

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М.
ПОТЕБНИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий

(магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Автоматизація процесу роз'єднання мінералів в млинах мокрого самоподрібнення руд на збагачувальній фабриці ГЗК

Виконав: студент 2 курсу,
групи 8.1512

спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

Дрождєв Євгеній Іванович

(ініціали та прізвище)

Керівник ктн, доц. Овчинникова І. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Курілець І.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
д.т.н., доц. В.Л. Коваленко
« » 2023 року

○ **ЗАВДАННЯ**

- **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**


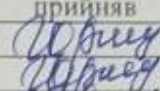
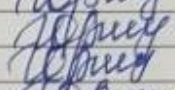
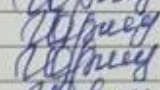
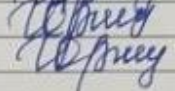
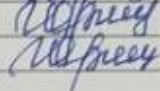
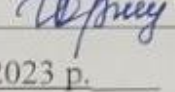
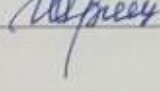
Дрождеву Євгенію Івановичу
(ПРІЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

- 1 Тема роботи Автоматизація процесу роз'єднання мінералів в млинах мокрого самоподрібнення руд на збагачувальній фабриці ГЗК
керівник роботи Овчинникова Тетяна Анатоліївна, к.т.н., доц
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « » травня 2023 року _____
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.
- 3 Вихідні дані до роботи: Сучасний стан підприємств гірничозбагачувальної галузі в Україні. Технологічна характеристика млину типу MMC-70x23 для мокрого рудного самоподрібнення. Технічні характеристики програмованого логічного контролера VIPA 214-2BE03, Технічні характеристики частотного перетворювача фірми Siemens Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1.
Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) :1. Стан питання та постановка завдання.1.1 Гірничо – металургійний комплекс України. 1.2 Технологічний процес подрібнення матеріалу шляхом механічного впливу. 1.3 Об'єкт керування. 1.4 Апаратне забезпечення системи управління 1.5 Формулювання завдань дослідження випускної кваліфікаційної роботи магістра . 2 Теоретична частина. 2.1 Методи регулювання об'єктів з запізненням.2.2 Розрахунок параметрів пропорційно-інтегрально-диференційного - регулятора за методом Циглера-Нікольса. 2.3 Регулювання з передбаченням. 3 Експериментальний розділ 3.1 Дослідження регуляторів системи автоматичного регулювання за відсутності збурюючого впливу 3.2 Дослідження регуляторів системи автоматичного регулятора із збурюючим впливом.4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.4.1 Цифрова модель об'єкта керування 4.2 Розробка програмного забезпечення системи управління 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення.5 Економічна частина.5.1 Аргументація необхідності впровадження автоматизації в виробничий процес.5.2. Визначення капітальних вкладень 5.3 Розрахунок річних експлуатаційних

витрат. 5.4 Оцінка економічної ефективності оптимізації. 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. 6.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки. 6.2 Заходи поліпшення умов праці. 6.2.3 Розрахунок заземлення. 6.3 Захист навколишнього середовища

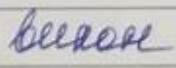
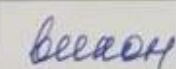
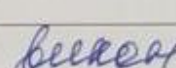
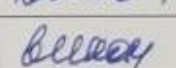
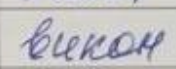
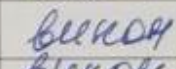
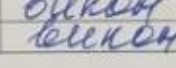

4 Перелік графічного матеріалу: Млин мокрого подрібнення MMC-70x23; Технологічна схема збагачення САР заповнення млина за постійністю тоннажу. Мета та задачі досліджень. Визначення межі стійкості САР за критерієм Найквіста з П-регулятором. Перехідний процес в САР на межі стійкості з П-регулятором. Параметри та передатні функції П-, ПІ-, ПІД-регуляторів. Визначення межі стійкості САУ за критерієм Найквіста з предиктивним ПІ-регулятором. Структурна схема для дослідження САР з П-, ПІ-, ПІД-регуляторами в SIMULINK ППП MATLAB. Оцінки показників якості досліджуваної САР при подачі на вхід ступінчатого впливу.

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Овчинникова І. А., ктн, доц.		
Розділ 2	Овчинникова І. А., ктн, доц.		
Розділ 3	Овчинникова І. А., ктн, доц.		
Розділ 4	Овчинникова І. А., ктн, доц.		


6 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	П. ринітка
1	Призначення наукових керівників. Затвердження тем дипломних робіт	30.09.2023	
2	Напрацювання теоретичного матеріалу: дослідження сутності об'єкту та предмету дослідження, критичний аналіз існуючих методологічних засад, вибір та обґрунтування напрямку проведення дослідження	30.10.2023	
3	Апробація результатів на Міжнародних та Всеукраїнських конференціях	10.11.2023	
4	Розробка економіко-математичного забезпечення основних елементів концептуального підходу.	15.11.2023	
5	Збір та систематизація статистичного та нормативного матеріалу дослідження.	20.11.2023	
6	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення роботи	25.11.2023	
7	Надання роботи до рецензії. Нормоконтроль	30.11.2023	
8	Прилюдний захист дипломної роботи на засіданні ЕК	12.12.2023	


Студент  (підпис)

С.І. Дрождєв
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи  (підпис)

І.А. Овчинникова
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

І.А. Овчинникова
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка: 136 с., 58 рис., 21 табл., 3 додатків, 14 джерел.

Мета цієї роботи полягає у підвищенні ефективності процесу подрібнення на фабриці збагачення гірничо-збагачувального комбінату.

Об'єктом дослідження виступає система автоматичного регулювання процесу подрібнення.

Основна мета дослідження - вибір структури та розрахунок параметрів регулятора системи автоматичного регулювання за каналом "продуктивність по вхідній руді - ступінь внутрішньомлинового заповнення".

Для досягнення цієї мети було використано такі методи, як аналіз літературних джерел, теоретичні та обчислювальні дослідження, а також статистичний аналіз даних. У вступі описано стан питання автоматизації процесу подрібнення.

У розділі "Стан питання та постановка задачі" надано характеристику технологічного процесу, розглянуто конструктивні особливості подрібнювальних агрегатів та проведено аналіз відомих систем управління процесом подрібнення.

У розділі "Теоретична частина" здійснено аналіз відомих методів регулювання об'єктів управління з запізнюванням, розглянуто методики вибору структури та визначення параметрів пропорційно-інтегрально-диференційного і пропорційно-пропорційно-інтегрально-диференційного регуляторів для управління процесом флотації, а також виконано розрахунки параметрів пропорційного, пропорційно-інтегрального, пропорційно-інтегрально-диференційного і пропорційно-пропорційно-інтегрально-диференційного регуляторів.

У розділі "Експериментальний розділ" здійснено обчислювальні дослідження на електронній обчислювальній машині системи автоматичного регулювання з різними типами регуляторів в умовах відсутності збурюючого впливу та при подачі в контур управління збурюючого впливу, розподіленого за нормальним законом. Наведено показники якості системи автоматичного регулювання з різними регуляторами, і на основі результатів дослідження вибрано найкращий регулятор.

У розділі "Економічна частина" проведені економічні розрахунки ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.

У розділі "Охорона праці" розроблені та обґрунтовані заходи з безпеки праці, представлені розрахунки освітлення.

Результати цих досліджень можуть бути використані при розробці системи автоматичного регулювання процесу подрібнення в гірничо-видобувній промисловості, зокрема в галузі збагачення руд.

КОНВЕЄР, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ,
ПРОДУКТИВНІСТЬ, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ,
ПОКАЗНИК ЯКОСТІ, РЕГУЛЯТОР, МАТЕМАТИЧНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень.....	9
ВСТУП.....	11
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	14
1.1 Гірничо – металургійний комплекс України.....	14
1.2 Технологічний процес подрібнення матеріалу шляхом механічного впливу.....	18
1.3 Об’єкт керування.....	22
1.3.1 Опис та загальні характеристики об’єкта керування.....	22
1.3.2 Структура об’єкту керування.....	28
1.3.3 Основні принципи функціонування об’єкта управління.....	30
1.4 Апаратне забезпечення системи управління.....	34
1.4.1 Структура системи управління.....	34
1.4.2 Структурна схеми інформаційних потоків.....	35
1.4.3 Вибір апаратного забезпечення системи управління.....	39
1.4.4 Функціональна схема системи автоматичного управління.....	49
1.4.5 Розробка схеми електричної принципової.....	50
1.5 Формулювання завдань дослідження випускної кваліфікаційної роботи магістра	52
2 Теоретична частина.....	52
2.1 Методи регулювання об'єктів з запізненням.....	52
2.2 Розрахунок параметрів пропорційно-інтегрально-диференційного - регулятора за методом Циглера-Нікольса.....	54
2.3 Регулювання з передбаченням.....	62
2.3.1 Предиктор Сміта.....	62
2.3.2 Розрахунок предиктивного пропорційно-інтегрального регулятора..	65
2.4 Висновки до розділу.....	69
3 Експериментальний розділ.....	70
3.1 Дослідження регуляторів системи автоматичного регулювання за відсутності збурюючого впливу.....	70

3.1.1 Дослідження ПД-регуляторів системи автоматичного регулювання за відсутності збурюючого впливу.....	70
3.2 Дослідження регуляторів системи автоматичного регулятора із збурюючим впливом.....	76
3.2.1 Визначення статистичних параметрів системи автоматичного регулювання з предиктивним пропорційно-інтегральним і пропорційно – інтегрально диференціальним регуляторами.....	80
3.2.2 Перевірка гіпотези щодо важливості різниці у оцінках середніх і дисперсій у системах автоматичного управління процесом подрібнення..	80
3.3 Висновки.....	86
4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	87
4.1 Цифрова модель об'єкта керування.....	87
4.2 Розробка програмного забезпечення системи управління.....	92
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.	95
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення.....	100
4.5 Висновки до розділу.....	101
5 Економічна частина.....	102
5.1 Аргументація необхідності впровадження автоматизації в виробничий процес.....	102
5.2. Визначення капітальних вкладень	102
5.3 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	104
5.4 Оцінка економічної ефективності оптимізації.....	107
5.4.1 Прибуток від підвищення продуктивності	108
5.4.2 Рентабельність оптимізаційних заходів	109
5.4.3 Приведені витрати	109
5.4.4 Період повернення капіталу (термін окупності)	110
5.5 Висновки по розділу.....	111
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	111
6.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки.....	111
6.2 Заходи поліпшення умов праці.....	118

6.2.1 Заходи для безпечної роботи з млинами.....	118
6.2.2 Індивідуальні засоби захисту	120
6.2.3 Розрахунок заземлення.....	120
6.3 Захист навколишнього середовища.....	123
ВИСНОВКИ.....	124
Список літератури.....	125
ДОДАТОК А.....	128
ДОДАТОК Б.....	131
ДОДАТОК В.....	134

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕНЬ**

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
ПІД	– Пропорційно-інтегрально-диференційний (регулятор);
ППІ	– Предиктивний пропорційно-інтегральний регулятор;
ПЗ	– Програмне забезпечення;
ОУ	– Об'єкт управління;

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Система автоматизованого управління технологічним процесом (САУ ТП) представляє собою ключовий напрямок у впровадженні автоматизації гірничих операцій. За допомогою обчислювальної техніки та надійних швидкодіючих обчислювальних машин тепер можна ефективно вирішувати задачі оптимізації керування не лише окремими збагачувальними апаратами, але й цілими технологічними лініями збагачення мінеральної сировини та навіть цехами. Досвід використання таких систем вже наявний у кольоровій та чорній металургії. Впровадження систем автоматизованого управління технологічним процесом призводить до підвищення економічності та продуктивності збагачувального виробництва.

Для створення автоматичних систем керування використовуються різноманітні технічні засоби автоматики, такі як контрольно-вимірювальна апаратура, різноманітні датчики, підсилювальні та виконавчі пристрої. Незважаючи на різноманіття технологічних процесів і завдань управління, виявляється, що концепція універсальних регуляторів і приладів, які можна використовувати для керування різними процесами, є більш ефективною.

Головними метами автоматизації систем подрібнення включають автоматичний контроль процесу та стану технічного обладнання, автоматичне регулювання параметрів процесу подрібнення та управління роботою машин і механізмів. Однак основним недоліком є тенденція технологічного обладнання до зносу.

В контексті автоматизації гірничих процесів, САУ ТП виявляється невід'ємною складовою, забезпечуючи ефективне управління та підвищення продуктивності. Це стає можливим завдяки використанню різноманітних технічних рішень, таких як контрольно-вимірювальна

апаратура та сучасні датчики. Застосування універсальних регуляторів і приладів управління дозволяє оптимізувати процеси в різних областях. Отже, впровадження автоматизації у системи подрібнення сприяє покращенню якості та зменшенню витрат.

Мета і задачі дослідження. Мета цієї магістерської роботи визначається прагненням покращити ефективність подрібнення на гірничо-збагачувальному комбінаті через оптимізацію системи автоматичного регулювання ступенем заповнення млина. Забезпечення точності та стабільності цього процесу є важливим завданням, адже ступінь заповнення млина впливає на результативність весьма чутливим чином.

Основні критерії якості визначаються не лише мінімізацією відхилень ступеня заповнення млина від заданих значень у динамічному та стохастичному середовищі, але й ефективністю управління перехідними процесами. Розробка імітаційної моделі дозволить не лише визначити оптимальні параметри регулятора, але й ретельно проаналізувати вплив їхньої дії на систему. Проведені дослідження забезпечать цінний внесок у розуміння та покращення процесу подрібнення в гірничо-збагачувальній галузі. Узагальнення результатів сприятиме ефективнішій роботі збагачувальних млинів та визначенню оптимальних стратегій управління цими процесами

Для досягнення цієї мети в магістерській роботі були сформульовані та вирішені наукові завдання, зокрема:

Розроблено імітаційну модель системи автоматичного управління ступенем заповнення млина.

Проведений синтез системи автоматичного управління ступенем заповнення млина з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості для перехідних процесів та вивчені залежності цих критеріїв від параметрів регулятора.

Об'єкт дослідження – Система автоматизованого управління технологічним процесом подрібнення.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного управління технологічним процесом внутрішньомлиновим заповненням.

Методи дослідження. Для аналізу системи автоматичного управління в процесі подрібнення використано підходи теорії автоматичного керування, моделювання та статистичного аналізу даних. Експериментальні дослідження та моделювання проведено шляхом використання обчислювальних експериментів із застосуванням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінка ефективності автоматичного управління технологічного процесу виконана за допомогою методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Розроблено пропорційно-інтегральний регулятор з передбаченням для системи автоматичного регулювання рівнем внутрішньомлинового наповнення.

Доведено, що інтегральна компонента пропорційно-інтегрального регулятора не впливає на якість перехідних процесів вихідної величини у системі автоматичного регулювання рівнем внутрішньомлинового наповнення.

Визначено оптимальний діапазон значень коефіцієнта пропорційності для передбачуваного пропорційно-інтегрального регулятора системи автоматичного керування рівнем внутрішньомлинового наповнення.

Підтверджено ефективність передбачуваного пропорційно-інтегрального регулятора в динамічному та стохастичному аспектах при управлінні рівнем внутрішньомлинового наповнення.

Наукове положення – мінімум дисперсії вихідної величини процесу подрібнення руди досягається застосуванням управління з передбаченням на основі предиктивного пропорційно-інтегрального регулятора.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Гірничо – металургійний комплекс України

Україна, яка розташована в одному з найбагатших регіонів світу з мінеральними ресурсами, є справжнім скарбницею природних багатств. З наявних 120 видів корисних копалин, які сьогодні використовує людство, в надрах нашої країни виявлено надзвичайно велику кількість родовищ і проявів 117 корисних копалин. Зокрема, виявлено 8761 родовище і 1288 об'єктів обліку супутніх корисних копалин, що представлені в 95 видах мінеральної сировини. Ці ресурси мають важливе промислове значення і обліковуються в державному балансі запасів корисних копалин. При цьому на даний момент 3055 родовища активно розробляються, забезпечуючи використання цих надзвичайно цінних природних ресурсів.

Мінерально-сировинний комплекс України є не лише однією з ключових галузей економіки, але й важливою частиною валового національного продукту. Відмічається тим, що 48% промислового потенціалу країни і до 20% трудових ресурсів пов'язані з видобутком і використанням корисних копалин. Це свідчить про високий внутрішній потенціал галузі та важливість її внеску у формування економічного обличчя України.

Україна наближається до стандартів розвинених країн із потужним гірничодобувним сектором. Тут вклад гірничодобувного сектору в загальні інвестиції може досягати від 20% до 40%, а участь в трудових ресурсах — до 20%. Це демонструє, наскільки ключовою є роль мінерально-сировинного комплексу в структурі економіки та забезпеченні трудових можливостей для населення.

Металогенічна провінція Українського щита, що включає Волинську, Подільську, Кіровоградську, Середньо-Придніпровську та Приазовську субпровінції, є унікальною за своєю різноманітністю родовищ. Поміж широко відомих видів мінеральної сировини, таких як залізо, титан, уран,

знайдено й нові корисні копалини для регіону. Наприклад, у Середньому Придніпров'ї (Сурська, Верхівцівсько-Чортомлицька структурно-металогенічні зони) виявлено граніт-зеленокам'яні пояси з золоторудною спеціалізацією. У синклінальних прогинах та епикратонних западинах, заповнених протерозойськими вулканогенно-осадовими формаціями, виявлено поля літєвих пегматитів (Звенигородсько-Хмельівська, Федорівська металогенічні зони).

Такий багатий геологічний потенціал робить Україну важливим учасником світового ринку мінеральних ресурсів і сприяє її економічному розвитку. Використання цих багатств вимагає відповідального та екологічно освідомленого підходу для збереження природних ресурсів і забезпечення сталого розвитку.

Подальший розвиток гірничо-видобувної галузі в Україні базується на поєднанні традиційних технологій та новітніх підходів до видобутку та обробки корисних копалин. Сучасні технології спрямовані на підвищення рентабельності видобутку, зменшення екологічного впливу та покращення умов праці.

Важливим аспектом є вдосконалення методів екологічного розведення родовищ і збереження природних ресурсів. Застосування сучасних екологічно чистих технологій у гірництві дозволяє уникати забруднення ґрунту, повітря та води. Розвиток нових методів розведення корисних копалин з використанням мінімальної кількості хімічних реагентів сприяє збереженню природного середовища та зменшенню негативного впливу гірничої діяльності на екосистему.

У перспективі, розвиток гірничо-видобувної сфери в Україні може бути спрямованим на використання більш розумних та енергоефективних технологій. Впровадження автоматизованих систем керування та моніторингу в гірничих комплексах сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню ризиків для робітників. Розробка та

впровадження новітніх методів обробки та обґрунтування розробки родовищ також відіграє ключову роль у розвитку цієї галузі.

Подолання проблем зносу обладнання в гірництві може стати передумовою для підвищення його тривалості служби та зменшення витрат на ремонт. Дослідження нових матеріалів та технологій для конструкції гірничого устаткування може привести до створення більш надійного та ефективного обладнання.

Необхідно також звертати увагу на аспекти безпеки праці в гірничій промисловості. Розробка та впровадження новітніх систем охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях може значно зменшити ризики для робітників та покращити умови праці в гірничих умовах.

Такий комплексний підхід до розвитку гірничо-видобувної галузі в Україні сприятиме не лише ефективному використанню наявних природних ресурсів, але і забезпечить сталість та стале підвищення рівня безпеки та екологічної чистоти в цій важливій сфері економіки.

Мінерально-сировинна база України є великою і різноманітною, вона включає багато видів корисних копалин, які знаходяться в різних регіонах країни. Основу цієї бази становлять такі основні групи корисних копалин:

Вугілля: Україна є однією з провідних країн світу за кількістю та якістю вугілля. Вугільні родовища розташовані переважно на Донбасі (антрацит, буре вугілля). Це джерело енергії використовується для виробництва електроенергії та у важких промислових галузях.

Залізні руди: Родовища залізних руд знаходяться на Криворізькому залізорудному басейні, який вважається одним з найбільших у світі. Залізна руда використовується для виробництва чорного металу та інших металургійних продуктів.

Мармур та граніт: Україна володіє великими запасами мармуру та граніту, що використовуються в будівництві та прикраси архітектурних об'єктів. Знаменитий у всьому світі красивий мармур видобувається у Кримських горах.

Калійні солі: Східна частина України, зокрема Солотвинська калійна ділянка, є однією з найбільших у світі зона для видобутку калійних солей, які використовуються в сільському господарстві.

Нафта та газ: Україна має значні запаси нафти та природного газу, основні родовища яких зосереджені в Карпатах, Прикарпатті, Причорномор'ї та на шельфі Чорного моря.

Бурштин: За своєю кількістю та якістю бурштину Україна є лідером в світі. Головні зони видобутку розташовані на північному заході та в Карпатах.

Мінерали для хімічної промисловості: Україна також багата на родовища мінералів, які використовуються в хімічній промисловості. До них входять фосфорити, селітра, сірка та інші.

Ця мінерально-сировинна база створює значні можливості для розвитку галузей промисловості, енергетики та будівництва в Україні. Однак, важливо забезпечити ефективне та екологічно безпечне використання цих ресурсів для забезпечення сталого розвитку країни.

Металічні корисні копалини складають значущу частину мінерально-сировинної бази України і мають стратегічне значення для розвитку промисловості та економіки країни. Основними родовищами металічних корисних копалин в Україні є:

Залізні руди: Криворізький залізорудний басейн розташований в серці України і є найбільшим в Європі. Тут видобувають великі обсяги залізної руди, яка використовується для виробництва чорного металу та інших металургійних продуктів.

Марганцеві руди: Придніпровський регіон, зокрема Нікопольський басейн, багатий марганцевими рудами. Ці родовища мають важливе значення для металургійної промисловості, адже марганець використовується для легування сталі.

Титанові руди: Запаси титанових руд розташовані в Кримських горах, зокрема в Білозерському родовищі. Титан використовується для

виробництва легких і міцних сплавів, а також у хімічній та авіаційній промисловості.

Рідкісні метали: В окремих регіонах України виявлено родовища рідкісних металів, таких як ніобій, тантал, скандій та інші. Ці метали мають важливе значення для високотехнологічних галузей, таких як електроніка та виробництво новітніх матеріалів.

Мідні руди: Родовища мідних руд розташовані в Західному регіоні України. Мідь використовується у виробництві металевих виробів та електротехнічних матеріалів.

Ці металічні корисні копалини створюють потужну підставу для розвитку металургійної, електротехнічної та високотехнологічної промисловості в Україні. Забезпечення сталого та ефективного використання цих ресурсів важливо для економічного розвитку країни та підвищення її конкурентоспроможності на світовому ринку.

1.2 Технологічний процес подрібнення матеріалу шляхом механічного впливу

Процес подрібнення залізної руди – це важливий етап виробництва сталі та інших металургійних продуктів, який передує їхній подальшій обробці і використанню в різноманітних галузях промисловості. Цей процес включає в себе кілька ключових етапів, які спрямовані на отримання максимальної кількості корисного металу з руди.

1. Етап видобутку руди: Процес починається з видобутку залізної руди з природних джерел. Це може бути відкритий або закритий видобуток, в залежності від глибини та розташування родовища. Руда транспортується до обробного заводу для подальших операцій.

2. Підготовчий етап: Руда прибуває на обробний завод, де проводиться її підготовка до подрібнення. Зазвичай руда має різні розміри та домішки, і її необхідно переробити, щоб отримати матеріал однорідного

розміру та складу. Великі блоки руди подрібнюються на менші частини для полегшення подальшого оброблення.

3. Подрібнення: Основний етап процесу – подрібнення руди. Це включає в себе використання спеціального обладнання, такого як дробарки, млини та гірничі дробарки. Мета полягає в зменшенні розміру руди до відповідних фракцій, де кожна фракція може бути подальше використана для виробництва конкретних металургійних продуктів.

4. Класифікація: Після подрібнення руду класифікують за розміром частинок. Це дозволяє відокремити більші фракції від менших і визначити, які частинки будуть використовуватися на наступних етапах виробництва.

5. Збагачення: На завершальному етапі досягається вища концентрація корисних компонентів у руді. Застосовуються різні методи збагачення, включаючи флотацію, магнітні сепаратори та інші технології.

6. Транспортування та зберігання: Збагачена руда транспортується для подальшого використання. Важливо правильно зберігати руду, щоб забезпечити стабільність постачання на всі етапи виробництва.

Процес подрібнення залізної руди відіграє ключову роль у виробництві сталі, яка, в свою чергу, використовується у будівництві, машинобудуванні, автомобілебудуванні та інших галузях. Постійні удосконалення технологій подрібнення сприяють підвищенню ефективності та сталості постачання сировини для виробництва металевих виробів.

Технологічний процес подрібнення руди є ключовим етапом в збагаченні корисних копалин, спрямованим на зменшення розміру часток матеріалу для подальшого використання в металургії. Подрібнення включає самоподрібнення, що відбувається через взаємні удари шматків, їх деформацію і руйнування.

Розпочинаючи від великих щоккових дробарок і закінчуючи колоїдними млинами, машини різних типів використовуються для подрібнення матеріалів. У практиці рудопідготовки застосовується

самоподріблення в барабанних млинах. Руда, подана на стрічковий конвеєр, проходить через конвеєрні ваги для обліку ваги. У рудному самоподрібненні руда крупністю до 300-350 мм подається в млин, де розгружається в класифікатор. Подрібнений продукт виводиться з процесу, а недоподрібнені частки повторно направляються в млин.

Основна частина подрібнення корисних копалин відбувається мокрим способом, тобто з водою. Вода використовується для транспортування руди між агрегатами, і властивості пульпи повинні бути враховані в процесі. Цей процес має велике значення в енергозбереженні та оптимізації виробництва, сприяючи ефективнішому використанню руди в подальших стадіях виробництва металевих виробів.

Подрібнювання - це процес зменшення розміру часток матеріалу за допомогою механічного впливу. Використовується для розкриття рудних зерен, які мають розмір від 5 мм до часток міліметра. Цей процес вважається найбільш енергоємним.

Самоподріблення виникає внаслідок взаємних ударів шматків, їх деформації та руйнування. Зараз для подрібнення матеріалів використовуються різноманітні машини, починаючи від великих щоккових дробарок, які здатні дробити брили матеріалу об'ємом до 2 м³, і закінчуючи колоїдними млинами, які здатні роздрібнювати продукти на частинки розміром до 0,1 мкм. Розрізняють подрібнення (велике, середнє і мале) та роздрібнення (тонке і надтонке). В рудопідготовці на збагачувальних комбінатах часто використовується самоподріблення в барабанних млинах.

Процес починається з подачі руди на стрічковий конвеєр, перед яким встановлені конвеєрні ваги для обліку ваги руди. У рудному (первинному) самоподрібненні в млин подається руда крупністю до 300-350 мм після дроблення. Після цього млин розгружається в класифікатор. З зливом класифікатора подрібнений продукт виводиться з процесу, а недоподрібнені частки направляються знову в млин.

Подрібнювання корисних копалин на збагачувальних комбінатах, цементних і металургійних заводах здійснюється в основному мокрим способом, тобто з водою. Використання води служить для транспортування руди між агрегатами, і властивості пульпи повинні бути враховані у процесі. Загальною метою є ефективне використання руди в подальших етапах виробництва металевих виробів.

