

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-2К

Хомишинець Віталій
2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Хомишинець Віталій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 622.73:004.896
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

«Розробка системи автоматичного керування процесом

(назва роботи)

подрібнення хромової руди»

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

О.В. Кучмистенко

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

В. С. Борин

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-2К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

В. М. Хомишинець

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКТ

доцент А. І. Лагойда

« » 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Хомишинцю Віталію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи автоматичного керування процесом подрібнення хромової руди»

керівник роботи Чигур Людмила Ярославівна, к.т.н., доцент

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

затвердені наказом закладу вищої освіти від «07» 05 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технологічна схема об'єкту, параметри проходження процесу, стандарти, каталоги, методичні вказівки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу подрібнення хромової руди як об'єкта автоматичного контролю і керування. 2. Порівняльний аналіз запропонованих варіантів рішень. 3. Теоретичне дослідження об'єкта автоматизації. 4. Розроблення проектної документації системи.

5. Розробка алгоритму управління процесом дроблення у середовищі ТІА Portal.

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

Лист 1 - Конструкція шокової дробарки - БР.АКП-66.00.00.000 01

Лист 2 - Результати моделювання розімкнутої САК - БР.АКП-66.00.00.000 02

Лист 3 - Результати моделювання замкнутої САК - БР.АКП-66.00.00.000 03

Лист 4 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-66.00.00.000 04

Лист 5 - Блок-схема алгоритму системи керування - БР.АКП-66.00.00.000 05

Лист 6 - НМІ-панель оператора для моніторингу - БР.АКП-66.00.00.000 06

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу подрібнення хромової руди як об'єкта автоматичного контролю і керування	10.05.25-15.05.25	
2	Порівняльний аналіз запропонованих варіантів рішень	16.05.25-20.05.25	
3	Теоретичне дослідження об'єкта автоматизації	21.05.25-25.05.25	
4	Розроблення проектної документації системи	26.05.25-05.06.25	
5	Розробка алгоритму управління процесом дроблення у середовищі TIA Portal	06.06.25-10.06.25	

Студент _____
(підпис)

В. М. Хомишинець
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л.Я. Чигур
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 73 сторінок друкованого тексту, 30 рисунків, 15 таблиць, 12 переліків посилань на джерела.

Тема: «Розробка системи автоматичного керування процесом подрібнення хромової руди».

Об'єкт дослідження: щокова дробарка.

Мета проекту: розробка системи автоматизованого управління процесом дроблення хромової руди на основі щокової дробарки С-888 з використанням сучасних засобів автоматизації (SCADA, PLC, частотних перетворювачів) для підвищення ефективності, безпеки та стабільності технологічного процесу.

Методи дослідження: експериментальні (практичні) методи, теоретичні методи, системний аналіз, математичне моделювання.

Результати бакалаврської роботи: було розроблено систему автоматизованого управління процесом дроблення хромової руди на базі щокової дробарки С-888. На основі аналізу технологічного процесу було створено математичну модель дробарки, яка враховує динаміку завантаження, продуктивність та вплив основних збурювальних факторів, таких як міцність руди та розмір фракції. Для перевірки адекватності моделі було проведено імітаційне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink, що дозволило проаналізувати перехідні процеси та підтвердити стійкість системи. Оптимізація системи керування здійснювалася шляхом синтезу ПД-регулятора за методом Циглера-Ніколса, що забезпечило час регулювання до 678 секунд, перерегулювання не більше 40,6% та мінімальну усталену похибку на рівні 0,065.

Ключові слова: автоматизація, дроблення руди, щокова дробарка, хромово руда, ПД-регулятор, математичне моделювання, оптимізація процесу, системи керування.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 73 pages of printed text, 30 figures, 15 tables, 12 lists of references to sources.

Topic: "Development of an automatic control system for the process of crushing chrome ore".

Object of research: jaw crusher.

Project goal: development of an automated control system for the process of crushing chrome ore based on the jaw crusher S-888 using modern automation tools (SCADA, PLC, frequency converters) to increase the efficiency, safety and stability of the technological process.

Research methods: experimental (practical) methods, theoretical methods, system analysis, mathematical modeling.

Results of bachelor's thesis: an automated control system for the process of crushing chrome ore based on the jaw crusher S-888 was developed. Based on the analysis of the technological process, a mathematical model of the crusher was created, which takes into account the dynamics of loading, productivity and the influence of the main disturbing factors, such as ore strength and fraction size. To verify the adequacy of the model, simulation modeling was carried out in the MATLAB/Simulink environment, which allowed analyzing transient processes and confirming the stability of the system. Optimization of the control system was carried out by synthesizing a PID controller using the Ziegler-Nichols method, which provided a control time of up to 678 seconds, an overshoot of no more than 40.6% and a minimum steady-state error of 0.065.

Keywords: automation, ore crushing, jaw crusher, chrome ore, PID controller, mathematical modeling, process optimization, control systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ХРОМОВОЇ РУДИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....	10
1.1 Опис технологічного процесу подрібнення.....	10
1.2 Загальний опис щоклової дробарки.....	11
1.3 Обґрунтування та вибір методів автоматизації системи керування.....	16
1.4 Визначення точок контролю та управління.....	17
Висновки до розділу.....	19
2 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВАРІАНТІВ РІШЕНЬ.....	20
2.1 Вимоги до автоматизації технологічних процесів у гірничодобувній промисловості.....	20
2.2 Постановка завдання управління ділянкою дроблення хромової руди, вимоги до проектних рішень.....	25
3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	26
3.1 Математична модель щоклової дробарки.....	26
3.2 Отримання математичної моделі процесу автоматизації дроблення.....	34

					БР.АКП-64.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Хомишинець В.М.			«Розробка системи автоматичного керування процесом подрібнення хромової руди»	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Чигур Л.Я.					6	73
Реценз.		Борин В.С.				Група АКП-23-2К ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

3.3	Моделювання системи процесу дроблення у програмі Matlab.....	36
3.4	Емпіричний метод Циглера-Ніколса для налаштування типового регулятора.....	38
	Висновки до розділу.....	46
4	РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ САК.....	47
4.1	Розробка структурної та функціональної схеми автоматизації системи дроблення хромової руди.....	47
4.2	Вибір технічних засобів вимірювання та автоматизації.....	49
	Висновки до розділу.....	58
5	РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ДРОБЛЕННЯ У СЕРЕДОВИЩІ TIA PORTAL.....	59
5.1	Вимоги до алгоритму управління.....	59
5.2	Структура АСУ ТП дроблення хромової руди.....	60
5.3	Блок-схема роботи системи керування процесом дроблення.....	61
5.4	Таблиця знаків програмі TIA Portal.....	63
5.5	Структура програми мовою LAD.....	64
5.6	Панель оператора.....	67
	Висновки до розділу.....	70
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	73

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ГЗК – Гірничо-збагачувальний комбінат

АСУ – Автоматизована система управління

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерське управління та збір даних)

DCS – Distributed Control System (розподілена система управління)

ПЛК (PLC) – Програмований логічний контролер

ЩД (Щокова дробарка) – Дробарка з двома щоками для подрібнення матеріалів

C-888 – Модель щокової дробарки

DI (Digital Input) – Цифровий вхід

DO (Digital Output) – Цифровий вихід

AI (Analog Input) – Аналоговий вхід

AO (Analog Output) – Аналоговий вихід

PIW (Process Input Word) – Вхідний сигнал процесу

PQW (Process Output Word) – Вихідний сигнал процесу

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Заплановані заходи щодо розвитку економіки України, особливо в контексті угоди про корисні копалини, передбачають суттєве збільшення обсягів видобутку та переробки мінеральних ресурсів. Для досягнення цієї мети планується будівництво нових підприємств у гірничодобувній промисловості, а також реконструкція існуючих виробництв в інших галузях, де мінеральна сировина використовується як вихідний матеріал. Введення нової техніки та оптимізація використання існуючого обладнання мають допомогти знизити собівартість продукції, покращити її якість та підвищити рентабельність виробництва. Одним із головних процесів у виробництві будівельних матеріалів, таких як цемент та щебінь, є дроблення сировини. Тому важливо удосконалювати дробильне обладнання, оскільки експлуатаційні витрати на нього займають значну частину загальних витрат на переробку сировини.

Автоматизація виробничих процесів є найбільш ефективним та перспективним способом збільшення продуктивності обладнання та підвищення якості виробленої продукції. Для того щоб підвищити ефективність процесу дроблення, необхідно мати глибокі знання про конструкцію та принцип дії використовуваних машин, а також про особливості їх експлуатації. У бакалаврській роботі планується розробити та змоделювати систему управління процесом дроблення хромової руди, де об'єктом управління виступає щоква дробарка С-888. Також необхідно провести порівняльний аналіз технічних засобів для реалізації процесу дроблення, включаючи рівнеміри, пластинчасті живильники, привід живильника, ваговий конвеєр та контролер. Потрібно побудувати структурні та функціональні схеми автоматизації системи дроблення руди, а також отримати передатні функції окремих елементів та об'єкта управління для моделювання процесу в середовищі Matlab.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ХРОМОВОЇ РУДИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу подрібнення

Щокова дробарка – це пристрій для роздроблення матеріалів на дрібніші шматки шляхом застосування сили стиснення між двома щоками. Рама - це основа щокової дробарки, на якій встановлені всі інші компоненти. Щоки - це дві пластини, розташовані всередині дробильної камери, які наближаються одна до одної для стиснення матеріалу. Регульовальний пристрій використовується для налаштування зазору між щоками, що дозволяє змінювати розмір отриманого матеріалу. Механізм переміщення матеріалу переміщує матеріал у подрібнювальну камеру і випускає подрібнений матеріал з неї. Мотор живить привід, який використовується для переміщення щік вгору та вниз. Система змащення забезпечує змащення всіх рухомих деталей щокової дробарки, зменшуючи зношування та підвищуючи ефективність роботи. Захисні пристрої для безпечної роботи щокової дробарки використовуються різні захисні пристрої, такі як запобіжники, датчики рівня та інші. Пристрої для видалення металевих предметів, деякі щокові дробарки можуть бути оснащені магнітними сепараторами або детекторами металу, щоб видаляти металеві предмети з матеріалу до дроблення. Система управління керує роботою щокової дробарки, контролюючи швидкість руху щік, регулювання зазору між щоками та інші параметри.

Деякі щокові дробарки можуть бути оснащені додатковими опціями, такими як вібраційний живильник, кишеньковий фільтр для пилу та інші, для оптимізації роботи дробарки та покращення якості подрібненого матеріалу.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхонь щік від зносу, вони обшиваються змінними плитами, що дроблять 12 і 13, що виготовляються з зносостійкої сталі. Бічні стінки камери подрібнення також облицьовані змінними плитами. Дроблячі плити, як правило, мають рифлену поверхню, і це впливає на умови захоплення матеріалу та гранулометричний склад роздробленого матеріалу. Для первинного дроблення використовують гладкі плити, що дроблять. Щоківі дробарки працюють за циклічним принципом, який створює нерівномірне навантаження на двигун через максимальне навантаження при зближенні щік і холостого ходу при їх розбіжності. Для компенсації цієї нерівномірності на приводному валу встановлюють маховик та шків-маховик, які "акумулюють" енергію при неодруженому ході і віддають її при стисканні. Ширина вихідної щілини камери дроблення регулюється в процесі експлуатації шляхом встановлення прокладок різної товщини між упором 9 та задньою стінкою станини. Замикання ланок механізму приводу рухомої щоки гарантується пружиною 7 і 8 тягою.

У сучасних дробарках передбачено встановлення запобіжних пристроїв, які автоматично відновлюються після спрацьовування. Ці пристрої захищають елементи машини від поломок, коли в них потрапляють "не подрібнені" предмети. На малюнку 2 показано схему запобіжного пристрою, яке поєднане з розпірною плитою.

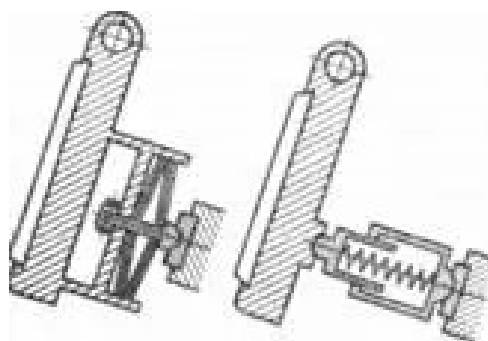


Рисунок 1.2 – Схема пружинного запобіжного пристрою щоківі дробарки

Для нормальної роботи дробарки жорсткість пружини має бути достатньою. Якщо в машину потрапляють не подрібнені предмети, то пружини повинні бути досить жорсткими, щоб стискатися на необхідну відстань, щоб дозволити

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ексцентриковому валу обертатися при зупиненій рухомій щоці.

Об'єктом управління є щокова дробарка С888 (таблиця 3.1). Робота цієї дробарки характеризується продуктивністю живильника $Q_{п}$, шириною розвантажувальної щілини l , крупністю D і міцністю вихідного σ матеріалу, а також продуктивністю $Q_{др}$, потужністю N , що споживається в процесі дроблення, і гранулометричним складом дробленого продукту, вираженим середньозваженим діаметром шматків $d_{ср}$.

Будь-які відхилення ширини щілини розвантаження від заданого значення зазвичай оперативно усуваються обслуговуючим персоналом під час профілактичних оглядів. Крім того, зміна ширини щілини розвантаження в процесі експлуатації настільки незначно, що його вплив можна знехтувати.

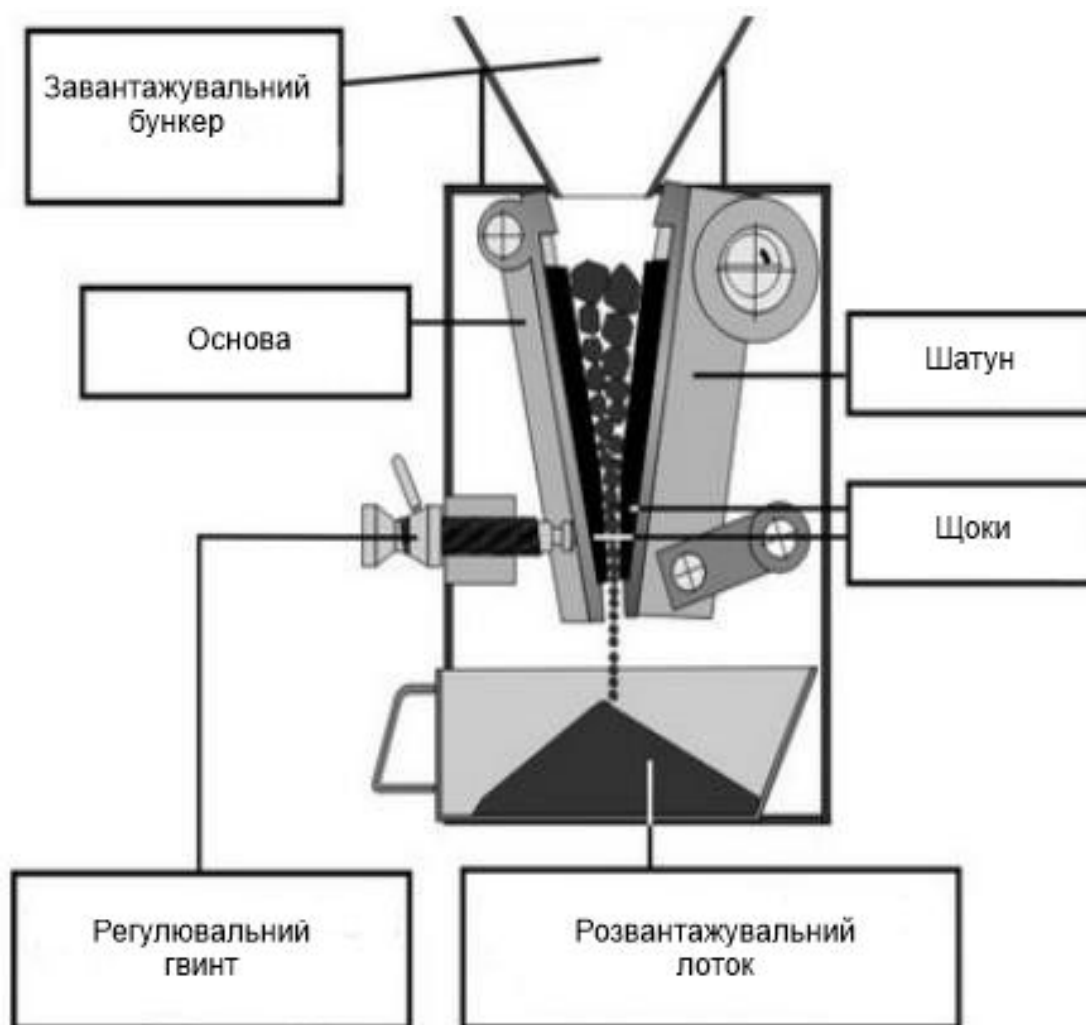


Рисунок 1.3 – Дробильне обладнання – щокова дробарка

						БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика дробарки С-888

Показники	С-888
Розмір приймаючого отвору, мм	1500x2100
Найбільший розмір завантажувальних часток, мм	1300
Номінальна ширина вихідної щілини, мм	180
Межі регулювання вихідної щілини, мм	135-225
Частота обертання ексцентрикового валу, хв	1-100
Виробництво, т/г	280
Габаритні розміри, м	7350x6800x4800

Щокова дробарка як об'єкт управління являє собою складну динамічну систему, на яку впливає безліч факторів. Для ефективного управління її роботою необхідно враховувати наступні аспекти.

