєрною лінією.

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи полягала в розробці системи автоматизованого управління процесами підготовки руди на дробильній фабриці. У роботі оглянуто існуючі системи автоматизації, побудовано структурну схему та імітаційну модель автоматичного управління. Проведено моделювання роботи системи та здійснено аналіз отриманих результатів.

На основі здійсненого аналізу можна зазначити наступні висновки:

1. Аналіз впливу різних факторів на продуктивність транспортування руди за допомогою конвеєрного транспорту на дробильно-сортувальній фабриці показав, що збільшити ефективність цього процесу можна, усунувши непродуктивні втрати часу, які зазвичай виникають через бездіяльність конвеєра.

2. Було проведено математичне моделювання технічного обладнання дробильно-сортувальної фабрики з урахуванням аккумуляції рудного матеріалу у бункерах дробарок. Це сприяло підвищенню точності оцінки продуктивності вантажних потоків.

3. Створено структурний план для автоматизованої системи управління вантажними потоками дробильно-сортувальної фабрики, а також обґрунтовано вибір необхідного технічного обладнання для її впровадження у практиці.

4. Створено програмне забезпечення та алгоритми для автоматизованої системи управління вантажними потоками у дробильно-сортувальній фабриці.

5. Була виконана апробація системи автоматизованого управління вантажопотоками на дробильно-сортувальній фабриці за допомогою комп'ютерного моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ширин Л.Н. Адаптация эргатических систем с шахтными конвейерами / Л.Н. Ширин, С.В. Корнеев, В.А. Зотов. - Днепропетровск: НГУ, 2010. - С. 25-29.
2. Транспортні системи гірничих підприємств (шахти та збагачувальні фабрики): навч. посіб. / З. Р. Маланчук, В. Я. Корнієнко, М. М. Марчук та ін. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 157 с.
3. Біліченко М. Я., Півняк Г. Г., Ренгевич О. О. Транспорт на гірничих підприємствах : підручник для вузів / за. ред. М. Я. Біліченка. 3-є вид. перероб. та доп. Д.: Національний гірничий університет, 2005. 636 с.
4. Біліченко М. Я., Денищенко О. В. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт : навч. посіб. 2-е вид. Д. : Національний гірничий університет, 2008. 103 с.
5. Єльнікова Г.В. Основи адаптивного управління : курс лекцій / Єльнікова Г.В. – Х. : Видав. гр. „Основа”, 2004. – 128 с.
6. Пальчевський Б. О. Автоматизація технологічних процесів. - Львів : Світ, 2007. - 392 с.
7. Головкин Д. Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів. - К. : Либідь, 2007, - 232 с.
8. Ядыкин И.Б. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами / И.Б. Ядыкин, В.М. Шумский, Ф.А. Овсепян. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.
9. Мовчан А.П. Навчальний посібник: Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління. Навч. посіб. / Мовчан А.П., Степанець О.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. — 108 с.
10. Landau I. D. Adaptive Control – the Model Reference Approach / I. D. Landau. – New York: Marsel Dekker, 1979.
11. Ioannou P. A. Robust Adaptive Control / P. A. Ioannou. – Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1996.

12. Кириченко М. Т., Кузьменко О. Х. Основи гірничого виробництва : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів України. Житомир : ЖДТУ, 2003. 340 с.

13. Підземні гірничі роботи: технологія гірничих робіт : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво», спеціалізації «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» / М. Т. Кириченко, А. Л. Ган, С. М. Стовпник, Л. В. Шайдецька, Є. А. Загоруйко ; КПП ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. 160 с

14. Білецький В.С., Смирнов В.О. Технологія збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 272 с.

15. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина І. Підготовчі процеси. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2019. –200 с.

16. Папушин Ю. Л., Білецький В. С. Основи автоматизації гірничого виробництва. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. — 168 с.

17. Тиханський М.П., Єфименко Л.І. Конвеєрна лінія Інгулецького гірничозбагачувального комбінату, як об'єкт автоматизації // Академічний вісник . – 2001. – №92. – С. 92-97.

18. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2002. –296 с.

19. Салов В. О. Основи експлуатаційних розрахунків транспорту гірничих підприємств : навч. посіб. Д.: Національний гірничий університет, 2005. 199 с.