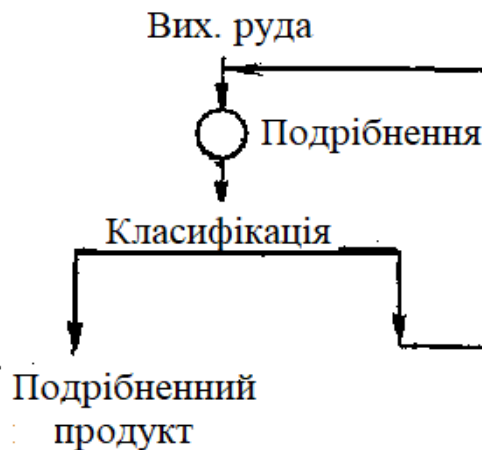


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу подрібнення корисних копалин на збагачувальних комбінатах

Технологічна схема процесу подрібнення корисних копалин на збагачувальних комбінатах включає кілька ключових етапів, які спрямовані на зменшення розміру часток матеріалу та підготовку його для подальших стадій обробки. Важливою метою цього процесу є забезпечення оптимальної якості та кількості корисних компонентів у вихідному матеріалі.

Підготовчий етап:

Подача матеріалу: Руда подається на стрічковий конвеєр для транспортування до першого етапу обробки.

Вимірювання ваги: Перед введенням руди в млин встановлені конвеєрні ваги для точного обліку ваги матеріалу.

Самоподрібнення:

Млин: Руда крупністю до 300-350 мм подається в млин для початкового подрібнення. Використовуються барабанні млини, які здатні ефективно роздріблювати матеріал.

Класифікація:

Класифікатор: Після подрібнення руда направляється в класифікатор, який відокремлює підроздібнені частки від продукту, який відпускається з процесу.

Переробка недоподрібнених часток:

Зворотний цикл: Недоподрібнені частки, які не відповідають вимогам, повторно направляються в млин для подальшого подрібнення.

Мокре подрібнення:

Водяний потік: Подрібнення корисних копалин в основному виконується в мокрих умовах, з використанням води для транспортування руди між агрегатами.

Вивід продукту:

Кінцевий продукт: Після завершення процесу вивід продукту, який вже має необхідний розмір часток та визначену концентрацію корисних компонентів.

Така технологічна схема забезпечує ефективне та оптимальне подрібнення руди, що є важливим етапом у виробництві металургійних та інших продуктів. Оптимізація цього процесу дозволяє підвищити якість кінцевого продукту та забезпечити ефективне використання руди у подальших стадіях виробництва.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Опис та загальні характеристики об'єкта керування

Для подрібнення твердих матеріалів найбільшого поширення отримали барабанні млини.

Барабанний млин - це механічний пристрій, спеціально призначений для подрібнення твердих матеріалів, таких як руди, вугілля, камінь, цемент і інші, шляхом механічної дії ударів, тертя та стискання. Цей пристрій грає ключову роль у металургії, гірництві, будівництві та інших галузях промисловості, де важливо здійснювати подрібнення матеріалів для подальшого використання чи обробки.

Конструкція барабанного млина:

Барабан: Основною частиною млина є барабан, який може мати різні форми і розміри. Він може бути циліндричним або конічним, і його обертання створює силу, необхідну для подрібнення матеріалу.

Наповнювач: У барабані розташований наповнювач, який може складатися з різних матеріалів, таких як сталь, кераміка чи інші важкі матеріали, щоб забезпечити необхідний удар і тертя для подрібнення матеріалу.

Система розгужання: Важливою частиною млина є система розгужання, що дозволяє виводити подрібнений матеріал з барабану після завершення процесу.

Принцип дії:

Подрібнення: Матеріал подається в барабан, де він піддається механічному впливу від ударів, тертя та стискання від наповнювача. Це призводить до подрібнення частинок до бажаного розміру.

Гравітаційне розгужання: Після подрібнення подрібнений матеріал рухається вниз барабану через гравітацію і виводиться через систему розгужання.

Види барабанних млинів:

Шаровий млин: Використовується для подрібнення матеріалів до важких порошків.

Кульовий млин: Зазвичай використовується для подрібнення вугілля або руд.

Стружковий млин: Застосовується для обробки матеріалів у вигляді стружок чи гранул.

Застосування:

Металургія: Барабанні млини використовуються для подрібнення руд і металевих матеріалів.

Гірництво: Використовується для обробки вугілля та руд.

Цементна промисловість: Застосовується для подрібнення сировини перед подальшою обробкою.

Переваги та недоліки:

Переваги: Ефективне подрібнення, можливість обробки великих обсягів матеріалу.

Недоліки: Знос, витрати енергії, необхідність обслуговування.

Барабанні млини відіграють важливу роль у промисловому виробництві, забезпечуючи ефективне та економічне подрібнення різних матеріалів для подальшого використання в різних галузях.

Барабанні млини є спеціальним типом промислових пристроїв, які мають футерований барабан (рис. 1.2), що частково наповнений мелючими тілами, такими як шари, стержні, морська галька і інші. У процесі обертання барабана ці мелючі тіла, завдяки тертю, утримуються внутрішньою поверхнею барабана і піднімаються на певну висоту, а потім вільно опускаються або перекочуються вниз. Класифікація барабанних млинів визначається кількома ключовими ознаками:

Принцип роботи: Барабанні млини поділяються на два основні типи за принципом роботи. Млини періодичної дії використовуються в установках з низькою продуктивністю, де завантаження та розвантаження відбуваються через люк в циліндричній частині барабана при його зупинці. Цей тип млинів застосовується у випадках, коли необхідно визначений час перебування матеріалу в зоні подрібнення.

Способи подрібнення: Барабанні млини класифікуються за способами подрібнення на сухі та мокрі. Млини сухого подрібнення

використовуються без використання води, в той час як мокре подрібнення здійснюється за допомогою води, що додає додаткові можливості та контроль над процесом.

Характер роботи: Залежно від характеру роботи, барабанні млини можуть функціонувати в відкритому або закритому циклі. Робочий цикл визначається потребами виробництва та умовами експлуатації.

Розміри барабана: Лінійні розміри барабана грають важливу роль у характеристиці барабанного млина. Короткі млини, де довжина L менше діаметра D в 2 рази, можуть бути використані для певних завдань, забезпечуючи оптимальні параметри подрібнення.

У млинах періодичної дії завантаження та розвантаження відбувається при зупинці барабана через люк в циліндричній частині. Цей тип млинів застосовується в областях з обмеженою продуктивністю або при потребі визначеного часу подрібнення матеріалу.

У великих та середніх виробництвах широко використовують барабанні млини безперервної дії. Вони мають порожні цапфи, одна з яких служить для безперервного завантаження матеріалу, а інша - для постійного вивантаження подрібненого матеріалу за допомогою газового або рідкого носія.

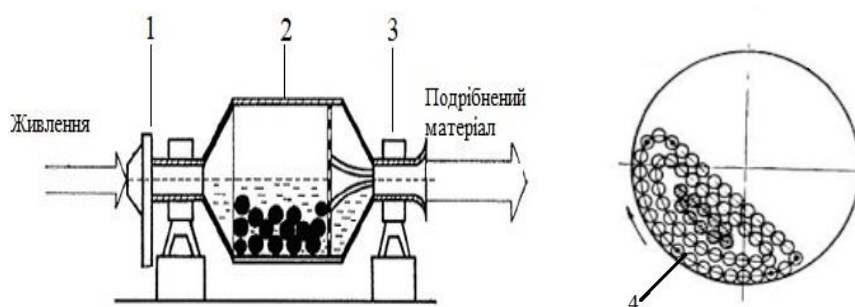


Рисунок 1.2 – Схема пристрою і принцип дії обертового барабанного млина із зображенням входу матеріалу та виходом подрібнення матеріалу за технологічним процесом: 1 - завантажувальна втулка; 2 – барабан; 3 – розгрузочна горловина; 4 – подрібнюючі тіла.

Млин ММС-70-23, представлений на рисунку 1.3, спроектований для проведення мокрого самоподріблення руд чорних і кольорових металів. Робота цього млина здійснюється в умовах безперервного подачі руди та води в його барабан. Матеріал, який потрапляє у барабан, захоплюється ліфтерами та піднімається на певну висоту. Коли шматки матеріалу падають зверху, вони взаємодіють один з одним та з бронею, викликаючи постійне перемішування матеріалу. Під час цього процесу відбувається подрібнення матеріалу за допомогою розколювання, роздавлювання та стирання.

Після подрібнення, матеріал, розмір якого стає меншим за щілину розвантажувальних ґраток, разом із водою проходить через щілини в порожнині підґратчастих футерувань і вивантажується з барабана млина. Максимальний розмір грудок матеріалу, який завантажується в млин, складає 400 мм. Продуктивність млина оцінюється в межах від 80 до 500 тонн на годину, внутрішній діаметр барабана становить 7 000 мм, а довжина барабана – 2 300 мм.

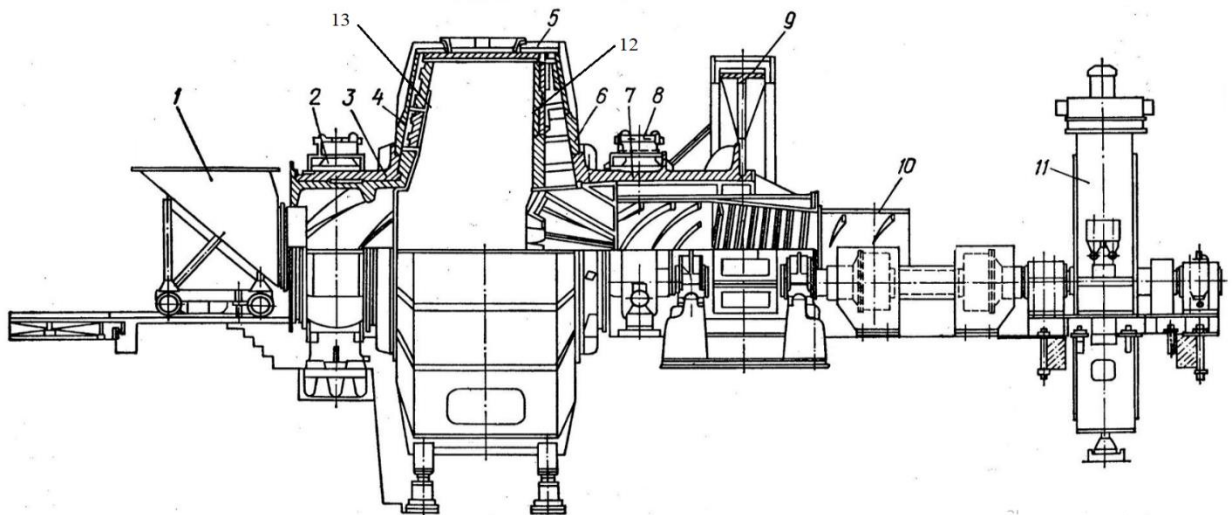


Рисунок 1.3 – Млин типу ММС-70х23 для мокрого рудного самоподріблення

Млин мокрого самоподріблення представлений на рисунку 1.3 складається з барабана 5 із завантажувальними кришками 4 і 6, за

допомогою яких барабан опирається на корінні підшипники 2 і 8. Торцеві кришки мають пустотілі цапфи: розвантажувальну 7 і завантажувальну 3. Обертання барабану передається від електромеханічного перетворювача через вінець зубчастий 9, закріплений на розвантажувальній цапфі - 7.

Корпус барабана складається з двох половин, які з'єднані фланцями. К корпусу прикріплені порожні цапфи 3 і 7, в яких розміщені завантажувальна і розвантажувальна втулки. Завантажувальна втулка обладнана спіралями, призначеними для швидкої подачі руди в млин, а також спіральним пристроєм для повернення пульпи у млин через ущільнення. Вихідна руда подається в млин за допомогою завантажувального пристрою 1, що представляє собою трубу, що переміщається механічним приводом по рейках.

Футеровка барабана складається із броньованих плит та ліфтерів 13, а футеровка торцевих стінок включає два ряди плит. Закріплення плит здійснюється за допомогою ліфтерів і болтів із потайними головками. У млині, біля розвантажувального кінця, встановлена решітка 12. Щілини решітки мають ширину 20 мм та розширюються у напрямку розвантаження. Монтаж решіток забезпечений боковими ліфтерами і болтами. Аналогічно до кульових млинів з решітками, в млинах типу ММС простір між решіткою 12 і торцевою кришкою 6 поділено радіальними перегородками, що є розвантажувальними ліфтерами, утворюючи секторні камери, що відкриті у цапфу 7.

Наявність решітки і розвантажувальних ліфтерів дозволяє використовувати примусове розвантаження піддонного продукту з млина та підтримувати низький рівень пульпи всередині млина. Під час обертання млина ліфтери 13 виконують функцію елеваторного колеса, піднімаючи пульпу до рівня розвантажувальної цапфи 7, через яку вона виводиться з млина. Класифікація подрібненого матеріалу здійснюється за допомогою бутарі 10, яка закріплена на розвантажувальній цапфі. Рудна галька видаляється з млина через вікна у розвантажувальній решітці.

Млини мокрого самоподріблення, в залежності від типорозміру, приводяться в рух одним або двома електродвигунами.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Основними вихідними змінними процесу самоподріблення в млині типу ММС-70х23, призначеного для мокрого рудного самоподріблення, що представлено на рис. 1.4 є зміст готового класу крупності в вихідному продукті Γ_m , продуктивність готового класу q_g , споживана потужність P_n і ступінь внутрімлинового заповнення φ .

Основні керівними впливами є продуктивність по вхідній руді Q і витрати води W_m і $W_{кл}$. К спонукаючим відносять гранулометричний склад вхідної руди C_{x1} , її фізико-механічні і речовинні властивості σ , піски Π , стан футеровок і ліфтерів ξ та інші.

Оптимізація процесів самоподріблення руд вважається завданням, що вимагає найбільше зусиль та має велике значення, особливо при виборі критеріїв оптимальності та розробці математичних моделей технологічного процесу. Оскільки процеси крупнокускового подрібнення сировини є складовими підготовчими етапами, вирішення цих завдань включає в себе використання технологічних критеріїв для керування ними.

Самоподріблення руд є важливим етапом виробничого процесу, і для оптимізації цього етапу важливо визначити критерії оптимальності та розробити математичні моделі, які б відображали цей процес. Керування такими процесами може вимагати використання технологічних критеріїв для досягнення бажаних результатів.

Оптимізація та управління технологічними процесами часто базується на математичних моделях, які дозволяють враховувати різні фактори та параметри, визначати їх взаємозв'язки та прогнозувати результати при різних умовах. Такий підхід дозволяє підтримувати оптимальні умови функціонування технологічних систем.

Таким чином, для керування процесами самоподріблення руд використовують технологічні критерії, які визначають оптимальні умови для досягнення поставлених цілей в даному виробничому контексті.

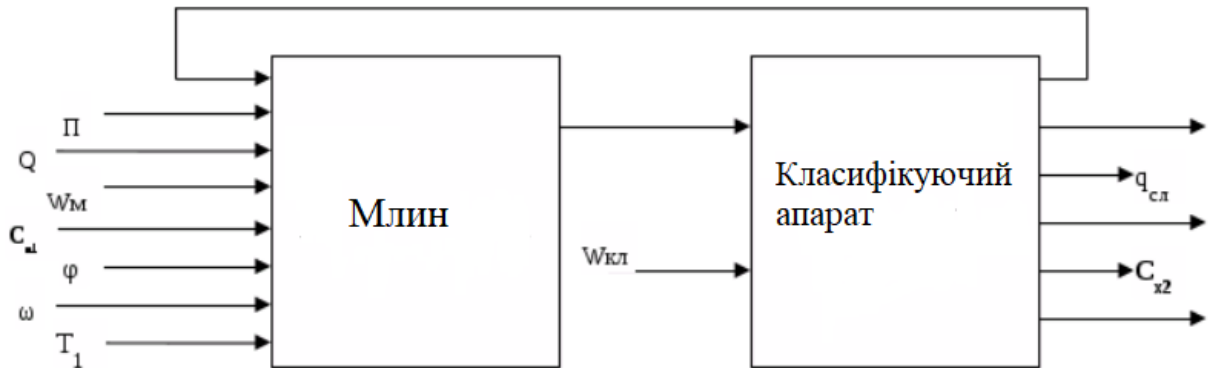


Рисунок 1.4 – Змінні процесу подрібнення руди за допомогою млина типу ММС-70x23, призначеного для мокрого рудного самоподріблення

Змінні процесу подрібнення можна класифікувати наступним чином:

1. Вхідні:

- продуктивність циклу вихідної руди Q ;
- витрата води в млин W_M і класифікуючий апарат $W_{кл}$;
- гранулометричний зміст C_{x1} і фізико-механічна властивість руди σ ;
- частота обертання барабана млина n ;
- кількість мелячого середовища φ ;
- вологість ω ;
- температура T_1 вихідної руди.

2. Вихідні:

- об'ємна витрата слива класифікуючого апарата $q_{сл}$;
- щільність $\delta_{сл}$;
- гранулометричний зміст C_{x2} ;
- продуктивність циклу по готовому класу q_r ;
- потужність, споживана електроприводом млина P .

У контексті технологічних процесів самоподріблення руд виникає необхідність враховувати ряд факторів, що впливають на ефективність та тривалість цих процесів. Однією з ключових проблем є знос тіл, які використовуються для подрібнення. Пошкодження або стирання цих тіл може значно впливати на якість і результативність процесу. Додатково, футерування барабана млина та стан піскових насадок гідроциклону також можуть визначати ефективність системи.

Для ефективного контролю над завантаженням барабану млина рудою та управлінням циклом подрібнення використовуються природні індикатори, які відображають хід процесу та реагують на зміни параметрів циклу. Серед таких індикаторів можна виділити шум, який виробляється тілами, що мелються в зоні їх падіння.

Контроль за ступенем завантаження млина рудою може бути візуалізований через аналіз рівня шуму, який є певним естетичним індикатором процесу. Зменшення рівня завантаження може супроводжуватися збільшенням рівня шуму, а збільшення - його зменшенням. Це дає можливість операторам та інженерам моніторити та виправляти ступінь завантаження, враховуючи звукові сигнали як важливий показник.

1.3.3 Основні принципи функціонування об'єкта управління

Технологічний процес керування подрібненням може бути класифікований залежно від режимів його функціонування на наступні категорії:

Аварійні режими експлуатації: В цій категорії враховуються ситуації, що можуть виникнути через непередбачені обставини або відмови в роботі обладнання. Аварійні режими передбачають несправності, які вимагають термінового втручання та відновлення нормального функціонування.

Режим нормальної експлуатації: Цей режим передбачає стандартну роботу технологічного процесу без виникнення серйозних проблем чи аварій. Умови нормальної експлуатації забезпечують ефективність і надійність функціонування.

Передаварійні режими експлуатації: Ця категорія включає в себе умови, які вказують на можливість виникнення проблем або аварій, які ще не спричинили серйозних наслідків, але вимагають уваги та попередніх заходів для уникнення негативних сценаріїв.

Така система класифікації режимів функціонування технологічного процесу подрібнення дозволяє оперативно визначати та вирішувати проблеми на кожному етапі, забезпечуючи ефективну та безпечну експлуатацію.

Виробничний процес в режимі нормальної експлуатації можна розглядати у кількох послідовних фазах, кожна з яких виконує важливу роль у забезпеченні ефективності та надійності функціонування технічного обладнання:

Технічний процес: Ця фаза охоплює весь період активного виробництва, коли обладнання працює у встановленому режимі, забезпечуючи нормальний хід технологічного процесу. В цей час відбувається подрібнення руди та інші операції відповідно до установлених параметрів.

Підготовка до пуску комплексу: Ця фаза передуює самому пуску і включає в себе всі необхідні підготовчі заходи. Оператори перевіряють технічний стан устаткування, виконують необхідні налаштування та перевірки для забезпечення безпроблемного пуску.

Запуск комплексу: Після завершення підготовчих процедур відбувається запуск комплексу. Ця фаза включає в себе поетапне підняття елементів системи до робочого режиму, включаючи різноманітні перевірки та синхронізацію компонентів.

Зупинка комплексу: У випадку потреби або за визначеними умовами, виробничий процес переходить у фазу зупинки. Цей етап включає в себе припинення роботи обладнання, проведення необхідних робіт та підготовку до нового циклу виробництва.

Врахування кожної з цих фаз допомагає оптимізувати та контролювати виробничий процес для досягнення оптимальної ефективності роботи механізму.

До категорії аварійних режимів функціонування включаються такі сценарії, які можуть призвести до негативних наслідків для технічного процесу та ефективності обладнання:

Відключення електричного живлення: У випадку втрати електропостачання може виникнути аварійний режим, що призводить до припинення роботи обладнання. Це може виникнути з причин енергетичних збоїв чи інших аварій.

Припинення подачі води: Аварійні ситуації, пов'язані з припиненням подачі води, можуть виникнути з різних причин, таких як порушення роботи насосних систем чи проблеми з водопостачанням.

Обрив зв'язку з об'єктом: У випадку втрати зв'язку з об'єктом або системою моніторингу можливий аварійний режим, оскільки це може ускладнити або унеможливити надання відповідних команд або контроль за процесом.

Виходження з ладу контролюючих пристроїв: Аварійні ситуації можуть виникнути при неполадках або виході з ладу різних контролюючих пристроїв, що призводить до порушення нормального функціонування системи.

Вивчення та аналіз таких аварійних сценаріїв є важливим етапом для розробки ефективних систем безпеки та резервування, щоб забезпечити найвищий рівень надійності технічного процесу.

Логічні правила, які визначають можливі аварійні сценарії в технічному комплексі для подрібнення руди, намагаються передбачити різноманітні ситуації та визначити належні заходи для негайного реагування та запобігання подальшому ушкодженню обладнання. Зазначені правила визначають кілька ключових сценаріїв аварій та асоційовані заходи для управління їми:

Завершення подачі води:

Зупинка млина типу ММС-70х23.

Зупинка млина для мокрого самоподріблення, живильника і конвеєра.

Перекриття вентилів на водопідводячих трубках.

Порушення герметичності обладнання і трубопроводів:

Зупинка млина типу ММС-70х23.

Зупинка млина, живильника і конвеєра.

Перекриття вентилів на водопідводячих трубах.

Завершення подачі вихідної руди:

Зупинка млина типу ММС-70х23.

Зупинка живильника і конвеєра.

Припинення подачі води.

Вийшли з ладу контролюючі пристрої:

Зупинка млина типу ММС-70х23.

Зупинка живильника і конвеєра.

Припинення подачі води.

Обрив стрічки:

Зупинка млина, живильника і конвеєра.

Заклинювання стрічки:

Зупинка млина, живильника і конвеєра.

Ці правила спрямовані на швидке та ефективно реагування на можливі аварійні ситуації, покращуючи безпеку та забезпечуючи довготривалу та надійну роботу технічного комплексу для подрібнення

руди. За результатом аналізу роботи даного технологічного об'єкту управління можна визначити що він безперервний.

1.4 Апаратне забезпечення системи управління

1.4.1 Структура системи управління

В якості об'єкту управління, що розробляється, виступає млин типу ММС-70х23, призначений для мокрого рудного самоподріблення.

Об'єкт управління характеризується вхідним параметром - продуктивністю по вихідній руді, що подається в завантажувальний пристрій, в діапазоні від 0 до 140 тонн на годину. Водночас, вихідний параметр об'єкта керування - ступінь внутрімлинового заповнення, може знаходитися в межах від 30% до 60%. Основною метою розробленої системи керування є постійне підтримання ступеня заповнення на рівні 50%, що визначає оптимальну ефективність технологічного процесу.

При виборі параметрів системи керування слід звернути увагу на необхідність збалансування продуктивності і ступеня заповнення для забезпечення оптимальних умов роботи об'єкта. Забезпечення постійного рівня заповнення на рівні 50% має прямий вплив на продуктивність та якість обробки руди в системі. Перевищення чи недосягнення цього рівня може призводити до неефективності роботи обладнання та зменшення якості виробництва. Таким чином, розробка оптимальної системи керування враховує різноманітні фактори та комплексно підходить до вирішення завдань оптимізації технологічного процесу.

Виходячи з цього, система керування повинна містити: конвеєрні ваги які вимірюють вагу руки яка поступає в млин, ваги які міряють вагу млина, можливість змінювати потужність конвеєра ,тим самим регулюючи продуктивність по вхідній руді, ступінь заповнення вимірюємо зважуючи млин датчиком (рис. 1.5).

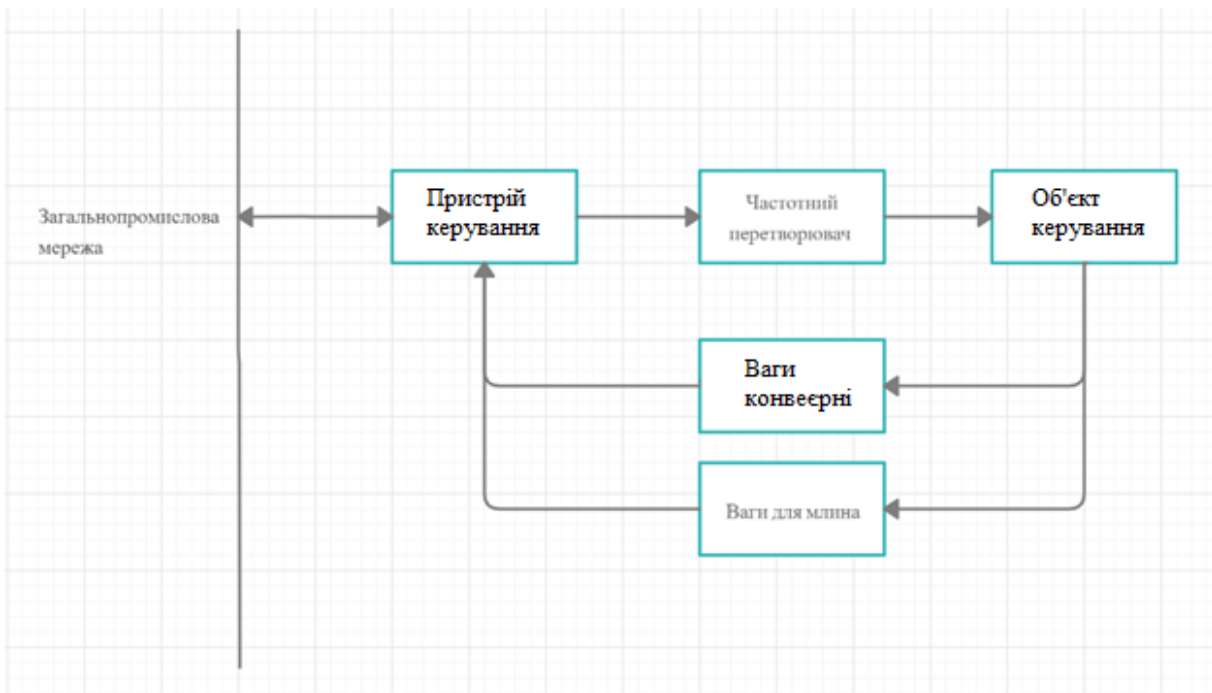


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи управління

1.4.2 Структурна схеми інформаційних потоків

Система управління технологічним обладнанням включає в себе різноманітні компоненти, що забезпечують ефективне функціонування та контроль над виробничим процесом. Підсистема керування включає пристрої для збору інформації, такі як ваги конвеєрні, які вимірюють як вагу руди, так і швидкість конвеєра. Додатково, вона включає еталони та стани обладнання, такі як датчик вимірювання ваги млина, систему контролю стану обладнання, програми управління для формування керуючого впливу, протиаварійний захист, блок переходу до ручного режиму керування та виконавчі органи.

Оскільки основною метою системи є забезпечення візуалізації та контролю технологічного процесу, вона також включає підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-машинного інтерфейсу, який забезпечує зручну взаємодію оператора з системою, реєстрації параметрів процесів для подальшого аналізу і сигналізації у випадку досягнення параметрами

заданих значень, що сприяє забезпеченню надійного та ефективного управління технологічним обладнанням.

Система також повинна включати у себе засіб архівування технологічних процесів для забезпечення збереження даних щодо всіх подій та параметрів, які виникають протягом роботи. З цією метою передбачено наявність спеціальної підсистеми ведення архівів параметрів і подій. Ця підсистема включає в себе розроблену базу даних, яка фіксує важливі параметри та події, що стосуються технологічних процесів.