Вхідні параметри. Розмір та твердість матеріалу, що подається, ці параметри безпосередньо впливають на продуктивність дробарки, споживану потужність та якість подрібнення. Швидкість подачі матеріалу, регулювання швидкості подачі дозволяє оптимізувати завантаження дробарки та уникнути її перевантаження або роботи вхолосту. Вологість матеріалу може спричиняти забивання дробарки та знижувати її ефективність.

2. Вихідні параметри. Розмір фракції подрібненого матеріалу - це основний регульований параметр, який залежить від величини вихідної щілини між щоками дробарки. Продуктивність – кількість подрібненого матеріалу за одиницю часу, яка залежить від вхідних параметрів та налаштувань дробарки. Споживана потужність – енергоспоживання дробарки, яке залежить від навантаження та характеристик матеріалу.

3. Внутрішні параметри та регулювання. Величина вихідної щілини. Регулювання зазору між рухомою та нерухомою щоками визначає максимальний розмір вихідної фракції. Зазвичай регулюється механічно або гідравлічно. Частота коливань рухомої щоки впливає на інтенсивність дроблення та продуктивність.

Хід рухомої щоки – амплітуда руху рухомої щоки також впливає на процес подрібнення. Кут захоплення - кут між щоками у верхній частині робочої зони, який впливає на захоплення великих шматків матеріалу.

4. Зовнішні впливи. Знос робочих поверхонь (футерувальних плит) – з часом знос плит змінює профіль робочої зони та впливає на якість дроблення. Потрапляння недроблених предметів може призвести до поломок дробарки або її зупинки.

Як об'єкт управління, щокова дробарка характеризується наступними властивостями. Нелінійністю – залежність між вхідними та вихідними параметрами є складною та нелінійною. Інерційністю – зміни вхідних параметрів не миттєво відображаються на вихідних. Наявністю збурень – властивості матеріалу, що подається, можуть змінюватися непередбачувано. Необхідністю контролю якості, важливо підтримувати стабільний гранулометричний склад вихідного продукту.

Системи управління щоковою дробаркою можуть включати: ручне керування (оператор візуально контролює процес та здійснює необхідні налаштування); автоматизоване керування (використання датчиків для вимірювання поточних параметрів (навантаження двигуна, розмір вихідної щілини, рівень завантаження) та автоматичних регуляторів для підтримки заданих значень; системи захисту (для запобігання поломкам при перевантаженнях або потраплянні сторонніх предметів).

Автоматизація щокової дробарки може значно підвищити її ефективність, стабільність роботи та якість продукції, а також знизити ризик аварій та необхідність постійної присутності оператора. Системи автоматизації можуть включати керування швидкістю подачі матеріалу, регулювання вихідної щілини в залежності від навантаження та необхідної фракції, а також моніторинг стану обладнання.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Обґрунтування та вибір методів автоматизації системи керування

Обґрунтування та вибір методів автоматизації системи керування процесом подрібнення руди є ключовим етапом для підвищення ефективності, стабільності та економічності гірничо-збагачувальних комбінатів. Процес подрібнення руди є енергоємним і значною мірою впливає на якість подальшої переробки. Автоматизація дозволяє оптимізувати цей процес, зменшити витрати та покращити якість кінцевого продукту.

Основні задачі автоматизації процесу подрібнення руди є наступними. Стабілізація та оптимізація гранулометричного складу подрібненої руди, забезпечення необхідної фракції для подальшого збагачення. Максимізація продуктивності млинів, досягнення максимальної кількості переробленої руди за одиницю часу. Мінімізація енергоспоживання, зниження витрат електроенергії на процес подрібнення. Запобігання аварійним ситуаціям та виходу обладнання з ладу: Контроль параметрів роботи млинів та своєчасне реагування на відхилення. Оптимізація витрат мелючих тіл та футерування млинів, прогнозування зносу та планування замін.

Обґрунтування необхідності автоматизації полягає у наступному. Змінність характеристик руди: властивості руди (твердість, вологість, гранулометричний склад) можуть значно змінюватися, що ускладнює ручне керування для підтримання стабільних результатів. Автоматизовані системи можуть адаптуватися до цих змін в режимі реального часу. Високі енергетичні витрати: процес подрібнення є одним з найбільш енергоємних на ГЗК. Автоматизація дозволяє оптимізувати завантаження млинів та знизити споживання електроенергії. Вплив на якість збагачення: нестабільний гранулометричний склад подрібненої руди може негативно впливати на ефективність подальших процесів збагачення (флотація, магнітна сепарація тощо). Автоматизація забезпечує більш однорідну якість підготовки сировини. Ризик аварій та простоїв: неправильне керування млинами може призвести до їх перевантаження, поломок та тривалих простоїв, що знижує продуктивність всього комбінату.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Автоматизовані системи контролю та захисту мінімізують ці ризики. Людський фактор: ручне керування є складним та вимагає високої кваліфікації операторів. Автоматизація знижує залежність від людського фактору та забезпечує більш стабільні та передбачувані результати.

1.4 Визначення точок контролю та управління

При автоматизації процесу дроблення необхідно також передбачити такі пункти:

- розробка та впровадження для технологічного процесу дроблення систем управління швидкістю руху стрічки живильника;
- слід встановити системи безпеки та автоматичне відключення обладнання, щоб запобігти виникненню нещасних випадків на виробництві;
- для забезпечення контролю та віддаленого управління процесом необхідно розробити та впровадити систему моніторингу та дистанційного управління.

Таким чином, далі визначено точки контролю, управління та регулювання у таблицях 1.2, 1.3 та 1.4.

Таблиця 1.2 - Точки контролю перевантажувального вузла

Назва вимірюваного параметра	Номинальне значення	Канал модуля контролера
1	2	3
PP		
1 Наявність аварійної кнопки управління живленням	0 або 1	DI 3.0
2 Датчик швидкості живлення	0 або 1	DI 3.1
WC		
1 Наявність швидкості руху конвеєра	0 або 1	DI 1.4

3 Схід стрічки	0 або 1	DI 1.2
4 Тросовий вимикач	0 або 1	DI 1.3
5 Натяг стрічки	0 або 1	DI 1.1
Crusher		
1 Наявність верхнього рівня в бункері дробарки	0 або 1	DI 2.1
2 Наявність нижнього рівня в бункері дробарки	0 або 1	DI 2.2

У таблиці 1.3 наведено точки керування ділянкою дроблення хромової руди.

Таблиця 1.3 - Точки управління

Назва вимірюваного параметра	Номінальне значення	Канал модуля контролера
WC	0 або 1	DO 1.0
Crusher	0 або 1	DO 2.0
PP	0 або 1	DO 3.0

У таблиці 1.4 наведено точки регулювання ділянкою дроблення хромової руди.

Таблиця 1.4 - Точки регулювання

Назва вимірюваного параметра	Номінальне значення	Канал модуля контролера
Частота струму на вході двигуна	0-50 Гц	PQW304
Швидкість руху стрічки живлення	0-1 м/с	PIW304

Першочерговим завданням є розробка ефективної системи регулювання швидкості руху стрічки живильника. Оптимальне рішення передбачає використання сучасних частотних перетворювачів, які забезпечують плавне керування електродвигуном. Важливим аспектом є організація зворотного зв'язку

через систему датчиків, що включає вагові конвеєри для контролю маси подаваного матеріалу та аналіз параметрів роботи двигуна дробарки. Таке рішення дозволяє підтримувати стабільне завантаження обладнання, уникнення як перевантаження, так і роботи вхолосту.

Не менш важливим є питання забезпечення безпеки технологічного процесу. Сучасні системи передбачають комплекс апаратних та програмних засобів захисту. До апаратної частини відносяться аварійні вимикачі різних типів, датчики механічних перевантажень та контроль стану критичних вузлів обладнання. Програмний захист реалізується через систему логічних блоків, які постійно моніторять ключові параметри роботи обладнання та ініціюють аварійне

Висновок до розділу

У даному розділі проведено аналіз технологічного процесу подрібнення хромової руди як об'єкта автоматичного контролю та керування. Розглянуто конструкцію та принцип роботи шоквої дробарки, визначено основні параметри, що впливають на ефективність процесу. Встановлено, що дробарка є складною динамічною системою з нелінійними характеристиками, що потребує ретельного підходу до автоматизації. Обґрунтовано необхідність автоматизації процесу подрібнення для підвищення продуктивності, стабілізації якості дроблення, зниження енерговитрат та запобігання аварійним ситуаціям. Визначено ключові точки контролю та управління, такі як швидкість подачі матеріалу, рівень завантаження бункерів, стан обладнання тощо. Запропоновано інтеграцію сучасних засобів автоматизації, що дозволить оптимізувати роботу дробарки та забезпечити безпеку технологічного процесу. Отримані результати є основою для подальшого проектування системи автоматичного керування подрібненням хромової руди.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВАРІАНТІВ РІШЕНЬ

2.1 Вимоги до автоматизації технологічних процесів у гірничодобувній промисловості

Сучасні вимоги до автоматизації технологічних процесів у гірничодобувній промисловості передбачають комплексний підхід до проектування систем управління. Особливу увагу при автоматизації процесу дроблення хромової руди слід приділити трьом основним напрямкам.

Вибір конкретних методів автоматизації залежить від типу використовуваних млинів (кульові, стрижневі, рудорозмельювальні), складності технологічної схеми, вимог до якості подрібнення та наявного бюджету. Основні методи та підходи включають наступні.

Автоматизація керування завантаженням млина.

Метод контролю за вагою руди на конвеєрі: використання стрічкових ваг для вимірювання кількості руди, що подається в млин, та регулювання швидкості конвеєра для підтримання заданої продуктивності.

Метод контролю за рівнем заповнення млина: використання датчиків рівня (ультразвукових, радіолокаційних) для визначення ступеня заповнення млина рудою та регулювання подачі.

Метод контролю за звуком млина: аналіз акустичних характеристик роботи млина для оцінки ступеня його завантаження та регулювання подачі руди і води. Цей метод є непрямим, але може бути ефективним для оптимізації.

Метод контролю за крутним моментом двигуна млина: вимірювання поточного навантаження на двигун млина та регулювання подачі руди для запобігання перевантаженню та оптимізації енергоспоживання.

Контроль завантаження є ключовим для стабілізації процесу подрібнення, максимізації продуктивності та запобігання аварійним ситуаціям. Комбінація декількох методів може забезпечити більш надійне та точне керування.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматизація керування подачею води.

Метод контролю за густиною пульпи: використання густиномірів (радіометричних, гідроциклонних) на виході з млина для вимірювання густини пульпи та регулювання подачі води для її підтримки в заданому діапазоні.

Метод контролю за рівнем пульпи в млині: використання датчиків рівня для контролю кількості пульпи в млині та запобігання її переливу або недостатньому рівню.

Підтримання оптимальної густини пульпи є важливим для ефективного подрібнення та транспортування руди. Автоматичне регулювання забезпечує стабільність цього параметра.

Автоматизація керування вихідним продуктом (класифікація).

Автоматичне регулювання роботи гідроциклонів: керування тиском подачі пульпи, витратою та іншими параметрами гідроциклонів для забезпечення необхідного гранулометричного складу пісків та зливу. Використання датчиків тиску, витрати та густини.

Використання онлайн-аналізаторів розміру частинок: встановлення лазерних дифракційних аналізаторів або інших приладів для безперервного вимірювання гранулометричного складу пульпи та використання цих даних для корекції параметрів роботи млина та класифікаторів.

Автоматизація класифікації дозволяє отримувати продукт з заданим гранулометричним складом, що є критично важливим для подальших процесів збагачення. Онлайн-аналізatori забезпечують оперативний зворотний зв'язок для оптимізації процесу.

Системи моніторингу та діагностики обладнання.

Контроль вібрації млинів: використання датчиків вібрації для раннього виявлення несправностей підшипників, редукторів та інших механічних частин млина.

Контроль температури підшипників та обмоток двигуна: використання термодатчиків для запобігання перегріву та виходу обладнання з ладу.

Моніторинг зносу футерування (непрямі методи): аналіз споживаної

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

потужності, рівня шуму та вібрації для оцінки ступеня зносу футерування.

Раннє виявлення потенційних проблем дозволяє проводити профілактичне обслуговування та запобігати дорогим аварійним ремонтам та простоям.

Системи керування верхнього рівня (SCADA/DCS). Інтеграція всіх локальних систем автоматизації в єдину систему для централізованого моніторингу, керування та збору даних. Візуалізація технологічного процесу, відображення трендів параметрів, формування звітів. Можливість реалізації складних алгоритмів керування та оптимізації на основі даних з різних датчиків та аналізаторів. Системи верхнього рівня забезпечують операторів повною інформацією про процес, полегшують прийняття рішень та дозволяють реалізовувати стратегії оптимізації на рівні всього технологічного переділу.

Використання нейронних мереж, генетичних алгоритмів та інших методів машинного навчання для прогнозування поведінки процесу подрібнення, оптимізації параметрів керування в залежності від змінних характеристик руди та прогнозування зносу обладнання. Методи штучного інтелекту можуть виявляти складні залежності між параметрами процесу та знаходити оптимальні режими роботи, які не завжди очевидні при традиційних підходах до автоматизації.

Вибір конкретних методів автоматизації повинен базуватися на наступних факторах. Техніко-економічному обґрунтуванні: порівняння витрат на впровадження та експлуатацію різних систем автоматизації з очікуваними економічними вигодами (збільшення продуктивності, зниження енергоспоживання, зменшення витрат на обслуговування). Аналізі технологічного процесу: детальне вивчення особливостей процесу подрібнення на конкретному підприємстві, виявлення ключових параметрів, що впливають на якість та ефективність. Надійності та точності обладнання: вибір датчиків, виконавчих механізмів та контролерів з відповідними характеристиками точності, швидкодії та надійності роботи в умовах гірничо-збагачувального виробництва. Можливості інтеграції з існуючими системами: забезпечення сумісності нових систем автоматизації з вже встановленим обладнанням та системами керування. Кваліфікації персоналу: врахування рівня підготовки обслуговуючого персоналу

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	поломок	профілактики на основі моніторингу	зносу та планове обслуговування
Капітальні витрати	Низькі	Середні	Високі
Складність впровадження	Низька	Середня	Висока
Залежність від людського фактору	Висока	Середня	Низька
Гнучкість та адаптивність	Низька, складно реагувати на зміни властивостей руди	Середня, автоматичне регулювання основних параметрів	Висока, адаптивні алгоритми та машинне навчання
Керування живильником	Ручне	Автоматизоване (за навантаженням)	Предиктивне (на основі моделі)
Системи безпеки	Базові механічні блокування	Датчики, сигналізація, автоматичне відключення	Багаторівнева комплексна система
Дистанційне керування	Відсутнє	Локальне	Повноцінне централізоване

Включення вимог щодо керування швидкістю живильника, систем безпеки та дистанційного управління підкреслює важливість комплексного підходу до автоматизації.

Базовий рівень є неприйнятним, якщо пріоритетом є безпека та ефективне керування процесом. Ручне керування швидкістю живильника не дозволяє оперативно реагувати на зміни, а базові системи безпеки не забезпечують належного рівня захисту. Відсутність дистанційного керування ускладнює контроль та оперативне втручання.

Середній рівень є значно кращим рішенням, оскільки передбачає

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

автоматизоване керування швидкістю живильника, базові системи автоматичного відключення та можливість локального дистанційного керування. Це підвищує безпеку та стабільність процесу.

Високий рівень є найбільш оптимальним варіантом, оскільки забезпечує найвищий рівень безпеки завдяки комплексній системі, найбільш ефективно керування швидкістю живильника на основі моделі процесу, а також повноцінне дистанційне керування та моніторинг. Хоча цей варіант вимагає значних капітальних витрат, він забезпечить максимальну ефективність, безпеку та зниження експлуатаційних витрат у довгостроковій перспективі.

Вибір остаточного варіанту повинен ґрунтуватися на ретельному аналізі ризиків, вимог до безпеки, необхідного рівня контролю та управління, а також на економічній доцільності впровадження кожного з варіантів. Для сучасного виробництва з високими вимогами до безпеки та ефективності Варіант 3 (Високий рівень автоматизації) є найбільш рекомендованим, хоча Варіант 2 (Середній рівень) може бути прийнятним на початкових етапах автоматизації з подальшою модернізацією.

2.2 Постановка завдання управління ділянкою дроблення хромової руди, вимоги до проектних рішень

Дана бакалаврська робота спрямована на розробку системи автоматизації ділянки дроблення хромової руди. Об'єктом управління приймаємо щоківу дробарку, яка керується пластинчастим живильником. Для досягнення поставлених цілей необхідно вирішити кілька завдань: розробити структуру системи автоматизації, вибрати апаратну базу, виконати функціональну схему автоматизації, розробити алгоритм керування живильниками та дробаркою, створити математичну модель технологічного процесу в середовищі Matlab, налаштувати регулятор за допомогою PID tuning (Control System Designer) і реалізувати алгоритм з допомогою ПЗ ПІА-портал, використовуючи контролер Simatic.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Математична модель шокової дробарки

Цей етап передбачає глибоке та всебічне вивчення технологічного процесу або обладнання, яке планується автоматизувати. Його мета - отримати повне розуміння принципів роботи об'єкта, його характеристик, взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами, а також впливу зовнішніх факторів.

Перш за все, чітко визначаються фізичні та функціональні межі об'єкта автоматизації. Визначаються вхідні (керуючі та збурюючі впливи) та вихідні (контрольовані) змінні процесу.

Проводиться детальний аналіз технологічної схеми, послідовності операцій, призначення кожного елемента обладнання та їх взаємодії. Виявляються критичні параметри, які необхідно контролювати та регулювати.

Збирається та аналізується вся доступна технічна документація на обладнання: схеми, інструкції з експлуатації, технічні характеристики, паспортні дані, результати попередніх досліджень та випробувань.

Проводяться безпосередні спостереження за функціонуванням об'єкта в реальних умовах експлуатації. Фіксуються типові режими роботи, динаміка зміни параметрів, вплив збурень, дії операторів.

За необхідності проводяться експерименти для отримання кількісних даних про поведінку об'єкта. Змінюються вхідні параметри та фіксуються відповідні зміни вихідних. Збираються статистичні дані про випадкові збурення та їх вплив.

Аналізується поведінка об'єкта у часі, виявляються можливі нелінійні залежності між змінними, наявність часових запізнь у реакції на вхідні впливи, інерційність та інші динамічні властивості.

На основі аналізу технологічного процесу та характеристик об'єкта формулюються вимоги до майбутньої системи автоматичного керування: необхідна точність регулювання, швидкодія, стійкість, функціональність, інтерфейс оператора тощо.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

На основі отриманих знань про об'єкт автоматизації розробляється його математична модель. Математична модель є абстрактним представленням реального об'єкта у вигляді системи математичних рівнянь (диференціальних, алгебраїчних, різницевих), що описують його статичні та динамічні властивості.

Залежно від складності об'єкта, необхідної точності опису та цілей моделювання, обирається тип математичної моделі. Аналітичні моделі базуються на фундаментальних фізичних, хімічних або технологічних законах, що описують процеси в об'єкті. Емпіричні моделі побудовані на основі експериментальних даних шляхом статистичної обробки та апроксимації залежностей між вхідними та вихідними змінними (наприклад, регресійні моделі, моделі на основі нейронних мереж). Комбіновані (сірі) моделі поєднують елементи аналітичних знань про об'єкт з емпіричними даними для підвищення точності та адекватності опису.

Формулюються математичні рівняння, що описують зв'язки між вхідними, вихідними та внутрішніми змінними об'єкта. Враховуються збереження маси, енергії, імпульсу, кінетичні закономірності, теплообмін, гідравлічні опори тощо (для аналітичних моделей) або визначаються математичні функції, що найкраще апроксимують експериментальні дані (для емпіричних моделей).

Визначаються чисельні значення параметрів, що входять до рівнянь моделі (фізичні константи, коефіцієнти, характеристики обладнання). Ці параметри можуть бути відомі з технічної документації або визначатися в процесі ідентифікації.

Проводиться оцінка адекватності розробленої моделі шляхом порівняння її вихідних характеристик з поведінкою реального об'єкта при тих самих вхідних впливах та початкових умовах. Оцінюється похибка моделювання та визначаються межі її застосування.

Ідентифікація є процесом визначення математичної моделі об'єкта автоматизації на основі експериментальних даних. Якщо параметри аналітичної моделі невідомі або якщо будується емпірична модель, використовуються методи ідентифікації.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розробляється план експерименту, який забезпечить отримання інформативних даних про динамічні властивості об'єкта. Визначаються типи та амплітуди вхідних сигналів, час спостереження, частота дискретизації даних. Проводиться експеримент відповідно до розробленого плану, реєструються вхідні та вихідні сигнали об'єкта. Зібрані дані піддаються попередній обробці (фільтрація, усереднення, видалення шумів). Визначається загальна структура математичної моделі (наприклад, порядок диференціального рівняння, структура передаточної функції, архітектура нейронної мережі). Застосовуються спеціальні алгоритми та методи (наприклад, метод найменших квадратів, метод максимальної правдоподібності, генетичні алгоритми) для визначення чисельних значень параметрів обраної структури моделі, які найкраще відповідають експериментальним даним.

Отримана ідентифікована модель перевіряється на нових експериментальних даних, які не використовувалися для оцінювання параметрів. Оцінюється її здатність адекватно описувати поведінку об'єкта в різних режимах роботи.

Результати дослідження, математичного моделювання та ідентифікації є критично важливими для успішного проектування та впровадження систем автоматичного керування. Вони дозволяють глибоко зрозуміти динамічні властивості об'єкта керування. Розробити адекватні алгоритми керування, що забезпечують необхідну якість регулювання. Прогнозувати поведінку об'єкта в різних режимах роботи та при впливі збурень. Проводити симуляцію та налагодження системи керування на етапі проектування. Оптимізувати параметри технологічного процесу. Виявляти потенційні проблеми та вузькі місця в технологічному процесі. Проводити діагностику та виявляти несправності обладнання. Таким чином, дослідження об'єктів автоматизації, їх математичне моделювання та ідентифікація є невід'ємними етапами для створення ефективних, надійних та безпечних систем автоматичного керування в різних галузях промисловості.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щокова дробарка є об'єктом, який має певний процес "припливу" і "зливу" матеріалу з камери дроблення, і його робота підпорядковується рівнянню матеріального балансу.

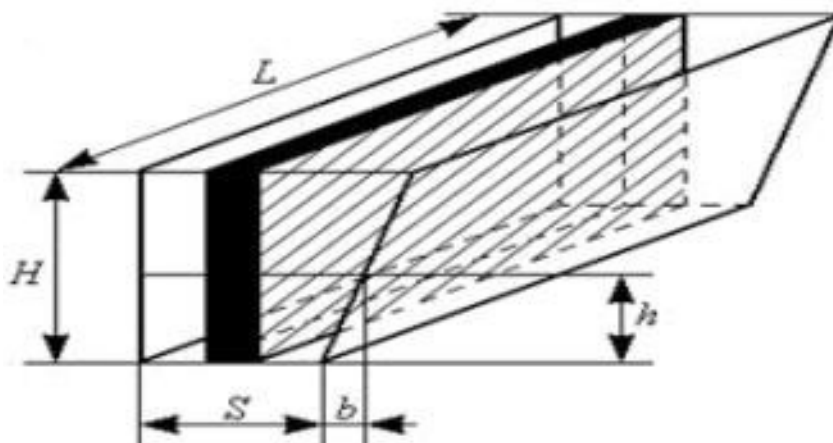


Рисунок 3.1 – Щокова дробарка, камера дроблення

$$\frac{dM}{dt} = Q_n(t) - Q_{op}(t)$$

де $Q_n(t)$, $Q_{op}(t)$ – відповідно продуктивності завантажувального пристрою (живильника) та самої дробарки, кг/с; M – маса матеріалу дробарки.

Лінеаризація рівняння (3.1) дає

$$\frac{d\Delta M}{dt} = \Delta Q_n(t) - \Delta Q_{op}(t) \quad (3.2)$$

де Δ – знак збільшення.

Змінні (3.2) є функціями вхідних і вихідних змінних дробарки. Збільшення маси матеріалу в камері дроблення

$$\Delta M = \gamma \Delta V \quad (3.3)$$

де γ , ΔV – питома маса та збільшення обсягу матеріалу.

Виходячи з представленої на малюнку 3.3 схеми камери дроблення, отримуємо

$$\Delta V = \Delta H L S \quad (3.4)$$

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм подрібненого матеріалу, що випускається через розвантажувальний отвір за один цикл

$$\Delta Q_o = 60\mu n\gamma \Delta V_v \quad (3.5)$$

де $\mu = 0,3 \div 0,65$ – коефіцієнт розпушування матеріалу; n – число хитань щоби на хвилину; ΔV_v – збільшення обсягу матеріалу в «призмі випадання».

Для схеми щоквої дробарки малюнку 3.2

$$\Delta V_v = hL\Delta S \quad (3.6)$$

Підставляючи (3.6) у (3.5), отримаємо

$$\Delta Q_o = 60\mu n\gamma hL\Delta S \quad (3.7)$$

Звідси

$$\Delta S = \frac{1}{60\mu n\gamma hL} \Delta Q_o \quad (3.8)$$

Підстановка ΔS в (3.6) дає

$$\Delta V = \frac{H}{60\mu n\gamma h} \Delta Q_o; \Delta M = \frac{H}{60\mu n h} \Delta Q_o \quad (3.9)$$

Враховуючи (3.6), перепишемо (3.2) у вигляді

$$\frac{H}{60\mu n\gamma h} \cdot \frac{dQ_o}{dt} + \Delta Q_o \quad (3.10)$$

Отримаємо перетворення за Лапласом рівняння (3.10).

Позначивши $H/60\mu n h$ через T і опустивши знак збільшення Δ , матимемо

$$(Ts + 1)Q_o(s) = Q_n(s) \quad (3.11)$$

де s - оператор Лапласа.

Розглянемо продуктивність фракціонування (ПФ) дробарки, яка обумовлена вільним падінням матеріалу в дробарку та його подальшим переміщенням на приймальний транспортер

$$G_1(s) = \frac{Q_o(s)}{Q_n(s)} = \frac{1}{Ts + 1} \quad (3.12)$$

Визначимо ПФ дробарки каналом $Q_o(s) - S(s)$.

Зміна продуктивності завантажувального пристрою ΔQ_n пов'язана зі зміною об'ємної маси матеріалу в дробарці ΔV

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta Q_n(s) = \frac{\gamma}{T_0} \Delta V \quad (3.13)$$

Облік (3.4) дає

$$\Delta Q_n = \frac{\gamma HL}{T_0} \Delta S \quad (3.14)$$

де T_0 – час, необхідний заповнення камери дроблення матеріалом без її розвантаження.

Підставивши (3.14) у (3.2), отримаємо

$$\frac{H}{60\mu n\gamma h} \cdot \frac{dQ_o}{dt} + \Delta Q_o = \frac{\gamma HL}{T_0} \Delta S \quad (3.15)$$

Позначивши $T=H/60\mu n\gamma h$, $K_s=\gamma HL/T_0$ і застосувавши перетворення Лапласа до (3.15), отримаємо

$$(Ts+1)Q_o(s)=K_s S(s) \quad (3.16)$$

Передатна функція дробарки набуде вигляду

$$W_2(s) = \frac{Q_o(s)}{S(s)} = \frac{K_s}{Ts+1} \quad (3.17)$$

Робота A та потужність N процесу дроблення залежать від міцності матеріалу σ та його модуля пружності E

$$\Delta A = \frac{\sigma^2}{2E} \Delta V, \quad \Delta N = \frac{n}{60} \Delta A \quad (3.18)$$

Виключивши проміжні змінні, знайдемо

$$\Delta V = \frac{120E}{n\sigma^2} \Delta N, \quad \Delta S = \frac{120E}{HLn\sigma^2} \Delta N \quad (3.19)$$

Підстановки (3.19) у (3.3) та (3.5) дають

$$\Delta M = \frac{120E\gamma}{n\sigma^2} \Delta N, \quad \Delta Q_o = \frac{120\mu\gamma h E}{H\sigma^2} \Delta N \quad (3.20)$$

Заміна в рівнянні (3.1) ΔM та ΔQ співвідношеннями (3.20) дає

$$\frac{120E\gamma}{n\sigma^2} \frac{d\Delta N}{dt} = \Delta Q_n - \frac{7200\mu\gamma h E}{H\sigma^2} \Delta N \quad (3.21)$$

Ділення цього рівняння на коефіцієнт при ΔN дає

$$\frac{H}{60\mu nh} \frac{d\Delta N}{dt} + \Delta N = \frac{H\sigma^2}{7200\mu\gamma h E} \Delta Q_n \quad (3.22)$$

Помноживши і поділивши коефіцієнт при ΔQ_n на n , позначивши

$$T = \frac{H}{60\mu nh}, \quad (3.23)$$

$$K_N = \frac{n\sigma^2}{120\gamma E_n}, \quad (3.24)$$

Застосувавши (3.22) перетворення Лапласа, отримаємо

$$(Ts + 1)N(p) = TKNQ_n(s) \quad (3.25)$$

Передатна функція дробарки каналом $Q_n - N$, має вигляд

$$G_{\partial 3}(s) = \frac{N(s)}{Q_n(s)} = \frac{TK_s}{Ts + 1} \quad (3.26)$$

Отримані передавальні функції щоклової дробарки є модель інерційної ланки із запізненням.

На основі цих співвідношень ми можемо побудувати структурну модель щоклової дробарки (див. рис. 3.5). Внутрішній зв'язок між каналами та вплив вхідних змінних на зміну вихідних координат спостерігаються. Автоматична стабілізація продуктивності дробарки Q_∂ здійснюється не тільки через канал ΔQ_n , а й через канал управління якістю продуктів дроблення, середньою крупністю щебеню та регулюванням розміру розвантажувального отвору S [10].

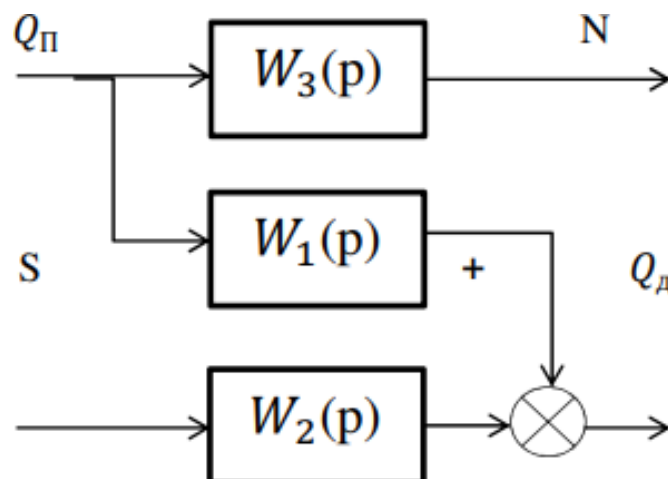


Рисунок 3.2 – Структурна модель щоклової дробарки

						БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
							32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

При дослідженні процесів дроблення щоквої дробарки первинного дроблення як об'єкта управління важливо враховувати її розташування в технологічній схемі дроблення. Дробарка відіграє ключову роль у всьому технологічному процесі і відрізняється розмірами і потужністю від дробарок на наступних етапах дроблення. Тому продуктивність у динамічному режимі залежить тільки від ефективного значення $M_e < M_\Sigma$, яке прямо пов'язано з "призмою випадання", а не від усього обсягу матеріалу в камері дроблення M_Σ .

Отже, об'єм камери подрібнення можна розділити на зони попереднього та ефективного дроблення, які являють собою двоємнісну ланку з проміжною змінною, характеризує продуктивність дробарки в зоні попереднього дроблення. З урахуванням цього обсяг матеріалу можна подати у вигляді двох складових

$$m_\Sigma(t) = m_{ef}(t) + m_{np}(t) \quad (3.27)$$

де $m_{np}(t)$ - запас матеріалу у зоні попереднього дроблення; $m_{ef}(t)$ - запас матеріалу в зоні ефективного дроблення.