База даних є ключовою частиною цієї підсистеми, оскільки вона забезпечує структуроване зберігання та організацію інформації. Крім того, передбачено наявність резервного сховища, що гарантує додатковий рівень надійності та безпеки зберігання архівних даних. Це дозволяє системі ефективно здійснювати архівацію та забезпечувати можливість подальшого використання цих даних для аналізу, вдосконалення технологічних процесів та вирішення інших завдань, пов'язаних з управлінням.

Представлена на рисунку 1.6 структурна схема інформаційних потоків у системі автоматизованого керування технологічним обладнанням для оптимізації процесів подрібнення руди визначає основні напрямки її функціонування. Ця структура націлена на ефективне управління технологічним процесом подрібнення руди та виконання широкого спектру завдань.

Однією з ключових функцій системи є забезпечення підтримки заданої ступені заповненості млина, що визначається як важливий параметр для оптимального контролю технологічного процесу. Дана система також включає в себе процеси збору інформації, реєстрації, візуалізації та збереження цієї інформації в базі даних. Особливу увагу приділено створенню резервних копій, що є важливим елементом забезпечення безпеки та надійності системи.

Крім того, дана структура системи забезпечує контроль за станом обладнання та сигналізацію в разі досягнення параметрами керування зазначених значень. Ці функціональні можливості взаємодіють для забезпечення оптимальної продуктивності та стабільності технологічного процесу.

Автоматизована система управління технологічним обладнанням виражена у вигляді комплексу, об'єднуючи апаратні та програмні засоби для оптимального керування процесом. Основною функціональною одиницею є ваговий датчик, який визначає ступінь заповненості млина та реєструє вагу на конвеєрі. Цей елемент виконує важливу роль у наданні системі точних даних про об'єм матеріалу, що в подальшому використовуються для оптимізації технологічного процесу.

Об'єкт керування включає в себе елементи, такі як млин та конвеєр, які піддаються автоматизованому впливу з боку пристрою керування. Останній реалізований у вигляді частотного перетворювача, що дозволяє регулювати робочі параметри обладнання з метою досягнення оптимальних умов подрібнення руди.

Такий комплекс вирішує завдання точного та ефективного контролю за технологічним процесом, забезпечуючи необхідну гнучкість у регулюванні та оптимізації продуктивності.

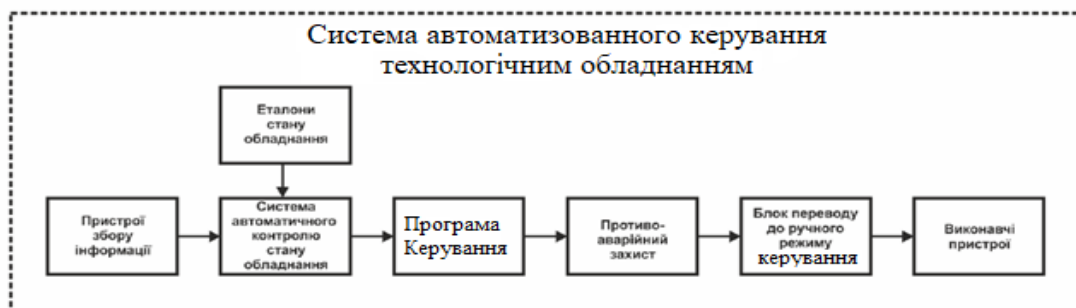


Рисунок 1.6 – Структурна схема інформаційних потоків у системі автоматизованого керування технологічним обладнанням для оптимізації процесів подрібнення руди

Зв'язок між перерахованими апаратними комплексами відповідно до вимог забезпечується за допомогою загальної мережі підприємства, а між програмним забезпеченням за допомогою стандартних протоколів.

1.4.3 Вибір апаратного забезпечення системи управління

З огляду на те, що ступень заповненості може коливатися в межах заповнення від 0-100% то для контролю даного параметра використовуємо Тензометрический датчик UTILCELL 740, що представлений на рисунку 1.7, призначений для вимірювання ваги млину і обчислення ступеня його заповненості.



Рисунок 1.7 – Тензометричний датчик UTILCELL 740

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики тензометричного датчику UTILCELL 740

№	Найменування параметра	Значення
1	Межі допустимих похибок, %	±0,05
2	Напруга живлення, В	~ 10
3	Вхідний опір, Ом	800
4	Інтерфейс	RS-485
5	Максимальне перевантаження	150% від номінального навантаження
6	Діапазон вимірювальної ваги, т	до 600

Для ефективного регулювання обсягу подачі руди в систему використовуються конвеєрні ваги позначені як КнВ-2Д-1Р (рисунок 1.8). Ці ваги є ключовим компонентом в системі керування технологічним процесом. Вони призначені для точного вимірювання маси руди, яка надходить на конвеєр, і визначення швидкості руху матеріалу.

Робочий принцип КнВ-2Д-1Р базується на тензометричній технології, де ваговий сенсор використовується для вимірювання напруження, що виникає при дії маси. Отримані дані про масу руди передаються системі управління для подальшого використання в регулюванні продуктивності технологічного процесу.

Крім точного вимірювання маси, конвеєрні ваги також можуть надавати інформацію про швидкість переміщення матеріалу. Це дозволяє забезпечити оптимальні умови для подрібнення руди в барабанному млині та зберігання ступеня заповнення на заданому рівні.



Рисунок 1.8 – Ваги конвеєрні КнВ-2Д-1Р

Система моніторингу та управління конвеєрними вагами забезпечує безперервне взважування матеріалів, що надходять на конвеєр. Вагова інформація обчислюється шляхом інтегрування продуктивності протягом зазначеного періоду роботи. Зокрема, враховуючи масу та швидкість руху матеріалу, система точно визначає обсяг та масу подачі.

Цей високопродуктивний процес вимагає використання передових технологій, таких як тензометричні датчики. Зібрані дані є надзвичайно важливим елементом в управлінні технологічним процесом. Інтегрований підрахунок маси матеріалів та їхній відправлення на високорівневий комп'ютер дозволяє подальше використання і аналіз даних для оптимізації ефективності виробництва.

Потужна система передачі інформації до комп'ютера верхнього рівня надає можливість проведення комплексного аналізу та оптимізації технологічного процесу, що робить її невід'ємною частиною в сучасних виробничих умовах.

Принцип роботи ваг конвеєрних КнВ-2Д-1Р полягає в вимірі навантаження матеріалу, що знаходиться на конвеєрній стрічці, яка навантажує тензодатчики. А також швидкості руху стрічки і обчисленні на їх основі значень лінійної щільності в одиницях маси продукту за одиницю часу, маси продукту, відвантаженого на вагах. Всі значення залежать від часу, так як конвеєр знаходиться в русі.

Процес вимірювання та моніторингу продуктивності становить суттєвий аспект роботи системи, де датчик тензометричного типу відтворює значення маси на цифровому дисплеї. Це надає операторам зручність та точність при відстеженні робочих параметрів.

Безпосередній зв'язок між тензометричним датчиком і цифровим табло гарантує швидкий та надійний доступ до поточних результатів вимірювань. У випадках, коли важливо використовувати цю інформацію для додаткового аналізу та контролю, можливе передавання результатів в

систему автоматизованого управління на електронні обчислювальні системи.

Цей двосторонній потік інформації не лише дозволяє негайно реагувати на зміни в технологічному процесі, але й забезпечує збір та зберігання даних для подальшого аналізу та удосконалення ефективності виробництва.

Ваги конвеєрні КнВ-2Д-1Р забезпечують виведення різноманітної інформації на табло тензометричного приладу. Серед цих параметрів можна виділити:

Миттєве значення навантаження на датчик ваги: Цей параметр вказує на миттєвий обсяг матеріалу, який перебуває на конвеєрі в даний момент часу.

Продуктивність конвеєра: Індикатор ефективності конвеєрного процесу, який відображає кількість матеріалу, що проходить через систему протягом певного періоду часу.

Маса переміщеного матеріалу накопиченим підсумком: Сумарна маса матеріалу, який пройшов через конвеєр від початку його роботи.

Час завантаження: Період часу, за який відбувається завантаження матеріалу на конвеєр.

Швидкість руху стрічки конвеєра: Інформація про швидкість переміщення конвеєрної стрічки, яка визначається в реальному часі.

Структура ваг складається з наступних ключових компонентів:

Вантажопідйомний пристрій (ГПУ) з тензометричним датчиком: Відповідає за точне вимірювання навантаження та передачу цієї інформації для подальшого аналізу.

Роликоопори: Система опор, що підтримує рух конвеєрної стрічки, забезпечуючи стабільність та плавність руху.

Датчик контролю швидкості стрічки: Вимірює швидкість руху конвеєрної стрічки, важливий параметр для ефективного керування процесом.

Тензовимірювач конвеєрний: Відповідає за точне вимірювання ваги та навантаження на конвеєрну стрічку, що є ключовим для точного контролю та керування виробничим процесом.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики конвеєрних ваг КнВ-2Д-1Р: параметри та особливості

№	Найменування параметра	Значення
1	Межі допустимих похибок, %	± 2
2	Напруга живлення, В	~ 220
3	Частота, Гц	50 ± 1
4	Споживана потужність, Вт	30
5	Інтерфейс	RS-485

Для керування електроприводом живильника, потужність якого дорівнює 17 кВт та напруга живлення 380 В, використовується частотний перетворювач фірми Siemens Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1, який представлено на рис. 1.9.

Частотний перетворювач з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) представляє собою складну електронну систему, призначену для управління швидкістю обертання двигуна чи іншого електричного приводу. У його основі лежить інвертор з подвійним перетворенням напруги, який забезпечує ефективне керування роботою електричного приводу.

Початковий етап перетворення включає в себе випрямлення мережевої напруги 380 В за допомогою вхідного доданого мосту. Після цього відбувається процес згладжування і фільтрації, використовуючи конденсатори. В цьому етапі забезпечується перетворення змінної напруги в постійну, яка потім використовується для подальшого управління електричним двигуном.

Другий етап, який включає широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ), відповідає за створення імпульсів, які контролюють частоту і напругу, надсилаючись до електричного двигуна. Цей процес дозволяє ефективно

регулювати швидкість обертання приводу, що робить ШІМ важливим компонентом для систем автоматизації та керування промисловими механізмами.

Однією з ключових переваг частотних перетворювачів з ШІМ є їхні високі показники ефективності та точності управління, а також можливість зберігання та використання енергії, що раніше втрачалася внаслідок термічних процесів. Такий підхід підвищує загальну продуктивність та робочу надійність електричних приводів у різних галузях промисловості.



Рисунок 1.9 – Частотний перетворювач Micromaster серії 440 типу 6SE6440-2AD31-8DA1

Технічні характеристики частотного перетворювача фірми Siemens Micromaster серії 440 типу 6SE6440-2AD31-8DA1 наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики частотного перетворювача фірми Siemens Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1

№	Найменування параметра	Значення
1	Потужність, кВт	18,5
2	Напруга мережі, В	380
3	Вхідний струм, А	37
4	Вихідний струм, А	38
5	Два аналогових виходи, мА	0÷20
6	Два аналогових входи, мА (В)	0÷20 (0÷10)
7	Інтерфейс	RS-485
8	Споживана потужність, кВт	21

На підставі обраних виконавчих пристроїв та їх технічних характеристик складена табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Виконавчі пристрої

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон зміння	Лінійність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Керування приводом живильника	Частотний перетворювач	Аналоговий	18,5 кВт	Лінійний	RS-485	0,1 с	~380 В	21 кВт

Відповідно до вимог до системи керування швидкістю подачі руди, рекомендується використовувати програмований логічний контролер від компанії VIPA. Для забезпечення ефективної реакції на зміни швидкості, цикл роботи контролера повинен становити не більше 100 мілісекунд.

Окрім цього, важливим є те, щоб контролер мав не менше 1 кілобайта вільної робочої пам'яті для успішної реалізації програми керування. Це дозволить забезпечити ефективну роботу та оптимальне використання ресурсів контролера при виконанні завдань з управління швидкістю подачі руди.

З метою забезпечення ефективного керування швидкістю подачі руди, вимагається використання програмованого логічного контролера від компанії VIPA. Для оптимальної реакції на зміни в швидкості обробки, цикл роботи контролера повинен мати тривалість не більше 100 мікросекунд. Також, важливою є наявність не менше 1 кілобайта вільної робочої пам'яті для виконання програм керування.

Враховуючи необхідність підключення вагового процесора з RS-485 та тензометричного датчика UTIL CELL 74, варто відзначити, що обраний

контролер повинен мати модульну структуру. Це дозволить підключати лише необхідне обладнання та легко розширювати функціонал у майбутньому.

Серед оптимальних варіантів відповідно до поставлених вимог - програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Його характеристики включають швидкість виконання арифметичних операцій з речовим числом на рівні 40 мікросекунд, об'єм програмної пам'яті 144 кілобайти та робочої пам'яті 96 кілобайт, а також наявність інтерфейсу RS-485 (див. рис. 1.10). Детальні технічні характеристики контролера можна знайти в таблиці 1.5.

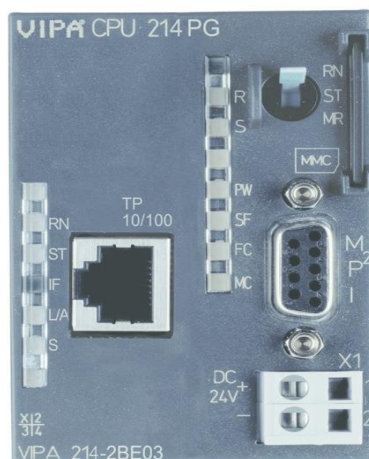


Рисунок 1.10 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, Кбайт	144
3	Робоча пам'ять, Кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, од.	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5

З метою встановлення зв'язку між ваговим процесором та програмованим логічним контролером, а також між програмованим логічним контролером та частотним перетворювачем, використовується інтерфейс RS-485. Детальну схему інтеграції вагового процесора та частотного перетворювача можна переглянути на рисунку 1.11.

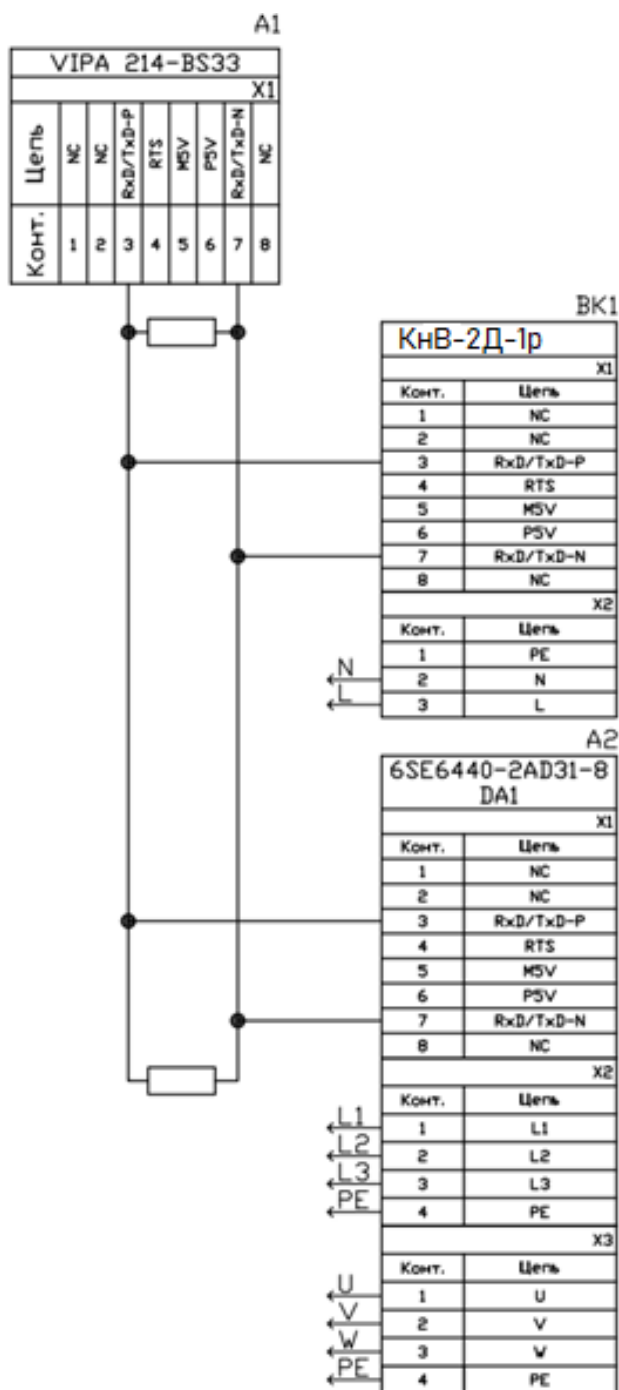


Рисунок 1.11 – Схема інтеграції вагового процесора та частотного перетворювача

RS-485, цей інтерфейс, гарантує надійний обмін даними між різними компонентами системи, що забезпечує їх взаємодію та синхронізацію.

У вигляді оптимального рішення для високошвидкісного та стійкого зв'язку в системах автоматизації, таких як система керування швидкістю подачі руди, RS-485 виконує ключову роль. Цей інтерфейс використовується для передачі інформації в обидві сторони: від вагового процесора до контролера та від контролера до частотного перетворювача.

Такий підхід забезпечує високу ефективність та точність в управлінні технологічним процесом, сприяє безперебійній роботі обладнання та підвищенню продуктивності системи. Інтерфейс RS-485 є надійною основою для оптимальної взаємодії між всіма складовими системи, забезпечуючи їх спільну роботу та взаємодопомогу в управлінні важливими аспектами технологічного процесу. На підставі обраного програмованого логічного контролера складена табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Програмований логічний контролер

№	Найменування	Пристрій	Потужність
1	VIPA 214-2BE03	Центральний процесорний модуль	6,00 Вт
		Конвесрні ваги КнВ-2Д-1Р	30 Вт
		Частотний перетворювач Micromaster 440 6SE6440-2AD31- 8DA1	21кВт
		UTILCELL 740	10 Вт

Живлення програмованого логічного контролера та його модулів забезпечується від джерела постійної напруги +24 В. При цьому програмований логічний контролер витрачає 5 Вт потужності.

Для цього використовується джерело живлення SPD24301, яке працює зі змінною напругою від приблизно 85 до 264 В, надаючи на виході напругу +24 В та маючи загальну потужність 30 Вт (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Загальний вид джерела живлення SPD24301

Схема підключення програмованого логічного контролера (ПЛК) типу VIPA 214-2BE03 до джерела живлення SPD24301 наведена на рис. 1.13.

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики джерела живлення SPD24301

№	Найменування параметру	Значення
1	Напруга живлення, В	~85÷~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25

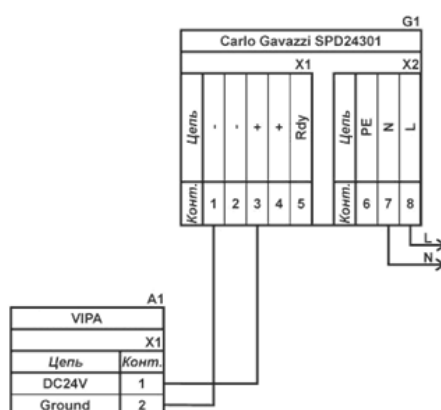


Рисунок 1.13 – Схема підключення ПЛК 214-2BS33 до джерела живлення SPD24301

1.4.4 Функціональна схема системи автоматичного управління

На основі вимог до системи управління подачі руди у млин та обладнання була розроблена функціональна схема автоматизації, яку можна бачити на рисунку 1.14. Для керування використовується програмований логічний контролер (модель UY 5 – VIPA 214-2BS33), який приєднаний до загальнопромислової мережі за допомогою інтерфейсу RS-485.

Вага руди, яка поступає до млина, вимірюється за допомогою чотирьох тензодавачів (W 2-1-4), а швидкість подачі руди визначається датчиком швидкості (SE 2-5). Ці компоненти об'єднані в конвеєрні ваги та підключені до вагового процесу (WIRY 2-6). Ваговий процесор з'єднаний з програмованим логічним контролером через інтерфейс RS-485.

Для вимірювання ступені заповненості млина використано тензометричний датчик UTIL CELL 740 (ET 4-1) і підключаємо до програмно логічного контролеру моделі UY 5 – VIPA 214-2BS33 через RS-485 інтерфейс.

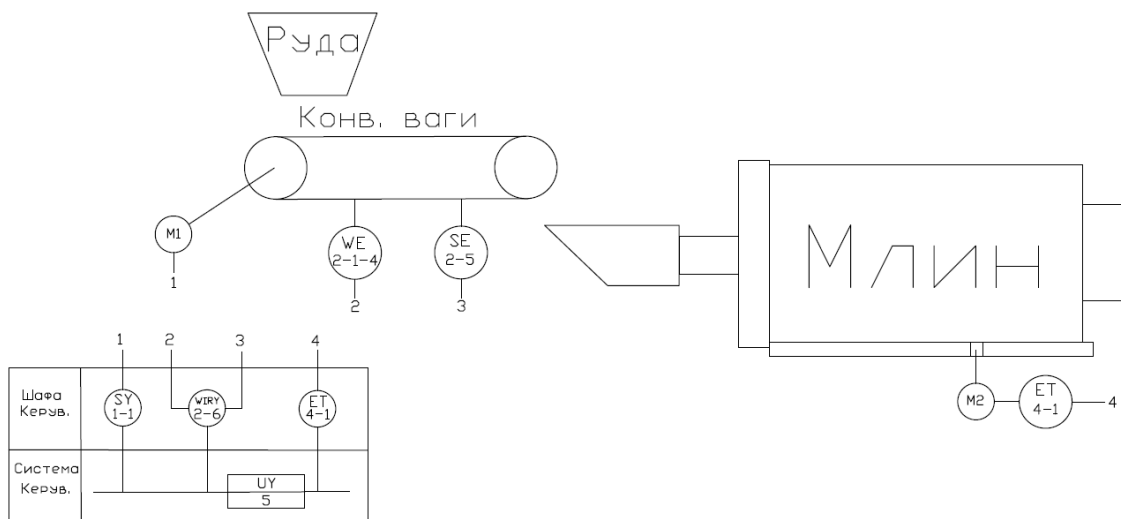


Рисунок 1.14 – Функціональна схема автоматизації системи управління процесом подрібнення

Якщо ступень заповнення нижче чи вище норми, за допомогою частотного перетворювача (SY 1-1) змінюється швидкість конвеєра, тип самим міняючи продуктивність подачі руди в млин. Частотний перетворювач Micromaster серії 440 типу 6SE6440-2AD31-8DA1 отримує дані з програмованого логічного контролера модель UY 5 – VIPA 214-2BS33 через RS-485 інтерфейс.

1.4.5 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова система управління млином типу MMC-70x23 для мокрого рудного самоподріблення, що представлена на рис. 1.15.

У системі використовується блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1), який живить програмований логічний контролер VIPA 214-1BS33 (A1).

Конвеєрні ваги КнВ-2Д-1Р (BK1) отримують живлення від мережі змінної напруги 220 В, а частотний перетворювач Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1 (A2) живиться від мережі змінної напруги 380 В.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-1BS33 (A1) та загальнопромисловою мережею (A3) встановлено через інтерфейс RS-485 (A1 – X1). Також інтерфейс RS-485 використовується для зв'язку між контролером та частотним перетворювачем Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1 (A2).

Зв'язок між контролером та частотним перетворювачем Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1 (A2) також реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

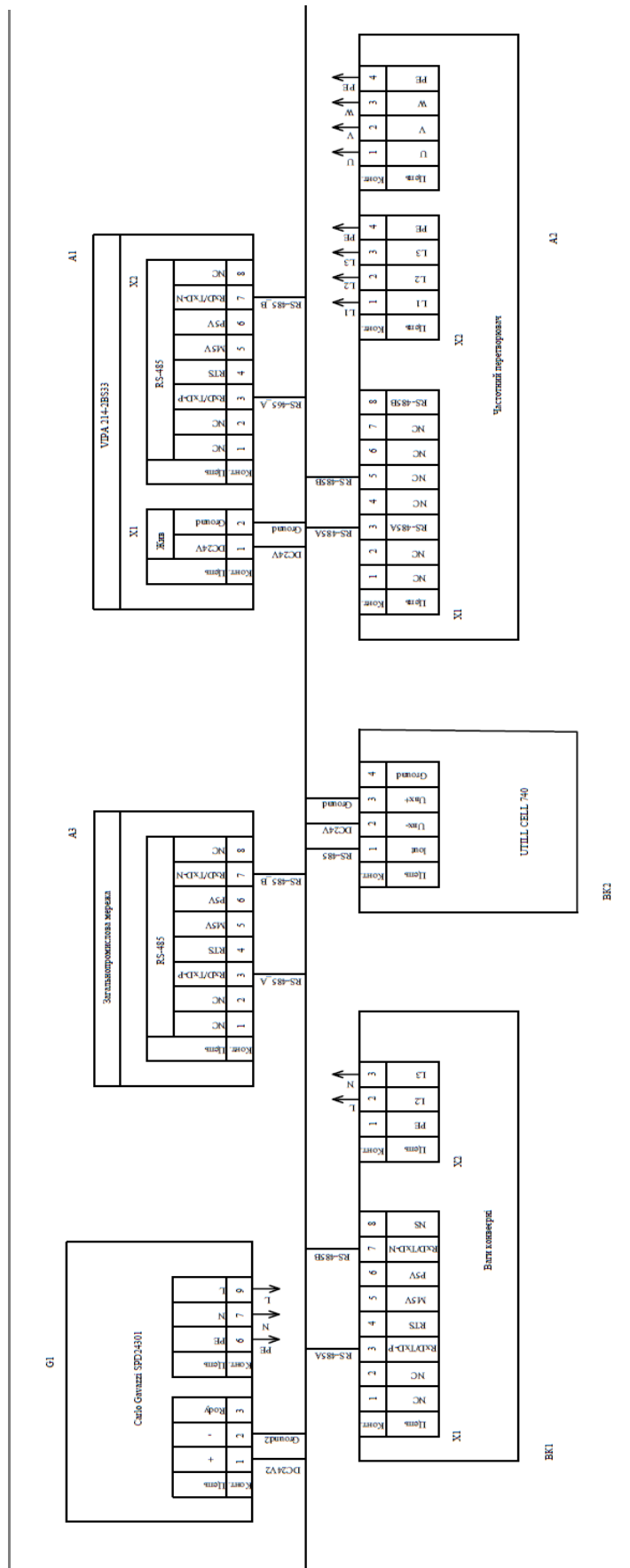


Рисунок 1.15 – Схема електрична принципова системи керування

Ваги КнВ-2Д-1Р (ВК1) використовуються для вимірювання продуктивності руди, яка поступає у млин. Зв'язок між контролером та цими вагами встановлено через інтерфейс RS-485.

Для вимірювання ступеня заповнення млина використовується тензOMETричний датчик UTILCELL 740 (ВК2), який також підключено до інтерфейсу RS-485.

1.5 Формулювання завдань дослідження випускної кваліфікаційної роботи магістра

Проаналізувавши об'єкт керування, зроблено висновок, що об'єкт належить до класу безперервних.

Метою роботи є вибір структури і розрахунок параметрів регулятора системи автоматичного управління по каналу ” продуктивність по вхідній руді – ступінь внутрішньомлинового заповнення” .

Для досягнення даної мети поставлені наступні задачі:

1. Визначити параметри пропорційно-інтегрально-диференційного - і предиктивно пропорційно-інтегрального регуляторів;
2. Визначити показники якості з пропорційно-інтегрально-диференційного - і предиктивно пропорційно-інтегрального регуляторів;
3. Встановити експериментальну залежність показників якості перехідного процесу від параметрів предиктивно пропорційно-інтегрально-регулятора;
4. Перевірити гіпотезу про значущість відмінностей оцінок дисперсій керованої величини досліджуваних систем автоматичного управління;
5. підтвердити на емуляторі керованого процесу подрібнення ефективність запропонованої системи автоматичного управління.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Методи регулювання об'єктів з запізненням

В першому розділі випускної кваліфікаційної роботи магістра показано, що для ефективної роботи барабанного млина необхідно реалізувати управління по каналу «продуктивність по вхідній руді – ступінь внутрішньомлинового заповнення». За результатами проведеної автором роботи аналізу літературних джерел [1-6], присвячених відповідному питанню ідентифікації процесу подрібнення по даному каналу визначена відповідна передатна функція $W(p) = \frac{614,98}{46,64p+1} e^{-4,9p}$. Для реалізації замкнутої системи автоматичного управління необхідно обґрунтувати структурну схему регулятора і визначити його параметри.

Для управління об'єктами з запізненням широко використовуються різноманітні методи, такі як типові закони регулювання, імпульсне регулювання, каскадне і комбіноване регулювання, регулювання з упередженням та регулювання на основі продукційних правил нечіткої логіки [3, 4].

Однак типові закони регулювання мають суттєвий недолік, пов'язаний з необхідністю додаткового адаптивного налаштування у випадках зміни параметрів об'єкта [5, 6]. Схожі недоліки притаманні імпульсному регулюванню згідно [7, 8]. У випадку, коли в системі автоматичного керування передбачений контроль за збуреннями, використання каскадного і комбінованого регулювання стає доцільним [9,10].

При однакових параметрах налаштування регуляторів системи автоматичного управління (САУ) запас стійкості для системи автоматичного управління з регулятором Сміта виявляється більшим, ніж для звичайних систем автоматичного управління. Це вказує на те, що при однаковому запасі стійкості САУ (наприклад, при однаковому ступені загасання перехідних процесів) регулятор Сміта дозволяє встановлювати

більший коефіцієнт посилення, що забезпечує кращу якість регулювання. Проте, серед недоліків регулятора Сміта, окрім складності його структури та апаратної реалізації, слід відзначити його високу чутливість до параметрів налаштування моделі. Помилки в налаштуванні моделі, спричинені неточністю апріорних знань про характеристики об'єкта чи нестаціонарністю його властивостей, можуть призвести не лише до погіршення якості перехідних процесів, але й до втрати стійкості системи регулювання [11, 12].

Як відомо [6, 7] регулятор Сміта (Smith Predictor) є однією з технік компенсації запізнення в системах автоматичного керування (САУ). Зазвичай запізнення в об'єкті керування може впливати на ефективність регулювання, особливо в системах з довгими часами запізнення.

Основна ідея регулятора Сміта полягає в тому, щоб передбачити майбутні значення виходу системи і врахувати їх при встановленні вхідного сигналу в систему. Це дозволяє компенсувати ефекти запізнення і забезпечити більш точне регулювання.

Регулятор Сміта використовує передавальні функції для моделювання об'єкта керування та його запізнення. Ця інформація використовується для прогнозування майбутнього стану системи, і регулятор на основі цього прогнозу генерує вхідний сигнал.

Ім'я "Сміт" пов'язане із іменем інженера Брюса Сміта, який вперше описав цей метод у 1957 році. Регулятор Сміта застосовується у випадках, коли важливо компенсувати запізнення для досягнення більш точного та стабільного керування системою.

Використання нечітких алгоритмів регулювання не проявляє явних переваг перед класичними методами управління. Крім того, проблема стійкості в системі з нелінійним алгоритмом регулювання значно ускладнюється [13, 14].

2.2 Розрахунок параметрів пропорційно-інтегрально-диференційного - регулятора за методом Циглера-Нікольса

При використанні типових законів регулювання значного поширення набув метод Циглера-Нікольса. Згідно [6], метод Циглера-Нікольса - це графічний метод для аналізу стійкості та налаштування параметрів регулятора в системах автоматичного керування. Цей метод використовується для дослідження частотної характеристики системи та забезпечення стабільності керування. Важливим етапом є побудова діаграми Нікольса, яка відображає амплітуду та фазу відносно частоти.

Основні кроки методу Циглера-Нікольса включають наступне:

Відкрита петля системи (Open Loop System): Розглядається відкрита петля системи без зворотного зв'язку.

Передавальна функція (Transfer Function): Визначається передавальна функція системи.

Побудова Діаграми Нікольса: Здійснюється побудова графіка амплітудно-фазового характеру на площині комплексних чисел, яка відображає відношення амплітуди та фази передавальної функції від частоти.

Аналіз Стійкості: Аналізується діаграма Нікольса для визначення стійкості системи. Критерії стійкості пов'язані з тим, як діаграма перетинає критичну точку $(-1, j_0)$ на вісі комплексних чисел.

Налаштування Регулятора: Параметри регулятора можуть бути змінені так, щоб досягти бажаної стійкості та швидкодії системи.

Зворотний Зв'язок: Враховується вплив зворотного зв'язку на стійкість системи.

Важливою властивістю методу Циглера-Нікольса є те, що він надає графічне представлення інформації про стійкість та динаміку системи, що допомагає інженерам у вдосконаленні регуляторів та оптимізації характеристик систем автоматичного керування.

Він ґрунтується на використанні даних, отриманих експериментально на реальному об'єкті і потребує додаткового налаштування після розрахунку параметрів ПД-регулятора. Відомі два варіанти даного метода.

У першому варіанті процедура настройки починається з експериментального дослідження системи автоматичного регулювання, яка складається із пропорційного регулятора (П-регулятора) і заданого об'єкта керування. Спочатку коефіцієнт підсилення $K_{\text{п}}$ П-регулятора виводять до нульової позначки, а потім повільно збільшують до тих пір, поки система не вийде на межу стійкості із сталими коливаннями відповідних амплітуд і частот. Значення $K_{\text{п}}^*$ даного коефіцієнта фіксується і вимірюється період T^* сталих в системі коливань.

Розглянутий варіант забезпечує необхідний запас стійкості системи. Значення параметрів регулятора вибраного типу розраховуються за формулами наведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Формули розрахунку параметрів основних типових регуляторів

	$K_{\text{п}}$	K_{i}	$K_{\text{д}}$
П-регулятор	$0.50 * K_{\text{п}}^*$	-	-
ПІ-регулятор	$0.45 * K_{\text{п}}^*$	$0.54 * K_{\text{п}}^* / T^*$	-
ПІД-регулятор	$0.60 * K_{\text{п}}^*$	$1.20 * K_{\text{п}}^* / T^*$	$0,075 * K_{\text{п}}^* T^*$

У другому варіанті методу Циглера-Нікольса використовується крива розгону. Якщо система управління характеризується передаточною функцією аперіодичної ланки першого порядку із запізненням $W(p) = \frac{K}{T^*p+1} e^{-p\tau}$, то параметри регулятора обраного типу обчислюються за формулами, представленими в таблиці 2.2. У цих формулах K - це коефіцієнт підсилення аперіодичної ланки, T^* - постійна часу, τ - час чистого запізнення. Даний метод демонструє задовільні результати у випадку, якщо:

$$0,15 < \frac{\tau}{T} < 0,6 \quad (2.1)$$

Таблиця 2.2 - Формули розрахунку параметрів типових регуляторів

	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	$T/K\tau$	-	-
ПІ-регулятор	$0,9*T/K\tau$	$0,3*T/K\tau^2$	-
ПІД-регулятор	$1,2*T/K\tau$	$0,6*T/K\tau^2$	$0,6*T/K$

Для процесу подрібнення відношення $\frac{\tau}{T} = \frac{4,9}{46,64} = 0,11$, що не задовольняє умові (2.1). Тому розрахунок параметрів регуляторів виконаємо за першим варіантом.

Представимо функцію передачі відкритої частини системи автоматичного управління (САУ), в якій об'єкт управління та П-регулятор з'єднані послідовно, у наступному вигляді [14]:

$$W(p) = \frac{K_p 614,98}{46,64p + 1} e^{-p4,9} \quad (2.2)$$

Складемо характеристичний поліном замкнутої системи автоматичного управління:

$$D(p) = 46,64p + 1 + K_p 614,98 e^{-p4,9} \quad (2.3)$$

Система автоматичного управління буде на межі стійкості (здійснюватиме сталі коливання із постійними амплітудою і частотою) згідно з критерієм Михайлова, якщо характеристичний поліном (вираз 2.3) дорівнює нулю (годограф Михайлова проходить через точку з координатами $[0, j0]$ на комплексній площині). У нашому випадку:

$$46,64p + 1 + K_p 614,98 e^{-p4,9} = 0 \quad (2.4)$$

Замінімо комплексну змінну p на $j\omega$ і, скориставшись формулою Ейлера, представимо вираз (2.4) у вигляді:

$$46,64j\omega + 1 + K_p 614,98(\cos 4,9\omega - j\sin 4,9\omega) = 0 \quad (2.5)$$

Сформулюємо систему рівнянь, використовуючи вираз (2.5) для реальної та уявної частин виразу::

$$\begin{cases} 1 + K_n 614,98 \cos 4,9\omega = 0 \\ 46,64\omega - K_n 614,98 \sin 4,9\omega = 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

З системи рівнянь (2.6) визначимо частоту сталих коливань ω , критичний коефіцієнт підсилення K_n^* , а потім за допомогою формули $T = \frac{2\pi}{\omega}$ розрахуємо період сталих коливань T^* . Виходячи з першого рівняння системи, отримаємо:

$$K_n = -\frac{1}{614,98 \cos 4,9\omega} \quad (2.7)$$

Із другого рівняння, отримаємо:

$$K_n = \frac{46,64\omega}{614,98 \sin 4,9\omega} \quad (2.8)$$

Прирівняємо ліву і праву частини рівнянь (2.7) і (2.8):

$$-\frac{1}{614,98 \cos 4,9\omega} = \frac{46,64\omega}{614,98 \sin 4,9\omega} \quad (2.9)$$

Після кінцевих перетворень рівняння (2.9) отримаємо:

$$-tg 4,9\omega = 46,64\omega \quad (2.10)$$

Неможливо отримати аналітичний розв'язок для невідомої величини ω у тригонометричному рівнянні (2.10). Ми плануємо вирішити це рівняння графічним методом, використовуючи програмний пакет MathCAD. Як відомо MathCAD - це програмний пакет для математичних обчислень та інженерного аналізу, який дозволяє користувачам виконувати розрахунки, вирази, та створювати технічну документацію у вигляді робочих листів. У MathCAD використовуються символні вирази для введення математичних формул, а також числові значення для виконання обчислень. Програма надає інтерактивний середовище для вирішення різноманітних математичних задач, включаючи чисельні обчислення, статистику,

оптимізацію та інженерні розрахунки. MathCAD також дозволяє створювати графіки та візуалізувати результати обчислень.

У випадку подрібнення процесу із врахуванням передатної функції $W(p) = \frac{614,98}{46,64p+1} e^{-4,9p}$, рівняння (2.10) буде виглядати наступним чином:

$$-tg4,9\omega = 46,64\omega \quad (2.11)$$

Тангенс кута є періодичною функцією, тому (2.11) має безкінченну кількість розв'язків. При збільшенні коефіцієнта підсилення K_{Π} пропорційного-регулятора починаючи від нуля, матимемо безліч значень сталих коливань з різними частотами ω^* відповідно для різних коефіцієнтів підсилення K_{Π}^* . Визначимо перше значення коефіцієнту підсилення $K_{\Pi 1}^*$, яке буде відповідатиме найменшому значенню ω_1^* . Для такого випадку виконаємо оцінку проміжку, де має перебувати ω_1^* . Оскільки права частина (2.11) більше нуля, то і:

$$-tg4,9\omega > 0$$

Звідси:

$$tg4,9\omega < 0$$

А саме:

$$-\frac{\pi}{2} + \pi k \leq 4,9\omega < \pi k, \quad k \in Z$$

В кінці отримаємо вираз:

$$-\frac{\pi}{2 \times 4,9} + \frac{\pi}{4,9} k \leq \omega < \frac{\pi}{4,9} k, \quad k \in Z \quad (2.12)$$

В табл. 2.3 наведені інтервали, в яких перебувають значення ω^* , розрахованих за виразом (2.12).

Таблиця 2.3 - Інтервали існування ω^*

k	0	1	2
Відповідні інтервали	$-0,32 \div 0$	$0,32 \div 0,64$	$0,64 \div 1,28$

Оскільки відомим є факт, що частота ω не може бути від'ємною, то $\omega_1^* \in [0,32; 0,64)$. Визначимо наступне ω_1^* .

Для цього використаємо програмне середовище MathCAD для окремої побудови графіків лівої та правої частини рівняння (2.11) і визначимо ординату точки їх перетину. Результати розв'язання рівняння на визначеному проміжку існування ω_1^* значень наведені на рисунках 2.1 і 2.2. На рисунку 2.1 представлені побудовані графіки і точка їх перетину, а на рисунку 2.2 – значення абсциси та ординати точки перетину графіків, визначених за допомогою функції X-Y Trace. Отже $\omega_1^* = 0,334 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Визначимо період сталих коливань $T^* = \frac{2\pi}{\omega_1^*} = \frac{2\pi}{0,334} \approx 18,8 \text{ с}$. Підставимо $\omega_1^* = 0,334 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ в (2.7) і визначимо $K_{п1}^*$,

$$K_{п1}^* = -\frac{1}{K \cos \tau \omega_1^*} \approx -\frac{1}{614,98 \cos(4,9 \times 0,334)} \approx 0,025 \quad (2.13)$$

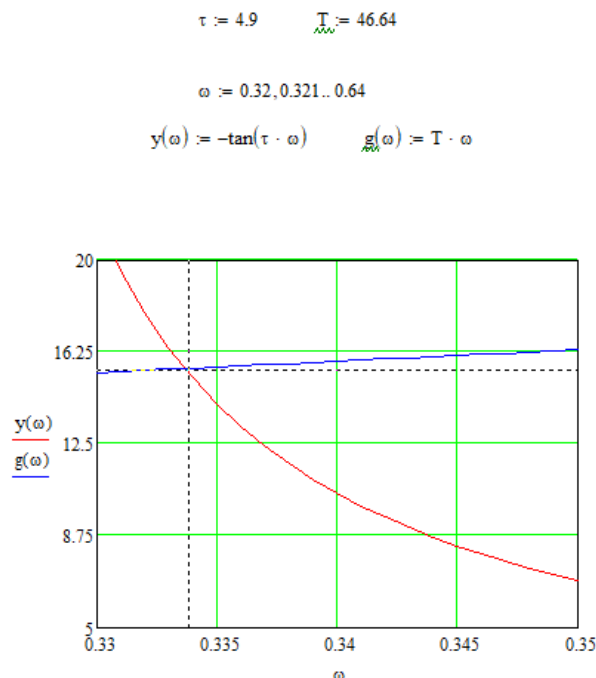


Рисунок 2.1 – Графічне знаходження розв'язків тригонометричного рівняння.

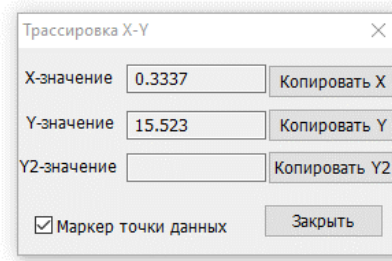


Рисунок 2.2 - Визначення частоти сталих коолиань

Щоб перевірити коректність обчислень, використовуючи модель системи автоматичного регулювання, ми виконаємо моделювання в середовищі SIMULINK MatLAB за структурною схемою, представленою на рис. 2.3.

Як відомо, SIMULINK MatLAB - це інтерактивне середовище для моделювання, аналізу та симуляції динамічних систем. Воно входить в склад пакету програмних продуктів MATLAB і дозволяє інженерам та науковцям моделювати та аналізувати різноманітні системи, використовуючи графічний інтерфейс для побудови блок-схем та схем передачі сигналів. SIMULINK MatLAB широко використовується в різних галузях, включаючи автоматичне керування, електротехніку, механіку і багато інших областей, де важливо моделювання та аналіз динамічних процесів.

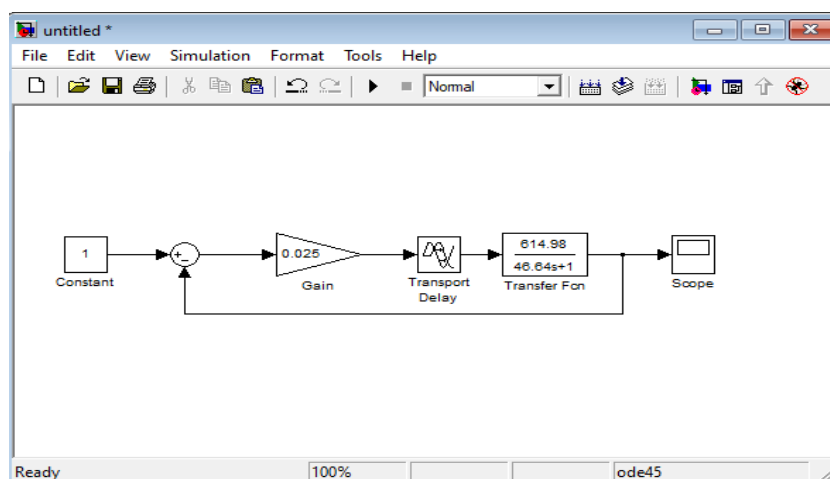


Рисунок 2.3 – Модель системи атоматичного управління виконаної в середовищі SIMULINK MatLAB

На рис. 2.4 показано загальний вигляд сталих коливань в системі автоматичного управління, а на рис. 2.5 – частина коливань для перевірки періоду T^* .

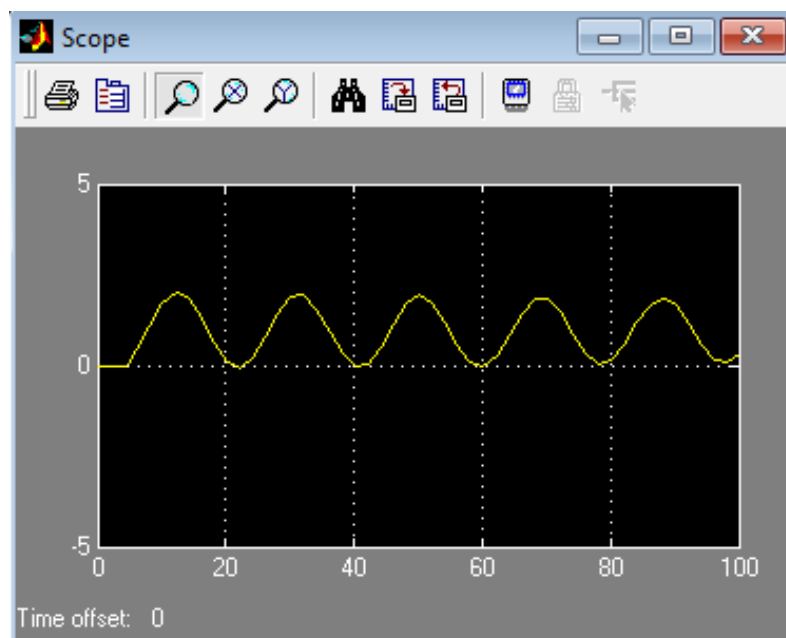


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд сталих коливань в системі автоматичного управління

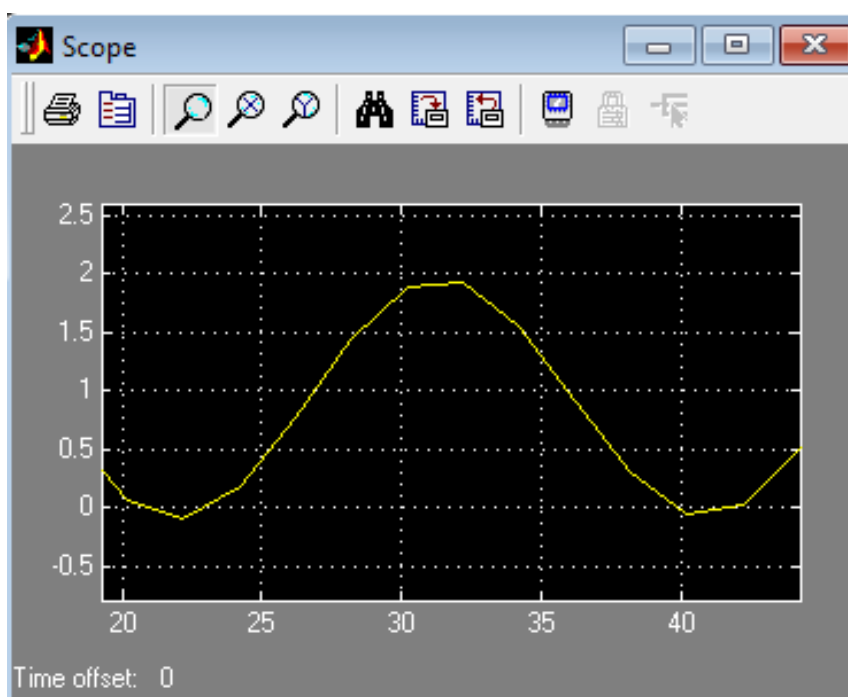


Рисунок 2.5 – Частина коливань, виконана для перевірки періоду T^*

Результати моделювання повністю збігаються з розрахунками.

Значення параметрів і передатних функцій типових регуляторів, розрахованих з урахуванням $T^* \approx 18,8$ с і $K_{п1}^* \approx 0,025$ наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри і передатні функції типових регуляторів

	K_p	K_i	K_d	Передаточна функція
Пропорційний-регулятор	0,012	-	-	$W_p(p) = 0,012$
Пропорційно-інтегрального - регулятор	0,011	0,001	-	$W_{пi}(p) = 0,011 + \frac{0,001}{p}$
Пропорційно-інтегрально диференційний-регулятор	0,015	0,002	0,035	$W_{пид}(p) = 0,015 + \frac{0,002}{p} + 0,035p$

2.3 Регулювання з передбаченням

2.3.1 Предиктор Сміта

У 1957 р Смітом було запропоновано використання спеціальних ПІД-регуляторів, які передбачають поведінку об'єкта через час τ . Такий регулятор називається предиктором Сміта [10].

Регулятор Сміта (Smith Predictor) є інноваційним підходом в області автоматичного керування, спеціально розробленим для компенсації запізнення в системах управління з негативним впливом часових затримок. Основна ідея полягає в тому, щоб передбачити майбутню поведінку системи та враховувати цю інформацію при формуванні сигналу керування.

Цей підхід особливо ефективний в контексті процесів зі значними затримками, такими як хімічні реакції чи процеси забезпечення якості виробництва. Регулятор Сміта використовує передавальні функції для моделювання системи та її запізнення, що дозволяє зробити прогнози та внести корективи в управління.

Важливим аспектом є те, що регулятор Сміта може значно покращити стійкість та точність систем управління, а також дозволяє легко враховувати та компенсувати зміни параметрів системи. Його використання може призвести до покращення ефективності та надійності автоматичного керування в різних галузях промисловості.

Мета предиктора Сміта полягає в компенсації ефекту запізнення в системах автоматичного керування, де часові затримки можуть впливати на стійкість та продуктивність. Цей регулятор призначений для передбачення майбутньої поведінки системи та враховування цієї інформації при формуванні сигналу керування. Основні завдання включають моделювання запізнення, прогнозування системних змін та відповідне коригування вихідного сигналу для забезпечення точності та стабільності в управлінні. Мета предиктора Сміта - забезпечити ефективну компенсацію часових затримок, що дозволяє покращити якість регулювання та пристосовуватися до динамічних змін у системі.

Основна мета - передбачити, який сигнал має з'явитися на виході об'єкта до того, як він там з'явиться насправді. Для передбачення можна використовувати модель об'єкта управління, що складається з дрібно-раціональної частини передаточної функції $W_o(p)$ і транспортної затримки e^{Tp} . Завдяки тому що з моделі можна виключити затримку, з'являється принципова можливість передбачення поведінки об'єкта до появи сигналу на його виході.

На рисунку 2.6 наведено один із можливих варіантів реалізації такої системи. Принцип роботи системи описується наступним чином.

У випадку відсутності моделі об'єкта управління (предиктора Сміта), передаточна функція системи автоматичного управління (САУ) з ПД-регулятором та ланкою транспортного запізнювання у прямому контурі, що закритий зворотнім зв'язком, буде мати вигляд, як показано на рисунку 2.6.

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p)W_o(p)e^{\tau p}}{1 + W_{\text{рег}}(p)W_o(p)e^{\tau p}} \quad (2.14)$$

тут: $W_{\text{рег}}(p)$ - передаточна функція регулятора.

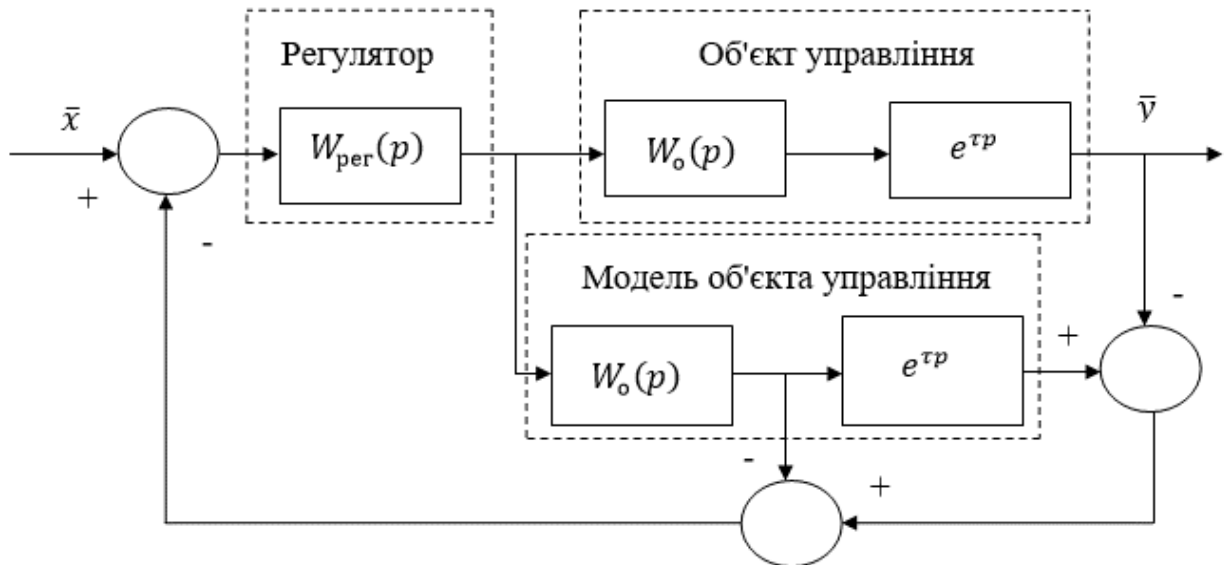


Рисунок 2.6 – Система управління з предиктором Сміта

При інтеграції предиктора Сміта як внутрішнього контуру у систему, різниця між сигналами на виході об'єкта та моделі буде рівна нулю. В такому випадку передаточна функція замкненої системи буде наступною:

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p)W_o(p)e^{\tau p}}{1 + W_{\text{рег}}(p)W_o(p)} \quad (2.15)$$

Характеристичний поліном (2.15) відрізняється від (2.14) тим, що не залежить від транспортної затримки. Це вказує на те, що ланка транспортного запізнювання не впливає на швидкість та ефективність системи. За допомогою топологічних перетворень структурних схем можна отримати різноманітні еквівалентні системи з використанням предиктора Сміта.

2.3.2 Розрахунок предиктивного пропорційно-інтегрального регулятора

Предиктивний ПІ-регулятор (ППІ-регулятор) – це модифікований варіант предиктора Сміта, який знаходить застосування в автоматичних системах гораздо ширше, ніж сам предиктор Сміта. Один із можливих варіантів ППІ-регулятора представлений на рис. 2.7. Тут: $W_o(p) = \frac{K}{Tp+1}$ - дробова-раціональна частина передаточної функції об'єкта управління; K , T – коефіцієнт підсилення і постійна часу; τ - час чистого запізнювання об'єкта управління.