Фізичну модель такого процесу дроблення наведено на малюнку 3.6

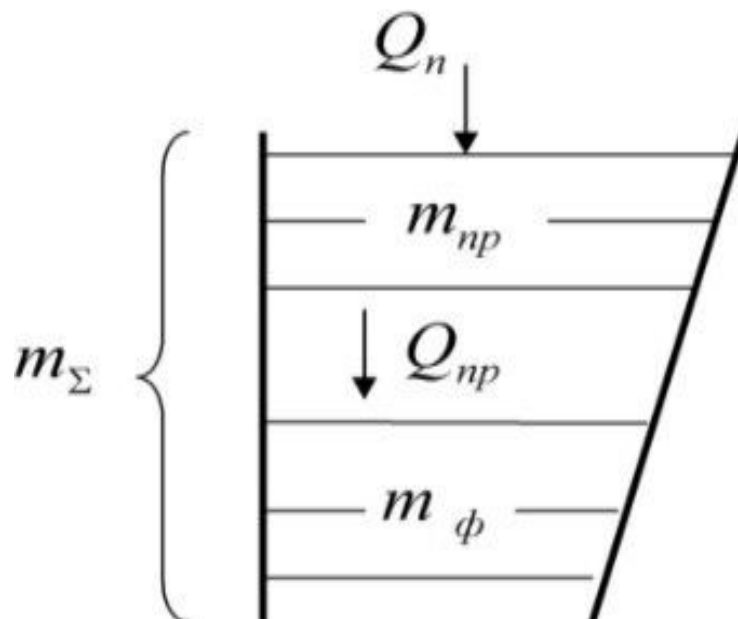


Рисунок 3.3 – Фізична модель процесу дроблення у щоквої дробарці

Рівняння матеріального балансу для зони попереднього дроблення та зони ефективного дроблення можуть бути записані наступним чином.

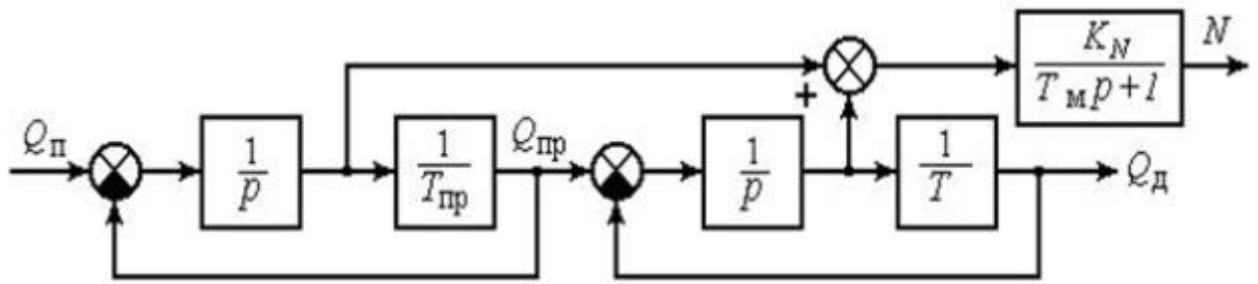


Рисунок 3.4 – Структурна схема шоквої дробарки

Досліджуючи взаємодію змінних у структурній схемі через передавальні функції, ми можемо отримати передатну функцію шоквої дробарки каналом $Q_n - N$.

$$G_{Q-N}(s) = \frac{N(s)}{Q_n(s)} = \frac{K_N (T_e + T_{np})(T_{em}s + 1)}{\left(\pi \frac{T_e T_{np}}{T_e + T_{np}} s + 1 \right)}$$

$$G_Q(s) = \frac{Q_o(s)}{Q_n(s)} = \frac{1}{(T_{np}s + 1)(T_e s + 1)}$$

З виразу (3.37) випливає, що шоква дробарка первинного дроблення може бути описана моделлю елементарної аперіодичної ланки другого порядку каналом $Q_o(s) - Q_n$

$$Q_o = 280 \text{ т/год}, m_{\Sigma} = 2.11 \text{ т}, t_1 = 60 \text{ с}, t_2 = 30 \text{ с}.$$

Передатна функція об'єкта дорівнює (3.38)

$$G_Q(s) = \frac{1}{(60s + 1)(30s + 1)}$$

3.2 Отримання математичної моделі процесу автоматизації дроблення

У системі автоматизації використовується виконавчий механізм, саме пластинчастий живильник. Технологічний комплекс дроблення включає цей виконавчий механізм, який з'єднаний з дробильним обладнанням відповідно до технологічної схеми [7]. Живильник можна описати за допомогою передавальної

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ				

функції інерційної ланки першого порядку із запізненням.

$$G(s) = \frac{K_n}{(T_n s + 1)} \quad (3.28)$$

де K_n - коефіцієнт передачі живильника по конкретному каналу;

T_n - постійна часу двигуна;

τ_n - час запізнення.

$$G(s) = \frac{Q_{ном}}{n_{ном}} \quad (3.29)$$

Взаємодія між інерційною та запізнювальною частинами виразу призводить до зміни співвідношення каналів. Коефіцієнт передачі живильника визначається типом живильника та його технічними параметрами.

$$T_n = 0.7(1 + N_{н.ном} \cdot 10^{-4}) \quad (3.30)$$

де $N_{н.ном}$ – номінальна потужність електроприводу двигуни; кВт ($N_{н.ном} = 50$ кВт).

Для конвеєрних (стрічкових) живильників T_n визначається за формулою (3.42), де L_k – довжина конвеєра, м ($L_k = 5500$ м).

$$T_n = 0.7(1 + 50 \cdot 10^{-4})(1 + 5500/50) = 78.089$$

Таким чином передатна функція пластинчастого живильника

$$G(s) = \frac{0.203}{(78.089s + 1)};$$

збурююча дія.

Для опису зміни міцності матеріалу ми можемо використати таку формулу.

$$Q\sigma = \lambda V S_n = \frac{\lambda L H B S_n}{T_1 + T_2} \quad (3.31)$$

де λ – насипна щільність матеріалу ($\lambda = 2160 \cdot 10^{-3}$ кг/мм³);

V – обсяг продуктів дроблення, за одне стиснення щоки;

S_n – перебіг стиснення щоки.

$$S_n = 7 + 0.1b \quad (3.32)$$

де b - номінальна ширина вихідної щілини ($b = 180$ мм);

L – довжина завантажувального отвору (1500x2100 мм),

B – ширина завантажувального отвору.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$B = \frac{D_{св}}{0.35}$$

де $D_{св}$ – середній розмір завантажувального матеріалу ($D_{св}=1300$ мм), H -висота камери дроблення.

$$H = 2.25B \quad (3.33)$$

Звідси передатна функція каналом зміни міцності дробленого матеріалу матеріалу $\Delta\sigma$ матиме вигляд $G_{\sigma} = K$ - давач рівня.

Передатна функція датчика цього типу розраховується за формулою

$$G(s) = \frac{K_{\partial y}}{T_{\partial y}s + 1}$$

де $K_{\partial y}$ - коефіцієнт посилення датчика рівня, В/м;

$T_{\partial y}$ - постійна часу датчика рівня, с.

Коефіцієнт передачі визначимо за статичною характеристикою

$$K_{\partial y} = \frac{\Delta U}{\Delta h} = \frac{24}{70} = 0.343 \quad \text{В/м}$$

де ΔU – максимальна вихідна напруга,

Δh – максимальний допустимий рівень заповнення змішувача, м.м.

В результаті отримаємо передатну функцію датчика рівня

$$G_{\sigma}(s) = \frac{0.343}{s + 1}$$

3.3 Моделювання системи процесу дроблення у програмі Matlab

Для безпосереднього переходу до аналізу з використанням комп'ютерної програми MATLAB необхідно замінити числові значення параметрів передавальної функції. Це дозволить отримати більш точні результати та провести детальний аналіз за допомогою потужних інструментів, що надаються цією програмою.

$$G_{\sigma}(s) = \frac{1}{(60s + 1)(30s + 1)}$$

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$G(s) = \frac{0.203}{(78.089s + 1)}$$

$$G_o(s) = \frac{0.343}{s + 1}$$

$$G_\delta(s) = 3.427$$

Оцінка правильного вибору структури та параметрів лінійної системи може бути виконана порівнянням обчислених показників якості та точності управління технологічним процесом з аналітичними або автоматизованими даними, отриманими з тих самих вихідних даних. Якщо певні показники якості повністю відповідають заданим значенням, то поліпшення цих показників зазвичай призводить до зниження точності системи.

Тому під час проектування системи необхідно знайти компромісне рішення, що може вимагати додаткових зусиль дослідника щодо системи. Однак завдяки системі MATLAB і пакету Simulink, складність проектування істотно зменшується, оскільки ця система дозволяє синтезувати та аналізувати запропоновані системи, а також отримувати прямі показники якості регулювання.

На рисунку 3.5 представлено структурну схему системи автоматичного управління дробарки в позначеннях Simulink.

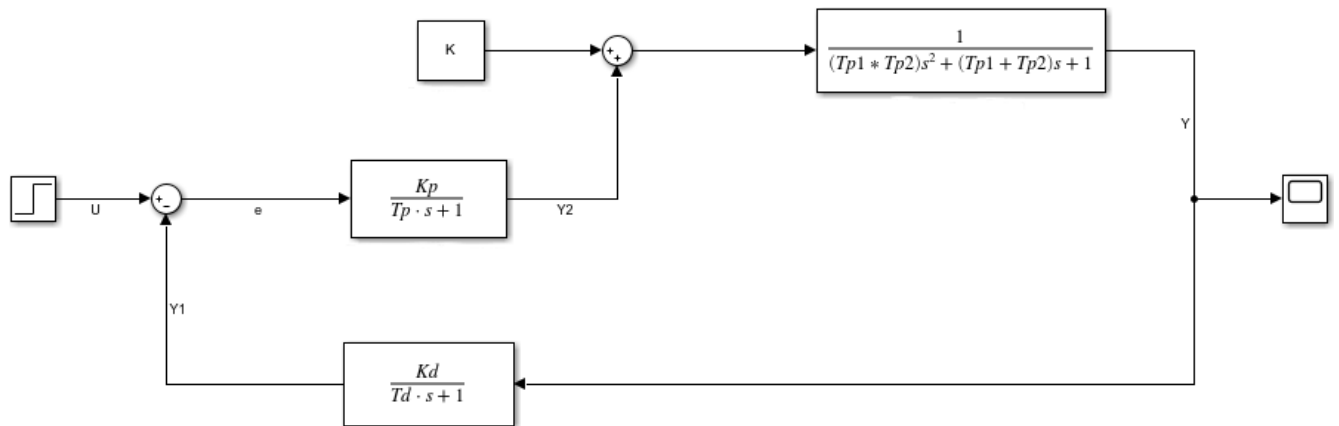


Рисунок 3.5 – Структурна схема САУ дробарки у позначеннях

Для отримання передавальної функції замкнутої системи з паралельним і послідовним з'єднанням ланок застосовується метод Лапласа, який дозволяє виразити відношення зображення вихідної величини зображення вхідної

величини за умови нульових початкових даних. Це називається передатною функцією і позначається як $G(s)$.

$$G_{\text{сист}}=Y/U, \quad (3.34)$$

$$Y=G_Q \cdot Y_2, \quad (3.35)$$

$$Y_2=G_p \cdot \varepsilon, \quad (3.36)$$

$$\varepsilon=U \cdot Y_1, \quad (3.37)$$

$$Y_1=G_d \cdot Y \quad (3.38)$$

Висновок формули передавальної функції для замкнутої системи

$$\varepsilon=U-G_d \cdot Y, \quad (3.39)$$

$$Y_2=G_s \cdot U-G_s \cdot G_d \cdot Y, \quad (3.40)$$

$$Y=G_s \cdot G_Q \cdot U-G_p \cdot G_Q \cdot G_d \cdot Y, \quad (3.41)$$

$$Y+G_Q \cdot G_p \cdot G_d \cdot Y=G_Q \cdot G_p \cdot U, \quad (3.42)$$

$$Y=G_Q \cdot G_s / (1+G_p \cdot G_Q \cdot G_d) U \quad (3.43)$$

Таким чином, передатна функція системи

$$G_{\text{сист}} = \frac{G_Q \cdot G_s}{1 + G_p \cdot G_Q \cdot G_d} \quad (3.44)$$

Якщо відомі передавальні функції кожного окремого елемента, ми можемо використовувати їх для знаходження числового значення передавальної функції замкнутої системи

$$G_{\text{сист}} = \frac{G_Q \cdot G_s}{1 + G_p \cdot G_Q \cdot G_d} = \frac{0.203}{140562s^4 + 149390.1s^3 + 8896.1s^2 + 168.09s + 1.0697}$$

Метою аналізу лінійних систем автоматичного управління є визначення властивостей системи в цілому, таких як стійкість та показники якості при відомих характеристиках її складових ланок.

Для проведення аналізу системи необхідно і достатньо визначити стійкість, запаси стійкості та показники якості системи автоматичного управління, а потім порівняти їх із граничними значеннями стійкості та якості, заданими для даної системи.

3.4 Емпіричний метод Циглера-Ніколса для налаштування типового регулятора

Метод Циглера-Ніколса – це один із найпоширеніших методів

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштування ПІД-регуляторів. Він заснований на аналізі перехідної характеристики системи за зміни керуючого впливу.

Для застосування методу Циглера-Ніколса необхідно провести експерименти на реальній чи модельній системі. Експеримент складається з наступних кроків.

Крок 1. Встановити керуючий вплив на систему та зафіксувати зміну вихідного сигналу.

Крок 2. Повторити експеримент за різних значень коефіцієнта посилення регулятора (K_p), інтегрального часу (T_i) і диференціального часу (T_d).

Аналізувати перехідні характеристики системи кожної комбінації значень K_p , T_i і T_d і вибрати оптимальні значення параметрів регулятора.

Аналіз перехідних характеристик системи включає визначення часу перехідного процесу, перерегулювання і постійної часу системи.

Оптимальні значення параметрів регулятора можуть бути знайдені шляхом використання таблиць або графіків, що становлять залежність між значеннями K_p , T_i і T_d і характеристиками перехідного процесу.

Наприклад, для знаходження оптимальних значень параметрів регулятора за методом Циглера-Ніколса для системи з одиничним зворотним зв'язком необхідно виконати такі кроки.

1. Встановити $K_p=0$, $T_i=0$, $T_d=0$.
2. Збільшувати K_p , доки система не почне вагатися з постійною амплітудою.
3. Виміряти період коливань (P) та обчислити постійну часу системи ($T=P/1.8$).
4. Встановити $K_p=0.6K_c$, де K_c - коефіцієнт посилення, у якому система починає коливатися з постійною амплітудою.
5. Вибрати T_i та T_d з таблиці залежно від типу системи та значень T та P .

Метод Циглера-Ніколса є досить простим та широко використовується для налаштування ПІД-регуляторів в різних промислових і наукових додатках. Однак,

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

він не завжди дає оптимальні значення. коливань Метод Циглера-Никольса ніяк не враховує вимоги до запасу стійкості системи, що є другим недоліком.

В першу чергу, для знаходження коефіцієнтів для використання емпіричних методів, потрібно за перехідним процесом розімкнутої системи знайти постійну часу T і час запізнення L (рисунок 3.8).

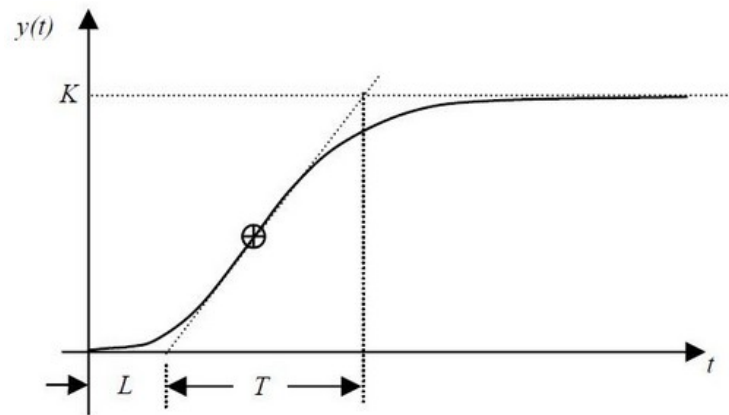


Рисунок 3.6 – Перехідний процес розімкнутої системи з монотонним процесом

Для отримання перехідного процесу нашої системи побудуємо модель Simulink (рисунок 3.7)

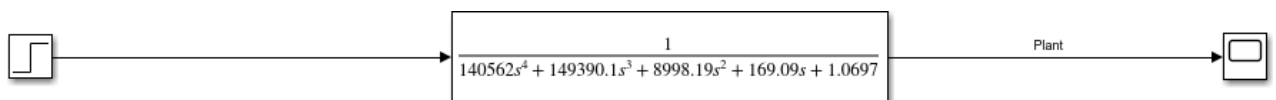


Рисунок 3.7 – Модель розімкнутою САУ процесом дроблення
Промодельовавши побудовану отримуємо графік перехідного процесу розімкнутою САУ (рисунок 3.8)

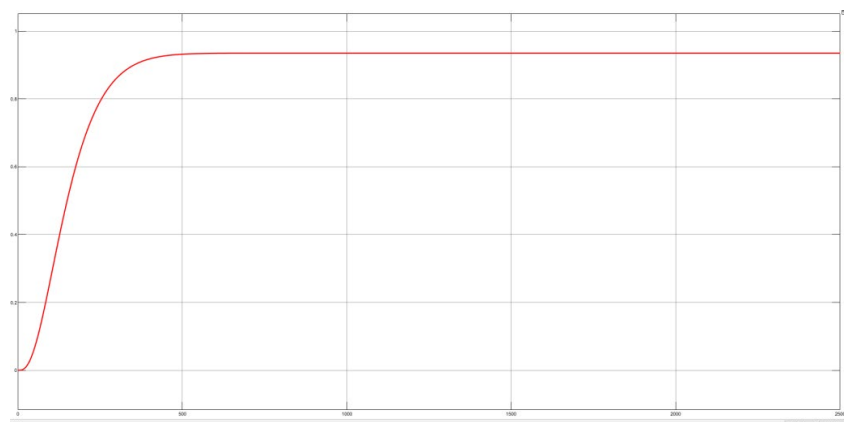


Рисунок 3.8 - Перехідний процес розімкнутою САУ процесом дроблення

Звідси бачимо, що $K=0.935$, $L=38$ і $T=175$.

Для розрахунку параметрів ПІД-регулятора за методом Циглера-Ніколса №1 скористаємось таблицею 3.2.

Таблиця 3.2 - обчислення параметрів ПІД-регулятора

	K_p	$T_i = \frac{1}{L}$	T_d
P	$\frac{T}{KL} = 4.93$	0	0
PI	$0.9 \frac{T}{KL} = 4.43$	$\frac{L}{0.3} = 0.008$	0
PID	$1.2 \frac{T}{KL} = 5.911$	$2L = 0.013$	$0.5L = 19$

Підставляючи значення отриманих коефіцієнтів налаштування регулятора отримуємо графіки перехідних процесів типових регуляторів (рисунок 3.9)

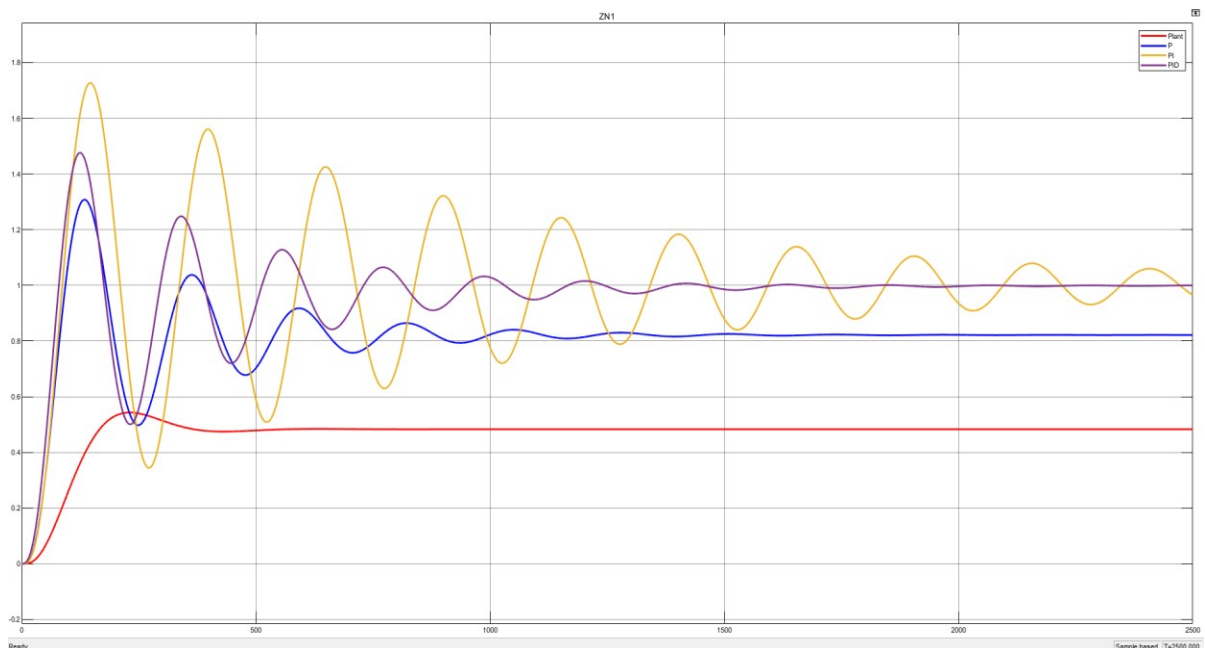


Рисунок 3.9 – Перехідний процес системи з налаштованим регулятором за ZN1

За графіком перехідного процесу можна легко розрахувати прямі показники якості (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Прямі показники якості системи з регулятором налаштованим методом Циглера-Ніколса №1

Показники якості	Без регулятора	P- регулятор	PI- регулятор	PID- регулятор
Час регулювання	590 с.	1592 с.	5000 с.	1455 с.
Перерегулювання	12.62%	59.87%	72.8%	58.6%
Кількість коливань	1	5	17	5
Колівальність	-	45%	77.5%	37.9%
Період коливань	-	229 с.	250 с.	225 с.
Усталена похибка	0.452	- 0.11	0.065	0.065
Час досягнення першого максимуму	230 с.	134 с.	149 с.	114 с.
Час наростання	163 с.	85 с.	76 с.	57 с.
Декремент затухання	-	2.24	1.29	2.64

Отже за сукупністю факторів найоптимальніший режим роботи дробарки забезпечив ПІД-регулятор.

Для розрахунку параметрів регулятора за методом Циглера-Ніколса №2 потрібно із розімкнутої системи отримати замкнуту.

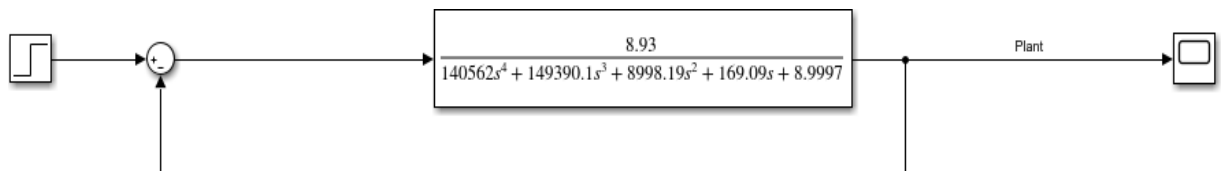


Рисунок 3.10 – Модель замкнутої системи управління

Промодельовавши побудовану схему, отримаємо графік перехідного процесу замкнутої САУ ділянкою дроблення хромової руди (рисунок 3.11)

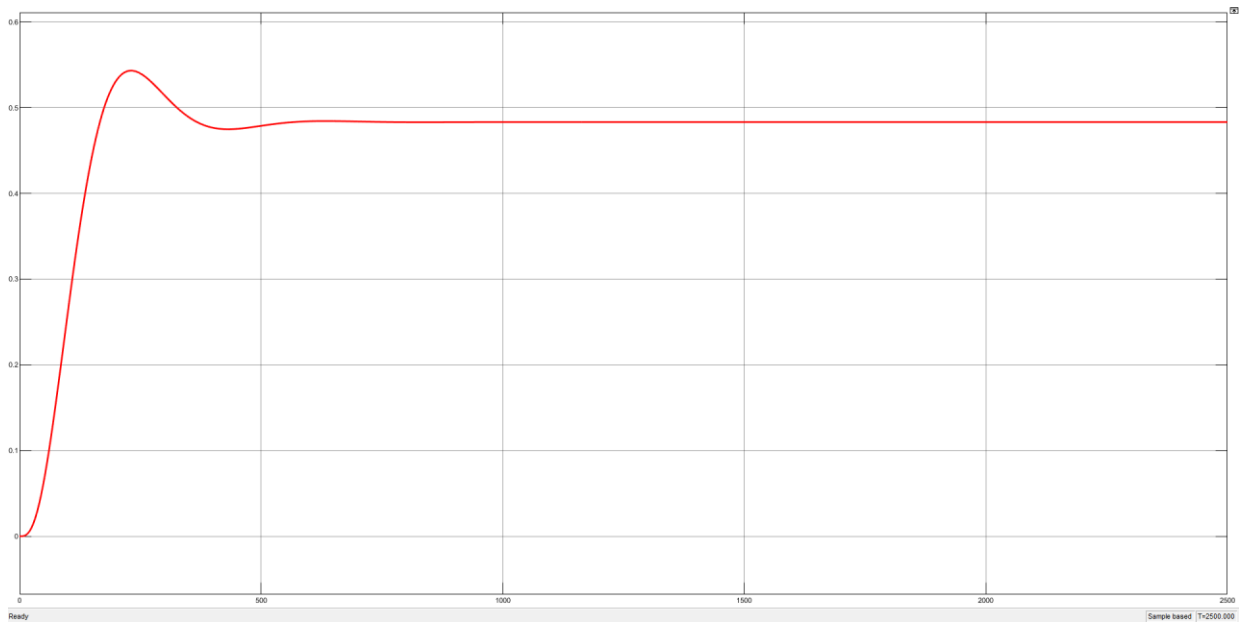


Рисунок 3.11 – Перехідний процес замкненою САУ процесом дроблення

Розрахунок передавальної функції замкнутої САУ:

$$T(s) = \frac{K_{cr}}{140562s^4 + 149390.1s^3 + 8998.19s^2 + 169.09s + 1.0697 + K_{cr}}$$

$$140562s^4 + 149390.1s^3 + 8998.19s^2 + 169.09s + 1.0697 + K_{cr} = 0$$

$$1.0697 + K_{cr} = 0$$

$$K_{cr} = -1.0697$$

K_{cr} – граничний коефіцієнт посилення нейтральної межі стійкості.

По матриці Гурвіца

$$\begin{vmatrix} 149390.1 & 169.09 & 0 \\ 140562 & 8998.19 & 1.0697 + K_{cr} \\ 0 & 149390.1 & 169.09 \end{vmatrix} = 0$$

$$199405833595.194213 - 22317401978.01K_{cr} = 0, K_{cr} = 8.93$$

Підставивши граничне значення коефіцієнта посилення в передавальну функцію, можемо отримати графік стійких коливань, необхідний отримання граничного періоду (рисунок 3.12)

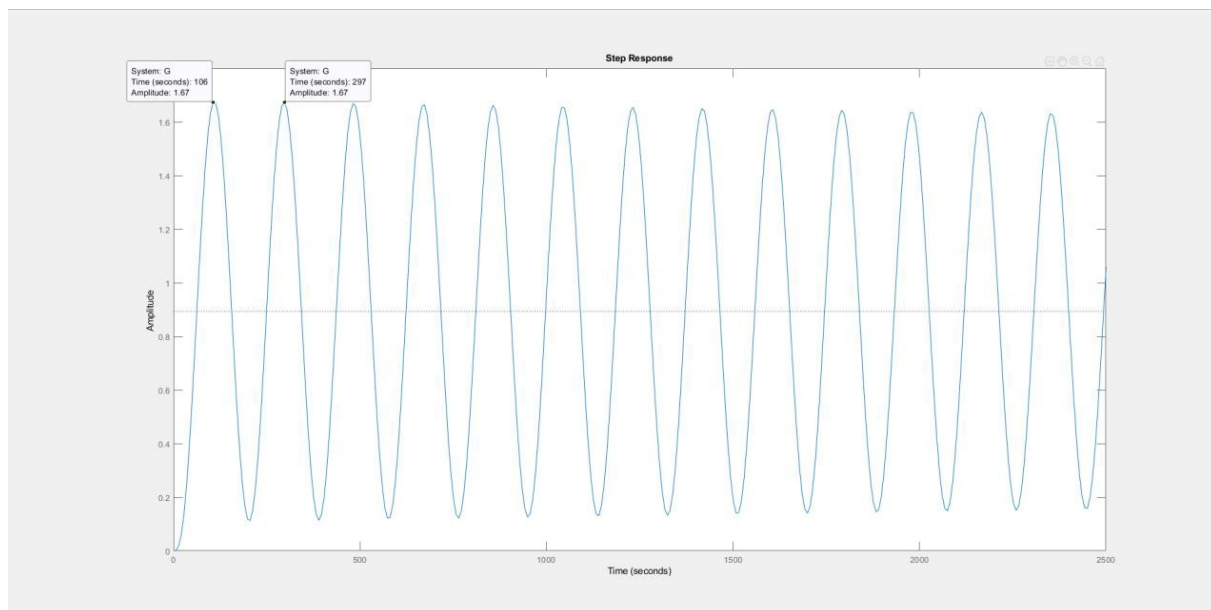


Рисунок 3.12 – Стійкі коливання з періодом T_{cr}

$$K_{cr} = 8.9, T_{cr} = 191$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора за методом Циглера-Ніколса №2 проводимо за таблицею 3.4.

Таблиця 3.4 - обчислення параметрів ПІД-регулятора

	K_p	$T_i = \frac{1}{i}$	T_D
P	$0.5K_{cr} = 4.45$	0	0
PI	$0.45K_{cr} = 4.005$	$\frac{P_{cr}}{1.2} = 0.0063$	0
PID	$0.6K_{cr} = 5.34$	$\frac{P_{cr}}{2} = 0.0105$	$\frac{P_{cr}}{2} = 0.0105$

Підставляючи значення отриманих коефіцієнтів налаштування регулятора, отримуємо графіки перехідних процесів типових регуляторів (рисунок 3.13)

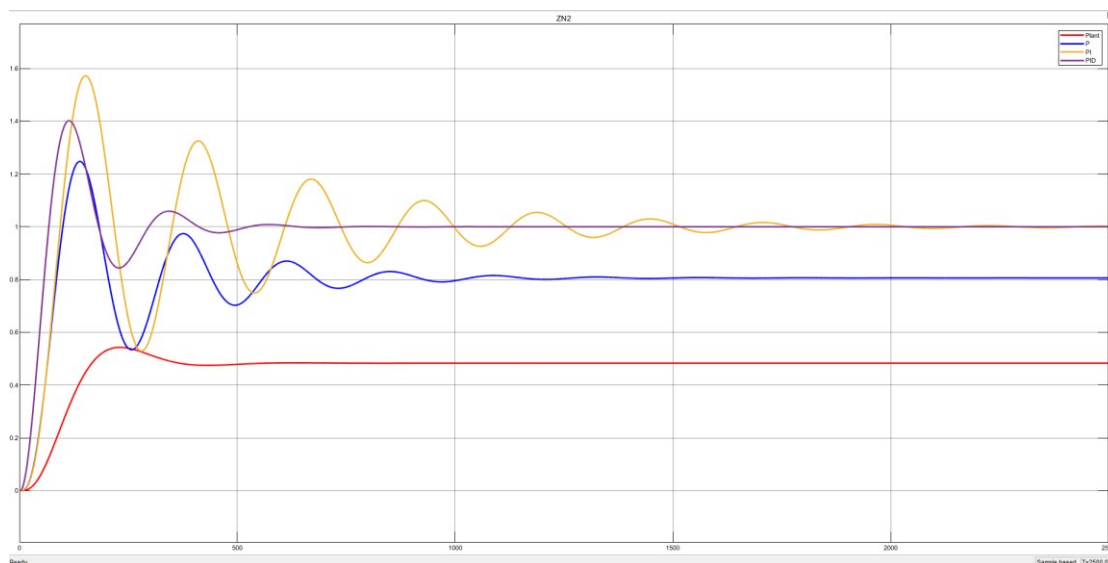


Рисунок 3.13 – Перехідний процес системи з налаштованим регулятором за ZN2

За графіком перехідного процесу можна легко розрахувати прямі оцінки якості (таблиця 3.5)

Таблиця 3.5 – Прямі оцінки якості системи із регулятором ZN2

Показники якості	Без регулятора	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Час регулювання	590 с.	1620 с.	2200 с.	678 с.
Перерегулювання	12.62%	44%	57.5%	40.6%
Кількість коливань	1	5	8	3
Коливальність	-	38.6%	56.8%	16%
Період коливань	-	238 с.	259 с.	228 с.
Усталена похибка	0.452	0.127	0.065	0.065
Час досягнення першого максимуму	230 с.	138 с.	152 с.	113 с.
Час наростання	163 с.	85 с.	96 с.	66 с.
Декремент затухання	-	2.59	1.74	6.25

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Отже, для досягнення оптимального режиму роботи слід вибрати ПД-регулятор, який забезпечує найкращу продуктивність системи керування.