Для визначення параметрів ПІД-регулятора скористаємось методом Цгlera-Нікольса. Визначимо критичний коефіцієнт підсилення K_{Π}^* для системи на рис.2.7. Передаточна функція розімкнутої частини дорівнює:

$$W_{\text{роз}}(p) = K_{\Pi}^* \frac{1}{1 - \frac{e^{-p4,9}}{46,64p + 1}} \frac{614,98e^{-p4,9}}{46,64p + 1} \quad (2.16)$$

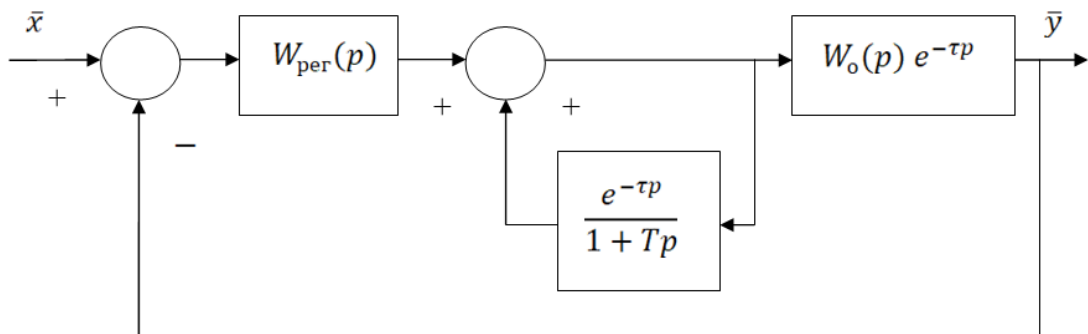


Рисунок 2.7 – Система управління з предиктивним пропорційно-інтегральним регулятором

Виконаємо тотожні перетворення. Отримаємо:

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{K_{\Pi}^* 614,98e^{-p4,9}}{46,64p + 1 - e^{-p4,9}} \quad (2.17)$$

Характеристичний поліном замкнутої системи автоматичного управління буде мати вираз:

$$D(p) = 46,64p + 1 - e^{-p4,9} + K_{\Pi}^* 614,98e^{-p4,9} \quad (2.18)$$

Як відомо [6], критерій стійкості Михайлова - це метод аналізу стійкості автоматичних систем, що базується на характеристичному поліномі і передбачає, що система буде стійкою, якщо характеристичний поліном має всі корені з від'ємними дійсними частинами.

Згідно з критерієм стійкості Михайлова, система автоматичного керування буде на межі стійкості, забезпечуючи сталі коливання з фіксованою амплітудою і частотою, якщо характеристичний поліном (2.18) приймає значення нуль. У цьому випадку:

$$46,64p + 1 - e^{-p4,9} + K_{\Pi}^* 614,98e^{-p4,9} = 0 \quad (2.19)$$

Після перетворень виразу (2.19) за відомою формулою Ейлера матимо:

$$46,64j\omega + 1 - (\cos 4,9\omega - j\sin 4,9\omega) + K_{\Pi}^* 614,98(\cos 4,9\omega - j\sin 4,9\omega) = 0 \quad (2.20)$$

Прирівняємо до нуля дійсну і уявну частини виразу формули (2.20). В кінці матимемо відповідну систему рівнянь:

$$\begin{cases} 1 - \cos 4,9\omega + K_{\Pi}^* K \cos 4,9\omega = 0 \\ 46,64\omega + \sin 4,9\omega - K_{\Pi}^* 614,98 \sin 4,9\omega = 0 \end{cases} \quad (2.21)$$

Із системи рівнянь (2.21) визначимо:

- частоту сталих коливань ω , критичний коефіцієнт підсилення K_{Π}^* , а потім за формулою $T = \frac{2\pi}{\omega}$ розрахуємо період сталих коливань T^* .

Наступним кроком буде розв'язання першого рівняння (2.21) відносно критичного коефіцієнта підсилення:

$$K_n^* = -\frac{1 - \cos 4,9\omega}{614,98 \cos 4,9\omega} \quad (2.22)$$

Наступним кроком буде розв'язання другого рівняння (2.21) відносно критичного коефіцієнта підсилення:

$$K_n^* = \frac{46,64\omega + \sin 4,9\omega}{614,98 \sin 4,9\omega} \quad (2.23)$$

Прирівняємо ліву і праву частини рівнянь (2.22) і (2.23):

$$-\frac{1 - \cos 4,9\omega}{K_n^* \cos 4,9\omega} = \frac{46,64\omega + \sin 4,9\omega}{K_n^* \sin 4,9\omega} \quad (2.24)$$

В кінці тотожних перетворень рівняння (2.24) дістанемо:

$$-tg 4,9\omega = 46,64\omega \quad (2.25)$$

Рівняння (2.25) повністю співпадає з рівнянням (2.10) отриманого раніше. Розв'язанням його є $\omega_1^* = 0,334 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ і $T^* \approx 18,8 \text{ с}$.

Внесемо значення $\omega_1^* = 0,334 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ в рівняння (2.22) і визначимо K_{n1}^* ,

$$K_{n1}^* = -\frac{1 - \cos \tau \omega_1^*}{K \cos \tau \omega_1^*} \approx -\frac{1 - \cos(4,9 \times 0,334)}{614,98 \cos(4,9 \times 0,334)} \approx 0,026 \quad (2.26)$$

Виконаємо перевірку виконаних розрахунків моделюванням в середовищі SIMULINK MATLAB за структурною схемою наведеною на рис. 2.8.

На рисунку 2.9 представлений узагальнений вигляд перехідного процесу в системі автоматичного управління (САУ), тоді як на рисунку 2.10 подано частину перехідного процесу для оцінки періоду

коливань T^* . Моделювання результатів повністю відповідає розрахунковим значенням.

Значення параметрів пропорційно – інтегрального регулятора, розрахованих з урахуванням $T^* \approx 18,8$ с і $K_{п1}^* \approx 0,026$ наведені в табл. 2.5.

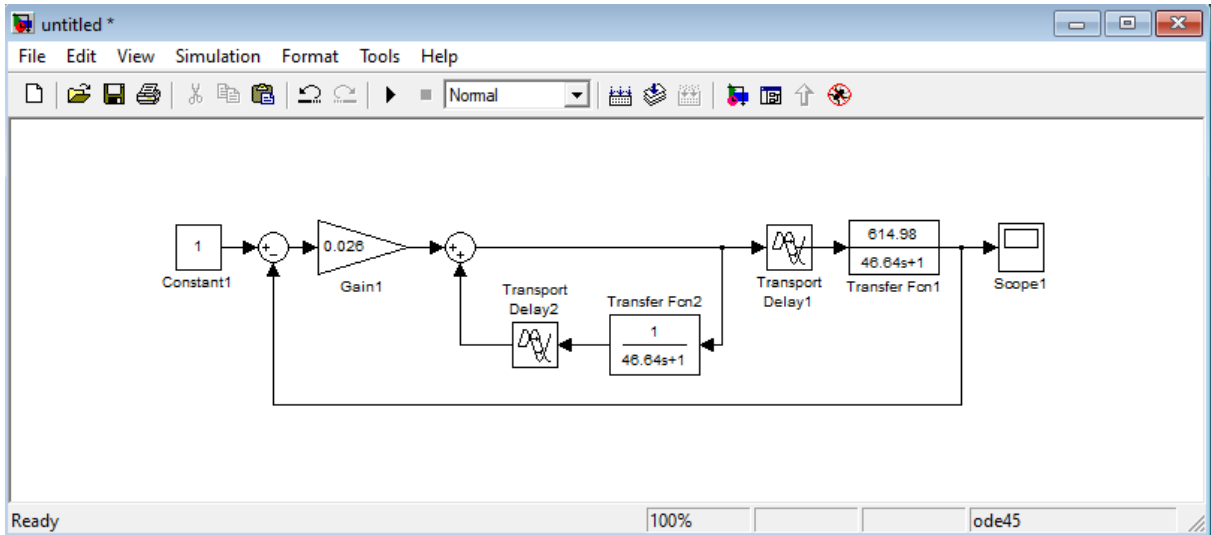


Рисунок 2.8 – Модель системи автоматичного управління

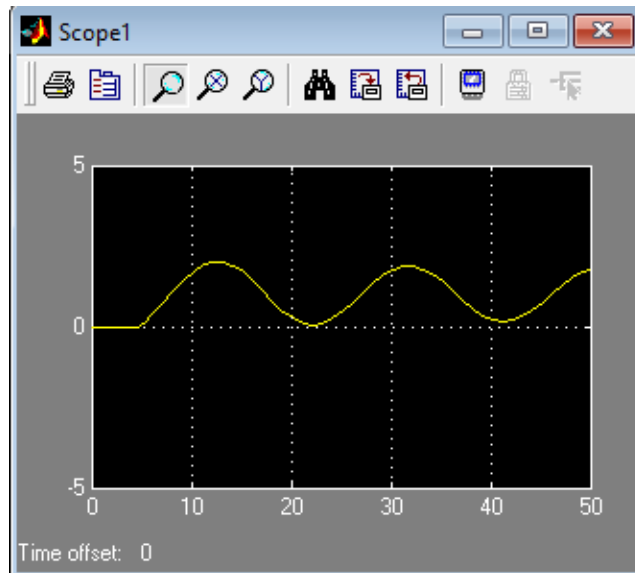


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд сталих коливань в системі автоматичного управління

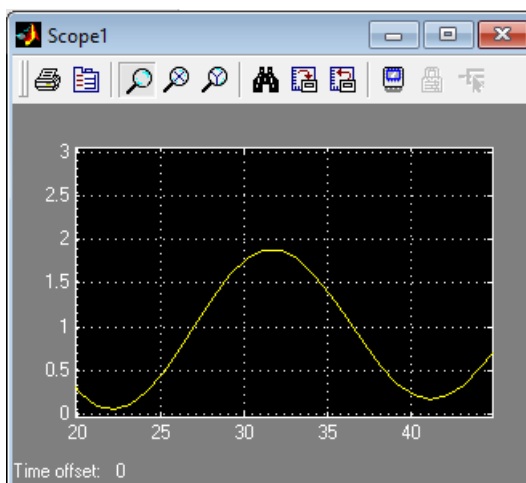


Рисунок 2.10 – Частина сталих коливань

Таблиця 2.5 - Параметри і передатна функція ПІ-регулятора

	K_p	K_i	K_d	Передатна функція
Пропорційно інтегральний регулятор	0,0180	0,00100	-	$W_{pi}(p) = 0,018 + \frac{0,001}{p}$

2.4 Висновки до розділу

Для ефективного керування процесом подрібнення рекомендується використовувати ПІД-регулятор або предиктивний ПІ-регулятор Сміта.

Оптимальне визначення параметрів ПІД-регулятора для величини транспортного запізнення, порівняно з постійною часу передатної функції процесу подрібнення, можна здійснити за допомогою методу Циглера-Нікольса, що базується на використанні запасів стійкості.

Для точного визначення періоду сталих коливань керованої величини рекомендується використовувати графоаналітичні методи розв'язання трансцендентних рівнянь.

Теоретично доведено, що період сталих коливань керованої величини збігається в розрахунках параметрів ПІД-регулятора за методом Циглера-Нікольса та предиктивного ПІ-регулятора Сміта.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Під час проведення обчислювального експерименту були сформульовані та вирішені наступні завдання:

- Визначено оцінки якості регулювання, які були обчислені для систем автоматичного регулювання (САР), описаних у розділі 2, в умовах відсутності збурюючих впливів, використовуючи метод моделювання в середовищі SIMULINK з використанням MATLAB.

- Визначено оптимальні уставки регуляторів для вищезазначених САР у відсутності збурюючих впливів, також використовуючи метод моделювання в середовищі SIMULINK з використанням MATLAB.

- Проведено обчислювальний експеримент для моделей систем автоматичного регулювання із збурюючим впливом, який розподілений за нормальним законом, за допомогою методу моделювання в середовищі SIMULINK з використанням MATLAB.

- Визначено найбільш ефективний регулятор для функціонування систем автоматичного регулювання із збурюючим впливом, розподіленим за нормальним законом, використовуючи статистичний критерій Фішера-Снедекера.

3.1 Дослідження регуляторів системи автоматичного регулювання за відсутності збурюючого впливу

3.1.1 Дослідження ПІД-регуляторів системи автоматичного регулювання за відсутності збурюючого впливу

Для проведення досліджень системи автоматичного регулювання (САР) з використанням ПІД-регуляторів була створена модель в середовищі SIMULINK MATLAB. Структурна схема цієї моделі представлена на рис. 3.1. У моделі процесу подрібнення використовуються послідовно з'єднані блоки Transfer Fon і Transport Dilay. Параметри ПІД-

регулятора моделюються через паралельне з'єднання трьох частин: П-регулятора (блок Slider Gain 1), ІІ-регулятора (послідовно з'єднані блоки Slider Gain і Integrator) і ПД-регулятора (послідовно з'єднані блоки Slider Gain2 і Derivative). Вплив на систему задається через блок Step (ступінчатий сигнал), а збурюючі впливи моделюються за допомогою блоків Random Number (нормальний розподіл) і Sine Wave (гармонійний сигнал). Також у структурну схему включено ручні перемикачі Manual Switch для оперативної зміни схеми відповідно до поставлених завдань дослідження. Блоки Ground використовуються для подачі нульового сигналу в відповідні блоки. Блок Scope використовується для відображення змін вихідної величини у часі при введенні різних форм впливів в САР.

У структурній схемі моделі системи автоматичного регулювання (САР), розробленої в середовищі SIMULINK MATLAB, кожен блок має своє конкретне призначення:

Transfer Fon і Transport Dilay: Ці блоки відповідають за моделювання процесу подібнення. Transfer Fon визначає передаточну функцію, а Transport Dilay враховує транспортні запізнення у системі.

Slider Gain 1, Slider Gain, Integrator, Slider Gain2, Derivative: Ці блоки є складовими ПД-регулятора і визначають параметри П, І, і ПД частин регулятора відповідно.

Step, Random Number, Sine Wave: Блок Step генерує ступінчатий вплив для вводу в систему. Random Number і Sine Wave генерують впливи, що розподілені за нормальним і гармонійним законами відповідно, і служать для моделювання збурень в системі.

Manual Switch: Ручні перемикачі дозволяють оперативно змінювати структуру схеми САР відповідно до вирішуваних завдань.

Ground: Блоки Ground використовуються для подачі нульового сигналу в відповідні блоки системи.

Score: Блок Score служить для візуалізації змін вихідної величини системи в часі при введенні різних форм впливів.

Кожен блок внесений у структурну схему забезпечує конкретну функціональність та роль у дослідженні та моделюванні системи автоматичного регулювання з ПІД-регуляторами.

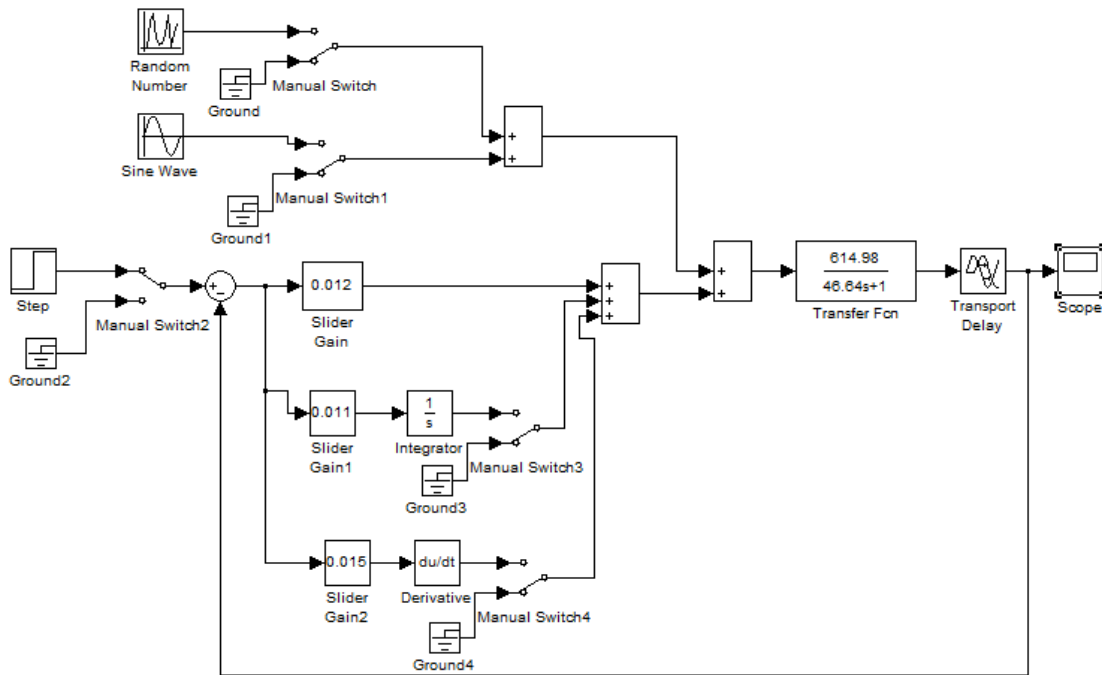


Рисунок 3.1 – Модель системи автоматичного регулювання з ПІД-регулятором процесом подрібнення

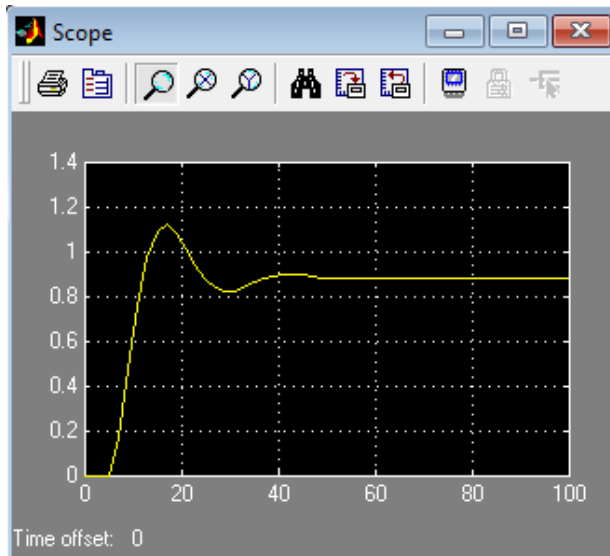
На основі результатів моделювання функціонування системи автоматичного регулювання (САР) процесом подрібнення без зовнішнього впливу та із використанням уставок регуляторів, розрахованих у попередньому розділі та представлених в табл. 2.4, були отримані перехідні процеси, які зображено на рис. 3.2-3.4. Графік на рис. 3.5 ілюструє перехідний процес без застосування ПІД-регулятора, тоді як на рис. 3.6 представлено динаміку системи з оптимальними параметрами регулятора, які були експериментально визначені на моделі.

$$W_{\text{рег}}(p) = 0,013 + \frac{0,001}{p} + 0,039p \quad (3.1)$$

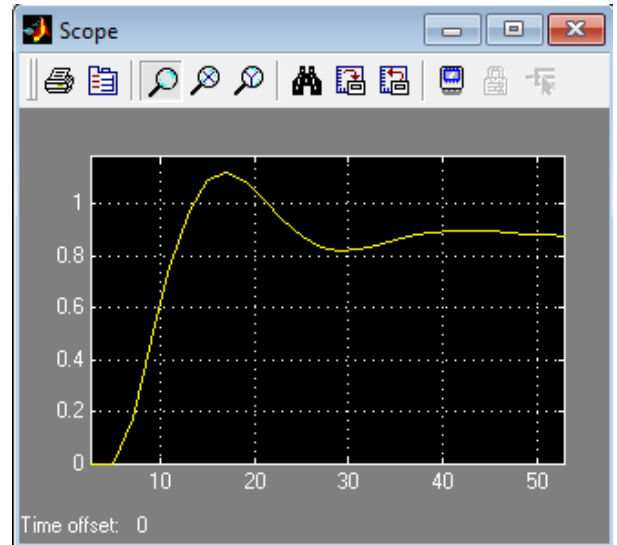
Час регулювання визначався моментом часу після якого керована величина відрізняється від усталеного значення не більше ніж на 5%. Ступінь стійкості визначена за відомою формулою [6]:

$$\eta \approx \frac{3}{t_{\text{пер}}} \quad (3.2)$$

тут $t_{\text{пер}}$ - час регулювання.

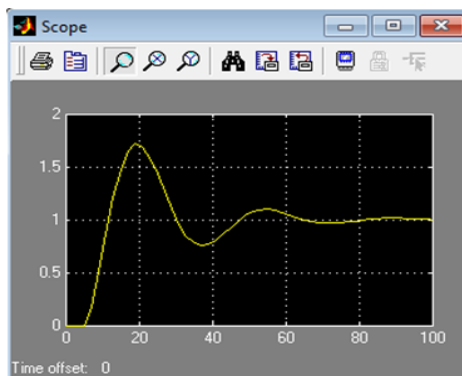


а)

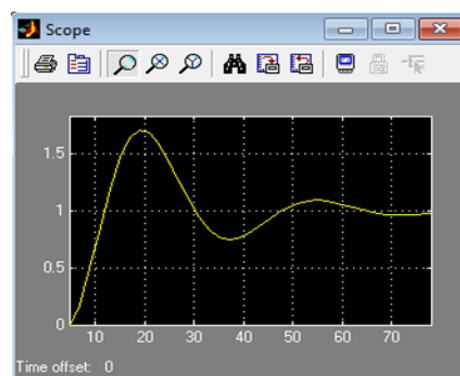


б)

Рисунок 3.2 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з П-регулятором: а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості



а)



б)

Рисунок 3.3 – Перехідний процес в САР з ПІ-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

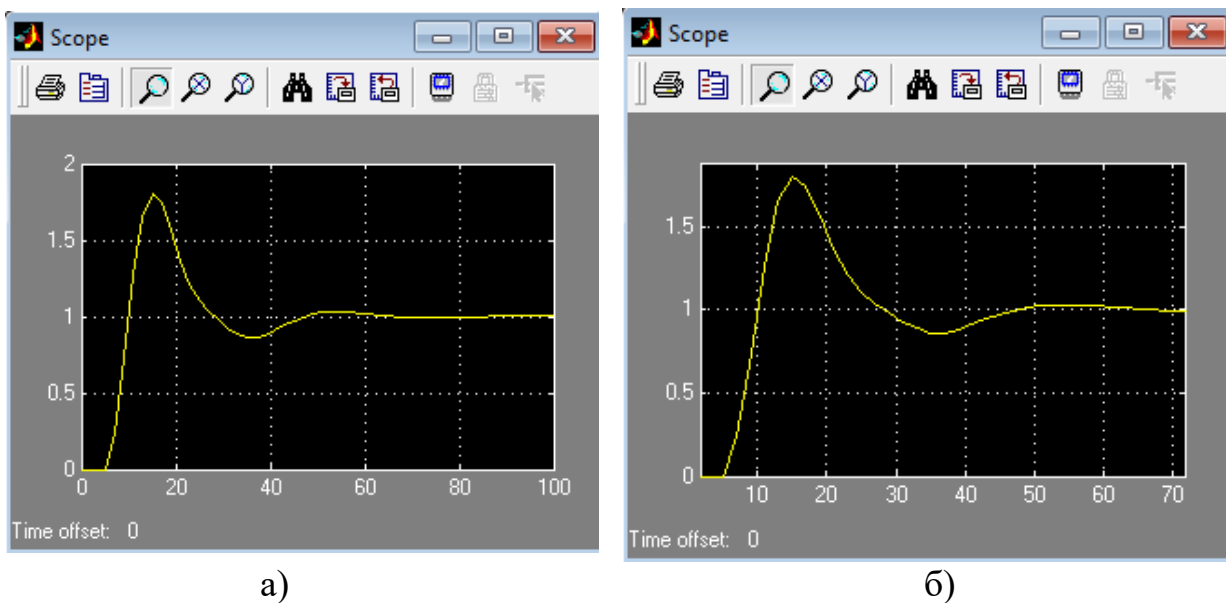


Рисунок 3.4 – Перехідний процес системи автоматичного регулювання з ПД-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

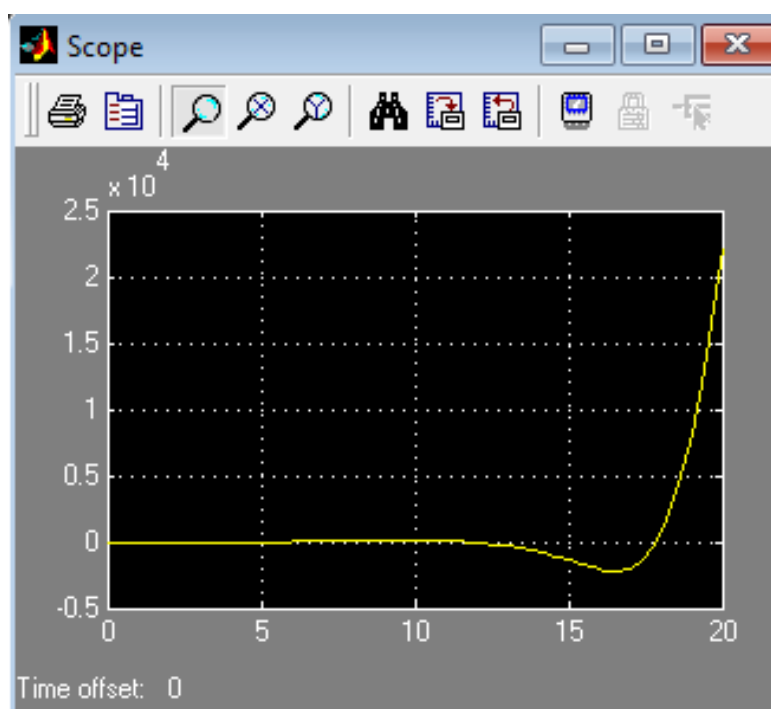
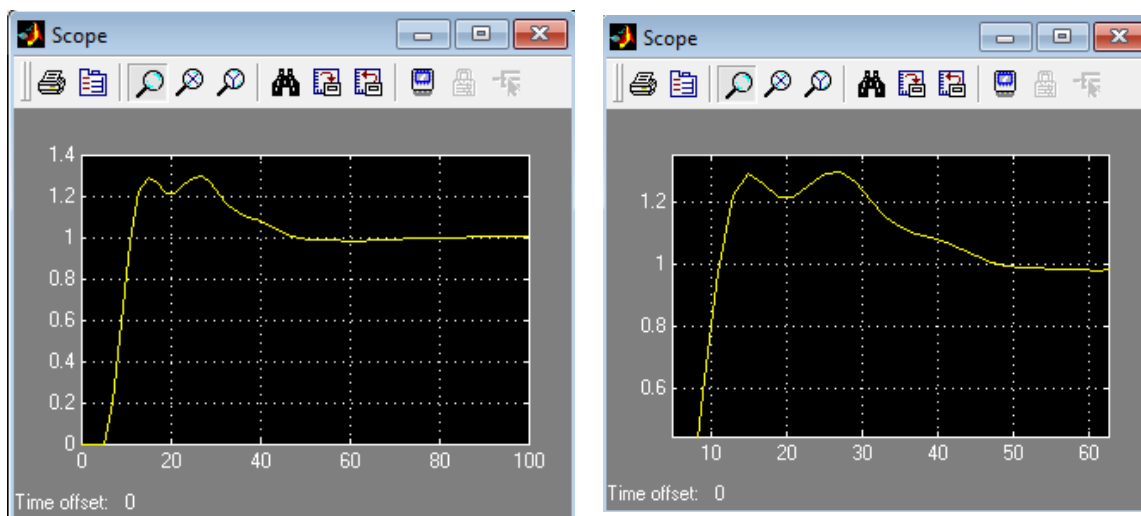


Рисунок 3.5 – Перехідний процес в САР без регулятора



а)

б)

Рисунок 3.6 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з найкращими настройками регулятора

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

Таблиця 3.1 - Показники якості системи управління з ПД-регулятором

Параметр Регулятор	Ступінь стійкості	Статична похибка	Час регулювання, с	Пере- регулюван ня, %	Коливання
Без регулятора	нестійка	-	-	-	-
П-регулятор	0,060	0,10	50,000	28,00	1
ПІ-регулятор	0,040	0.0000	70,00	60,00	1
ПД- регулятор	0,0600	0.0000	50,00	80,00	1
ПД- регулятор з найкращими настройками	0,06	0.000	47,00	29,00	-

3.1.2 Дослідження ППІ-регулятора системи автоматичного регулювання за відсутності збурюючого впливу

Для аналізу функціонування системи автоматичного регулювання в процесі флотації з використанням ППІ-регулятора була створена модель у середовищі SIMULINK MATLAB.