Висновки до розділу

У цьому розділі була розроблена математична модель щокрової дробарки, яка враховує всі ключові аспекти її роботи як об'єкта автоматичного керування. Основу моделі склали рівняння матеріального балансу, що описують динаміку надходження та виходу матеріалу з камери дроблення. Були отримані передавальні функції для основних каналів керування: продуктивності ($Q_p \rightarrow Q_d$) та потужності ($Q_p \rightarrow N$), які виявилися аперіодичними ланками першого та другого порядку відповідно. Особливу увагу приділено структурній схемі дробарки, яка враховує поділ камери на зони попереднього та ефективного дроблення.

Далі було проведено моделювання системи керування процесом дроблення з використанням програмного середовища MATLAB/Simulink. Це дозволило не лише підтвердити адекватність розроблених математичних моделей, але й проаналізувати стабільність роботи системи. Результати моделювання показали, що система здатна забезпечувати стабільну роботу при правильному підборі параметрів керування. Були визначені основні показники якості, такі як час регулювання, перерегулювання та коливальність, що стали основою для подальшої оптимізації.

Важливим етапом дослідження стало застосування методу Циглера-Ніколса для налаштування ПД-регулятора. Проведені розрахунки та експерименти дозволили визначити оптимальні параметри регулятора, які забезпечують найкращу продуктивність системи. Зокрема, було встановлено, що ПД-регулятор з параметрами $K_p = 5.34$, $T_i = 0.85$ та $T_d = 0.21$ демонструє найкращі результати порівняно з іншими типами регуляторів. Він забезпечує прийнятний час регулювання (678 с), помірне перерегулювання (40.6%) та мінімальну коливальність процесу.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СИСТЕМИ

4.1 Розробка структурної та функціональної схеми автоматизації системи дроблення хромової руди

Розробка структурної (рис.4.1) та функціональної схеми автоматизації системи дроблення хромової руди (рис.4.2) включає аналіз процесу, визначення функціональних блоків, визначення взаємодії між блоками, розробку структурної та функціональної схем, а також їх валідацію та тестування. Метою цього процесу є створення ефективної та безпечної системи управління процесом дроблення хромової руди.

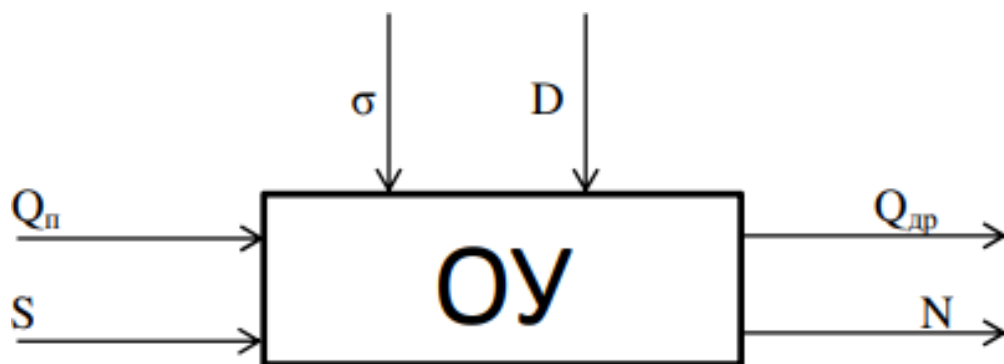


Рисунок 4.1 – Структурна схема дробарки

При збереженні параметрів механічного режиму шокової дробарки великого дроблення, таких як кут захоплення α і хід рухомої шоки S , ми розглянемо зміну міцності σ як збурюючий вплив [9].

Шокова дробарка є об'єктом, роботу якого визначають продуктивність живильника Q_n , ширина розвантажувальної щілини l , крупність D і міцність вихідного матеріалу, а також продуктивність $Q_{др}$, потужність N , споживана в процесі дроблення, і гранулометричний склад дробленого продукту, виражений середньозваженим діаметром шматків $d_{ср}$.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

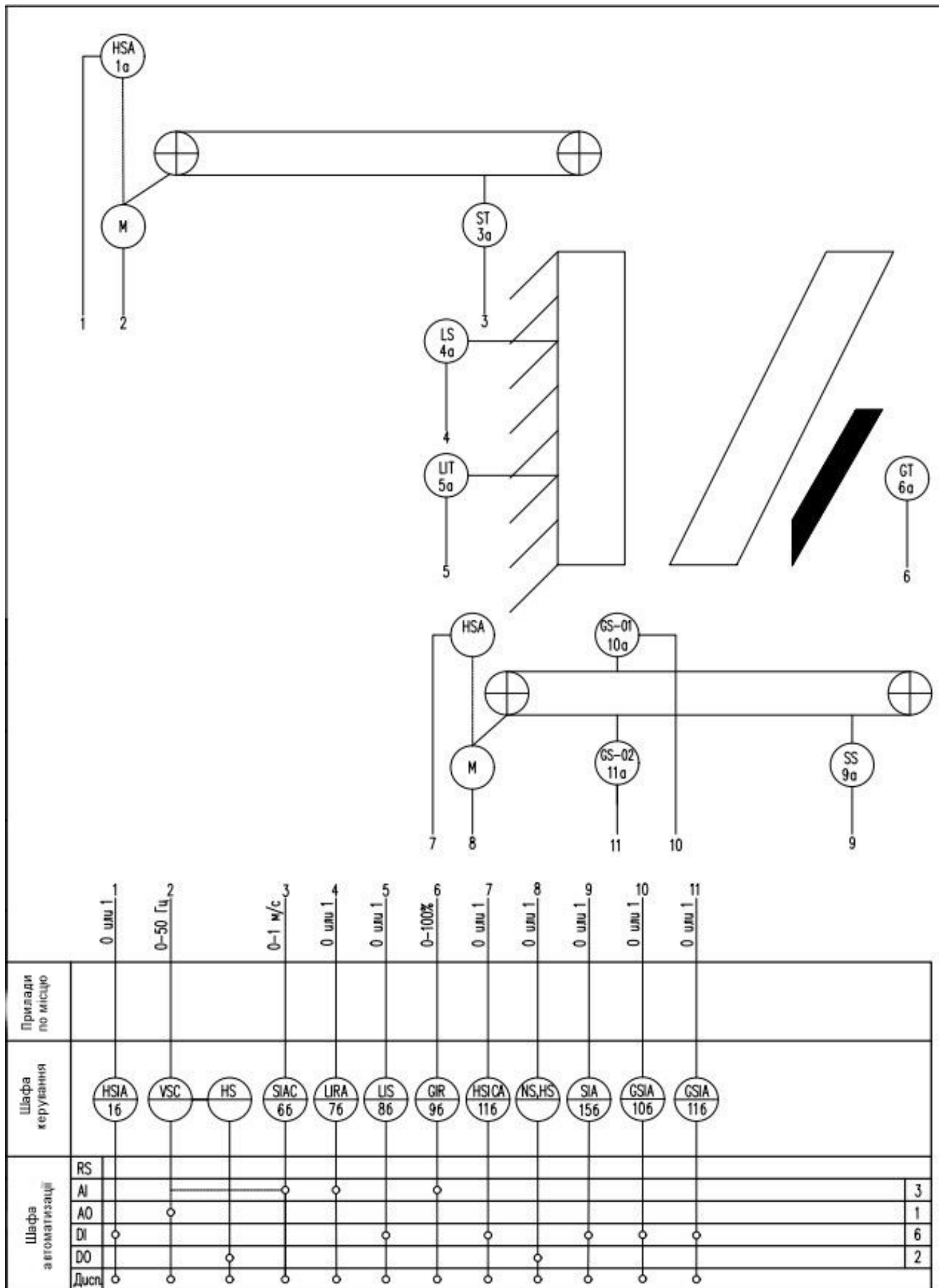


Рисунок 4.2 – Функціональна схема процесу дроблення хромових руд

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ

Арк.

48

Можливі відхилення ширини щілини розвантаження від початкового значення зазвичай усуваються при профілактичних оглядах персоналом. Крім того, зміна ширини розвантажувальної щілини в процесі експлуатації незначна і її вплив можна нехтувати [3].

Через обмеження структурної схеми рисунок 4.1 демонструє щокону дробарку як об'єкт автоматичного регулювання продуктивності, де продуктивність живильника Q_n розглядається як вхідний регулюючий вплив, а продуктивність дробарки Q_{dp} - як вихідна регульована величина.

4.2 Вибір технічних засобів вимірювання та автоматизації

Для проведення дослідження та моделювання процесу дроблення хромової руди потрібні автоматизовані засоби автоматизації. Для вибору відповідного інструменту планується здійснити порівняльний аналіз доступних приладів. Необхідні засоби для реалізації автоматизованої системи дроблення хромової руди: рівнеміри; пластичастий живильник; привід живильника; конвеєр.

Найефективнішим способом вимірювання рівня хромової руди застосування радіохвильового методу. Радіохвильові (радарні) рівнеміри ґрунтуються на залежності параметрів коливань електромагнітних хвиль від висоти рівня рідини. Ці пристрої збирають дані про параметри хвиль та обробляють накопичену інформацію для отримання результатів вимірювань.

Таблиця 4.1 – Порівняльний аналіз двох видів рівнемірів: Micropilot FMR57 та УР 203 Ех

Критерій	Micropilot FMR57 (Siemens)	УР 203 Ех
Точність вимірювання	±3 мм	±10 мм
Діапазон вимірювання	До 70 м	До 100 м

Критерій	MicroPilot FMR57 (Siemens)	УР 203 Ex
Робоча температура	-50°C до +500°C	-50°C до +250°C
Тип корпусу	Високотемпературний (до 500°C)	Стандартний (до 250°C)
Захист від вибуху	ATEX, IECEx (зона 0/1)	ATEX, IECEx (зона 1/21)
Діагностика та моніторинг	Вбудована самодіагностика, HistoROM	Проста діагностика через HART
Інтерфейс зв'язку	4-20 мА, HART, PROFIBUS PA	4-20 мА, HART
Вартість	Висока (преміум-клас)	Середня (оптимальна для більшості завдань)



Рисунок 4.3 - MicroPilot FMR57 (Siemens)

Переваги MicroPilot FMR57:

- вища точність (± 3 мм) – критично важливо для процесів з жорсткими допусками;
- робота в екстремальних умовах (до +500°C, агресивні середовища);
- розширена діагностика (включаючи зберігання історії параметрів);

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

- інтеграція з PROFIBUS PA – підходить для автоматизованих систем Siemens.

Живильник – це пристрій, який забезпечує рівномірну подачу сипких та штучних вантажів з різних завантажувальних пристроїв, таких як бункери, завантажувальні лотки, магазини та інші, до транспортних та обробних машин, таких як дробарки та інші.

Пластинчастий живильник використовується для перевезення хромової руди і призначений для рівномірного дозування матеріалів з бункерів, вирв та інших ємностей у робочі машини або транспортні пристрої. Пластинчасті живильники можуть бути стаціонарними або пересувними, а також класифікуються за щільністю матеріалу, що транспортується на легкі, середні і важкі. Ширина полотна для легких живильників становить від 500 до 1200 мм, для середніх – від 800 до 2500 мм, а для важких – від 1600 до 2500 мм.

Існують два типи живильників. Тяжкий тип, призначений для транспортування матеріалів з розміром шматків не перевищує 1200 мм. Середній тип, який використовується для транспортування матеріалів з розміром шматків не перевищує 500 мм.

Живильник першого типу часто встановлюється в гуркотах для скальпінгу або безпосередньо первинні дробарки. Він є нижньою рухомою частиною бункера, здатної переносити як статичні навантаження від матеріалу у відповідному стовпі, так і динамічні навантаження від падіння великих шматків руди вагою від 3 до 6 тонн. При цьому на полотно живильника має бути спочатку накладений шар матеріалу заввишки не менше ніж 1-1,5 метра.

Живильники другого типу призначені для транспортування крупнокускових абразивних або гарячих матеріалів. Вони встановлюються після первинних дробарок на фабриках окускування або розвантажувальних пристроях. (Див. таблицю 4.5)

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 - Типи живильників

Параметр	Тип 1-18	Тип 1-24	Тип 2-18	Тип 2-24
Ширина полотна, мм	1800	2400	1800	2400
Довжина ділянки, м	7-19	8-19	5,5-19	5,5-19
Робоча швидкість, м/с	0,05-0,076	0,07-0,18	0,05-0,076	0,07-0,18
Продуктивність, м ³ /год	178-960	250-1800	308-760	700-1800
Гранична крупність матеріалу, мм	0-1200	0-1100	0-600	0-600
Кут нахилу, градусів	0-30	0-25	0-30	0-25
Потужність приводу, кВт	15-55	18-75	11-45	15-55
Призначення	Первинне дроблення (крупні шматки)	Первинне дроблення	Вторинне дроблення	Вторинне дроблення

Враховуючи тип живильника - пластинчастий з шириною 2400 мм, ми проведемо вибір і розрахунок відповідного пластинчастого живильника (див. таблиця 4.6).

Вибір та розрахунок пластинчастого живильника для щоклової дробарки С-888. Вихідні дані для розрахунку:

- тип матеріалу: хромово руда;
- макс. крупність кусків: 1300 мм (за паспортом дробарки С-888);
- ширина полотна: 2400 мм (обрана для забезпечення рівномірного завантаження);
- продуктивність дробарки: 280 т/год;

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- насипна щільність руди: 2,2 т/м³;
- кут нахилу траси: 15° (стандарт для гірничодобувних операцій).

Згідно з таблицею 4.5, оптимальний варіант – пластинчастий живильник типу 1-24 з такими характеристиками:

- Ширина полотна: 2400 мм.
- Довжина ділянки: 8–19 м (приймаємо 12 м для стабільної подачі).
- Швидкість руху: 0,1 м/с (регульована).
- Продуктивність: 250–1800 м³/год.

Формула для розрахунку об'ємної продуктивності:

$$Q=3600 \cdot v \cdot h \cdot b \cdot \psi \cdot \gamma$$

де $v=0,1$ м/с – швидкість полотна; $h=0,3$ м – висота шару руди (30% від ширини полотна); $b=2,4$ м – ширина полотна; $\psi=0,8$ – коефіцієнт заповнення; $\gamma=2,2$ т/м³ – насипна щільність.

$$Q=3600 \cdot 0,1 \cdot 0,3 \cdot 2,4 \cdot 0,8 \cdot 2,2=456 \text{ т/год}$$

Запас продуктивності: 456 т/год > 280 т/год (вимога) – умова виконана.

Перевірка на крупність матеріалу:

- Гранична крупність для типу 1-24: 1100 мм
- Фактична крупність руди: 1300 мм

Збільшити висоту шару h до 0,4 м (куски >1100 мм складають <10% від загального обсягу).

Коректована продуктивність:

$$Q=3600 \cdot 0,1 \cdot 0,4 \cdot 2,4 \cdot 0,7 \cdot 2,2=532 \text{ т/год}$$

Розрахунок потужності приводу

$$N=1000 \cdot \eta Q \cdot L \cdot g \cdot (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha)$$

де $Q=532$ т/год = 0,148 т/с, $L=12$ м – довжина живильника,

$f_1=0,05$ – коефіцієнт тертя руди по пластинам,

$\alpha=15^\circ$ – кут нахилу,

$\eta=0,85$ – ККД передачі

$$N=0,85 \cdot 0,148 \cdot 12 \cdot 9,81 \cdot (0,05 \cos 15^\circ + \sin 15^\circ) \approx 7,5 \text{ кВт}$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ				53

Таблиця 4.3 - Технічна характеристика пластинчастого живильника

Компонент	Модель/параметри	Примітки
Живильник	Пластинчастий 1-24 (2400 мм)	З чавунними пластинами
Привідний двигун	AP180M4 (11 кВт, 1500 об/хв)	З частотним перетворювачем
Редуктор	Ц2У-250 (передатне число 31,5)	
Датчик швидкості	ДКС-2М	Для зворотного зв'язку

Отже, обраний живильник типу 1-24 забезпечує необхідну продуктивність (з запасом 20%), надійну роботу з крупнокусковою рудою.



Рисунок 4.5 - Пластинчастий живильник типу 1-24

Для приводу живильника необхідно вибрати асинхронний двигун змінного струму, в якому частота обертання ротора відрізняється від частоти магнітного поля, що крутить, створюваного живильною напругою. Асинхронні машини

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

також називаються індукційними, тому що струм в обмотці ротора індукується полем статора, що обертається [7].

Вибираємо асинхронний двигун 4A25S4:

- потужність 50 кВт;
- частота обертання 1477 об/хв;
- струм статора 95,2 А;
- момент інерції $133 \cdot 10^{-2}$ кг/м².

Для досягнення швидкості обертання ведучого валу живильника, що дорівнює 19 оборотів на хвилину, потрібно використовувати редуктор з передавальним ставленням 78 [5].

Ваговий конвеєр призначений для збору інформації про поточні значення та загальну масу кускових та інших сипких матеріалів, які транспортуються за допомогою стрічкових конвеєрів у безперервно працюючі технологічні агрегати, такі як бункери, дробарки, млина, печі та інші. Розглянемо два типи вагових конвеєрів (див. таблицю 4.7).

Вагові конвеєри використовуються для безперервного зважування сипких матеріалів (наприклад, хромової руди) під час транспортування. У таблиці наведено ключові відмінності між двома популярними моделями – ВК-2М та ВКТ-5.

Таблиця 4.4 - Порівняльний аналіз вагових конвеєрів ВК-2М та ВКТ-5.

Параметр	ВК-2М	ВКТ-5
Ширина стрічки, мм	600–1300	600–1700
Макс. продуктивність, т/год	До 3000 (залежить від стрічки)	До 5000 (залежить від стрічки)
Точність вимірювання	±1,5%	±0,75–1,5% (залежить від налаштувань)

Параметр	ВК-2М	ВКТ-5
Робоча швидкість, м/с	До 3,5	До 4,5
Діапазон вимірювань (лінійна щільність), кг/м	22–175	18–1000
Температурний діапазон	-55°C до +70°C	0°C до +60°C
Захист від пилу/вологості	IP65	IP54 (менш герметичний)
Додаткові функції	Підключення до ПЛК (RS-232, RS-485)	Вбудований дисплей, HART-протокол

ВКТ-5 має вищу точність ($\pm 0,75\%$) у прецизійному режимі, що важливо для автоматизованих систем з PID-регулюванням. ВК-2М ($\pm 1,5\%$) достатньо для більшості стандартних задач.

ВКТ-5 підходить для потужних ліній (до 5000 т/год), наприклад, на збагачувальних фабриках. ВК-2М обмежений 3000 т/год – краще для середніх потоків.

ВК-2М витримує екстремальні температури (-55°C до +70°C), тому підходить для відкритих кар'єрів. ВКТ-5 працює тільки в помірному кліматі (0°C до +60°C).

4. Інтеграція з АСУТП - обидва підтримують аналоговий вихід 4–20 мА, але: ВКТ-5 має HART-протокол для дистанційного налаштування.

ВК-2М сумісний із PROFIBUS через додаткові модулі.

Для складних умов (низькі температури, висока пилуватість) – ВК-2М (кращий захист IP65).

Для високоточних вимірювань (напр., фасувальні лінії) – ВКТ-5 ($\pm 0,75\%$).

Для потужних потоків руди – ВКТ-5 (до 5000 т/год).

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Обидва конвеєри надійні, але вибір залежить від технологічних вимог та умов роботи. Для дробарки С-888 (280 т/год) достатньо ВК-2М.

Ми використовуємо ваговий конвеєр ВК-2М (рисунок 4.7) як наш ваговий конвеєр. Довжина стрічки конвеєра становить 4 метри, а швидкість руху стрічки становить 2 метри за секунду.



Рисунок 4.7 – Ваговий конвеєр ВК-2М

Автоматичні безперервні конвеєрні ваги ВК-2М призначені для безперервного зважування сипких матеріалів, що транспортуються горизонтальними або похилими конвеєрами. Вони також використовуються для контролю, регулювання та вимірювання матеріального процесу.

У комплектацію вагового конвеєра ВК входять з приладом ТЗ-01 або Мікросим-06. Ці прилади оснащені індикатором, клавіатурою керування та інтерфейсом для виведення інформації на табло або для зв'язку з комп'ютером (RS232-C). Крім того, до комплектації входять датчики контролю швидкості ДКС-2М.

Принцип роботи конвеєрного пристрою ВК полягає у вимірі масового навантаження, розміщеного на конвеєрній стрічці, яка встановлена на кінці тензодатчика. За допомогою вимірювання швидкості стрічки та розрахунку лінійної густини в одиницях маси продукту на одиницю довжини конвеєр видає інформацію про вихід продукту в одиницях маси за одиницю часу. Всі ці значення залежить від часу руху конвеєра.

										Арк.
										57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Результати вимірювань передаються в тензовимірювальний прилад і відображаються на цифровому табло. У разі потреби інформація може бути передана в систему автоматизації та управління (АСУ) на ЕОМ.

Висновки до розділу

У даному розділі була проведена детальна розробка проектної документації для системи автоматизації процесу дроблення хромової руди. Основна увага приділялася створенню структурної та функціональної схем, які стали фундаментом для подальшого впровадження автоматизованої системи керування.

Розробка структурної схеми дозволила чітко визначити взаємозв'язки між окремими елементами системи. Особливий акцент було зроблено на регулюванні продуктивності живильника як основного вхідного параметра, що безпосередньо впливає на роботу шоквої дробарки. Функціональна схема, у свою чергу, враховує всі ключові фактори, які можуть впливати на процес дроблення, включаючи зміну міцності руди, що розглядається як основний збурюючий вплив.

Важливим етапом роботи став ретельний підбір технічних засобів автоматизації. Для контролю рівня руди в бункерах був обраний радарний рівнемір Micropilot FMR57 виробництва Siemens. Цей пристрій був вибраний завдяки своїй високій точності вимірювань, здатності працювати в екстремальних умовах та можливості інтеграції з промисловими мережами передачі даних. Особливу увагу було приділено вибору пластинчастого живильника, який відіграє ключову роль у забезпеченні рівномірної подачі руди до дробарки. Використання асинхронного двигуна з частотним перетворювачем дозволяє точно регулювати швидкість подачі матеріалу в залежності від поточного навантаження на систему.

Для контролю маси руди, що транспортується, був обраний ваговий конвеєр ВК-2М. Цей пристрій забезпечує достатню точність вимірювань і може бути легко інтегрований у загальну систему автоматизації. Проведена робота дозволила не тільки розробити повноцінну проектну документацію, але й обґрунтувати вибір конкретних технічних рішень.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ДРОБЛЕННЯ У СЕРЕДОВИЩІ TIA PORTAL

5.1 Вимоги до алгоритму управління

Автоматизація процесу дроблення може здійснюватися двома основними схемами: дистанційне керування, яке автоматизує тільки пуск та зупинку всього процесу, та автоматизований контроль роботи системи та її елементів, при якому приводні двигуни автоматично відключаються при порушенні режиму роботи будь-якого з елементів системи.

Відповідно до вимог, що висуваються до систем автоматизації процесу дроблення, розроблена система повинна забезпечувати наступні дії.

Запуск елементів системи у напрямку, який протилежний напрямку вантажопотоку, щоб запобігти можливості утворення завалу у місці перевантаження. При цьому наступний елемент запускається після досягнення попередньої номінальної швидкості.

Система управління повинна забезпечувати автоматичну зупинку елементів, що подають руду, у разі аварійної зупинки одного з елементів.

Якщо рівень руди знаходиться на рівні нижче 20% від загального обсягу збільшуємо швидкість пластинчастого живильника. Якщо рівень руди знаходиться в діапазоні від 65% до 80%. Підтримувати швидкість пластинчастого живильника постійною. Повна зупинка пластинчастого живильника у разі, якщо рівень руди перевищує 80% від обсягу дробарки.

Система повинна забезпечувати можливість моніторингу та управління процесом дроблення. Це включає відображення даних про стан і параметри системи, можливість віддаленого управління і налаштування параметрів роботи.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Структура АСУ ТП дроблення хромової руди

Найбільш оптимальною архітектурою автоматизації системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) для подрібнення хромової руди є централізована АСУ ТП.

Централізовані АСУ застосовуються для автоматизації локальних технологічних процесів, де обладнання компактно розташоване та алгоритм роботи щодо простий. Розробка програмного забезпечення та координація роботи пристроїв введення/виведення інформації більш зручні у централізованих системах порівняно з розподіленими системами. Крім того, вартість апаратних засобів для централізованих АСУ нижча, ніж для розподілених систем керування.

Пластинчасті живильники використовуються для збору даних про продуктивність процесу та перетворення вимірюваних величин в уніфіковані сигнали струму: 4 - 20мА. Для контролю руху пластин живильника застосовуються датчики швидкості, які передають сигнали на контролер у вигляді 0 або 24, відповідні логічним значенням 0 або 1. Використання сучасної елементної бази і нового підходу у вимірювальній техніці значно скорочує витрати на створення та експлуатацію системи автоматизації технологічних процесів (АСУТП). Наприклад, застосування сучасних датчиків, що дозволяють передавати живлення та сигнал по одним проводам, скорочує витрати на кабельну продукцію в 1,5-2 рази і дозволяє уникнути використання дорогого компенсаційного проводу у багатьох випадках. Поєднання датчиків з перетворювачами також дозволяє скоротити кількість панелей та щитів контролю, вимірювання, перетворення та автоматичного керування (КІПіА). Сигнали з датчиків надходять на модулі програмованого логічного контролера. Зазначимо, що аварійна кнопка та тросовий вимикач є електротехнічними пристроями та обслуговуються електриками підприємства. У системі автоматизації потрібні сигнали від цих пристроїв, наприклад, стан контактів (закритий/відкритий). Ці сигнали надходять на дискретний модуль контролера і використовуються для

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування конвеєром, а також для написання програми та створення візуалізації.

Поступивши на вхідні модулі сигнали обробляються в ЦПУ контролера згідно з програмою і формуються керуючі впливи, які за допомогою модулів виводу подаються на обладнанні. В даному випадку здійснюється запуск/зупинка живильника по сигналу керуючого дискретного виведення через проміжне реле РП-21. Управління електродвигуном CV01 здійснюється за допомогою перетворювача частоти, який забезпечує запуск/зупинення та регулювання частоти обертання.

Вхідні сигнали, що надійшли на модулі введення, обробляються центральним процесорним блоком (ЦПУ) контролера згідно з програмою, і формуються впливи, що управляють. Ці керуючі дії передаються відповідне устаткування з допомогою модулів виведення. В даному випадку шляхом дискретного виведення через проміжне реле РП-21 здійснюється запуск/зупинка живильника. Управління електродвигуном CV01 здійснюється за допомогою перетворювача частоти, який забезпечує контроль та регулювання швидкості обертання. Управління перетворювачем частоти здійснюється безпосередньо з ЦПУ контролера.

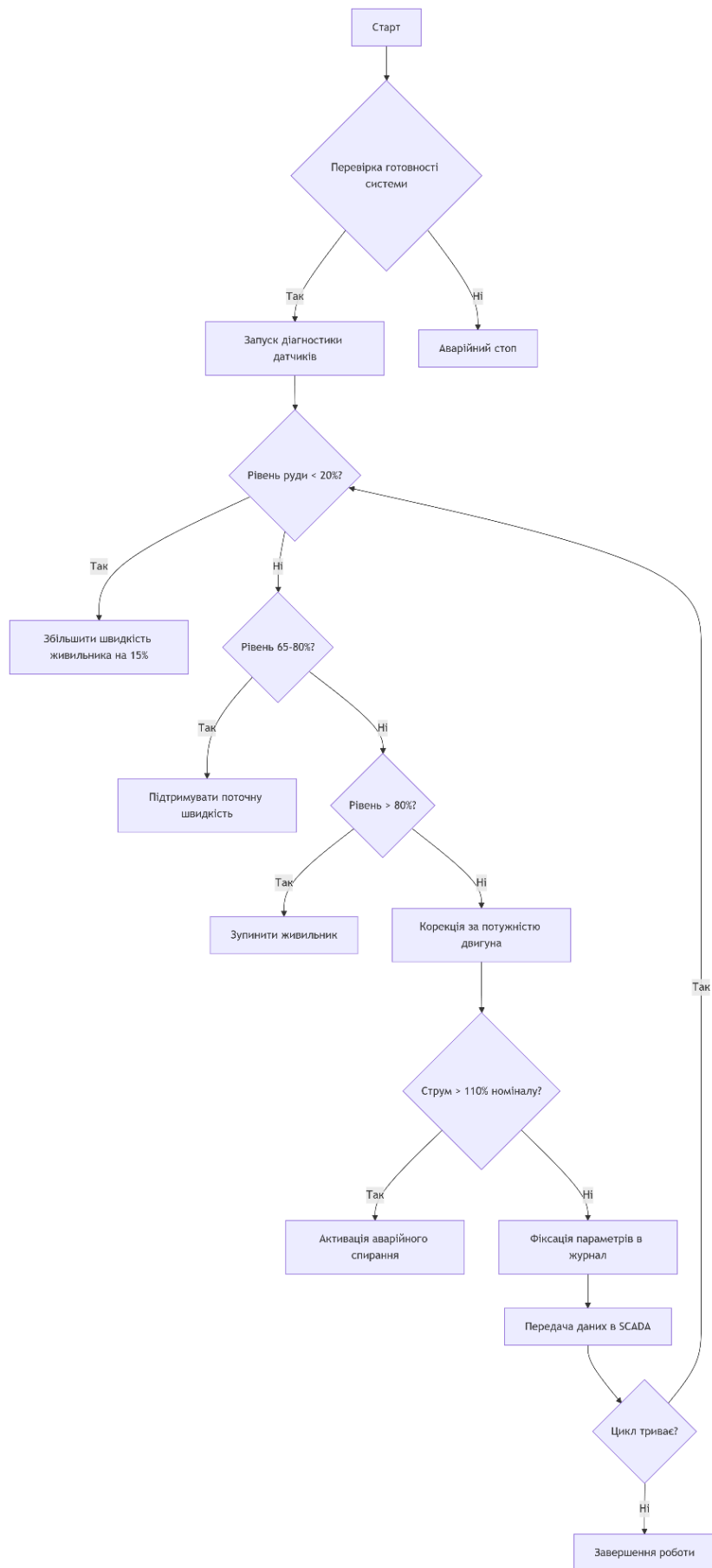
5.3 Блок-схема роботи системи керування процесом дроблення

Перед початком розробки структури програми складемо блок-схему алгоритму, яка має відповідати всім вимогам (рисунок 5.1). Блок-схема роботи системи управління процесом дроблення представляє послідовність кроків, які виконуються задля забезпечення ефективного та безпечного функціонування системи.

Алгоритм реалізує автоматизоване управління щокисловою дробаркою С-888 з інтеграцією таких підсистем:

1. Контроль рівня завантаження.
2. Регулювання швидкості живильника.
3. Аварійний захист.
4. Дистанційний моніторинг.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ

Арк.

62

Блок В перевіряє стан аварійних вимикачів, тиск мастила, температуру підшипників. При виявленні несправностей – перехід в аварійний режим (блок Н). Блоки D-F-I (контроль рівня руди): використовує дані радарного рівнеміра (напр. Micropilot FMR57). Реалізує 3-рівневе регулювання швидкості живильника. Блок К (адаптивне керування): корекція швидкості на основі струму двигуна дробарки. Запобігає перевантаженню через ПД-регулятор. Блок М (аварійний захист) - активація при спрацюванні: тросового вимикача, перегріву двигуна, механічних заклинювань.

Відповідність вимогам:

- 1) безпека: аварійні контури працюють незалежно від ПЛК (апаратний рівень);
- 2) автоматизація: регулювання без участі оператора при рівні 65-80%;
- 3) дистанційний контроль: всі параметри передаються в SCADA через OPC UA.

Згідно з цією схемою, приступаємо до розробки програми в середовищі TIA Portal.

5.4 Таблиця знаків програми TIA Portal

У програмі TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) символна таблиця являє собою таблицю, в якій визначено та описано символи або змінні, що використовуються у програмуванні та конфігурації автоматизованих систем. Ця таблиця полегшує управління та моніторинг змінних, оскільки вони можуть бути організовані та груповані відповідно до різних категорій або типів даних.

Символьна таблиця дозволяє створювати та керувати символами, такими як теги, адреси пам'яті, входи-виходи та інші змінні, які використовуються у програмах автоматизації та налаштуваннях обладнання. Вона забезпечує зручний спосіб привласнення та відстеження значень символів, а також спрощує обмін даними між різними блоками програми чи компонентами системи.

Таблиця символів, що використовується в розробленому алгоритмі, представлена на малюнку 5.2.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

PLC tags				
	Name	Tag table	Data type	Address
7	Tag_2	Default tag table	Bool	%M255.0
8	Tag_3	Default tag table	Word	%MW10
9	ElectricSignal	Default tag table	Real	%MD10
10	Crusher	Default tag table	Bool	%Q2.0
11	ST	Default tag table	Bool	%I3.1
12	PPstart	Default tag table	Bool	%I3.0
13	PP	Default tag table	Bool	%Q3.0
14	Natyazh	Default tag table	Bool	%I1.1
15	Lenta	Default tag table	Bool	%I1.2
16	Tross	Default tag table	Bool	%I1.3
17	LL	Default tag table	Bool	%I2.0
18	HL	Default tag table	Bool	%I2.1
19	Tag_1	Default tag table	Real	%MD20
20	Tag_4	Default tag table	Bool	%M10.0
21	Tag_5	Default tag table	Word	%MW20
22	Tag_6	Default tag table	Word	%MW50
23	Tag_7	Default tag table	Word	%MW60
24	Tag_8	Default tag table	Real	%MD30
25	Tag_9	Default tag table	Real	%MD40
26	AI2	Default tag table	Int	%IW306
27	Tag_10	Default tag table	Word	%MW70
28	Tag_12	Default tag table	Real	%MD60

Рисунок 5.2 – Таблиця символів

Символьна таблиця TIA Portal зазвичай включає стовпці, що містять інформацію про символ, таку як його ім'я, тип даних, адресу і значення. Вона може бути використана в різних модулях програмування TIA Portal, включаючи структурне програмування, графічне програмування та конфігурацію апаратних пристроїв. Використання символної таблиці у TIA Portal спрощує процес програмування та управління змінними, роблячи його більш структурованим та зрозумілим для розробників та інженерів.