Структурна схема цієї моделі представлена на рис. 3.7, і вона відрізняється від попередньої схеми (рис. 3.1) тим, що включає в себе предиктор, але не містить диференціальної частини ПІД-регулятора. Предиктор в цій схемі втілений у послідовно з'єднаних блоках Transfer Fon1 і Transport Delay 1.

Результати моделювання роботи системи автоматичного регулювання для процесу подрібнення без впливу збурень та з використанням уставок ППІ-регулятора, розрахованих у розділі "Синтез системи автоматичного управління" і визначених в табл. 2.5, представлені на рис. 3.8 через перехідні процеси.

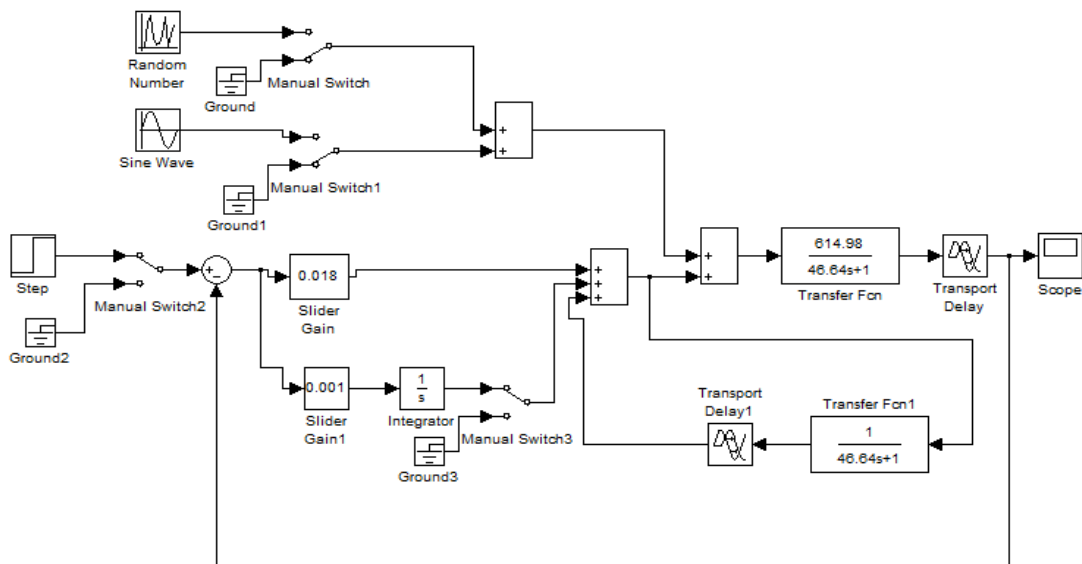


Рисунок 3.7 – Модель системи автоматичного регулювання з предиктивним ПІ-регулятором процесом подрібнення

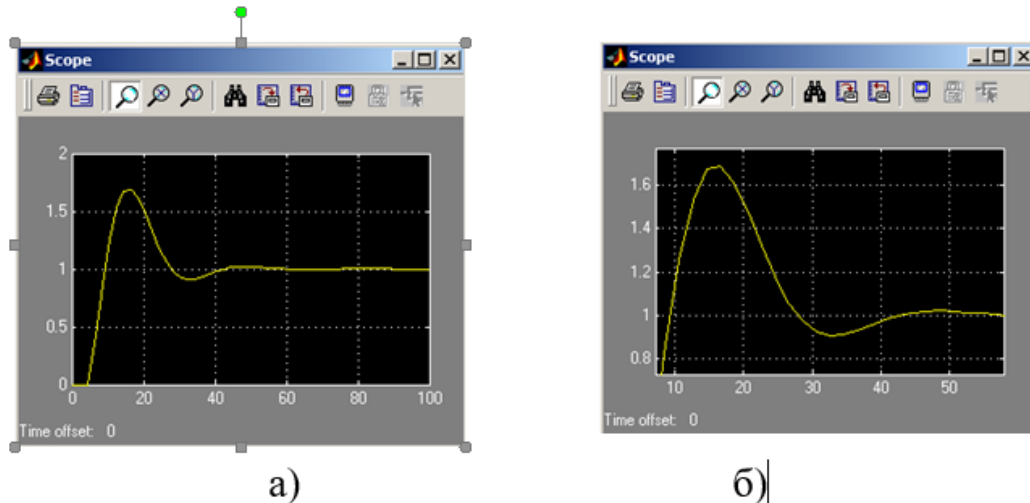


Рисунок 3.8 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з ПІІ-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

Для визначення оптимальних параметрів предиктивного ПІ-регулятора було проведено додатковий ряд експериментів. Під час експериментів було встановлено, що наявність інтегруючої ланки призводить до погіршення якості перехідного процесу.

Вплив коефіцієнта підсилення пропорційної частини на показники якості перехідного процесу представлено в табличному вигляді (див. табл. 3.2) та у графічному вигляді (див. рис. 3.9).

На графіку рис. 3.9 значення ступеня стійкості системи автоматичного регулювання були збільшені у сто разів для зручності відображення в одній системі координат.

За результатами експериментів видно, що оптимальним значенням для коефіцієнта підсилення є $k_p = 0,007 \div 0,009$.

В табл. 3.2 значення показників якості, що відповідають вказаним коефіцієнтам підсилення, виділені жирним шрифтом.

Таблиця 3.2 - Результати обчислювального експерименту

Параметри k_{Π}	Ступінь стійкості, η	Час регулювання $t_{\text{рег}}, \text{хв}$	Перере- гулювання, $\sigma, \%$	Коливання $m, \text{с}$
0,00100	0,030	117,0	0,0	0,0
0,002000	0,030	116,0	0,0	0,0
0,003000	0,060	53,0	0,0	0,0
0,004000	0,060	50,0	0,0	0,0
0,00500	0,080	40,0	0,0	0,0
0,00600	0,090	32,0	0,0	0,0
0,00700	0,131	24,0	0,0	0,0
0,00800	0,171	18,0	1,0	0,0
0,00900	0,181	17,0	4,0	0,0
0,01000	0,130	24,0	9,0	0,0
0,0110	0,120	25,0	13,0	0,0
0,01200	0,130	24,0	24,0	1,0
0,01300	0,130	24,0	24,0	1,0
0,01400	0,090	32,0	29,0	1,0
0,01500	0,090	33,0	34,0	1,0

Для регулювання процесом дрібнення був прийнятий $k_{\Pi} = 0,007$, при якому величина перерегулювання $\sigma = 0$. В такому випадку конвеєр перейде в новий стан монотонно, що є дуже важливим з точки зору надійності для механічних систем.

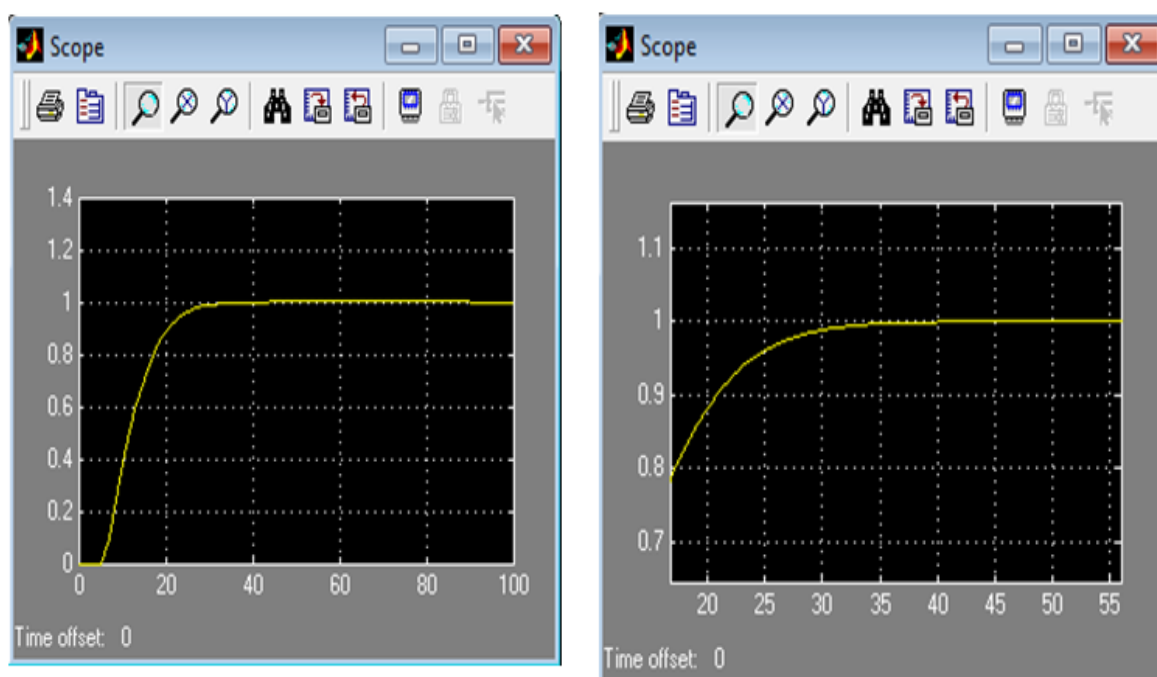
Передатна функція з найкращими налаштуваннями предиктивного ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{\text{рег}}(p) = 0,007 \quad (3.3)$$

На рис. 3.10 показаний перехідний процес при $k_{\Pi} = 0,007$, а в табл.3.3 – показники якості перехідного процесу для розрахованого предиктивного пропорційно – інтегрального регулятора і оптимально налаштованого в ході обчислювального експерименту.



Рисунок 3.9 – Графіки залежності показників якості перехідного процесу в системі автоматичного регулювання від коефіцієнту підсилення



а)

б)

Рисунок 3.10 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з найкращими настройками регулятора: а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

Таблиця 3.3 - Показники якості системи управління з предиктивно пропорційно-інтегральний регулятором

Параметр Регулятор	Ступінь стійкості	Статична похибка	Час регулювання, с	Перерегул ювання, %	Коливання
ППІ- регулятор	0,05	0	61	94	2
ППІ- регулятор з найкращими настройками	0,13	0	24	0	0

3.2 Дослідження регуляторів системи автоматичного регулятора із збурюючим впливом

3.2.1 Визначення статистичних параметрів системи автоматичного регулювання з предиктивним пропорційно-інтегральним і пропорційно – інтегрально диференціальним регуляторами

Для вивчення системи автоматичного регулювання з попередньо розрахованими та експериментально уточненими параметрами регуляторів із впливом збурювань, розроблені раніше структурні схеми, які були доповнені блоками для обчислення середнього значення вихідної величини та її дисперсії на рисунках 3.11-3.12. Блоки Інтегратор 1 і Gain були послідовно використані для визначення середнього значення, а блоки Constant, Product, Інтегратор 2 і Gain 1 – для визначення дисперсії. Результати щодо середнього значення та дисперсії керованої величини в кінці моделювання відображаються в блоках Display і Display 1, відповідно.

В процесі моделювання на вхід системи автоматичного регулювання було подано ступінчастий вплив $x_{вх} = 45\%$, а в контур управління було подано нормально розподілений сигнал з нульовим середнім значенням і дисперсією, яка дорівнює 0,01. Результати

моделювання наведені в табл. 3.4. На рис. 3.13 показані зміни вихідної величини в системі автоматичного регулювання з пропорційно – інтегрально диференційним і предиктивним пропорційно-інтегральним регуляторами.

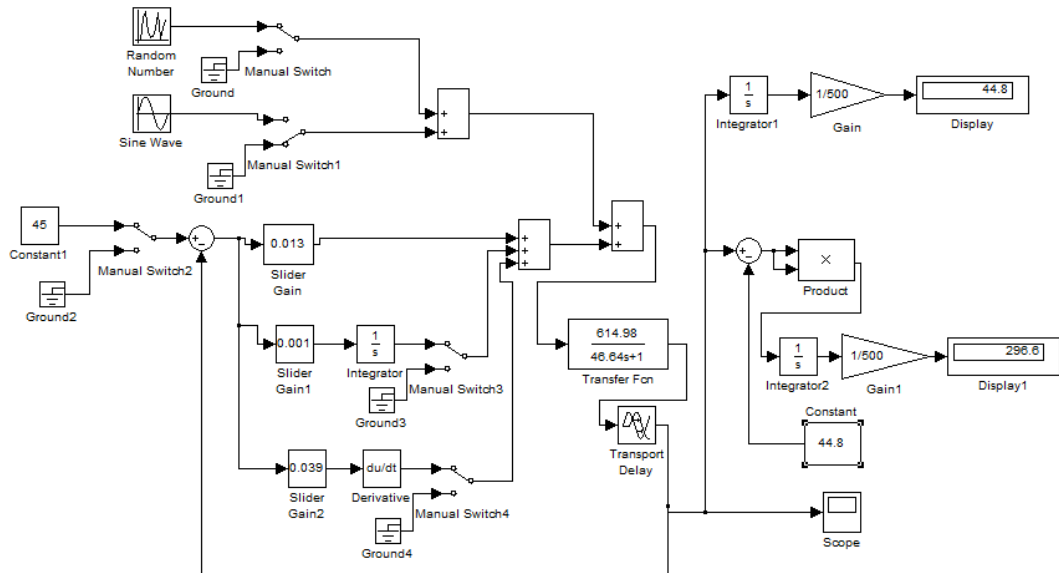


Рисунок 3.11 – Структурна схема системи автоматичного регулювання з пропорційно – інтегрально диференційним -регулятором

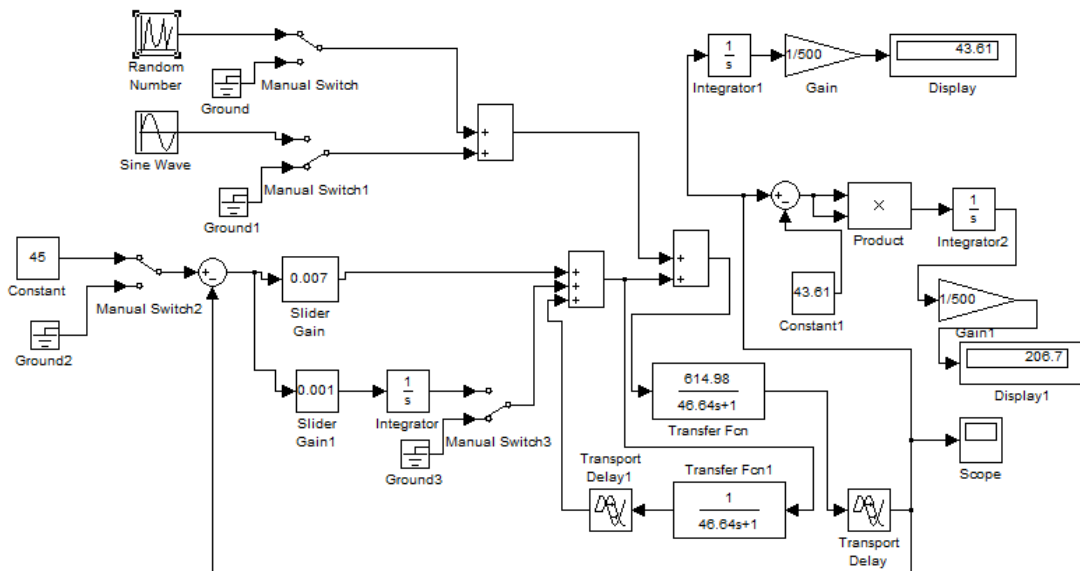


Рисунок 3.12 – Структурна схема системи автоматичного регулювання з предиктивним пропорційно-інтегральним -регулятором

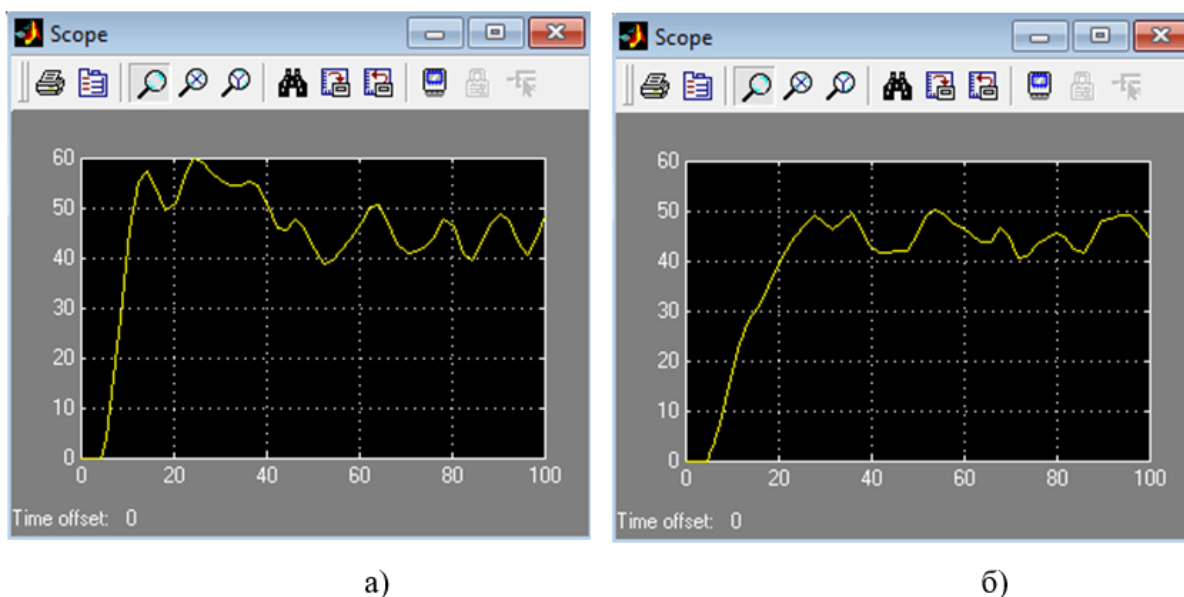


Рисунок 3.13 – Зміна вихідної величини в системі автоматичного регулювання: а) з пропорційно – інтегрально диференційним -регулятором; б) з предиктивним пропорційно-інтегральним -регулятором

Таблиця 3.4 - Результати моделювання системі автоматичного регулювання

Модельована система Статистичний параметр	З пропорційно – інтегрально диференційним - регулятором	З предиктивним пропорційно- інтегральним - регулятором
Математичне очікування	44,700	43,850
Виправлена дисперсія	296,510	206,600

3.2.2 Перевірка гіпотези щодо важливості різниці у оцінках середніх і дисперсій у системах автоматичного управління процесом подрібнення

Результати моделювання системи автоматичного регулювання з різними регуляторами, представленими в таблиці 3.4, показують відмінності у середніх значеннях вихідних величин та їх виправлених дисперсіях.

Для остаточного висновку про вибір регулятора необхідно провести перевірку того, чи належать середні значення і дисперсії одній загальній генеральній сукупності згідно з [6].

Давайте перевіримо, чи можна вважати середні значення однаковими в умовах невідомих дисперсій випадкових величин, провівши перевірку нульової гіпотези $H_0: M(\text{ПД}) = M(\text{ППІ})$.

Визначимо середню різницю між варіантами вихідних величин системи автоматичного регулювання, використовуючи обчислювальний експеримент з моделлю, яка включає системи автоматичного регулювання з налаштованими предиктивними пропорційно-інтегральним і пропорційно-інтегрально-диференціальними регуляторами, а також блоками для розрахунку статичних параметрів (рис. 3.14).

За результатами експерименту встановлено, що сума різниць варіантів $\sum d_i = -611,5$, вибіркова середня величина $\bar{d} = -1,22$, а також $\sum d_i^2 = 103600$ ($i = \overline{1, n}, n = 500$ – кількість варіант).

Знайдемо виправлене середнє квадратичне відхилення s_d та спостережуване значення критерію $T_{\text{сп}}$:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{103600 - (-611,5)^2/500}{499}} \approx 14,36 \quad (3.4)$$

$$T_{\text{сп}} = \bar{d} \cdot \sqrt{n}/s_d = -1,22 \cdot \sqrt{500}/14,36 \approx -1,9 \quad (3.5)$$

По таблиці критичних точок розподілу Стьюдента за рівнем значущості $\alpha = 0,05$ (зазвичай приймається для технічних систем) і кількості ступенів свободи $n = 500$ знаходимо критичну точку $t_{\text{двос.кр.}} = 1,96$.

Як відомо, таблиці критичних точок розподілу Стьюдента використовуються для визначення критичних значень t-критерію Стьюдента при проведенні статистичних тестів.

Розподіл Стьюдента використовується у випадках, коли розподіл даних є нормальним, але дисперсії двох груп можуть відрізнятися.

Таблиці критичних точок містять значення t-статистики для різних комбінацій ступенів свободи і рівнів значущості (α). Ступені свободи визначаються кількістю спостережень у вибірці.

Коли проводиться t-тест для порівняння середніх двох груп, дослідник порівнює обчислене значення t-статистики з критичним значенням з таблиці.

Якщо обчислене значення перевищує критичне, то дослідник може відхилити нульову гіпотезу про рівність середніх у двох групах. Такі таблиці роблять можливим проведення статистичної оцінки і визначення значущості різниці між групами.

Оскільки $|T_{\text{сп}}| < t_{\text{двос.кр.}}$ – немає обґрунтованих підстав відхилити нульову гіпотезу. Різниця у середніх значеннях керованої величини є незначущою.

Перевіримо чи належать дисперсії одній генеральній сукупності при рівних значеннях їх середніх. Дана перевірка полягає у наступному [6]. Для того, щоб при даному рівні значущості $\alpha = 0,05$ перевірити нульову гіпотезу $H_0: D(\text{ПД}) = D(\text{ППІ})$ про рівність генеральних дисперсій нормальних сукупностей при конкуруючій гіпотезі $H_1: D(\text{ПД}) > D(\text{ППІ})$, необхідно розрахувати спостережуване значення критерію (відношення більшого значення виправленої дисперсії до меншої):

Перевіримо, чи дисперсії можна вважати частинами одного і того ж генерального розподілу, коли їхні середні значення однакові. Ця перевірка виконується відповідно до методу, описаного у [6].

Для того, щоб провести перевірку нульової гіпотези $H_0: D(\text{ПД}) = D(\text{ППІ})$ про рівність генеральних дисперсій у нормальних сукупностях за конкуруючою гіпотезою $H_1: D(\text{ПД}) > D(\text{ППІ})$, необхідно розрахувати спостережуване значення критерію, яке представляє відношення більшої виправленої дисперсії до меншої.

$$F_{\text{сп}} = \frac{D(\text{ПД})}{D(\text{ПП})} = \frac{296,6}{206,7} = 1,43 \quad (3.6)$$

Після цього по таблиці критичних точок Фішера-Снедекера [16] при заданому рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числу ступенів свободи $n_1 = 500$ і $n_2 = 500$ знаходимо критичну точку $F_{\text{кр}}(0,05; 500; 500) = 1,03$.

Якщо $F_{\text{сп}} < F_{\text{кр}}$ немає підстав відкидати нульову гіпотезу. Якщо $F_{\text{сп}} > F_{\text{кр}}$ - нульову гіпотезу відкидають. У даному випадку $1,43 > 1,03$, тобто $F_{\text{сп}} > F_{\text{кр}}$. Отже, відкидаємо нульову гіпотезу про рівність двох дисперсій.

Це свідчить про те, що предиктивно пропорційно-інтегральний регулятор є більш ефективним, ніж пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор, впливаючи на роботу системи автоматичного регулювання за умови нормального розподілу збурюючого сигналу.

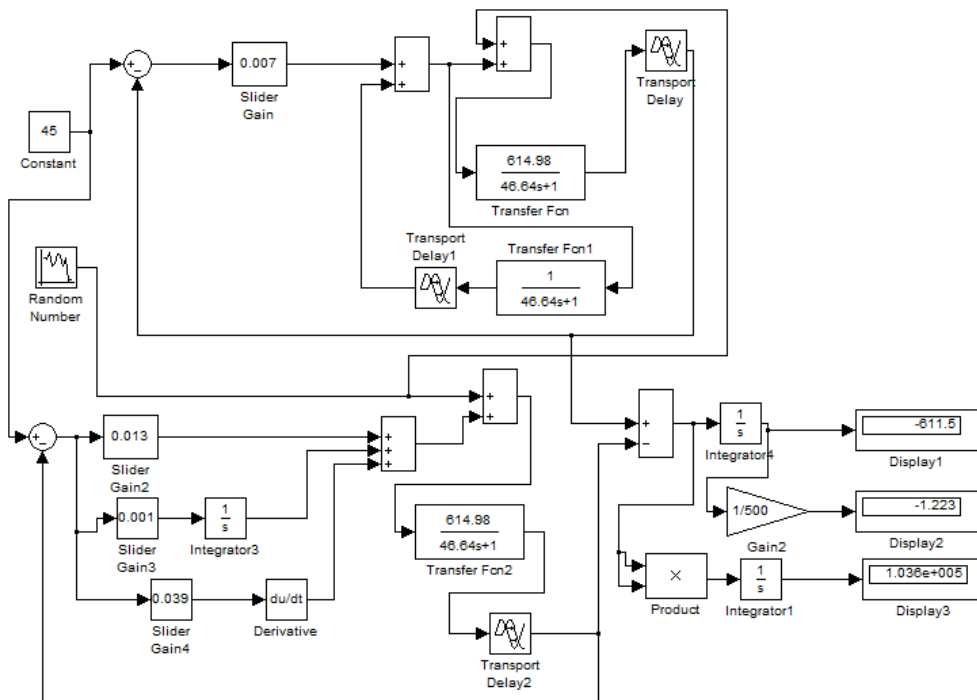


Рисунок 3.14 – Модель обчислювальної системи для визначення середньої різниці варіантів вихідних величин системи автоматичного регулювання з різними регуляторами

3.3 Висновки

1.Ефективність використання пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора в процесі подрібнення: Найбільш оптимальне керування процесом подрібнення можливе за умови використання всіх компонентів пропорційно-інтегрально-диференційного (ПІД) регулятора. Це означає, що враховуючи пропорційну, інтегральну та диференціальну частини, система здатна найбільш ефективно реагувати на зміни у вихідних величинах та забезпечувати стабільний перехідний процес.

2.Предиктивно-пропорційно-інтегральний регулятор в процесі подрібнення: При використанні предиктивно-пропорційно-інтегрального (ППІ) регулятора в системі подрібнення відзначається суттєвий вплив тільки пропорційної частини на перехідний процес. Це означає, що управління базується на передбаченні та пропорційній реакції на вхідні зміни, сприяючи точнішому управлінню системою подрібнення.

3.Оптимальність ППІ-регулятора в системі автоматичного регулювання: Найкращі показники якості перехідного процесу в системі автоматичного регулювання подрібнення досягаються при використанні предиктивно-пропорційно-інтегрального регулятора. Це свідчить про високу ефективність цього типу регулятора у досягненні точності та стабільності в роботі системи.

4.Ефективність ППІ-регулятора при впливі нормально розподіленого збурення: У випадку впливу нормально розподіленого збурюючого сигналу на систему автоматичного регулювання подрібнення, предиктивно-пропорційно-інтегральний регулятор проявляє більшу ефективність, ніж пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор. Це вказує на його вищу адаптивність та здатність ефективно компенсувати вплив збурень на систему.

4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

В основі цього розділу лежать дані, які стосуються створеної моделі системи автоматичного керування для процесу подрібнення в лінії збагачення гірничо-збагачувального комбінату (рисунок 4.1).

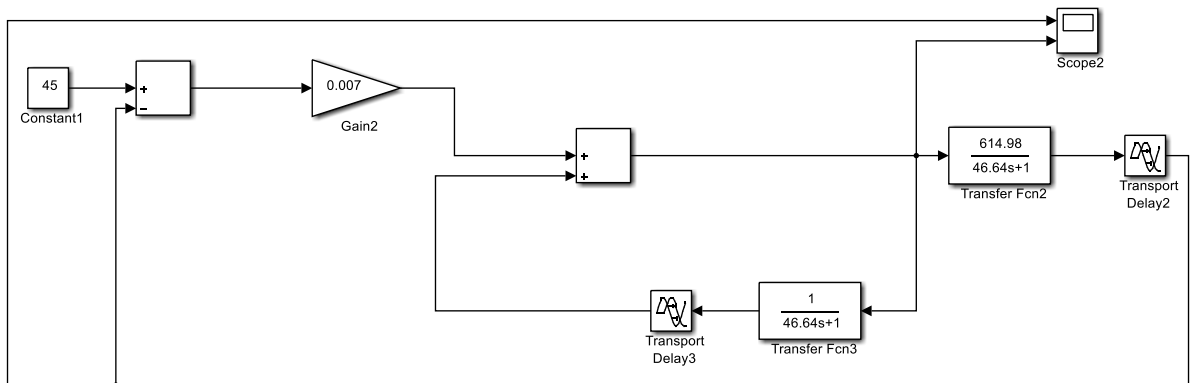


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої системи автоматичного управління

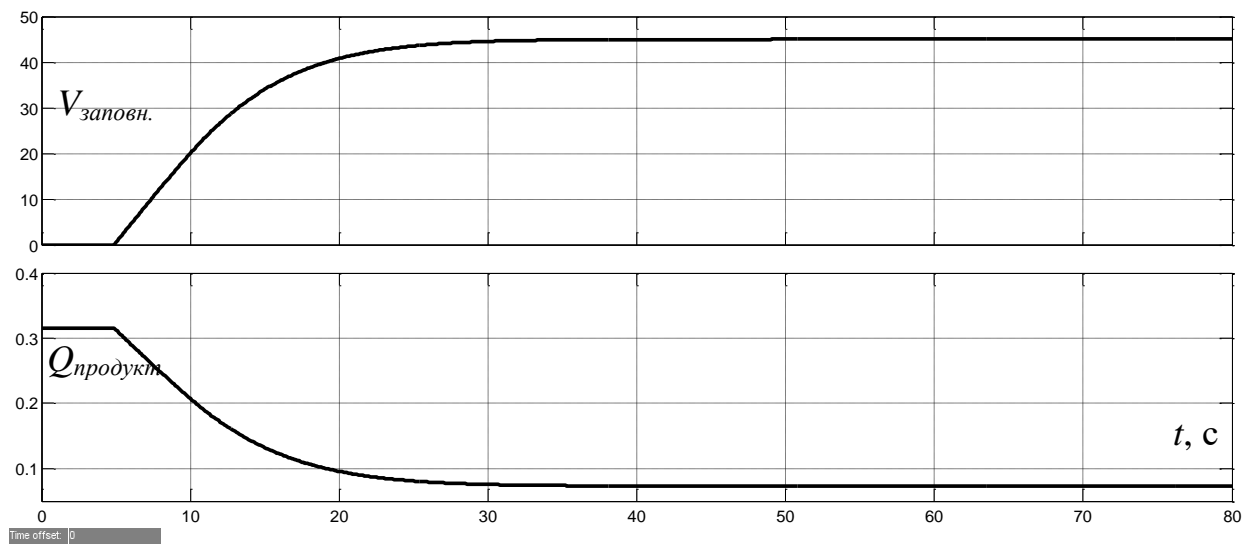


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої системи автоматичного управління (вгорі – керована величина, внизу – керуюча)

Для розробки програмного забезпечення для даної системи керування необхідно перейти до цифрових моделей регулятора та об'єкта керування. У зв'язку з цим проведемо заміну неперервних компонентів

системи автоматичного керування цифровими. Для конвертації аперіодичної ланки регулятора та аперіодичної ланки об'єкта була розроблена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Адаптація неперервних елементів регулятора та об'єкта керування до цифрового формату за допомогою Z-перетворення

```
%Перетворення у цифрову форму аперіодичної ланки
wa1=tf([614.98], [46.64 1]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої аперіодичної ланки
wa2=tf([1], [46.64 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
```

Результат роботи програми 4.1:

a_a1 =

0 1.317155203810776

b_a1 =

1.0000000000000000 -0.997858214569887

a_a2 =

0 0.002141785430113

b_a2 =

1.0000000000000000 -0.997858214569887

На основі результатів роботи програми вищенаведеної програми синтезуємо цифрову модель об'єкта керування, що представлена на рисунку 4.3 та системи автоматичного керування, наведеної на рисунку 4.4.

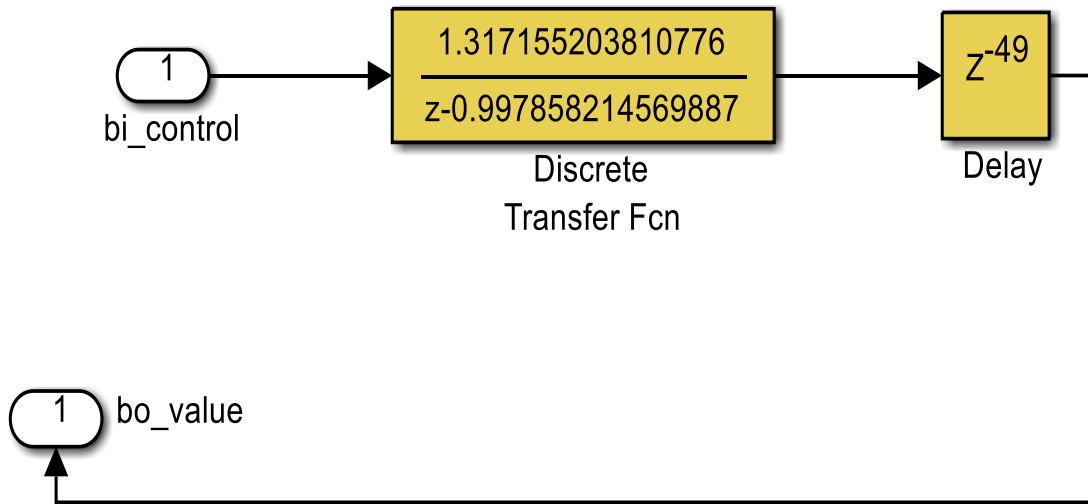


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

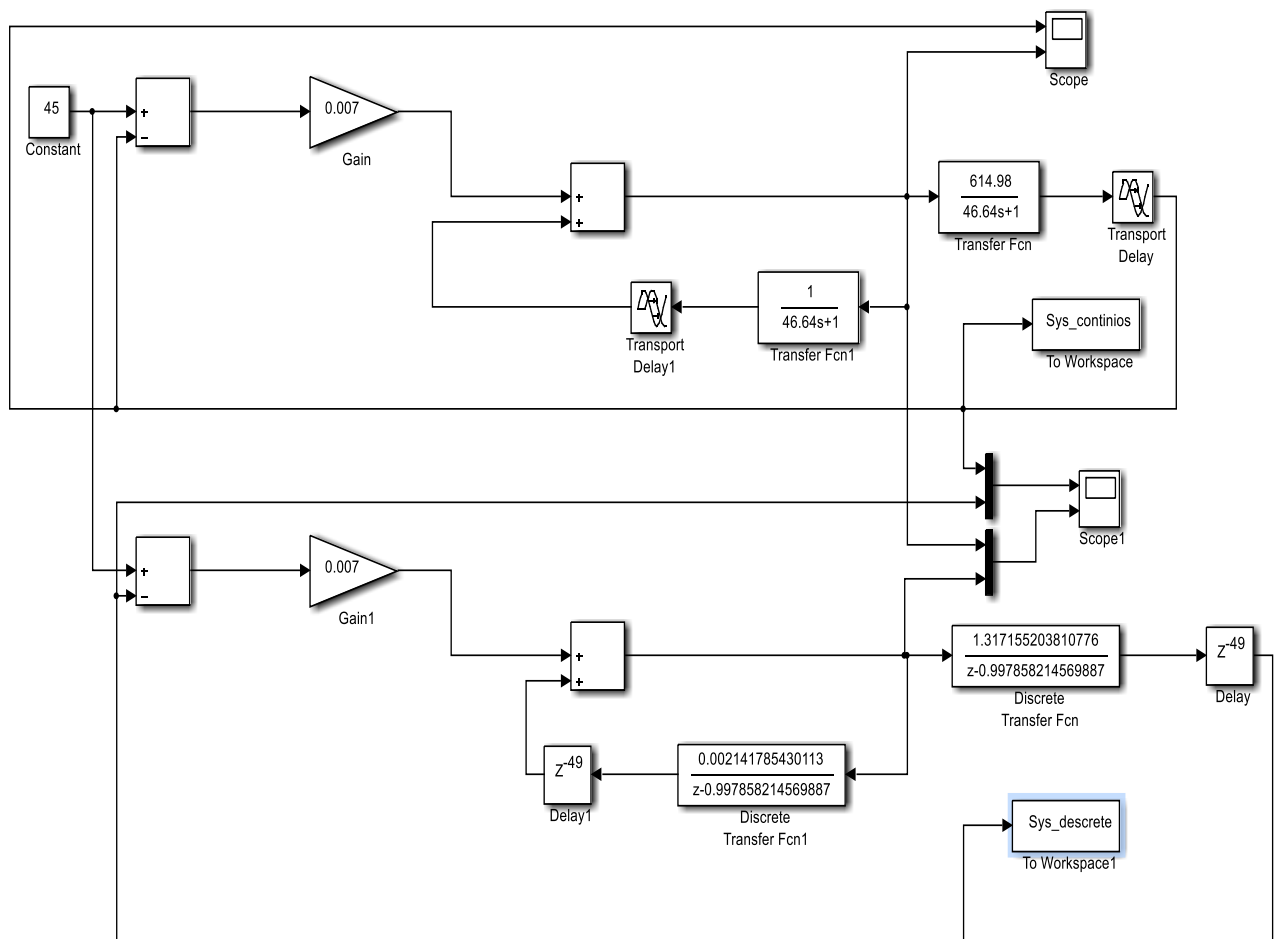
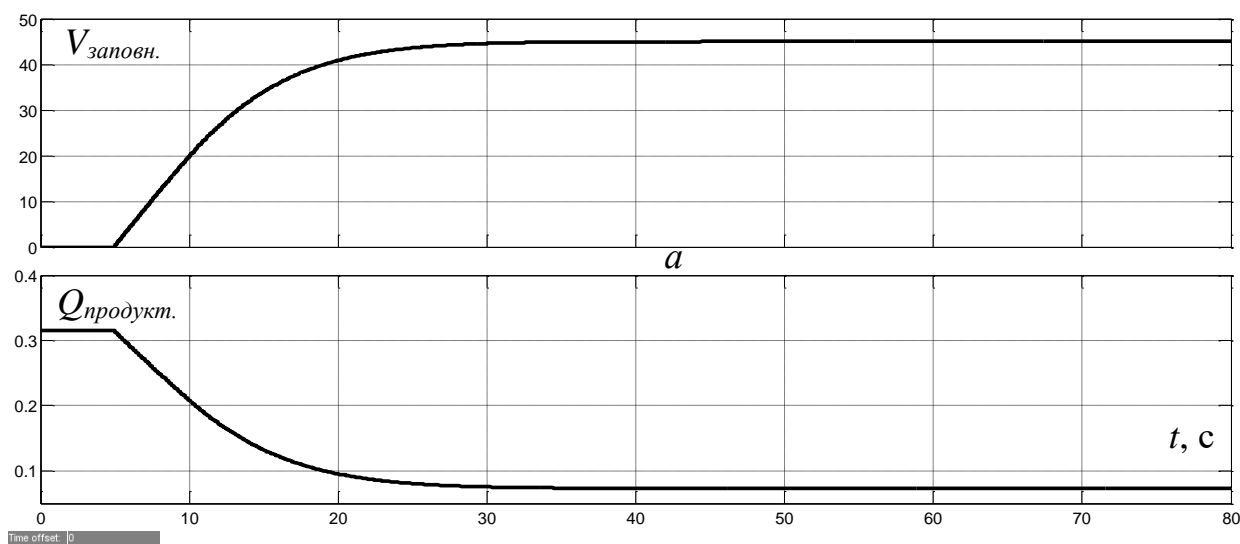


Рисунок 4.4 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування



б

Рисунок 4.5 – Результати моделювання: a – керована величина; $б$ – керуюча величина (пунктирна лінія – неперервна модель; суцільна лінія – цифрова модель)

З рисунку 4.5 можна визначити, що графіки як керованої величини, так і керуючого сигналу практично співпадають. Для більш точної оцінки відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі проведемо аналіз нормованого середньоквадратичного відхилення між точками графіків зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової моделей.

```
>> goodnessOfFit(Model_C,Model_D, 'NRMSE')*100
ans = 99.718450395573171
```

За результатами перевірки стало очевидним, що відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній є дуже високим. Давайте проведемо групування цифрової моделі САК за підсистемами, де однією з них є об'єкт керування, а іншою – регулятор (рисунок 4.6).

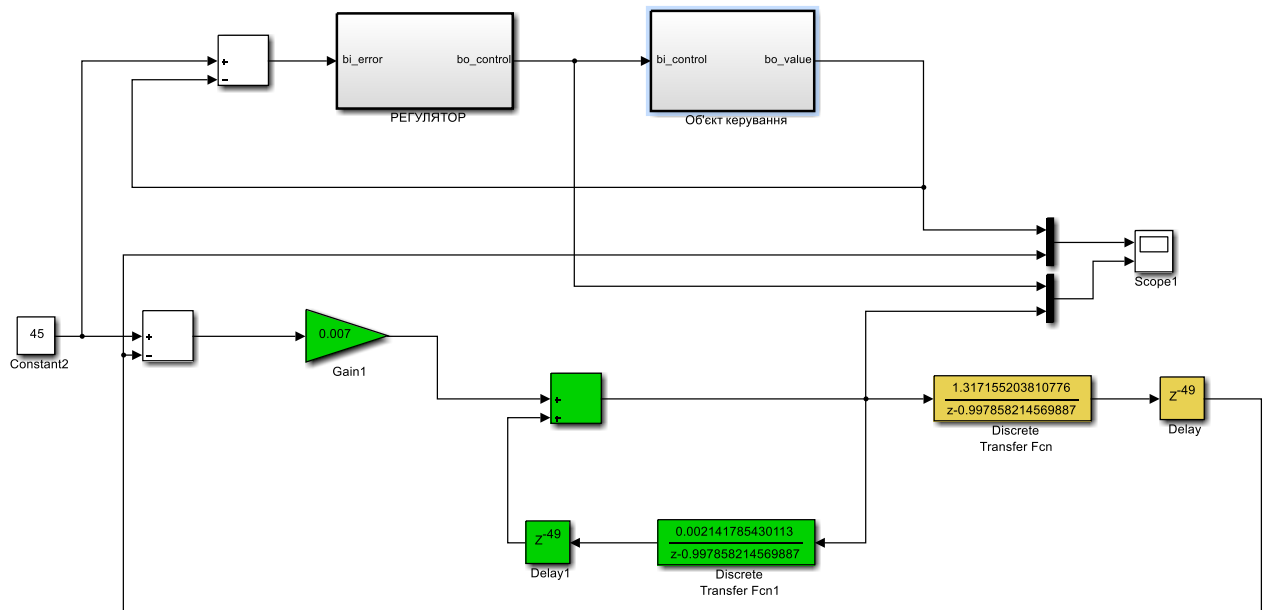


Рисунок 4.6 – Групування цифрової моделі системи автоматичного керування

Вміст підсистеми “Об’єкт управління” представлений на рисунку 4.3, а вміст підсистеми “Регулятор” – на рисунку 4.7.

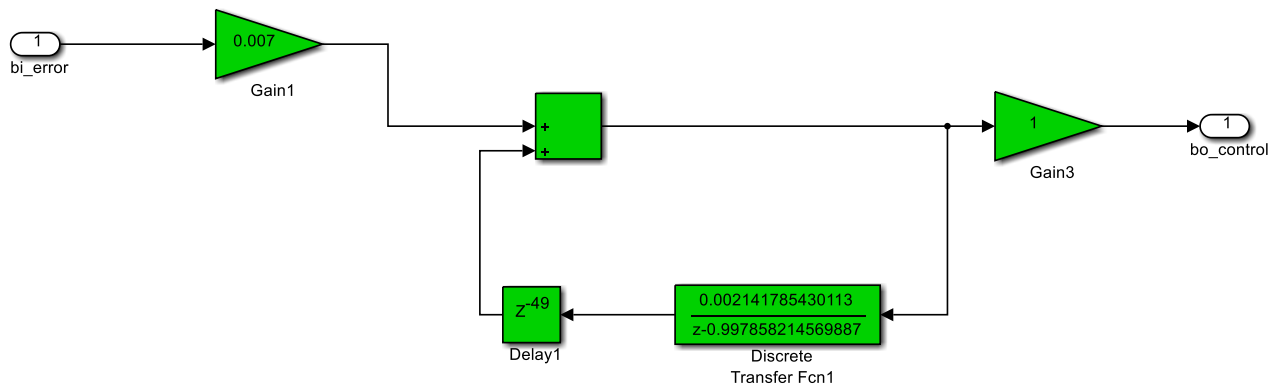


Рисунок 4.7 – Цифрова модель регулятора

На рисунку 4.7 цифрову модель представлено у вигляді розкладених на окремі компоненти компонентів ППІ-регулятора згідно з формулою предиктивного ПІ-регулятора. За допомогою цифрової моделі системи автоматичного керування були створені програмні модулі, які детально описані у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи управління

Програмне забезпечення системи автоматичного керування можна розглядати як дві індивідуальні компоненти: регулятор і об'єкт керування.

Зазначимо, що програмне забезпечення регулятора розроблено для програмованого логічного контролера zenon Logic, який є частиною SCADA системи zenon. Zenon Logic вирізняється високою ефективністю та гнучкістю у налаштуванні, що дозволяє легко впроваджувати та конфігурувати регулятор для оптимального управління.

У зв'язку із створенням програмного забезпечення об'єкта керування, спеціально розроблений драйвер пристрою керування відіграє ключову роль. Зазначимо, що цей драйвер має конфігураційні налаштування, які представлені на рисунку 4.8, і використовується для перевірки функціонування системи керування у режимі реального часу.

Розробка програмного забезпечення об'єкта керування також включає створення відповідних змінних для доступу до входів та виходів моделі об'єкта, як показано на рисунку 4.9. Ці змінні гарантують ефективний контроль над входними та вихідними параметрами об'єкта управління для забезпечення оптимальної роботи системи автоматичного керування.

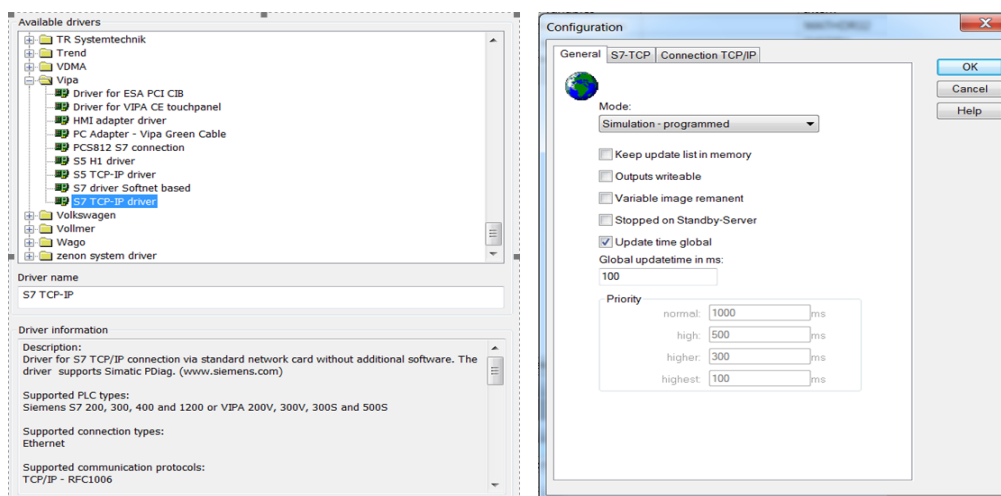


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою управління та його настройка

Name	Identification	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Align...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	§
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter text	Filter...	Filter
Product			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3	
Volume			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкту управління

У процесі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування впроваджена модель об'єкта керування, яка базується на раніше створеному програмному модулі. Далі, за допомогою користувацького функціонального блоку, отриманого у процесі, розроблено програмне забезпечення для об'єкта керування.

Більш докладний перелік програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення об'єкта керування докладно описано у додатку Б.

Щодо реалізації програмного забезпечення регулятора, спочатку був створений проект регулятора, як показано на рисунку 4.10.

State	Project name	Target host	Target port	Starttype	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проект регулятора

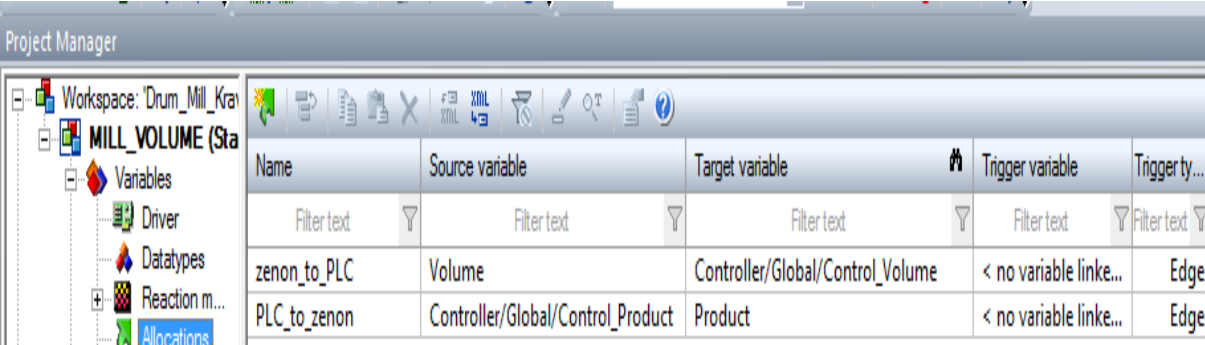
Також були створені змінні для регулятора, які відображають значення уставки наповненості млина, фактичне значення керованої величини та вплив на управління, як це вказано у додатку Б.

Взаємодія між програмним забезпеченням регулятора та об'єктом управління реалізована за допомогою механізму розподілу «Allocations», як показано на рисунку 4.11.

Механізм розподілу «Allocations» відноситься до системи аллокування або виділення ресурсів у контексті програмування та управління системами автоматичного керування. У визначеному контексті

він визначає, як програмне забезпечення регулятора та об'єкта управління взаємодіють та обмінюються інформацією та змінними.

Механізм «Allocations» встановлює взаємозв'язок між змінними регулятора та відповідними параметрами об'єкта управління, розподіляючи та надаючи доступ до необхідної інформації між цими двома компонентами системи автоматичного керування. Це може включати передачу уставок, фактичних значень, керуючих впливів та інших параметрів, необхідних для ефективного взаємодії та керування процесом. Такий механізм забезпечує координацію та синхронізацію роботи регулятора та об'єкта управління для досягнення бажаного результату в автоматизованій системі.



Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
Filtertext	Filtertext	Filtertext	Filtertext	Filtertext
zenon_to_PLC	Volume	Controller/Global/Control_Volume	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_Product	Product	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.11 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, створені два розподіли – перший, що копіює значення наповненості млина до регулятора, та другий – для передачі керуючого сигналу на привод конвеєра з регулятора до об'єкта керування. Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведені у додатку Б.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Одною з основних частин програмного забезпечення системи автоматичного керування є людино-машинний інтерфейс.

Людино-машинний інтерфейс (ЛМІ) представляє собою систему взаємодії між користувачем та технічним пристроєм чи програмним продуктом. Ця взаємодія включає в себе способи, за допомогою яких людина може взаємодіяти з інформаційними системами, електронними пристроями, робототехнікою та іншими технічними засобами. Розглянемо ключові аспекти та характеристики роботи ЛМІ на прикладі різних областей.

1. Графічний інтерфейс: В інформаційних системах, таких як комп'ютерні програми та мобільні додатки, графічний інтерфейс (GUI) використовує графічні елементи, такі як кнопки, меню та вікна, щоб користувач міг взаємодіяти з програмою шляхом миші, сенсорного екрана або клавіатури.

2. Голосовий інтерфейс: За допомогою голосового інтерфейсу користувач може взаємодіяти з системою за допомогою голосових команд. Це широко використовується в системах інтелектуальних асистентів, домашніх системах автоматизації та автомобільних інтерфейсах.

3. Сенсорний інтерфейс: Сенсорний інтерфейс використовує сенсорні технології для взаємодії з користувачем. Це може включати сенсорні екрани, тачпади, жести та інші методи введення, які реагують на фізичний контакт користувача.

4. Віртуальна реальність (VR) і Розширена реальність (AR): В VR і AR інтерфейсах створюються іммерсивні взаємодії з допомогою віртуальних чи розширених об'єктів, які користувач бачить у віртуальному або реальному світі через спеціальні пристрої.

5. Біометричні інтерфейси: Використовуючи біометричні дані, такі як відбитки пальців, розпізнавання обличчя чи сканування радужки, системи можуть визначати особу та надавати доступ або функції відповідно до ідентифікації.

6. Адаптивний інтерфейс: Адаптивний інтерфейс може налаштовуватися відповідно до потреб та навичок користувача. Наприклад, автоматично змінювати розмір шрифту або підганяти функціонал на основі історії використання.

Людино-машинний інтерфейс постійно розвивається, а нові технології спрощують та роблять більш доступними взаємодію між людьми та технікою. Це робить використання різноманітних систем більш ефективним, зручним та приємним для користувачів.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволяють переходити між різними зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривоги.