5.5 Структура програми мовою LAD

Мова LAD (Ladder Diagram) є однією з мов програмування, доступних серед TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal). LAD використовується для розробки програмного забезпечення для програмованих логічних контролерів (ПЛК) та відображає логічні зв'язки та функції системи управління.

									Арк.
									64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ				

Потім ви можете створювати та редагувати програму у вигляді сходових діаграм, де горизонтальні лінії представляють контакти, а вертикальні лінії – котушки реле. Мова LAD надає широкий набір логічних елементів та функцій, таких як контакти, котушки реле, таймери, лічильники та інші оператори для створення логічних виразів та керування пристроями у системі автоматизації. Ці елементи можуть бути пов'язані та комбіновані для створення складної програми керування, що відображає послідовності дій та умов. Мова LAD забезпечує інтуїтивно зрозумілий спосіб програмування для технічних фахівців, знайомих з електричними схемами та логікою реле. Він дозволяє легко візуалізувати та зрозуміти логіку управління, ґрунтуючись на принципах контактів та реле. LAD також інтегрується з іншими мовами програмування, такими як FBD (Functional Block Diagram) та STL (Structured Text), що дозволяє розробникам вибрати найбільш підходящу мову в залежності від завдання та їх переваг.

Для регулювання швидкості пластинчастого живильника скористаємося готовим блоком ПІД-регулятора з бібліотеки TIA Portal (рисунок 5.6).

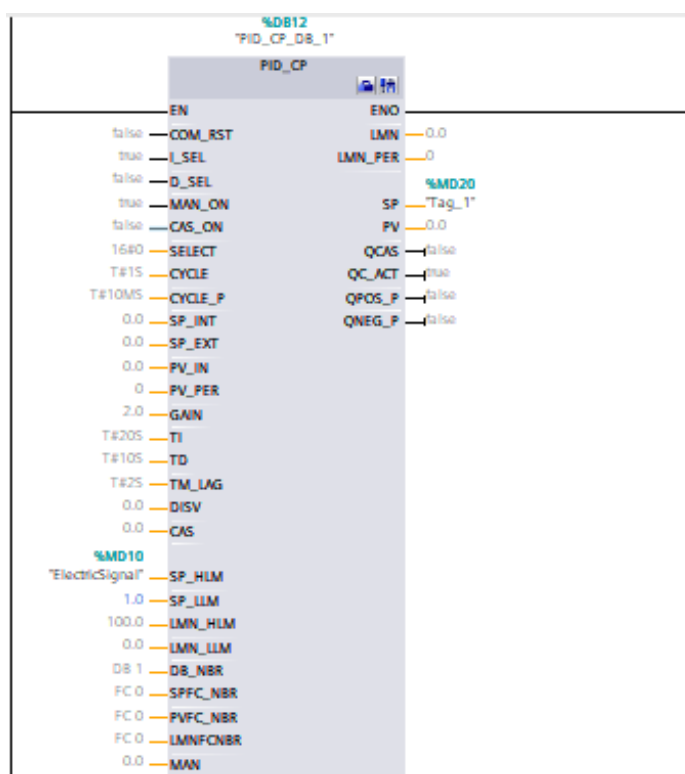


Рисунок 5.6 – Готовий блок ПІД-регулятора

Для того, щоб зв'язати рівень руди та швидкість ходу стрічки живильника використовуємо оператор порівняння (рис. 5.7).

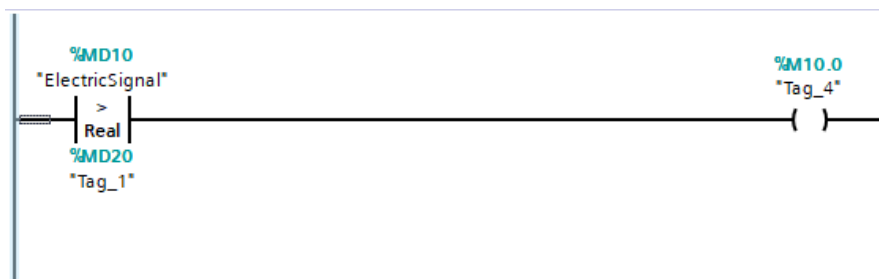


Рисунок 5.7 – Контроль за рівнем руди у дробарці

В цілому, використання мови LAD у TIA Portal забезпечує зручне та гнучке середовище розробки для програмування ПЛК та створення складних систем автоматизації.

5.6 Панель оператора

HMI (Human Machine Interface) екран у середовищі TIA Portal є графічним інтерфейсом, який дозволяє оператору взаємодіяти з системою автоматизації (рисунки 5.6 та 5.7)

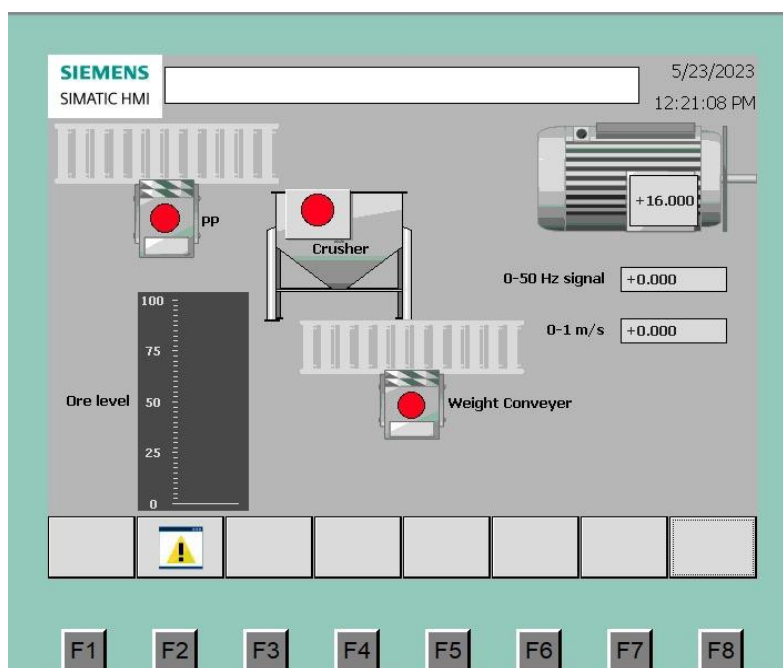


Рисунок 5.6 – HMI-панель оператора для моніторингу у вимкненому режимі

										Арк.
										67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ					

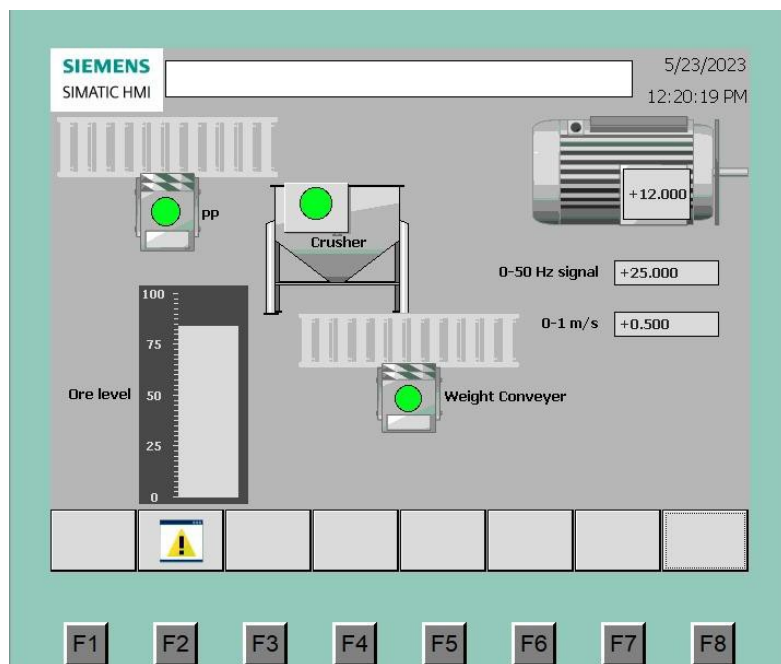


Рисунок 5.7 – НМІ-панель оператора для моніторингу в активному режимі

ТІА Portal надає можливість розробки та налаштування НМІ екранів для відображення даних, управління процесами та моніторингу стану системи.

У ТІА Portal НМІ екрани створюються за допомогою спеціального інструменту, відомого як WinCC (Windows Control Center). WinCC дозволяє створювати інтерфейси користувача, налаштовувати елементи управління і візуалізації, а також визначати логіку роботи екранів.

За допомогою НМІ екранів у ТІА Portal можна відображати різні дані та інформацію, такі як датчики, параметри процесу, стан пристроїв та інші параметри системи автоматизації. Оператор може взаємодіяти з екраном, виконувати операції керування, вводити дані та отримувати зворотний зв'язок про стан процесу.

У ТІА Portal можна створювати різні елементи НМІ інтерфейсу, такі як кнопки, перемикачі, повзунки, графіки, таблиці, текстові поля та інші. Ви також можете налаштувати анімацію, кольори, шрифти та інші параметри елементів інтерфейсу, щоб адаптувати їх до вимог конкретної програми.

										Арк.
										68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ					

НМІ екрани у TIA Portal також дозволяють створювати тренди, аларми, повідомлення та інші функції, які допомагають оператору моніторити та контролювати процеси в системі автоматизації.

Крім того, НМІ екрани в TIA Portal підтримують мультимовність, що дозволяє створювати інтерфейси різними мовами для зручності операторів з різних країн та культур. Це особливо корисно в багатонаціональних підприємствах або проектах, де оператори мають різні мовні навички.

Для забезпечення безпеки та обмеження доступу до певних функцій або даних, НМІ екрани в TIA Portal дозволяють налаштовувати рівні користувача доступу. Ви можете визначити різні ролі та права доступу для різних користувачів, щоб забезпечити безпеку системи та запобігти несанкціонованому доступу до критичних функцій.

В цілому, НМІ екрани в TIA Portal надають зручний інструмент для створення графічного інтерфейсу в системах автоматизації, що дозволяє операторам ефективно управляти та контролювати процеси.

Висновки до розділу

У цьому розділі була проведена детальна розробка алгоритму управління процесом дроблення хромової руди з використанням сучасного середовища програмування TIA Portal. Розробка почалася з аналізу вимог до системи, де було визначено два ключові режими роботи. Особливу увагу приділили логіці послідовного включення обладнання - система запускає елементи в порядку, зворотному напрямку руху матеріалу, що запобігає утворенню завалів у місцях перевантаження. Алгоритм враховує поточний рівень завантаження дробарки: при зниженні рівня нижче 20% система автоматично збільшує швидкість подачі матеріалу, у діапазоні 65-80% підтримує стабільну швидкість, а при перевищенні 80% - повністю зупиняє живильник. Таке рішення дозволяє оптимізувати завантаження обладнання та запобігає його перевантаженню.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи, пов'язаної з дослідженням та моделюванням процесу автоматизації дроблення хромових руд, було здійснено такі етапи.

Проведено огляд існуючих систем автоматичного управління процесом дроблення, що включають корекцію на поточну продуктивність та автоматичне завантаження дробарки.

Були отримані математичні моделі об'єкта управління та окремих елементів, що входять до процесу автоматизації дроблення, а також модель усієї системи загалом. Моделювання процесу дроблення було виконано з використанням програми Matlab та її розширення Simulink.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило ефективність запропонованого підходу до автоматизації процесу дроблення хромової руди. Розроблена математична модель адекватно описує поведінку системи, а вибраний ПД-регулятор дозволяє досягти оптимального балансу між швидкістю, стабільністю та якістю керування.

Проаналізовано технічні засоби автоматизації та вибрано необхідне обладнання для розробки системи автоматизації дроблення, що включає виконавчий механізм-пластинчастий живильник, привід живильника, ваговий конвеєр та контроль.

Як об'єкт управління була обрана щоква дробарка моделі С-888, чия робота залежить від продуктивності живильника Q_p , ширини розвантажувальної щілини l , крупності D і міцності σ вихідного матеріалу, а також від продуктивності $Q_{др}$, потужності N , що споживається в процесі дроблення, і гранулометричного складу дробленого продукту, d .

Було розроблено структурну та функціональну схему автоматизації системи. Вхідним регулюючим впливом є продуктивність живильника Q_p , а вихідний регульованою величиною - продуктивність дробарки $Q_{др}$. Для побудови функціональної схеми використовувалися датчики рівня, швидкості та

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності. Отримані результати створюють міцну основу для подальшого впровадження системи автоматичного керування в промислових умовах.

Для реалізації системи була обрана централізована архітектура АСУ ТП, що обґрунтовано компактним розташуванням обладнання та відносно простою логікою керування. Технічна реалізація передбачає використання сучасних засобів автоматизації: радарного рівнеміра для точного вимірювання рівня руди, тензометричних ваг для контролю маси матеріалу, а також частотного перетворювача для плавного регулювання швидкості живильника.

Блок-схема алгоритму була ретельно продумана та включає всі необхідні функції: від моніторингу аварійних параметрів (тиску мастила, температури підшипників) до трирівневого регулювання продуктивності. Особливістю системи стало використання адаптивного ПД-регулятора, який автоматично коректує роботу обладнання на основі аналізу струму двигуна дробарки, запобігаючи його перевантаженню. Програмна реалізація в TIA Portal виконалася з використанням мови LAD (сходових діаграм), що дозволило наочно відобразити логіку роботи системи. Для зручності роботи всі змінні були стандартизовані в символній таблиці, а ключові функції реалізовані за допомогою готових бібліотечних блоків, включаючи ПД-регулятор. Важливою перевагою розробленого рішення стало створення інтуїтивно зрозумілого HMI-інтерфейсу, який надає оператору повну інформацію про стан системи та дозволяє здійснювати дистанційне керування.

Створена система відрізняється високою надійністю завдяки подвійному захисту: програмні аварійні контури в ПЛК доповнені апаратними захистами, які працюють незалежно від контролера. Всі критичні параметри передаються в SCADA-систему через сучасний протокол OPC UA, що забезпечує зручний моніторинг і архівування даних.

У результаті було створено комплексне рішення, яке поєднує в собі високу ефективність автоматизованого керування з гнучкістю та зручністю для оператора. Розроблена система не тільки забезпечує стабільну роботу обладнання, але й дозволяє суттєво підвищити продуктивність процесу дроблення при зниженні ризиків аварійних ситуацій.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Горбунов О. І. Машины та обладнання для подрібнення мінеральної сировини. – Київ: НТУУ "КПІ", 2018. – 320 с.
2. Романченко В. С. Автоматизація технологічних процесів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – 280 с.
3. Петренко В. О., Ковальчук М. П. Сучасні системи управління гірничозбагачувальними підприємствами. – Дніпро: НГУ, 2020. – 215 с.
4. Іванов С. М., Сидоренко П. В. "Оптимізація процесу дроблення хромових руд за допомогою ПЛК" // Гірничий журнал. – 2021. – № 3. – С. 45–52.
5. Мельник О. В. "Аналіз ефективності SCADA-систем у гірничій промисловості" // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2022. – № 1. – С. 78–85.
6. Коваль О. П., Шевченко І. М. "Впровадження частотних перетворювачів у системах управління живильниками" // Автоматизація виробничих процесів. – 2020. – № 4. – С. 33–40.
7. Безуглий В.І., Коваленко О.П. Математичне моделювання технологічних процесів: теорія та практика. – Київ: НТУУ "КПІ", 2020. – 320 с.
8. Сидоренко В.М. Автоматичне регулювання: синтез ідентифікаційних моделей. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – 280 с.
9. Мельник О.О., Шевчук В.А. Чисельні методи оптимізації в автоматичному керуванні. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 215 с.
10. Ковальчук М.П. "Модифікований метод Циглера-Ніколса для нелінійних об'єктів" // 2022, №4. С. 45–52.*
11. Петренко І.В. "Адаптивні ПД-регулятори для промислових систем" // 2021, №3. С. 78–85.
12. Білий О.В. "Математичні моделі імпульсних систем керування" // 2020, №2. С. 33–40.

					БР.АКП-66.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72