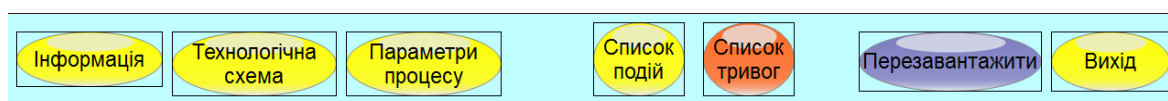
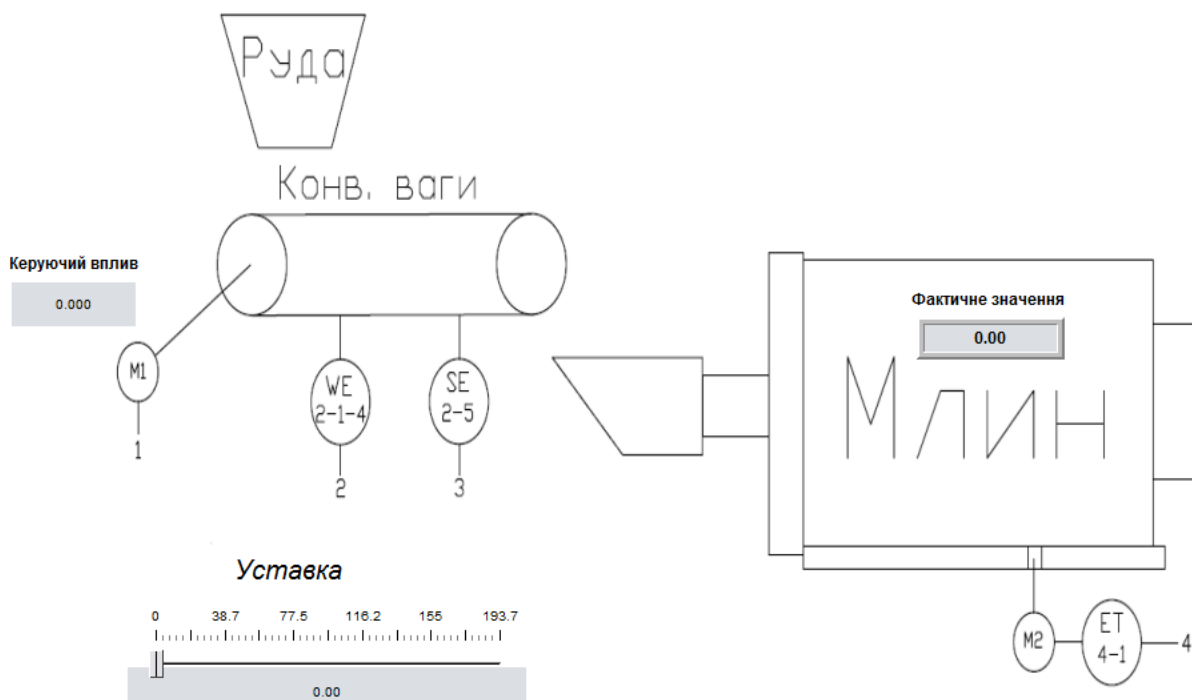


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рисунку 4.12 показано зображення кнопок що були реалізовані для ЛМІ. Кожна з кнопок має певну функцію:

- «Об'єкт керування» – при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на зображення технологічної схеми, на якій показане розташування датчиків та виконавчих пристроїв (рисунок 4.13). Реалізація роботи цієї кнопки виконана з використанням функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення;



Система автоматичного керування процесом подрібнення в лінії збагачення ГЗК

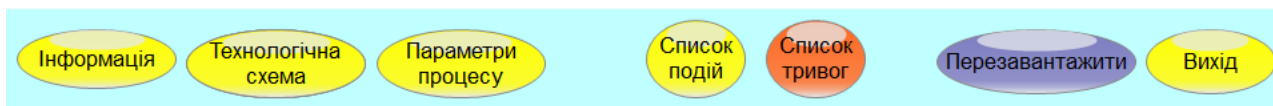


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

- кнопки «Параметри процесу», «Список подій» та «Список тривоги» реалізовані аналогічно. Вони дозволяють перейти на зображення, що відповідають назвам кнопок, та які показані на рис. 4.14, рис. 4.15 і рис. 4.16 відповідно.

Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» створені за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.

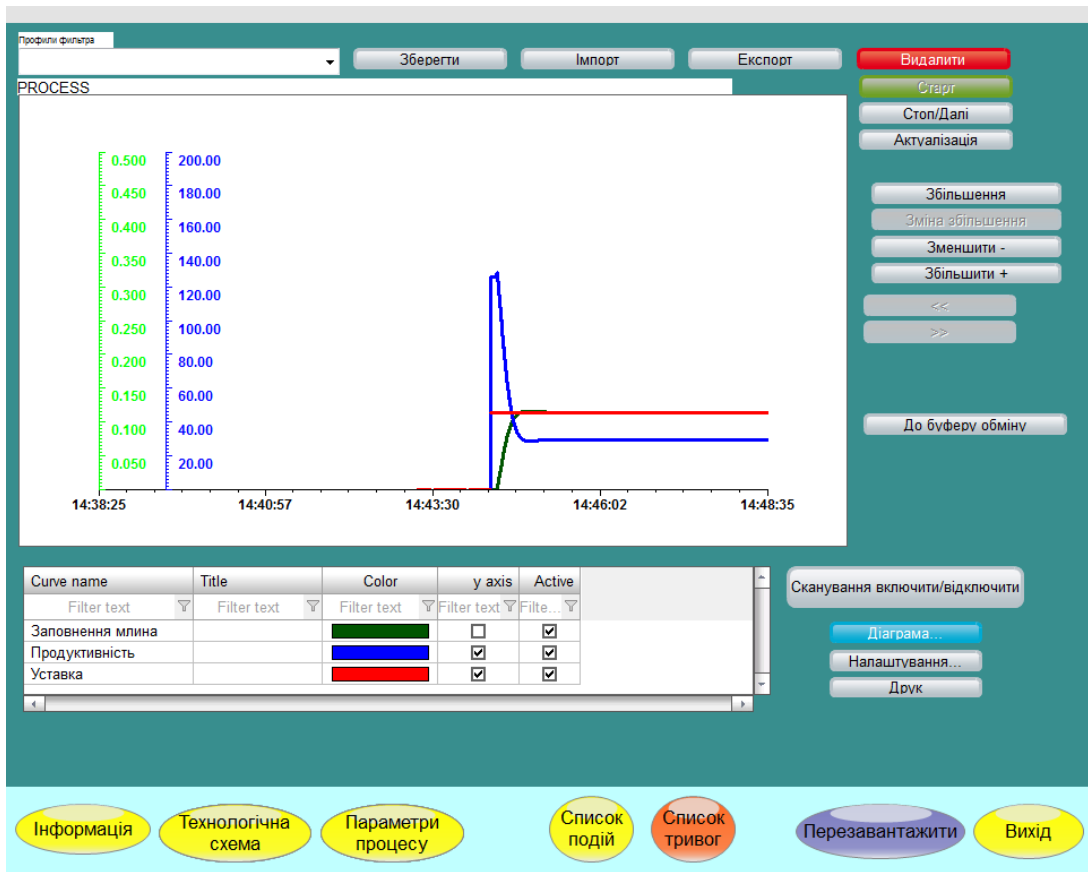


Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Оди...	Користувач - п...
15.01.2022 14:35:21	System was started				SYSTEM
15.01.2022 14:35:34	Modify spontaneous value: (50.31)	Controller/Global/Control_	50.31		SYSTEM
15.01.2022 14:36:57	System was stopped				SYSTEM
15.01.2022 14:43:16	System was started				SYSTEM
15.01.2022 14:44:22	Modify spontaneous value: (45.05)	Controller/Global/Control_	45.05		SYSTEM

Рисунок 4.15 – Зображення списку подій

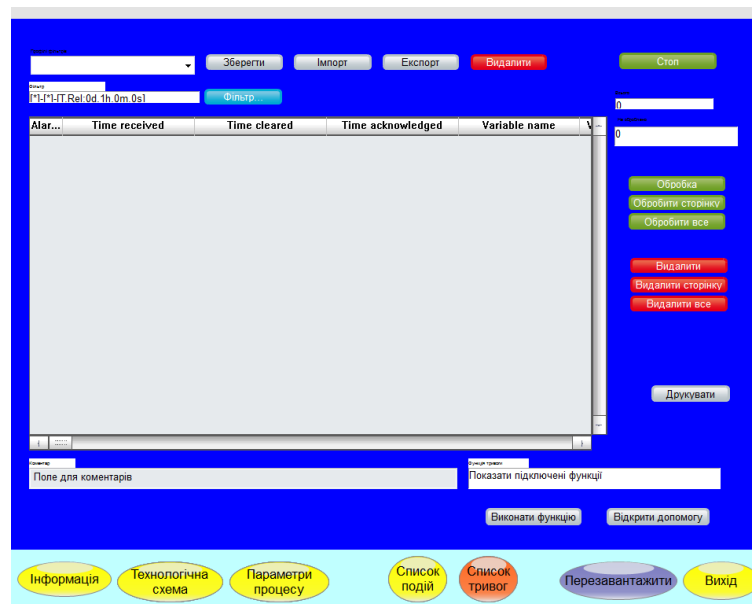


Рисунок 4.16 – Зображення списку тривог

Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.17.

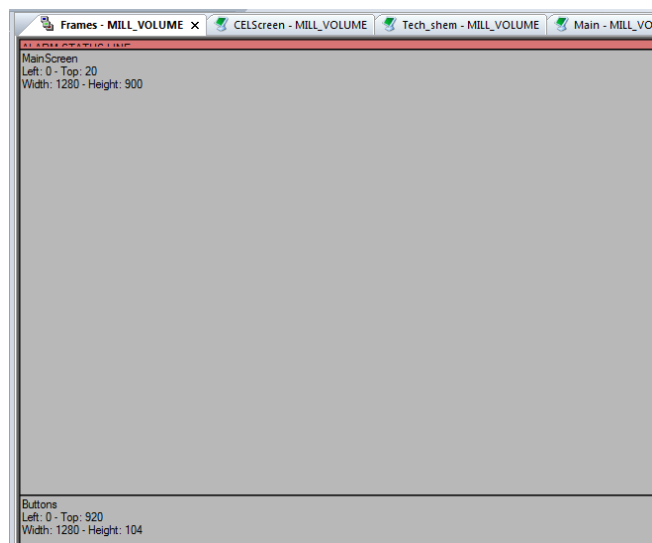


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні графічні елементи розміщені у головному вікні, а зображення, супроводжуючі кнопки, відображаються у відокремленому блоку, який є статичним і залишається видимим постійно. Для створення зображень «Список подій» та «Список тривог» використано готові шаблони в рамках SCADA-системи zenon. Детальніша інформація про розроблене програмне забезпечення для ЛМІ подана в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка ефективності програмного забезпечення здійснювалася шляхом подачі різних значень уставок наповненості барабанного млина в межах від 30 до 70. З аналізу рисунка 4.18 видно, що об'єкт та регулятор працюють належним чином, відповідаючи всім вимогам щодо якісного функціонування системи автоматичного керування.

Перехідний процес є монотонним, і регулятор успішно виконує завдання з обмеження перерегулювання на рівні до 5%.

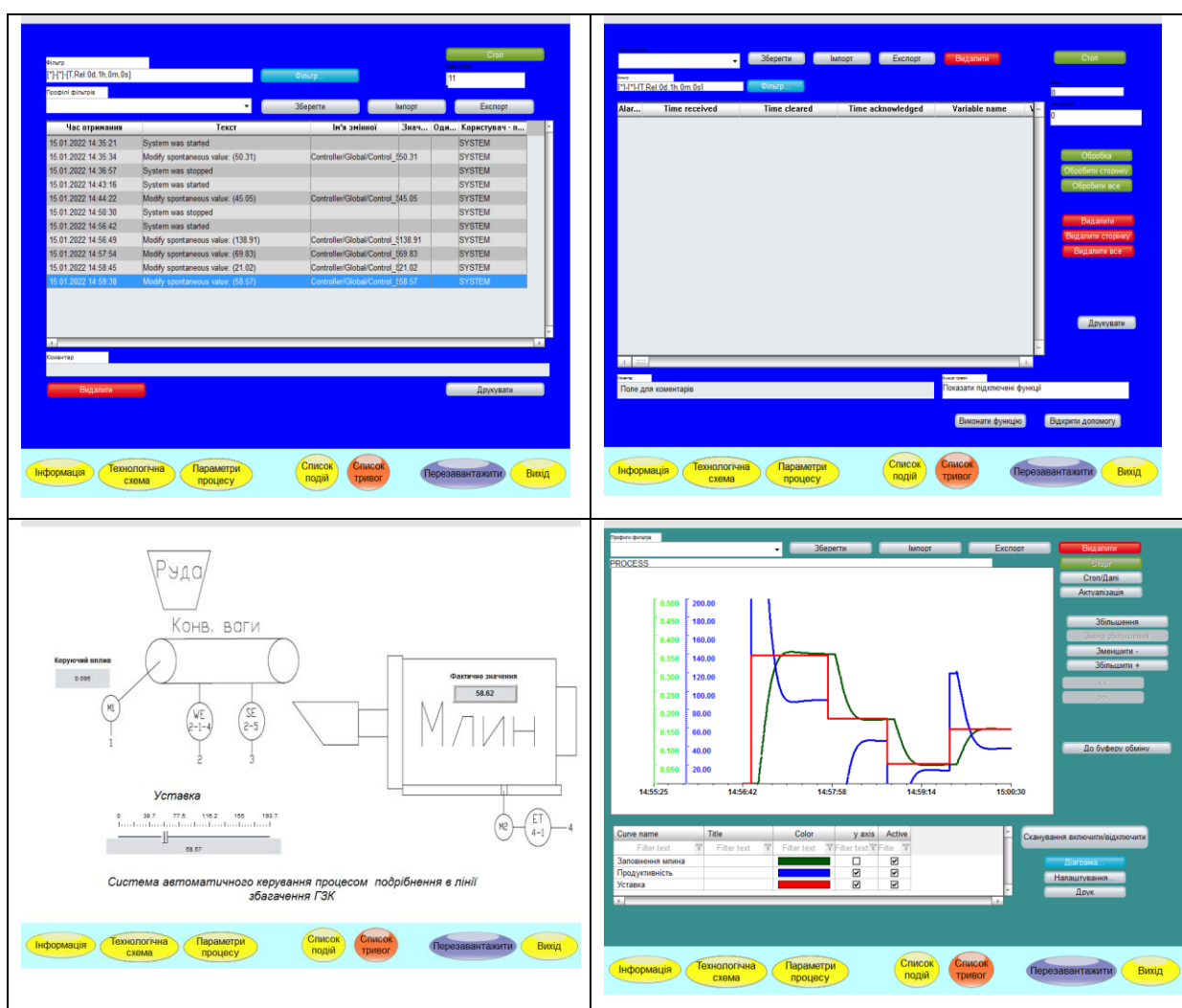


Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування програмного забезпечення системи керування

Під час тестування роботи ЛМІ виявлено, що всі кнопки функціонують правильно, а технологічна схема коректно відображає всі необхідні дані щодо стану та функціонування системи автоматичного керування.

Відомості про зміну уставки додаються до списку подій. Оскільки система автоматичного керування працює відповідно до встановлених норм, список тривог залишається порожнім.

Загальний висновок з проведеного аналізу дозволяє стверджувати, що програмне забезпечення ЛМІ працює правильно, відповідає вимогам до системи автоматичного керування і може бути успішно впроваджене на виробництві.

4.5 Висновки до розділу

Під час даного дослідження було розроблено програмне забезпечення для об'єкта керування, регулятора та інтерфейсу взаємодії людини з машиною.

Проведено тестування функціональності системи автоматичного керування у процесі подрібнення в лінії збагачення гірничо-збагачувального комбінату.

Результати підтвердили, що розроблене програмне забезпечення для об'єкта керування, регулятора та інтерфейсу працює надійно та відповідає вимогам системи автоматичного керування.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аргументація необхідності впровадження автоматизації в виробничий процес

У даному дослідженні розглядається процес автоматизації подрібнення на лінії гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК). Для підвищення загальної продуктивності та ефективності цього процесу необхідне впровадження сучасного обладнання та передових технологій.

Автоматизована система може задовольнити потреби у постійному контролі за протіканням технологічного процесу. Переваги такого інноваційного підходу включають енергозбереження та оптимізацію використання ресурсів, збільшення продуктивності виробництва та скорочення часу, необхідного для підготовки обладнання до процесу подрібнення.

Автоматизація виробничого процесу може сприяти покращенню загальної продуктивності завдяки надійному контролю та оптимізації різних етапів виробничого циклу. Також, впровадження автоматизованої системи дозволить підняти якість виробництва, зменшити ймовірність помилок та оптимізувати використання ресурсів.

Ці інноваційні заходи в сфері автоматизації виробничих процесів є стратегічно важливими для сучасних підприємств, оскільки вони сприяють вдосконаленню ефективності виробництва та забезпеченню конкурентоспроможності підприємства на ринку.

5.2 Визначення капітальних вкладень

Визначимо обсяг капітальних витрат, які необхідні для впровадження та реалізації автоматизованої системи подрібнення. До цих

капітальних витрат включаються вартість установки, вартість транспортування та вартість проведення монтажних робіт:

$$K = K_{уст} + K_{тр} + K_{мн} \quad (5.1)$$

де $K_{уст}$ - витрати на обладнання,

$K_{тр}$ - витрати на транспортування обладнання,

$K_{мн}$ - витрати на монтаж обладнання.

$K_{уст}$ розраховано в таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 – Вартість комплектуючих

№	Найменування виробів згідно проектних розробок	Од. виміру	Кількість	Оптова ціна за од., грн	Сума, грн
1	Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33	шт.	1	17558,00	17558,00
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	шт.	1	5233,00	5233,00
3	Блок живлення	шт.	1	1185,00	1185,00
5	ТензOMETричний датчик	шт.	1	52590,00	52590,00
6	Конвесрні ваги M8400-2-5	шт.	1	172509,00	67509,00
7	Частотний перетворювач Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1	шт.	1	78142,00	78142,00
	Разом				222217,00

$K_{тр}$ витрати на транспортно-заготівельні і складські витрати визначаються по всіх розділах в залежності від вартості обладнання матеріалів, виробів, конструкцій, беруться 8 % від загальної вартості. $K_{тр} = 17777.36$ грн.

$K_{мн}$ приймаємо на рівні 7 % від вартості обладнання, тобто 15555.19грн.

Отже, згідно з отриманими значеннями розрахуємо:

$$K = 222217 + 17777.36 + 15555.19 = 255549.55 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків занесені в таблицю 5.2:

Таблиця 5.2 - Перелік витрат та їх величина

Перелік витрат	Величина витрат, грн.
Витрати на транспортування установки	17777.36
Вартість монтажних робіт	15555.19
Вартість установки	222217
Разом	225550

5.3 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати включають різноманітні складові, що охоплюють різні аспекти фінансового утримання та функціонування системи. Ці витрати охоплюють витрати на ресурси, оплату праці обслуговуючого персоналу, відрахування на соціальні заходи, амортизаційні відрахування, вартість витратних матеріалів, витрати на поточний ремонт та інші витрати.

По-перше, витрати на ресурси включають в себе затрати на енергію, сировину та інші матеріальні ресурси, необхідні для нормального функціонування системи. Це може включати витрати на електроенергію, паливо, воду та інші необхідні ресурси.

По-друге, витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу включають виплати основному та додатковому персоналу, а також відрахування на соціальні заходи. Ця складова витрат враховує оплату праці працівників, включаючи всі зобов'язання перед ними.

По-третє, амортизаційні відрахування враховують вартість зносу та старіння обладнання з часом. Це важливий аспект, оскільки дозволяє враховувати вартість використання активів та підготувати резерв для їхньої подальшої заміни чи модернізації.

По-четверте, вартість витратних матеріалів охоплює витрати на необхідні матеріали та ресурси для забезпечення стабільної роботи системи.

По-п'яте, витрати на поточний ремонт включають в себе витрати на регулярний та невеликий ремонт обладнання, щоб забезпечити його нормальне функціонування.

Зазначені складові утворюють комплекс експлуатаційних витрат, який обліковує різні аспекти ефективного та безперебійного функціонування системи протягом року.

Річні витрати на ресурси V_p визначаються за формулою:

$$V_p = W \times C_e \times t \quad (5.2)$$

де W – потужність установки, кВт = 1.5;

C_e – вартість одного кВт·год = 1,66 грн;

t – час роботи установки на рік у базовому режимі, год = 2008 (при 40-годинному трудовому тижні).

$$V_p = 1.5 \times 2008 \times 1,66 = 5000 \text{ грн.}$$

2. Розрахунок річних витрат на основну та додаткову заробітну плату обслуговуючого персоналу, а також визначення суми відрахувань на соціальні заходи виконується згідно з наступною формулою:

$$Z_{оп} = \sum_{j=1}^n T_{mj} \times K_{zj} \times K_{dj} \times K_c \times 12 \quad (5.3)$$

де T_{mj} – місячний посадовий оклад (ставка) j -го фахівця;

k_{zj} – коефіцієнт трудової участі (частка робочого часу на обслуговування установки j -м спеціалістом);

k_{dj} – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (беремо $k_{dj} = 1,1-1,3$);

k_c – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи (беремо $k_c = 1,22$);

n – кількість фахівців.

Для експлуатації установки залучено наступний персонал: один оператор ПК, відповідальний за керування установкою; один технологічний наглядач, який проводить огляд та профілактику обладнання в кінці робочої зміни; два інженера-механіка, які виконують ремонтні роботи за необхідності. Відповідно до цього розроблена таблиця 5.3, в якій розраховані річні витрати на зарплату працівників, включаючи коефіцієнт участі, соціальні відрахування та додаткову оплату.

Таблиця 5.3 – Розрахунок заробітної плати робочого персоналу

Вид обслуговування	Професія	Місячний оклад, грн	Коефіцієнт зайнятості	Кількість персоналу, чол.	Витрати на заробітну плату, грн/рік
Керування об'єктом	Оператор подрібнення	15650	1	1	274940
Огляд та профілактика пошкоджень	Технолог	12048	0,1	1	21166
Ремонт обладнання	Інженер-механік	16322	0,03	2	17204
Разом		60342	1,13	4	313310

3. Амортизаційні відрахування за установкою доцільно розраховувати за формулою:

$$A = F \times a \quad (5.4)$$

де F – балансова вартість установки;

a – річна норма амортизації, що дорівнює $a = \frac{1}{T_{\text{експл}}} = \frac{1}{15}$.

$$A = 225550 \times \frac{1}{15} = 15037 \text{ грн.}$$

4. Річна вартість витратних матеріалів. До видаткових матеріалів відноситься масло, необхідне для обробки запчастин конвеєрних вагів для якісної експлуатації. Використовується масло Yuko MGE-46B HM 46, яке

має ціну 1180 грн. Протягом року витрачаються 20 літрів такого масла, відповідно витрати становлять 1180 грн.

5. Річні витрати на ремонт беруть такими, що дорівнюють 5 % від вартості установки з урахуванням прогнозування відмов:

$$V_{\text{пр}} = F \times k_{\text{пр}}/100 \quad (5.5)$$

де $k_{\text{пр}}$ – відсоток витрат на поточний ремонт.

$$V_{\text{пр}} = 225550 \times 5\% = 11278 \text{ грн.}$$

6. До інших витрат віднесемо закупівлю спецодягу для працівників, які обслуговують установку, і прийmemo їх на рівні 4% від річного фонду заробітної плати співробітників і розрахуємо їх за такою формулою:

$$V_{\text{пр}} = Z_{\text{оп}} \times 4\% \quad (5.6)$$

$$\text{Тож, } V_{\text{пр}} = 313310 \times 4\% = 12532 \text{ грн.}$$

Отримані дані занесені в таблицю 5.4 :

Таблиця 5.4 - Експлуатаційні витратт

Витрати	Обсяг витрат, грн.
Витрати на ресурси	5000,00
Зарплата обслуговуючого персоналу	313310,00
Амортизаційні відрахування	15037,00
Вартість витратних матеріалів	1180,00
Витрати на поточний ремонт	11278,00
Інші витрати	12532,00
Разом (Вре)	358337,00

За розрахунками річні витрати склали: $V_{\text{ре}} = 358337,00$ грн.

5.4 Оцінка економічної ефективності оптимізації

5.4.1 Прибуток від підвищення продуктивності

Розрахуємо річний прибуток з процесу подрібнення, отриманий внаслідок впровадження запропонованої в кваліфікаційній роботі технології оптимізації процесу подрібнення за формулою:

$$\text{Пріч} = V_{\text{рiч}} \times \text{Ц} - V_{\text{ре}}, \quad (5.7)$$

де $V_{\text{річ}}$ – річний обсяг виробленої продукції або послуг, отриманих завдяки введенню в експлуатацію нової установки або технології;

Ц – тариф або ринкова ціна одиниці продукції.

Оптимізація процесу запропонованою технологією дозволила підвищити продуктивність цеху на 6%. Розрахуємо $V_{\text{річ}}$, спираючись на те, що ми добуваємо кам'яне вугілля. На рік отримуємо $V_{\text{річ}} = 15$ тис т вугілля. Ринкова ціна тони продукції = 1251 грн/т., а чистий прибуток з однієї тони вугілля становить 125 грн., $\text{Ц} = 125$ грн.

$$P_{20} = 15000 \times 125 - 358337 = 1516663 \text{ грн.}$$

$$P_{21} = 15900 \times 125 - 358337 = 1629163 \text{ грн.}$$

Із загальної величини прибутку виділимо ту частину, зміна якої зумовлена впровадженням оптимізації:

$$\Delta P_t = P_{21} - P_{20} \quad (5.8)$$

$$\Delta P_t = 1629163 - 1516663 = 112500 \text{ грн.}$$

де ΔP_t – зміна прибутку, зумовлена впровадженням оптимізації P_{21} , P_{20} – показники прибутку в 2020-2021 роках з реалізацією та без реалізації оптимізації.

5.4.2 Рентабельність оптимізаційних заходів

Рентабельність R_i реалізації проекту розрахуємо за формулою простої норми прибутку:

$$R_i = \Delta P_t \times 100\% \div \Delta K \quad (5.9)$$

де ΔK – капітальні вкладення на впровадження енергоощадних заходів, грн.

$$R_i = 112500 \div 313310 \times 100\% = 35\%$$

Цей показник рентабельності є задовільним, а запропоновані оптимізаційні заходи можна вважати вдалим.

5.4.3 Приведені витрати

Розрахуємо приведені витрати V , що є сумою річних витрат (собівартості) та нормативного доходу від оптимізації технологічного процесу.

$$V = E_n \times K + V_{pe} \quad (5.10)$$

де K – капітальні вкладення;

V_{pe} – поточні щорічні витрати (включаючи амортизаційні відрахування);

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, $E_n = 0,12$.

$$V = 0,12 \times 313310 + 358337 = 395934 \text{ грн.}$$

5.4.4 Період повернення капіталу (термін окупності)

Розрахуємо період окупності витрат T для приблизної оцінки терміну повернення капіталу.

$$T = K \div \Delta\Pi \quad (5.11)$$

$$T = 313310 \div 112500 = 2.5 \text{ рока}$$

Таким чином, були розраховані найважливіші критерії ефективності оптимізації процесу подрібнення кам'яного вугілля. Отримані значення занесено до таблиці 5.5:

Таблиця 5.5 - Очікувані економічні показники

№	Перелік показників	Значення
1	Капітальні вкладення, грн	313310,00
2	Річні експлуатаційні витрати, грн	358337,00
3	Техніко-економічні показники	
3.1	Додаткова продукція на рік, т.	900,00
3.2	Прибуток на одиницю продукції, грн	125,00
3.3	Додатковий прибуток, грн	112500
3.4	Рентабельність заходу, %	35
3.5	Приведені витрати, грн	395934
3.6	Термін окупності, років	2.5

5.5 Висновки по розділу

У данному розділі були проведені розрахунки основних показників ефективності проекту, спрямованого на оптимізацію процесу подрібнення. Отриманий високий рівень відсотка рентабельності, який складає 35%, свідчить про задовільну ефективність проекту. Цей результат пояснюється тим, що впровадження оптимального заповнення млина не вимагає значних витрат, а його позитивний вплив на усі етапи виробництва призводить до значного підвищення продуктивності.

Показник рентабельності визначається як відсоток відношення чистого прибутку до загальних витрат проекту. У данному випадку отриманий рівень рентабельності 35% свідчить про те, що вкладені кошти в оптимізацію процесу подрібнення є ефективними та перспективними.

Слід відзначити, що вартість впровадження оптимального заповнення млина є відносно невеликою порівняно з очікуваними позитивними результатами. Підвищення продуктивності та ефективніша робота на всіх етапах виробництва вносять вагомий вклад у загальний успіх проекту.

Отже, отримані результати свідчать про те, що оптимізація процесу подрібнення є виправданою та призводить до позитивного впливу на фінансові показники підприємства.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Метою охорони праці є виявлення технічних, економічних, організаційних і соціальних можливостей поліпшення умов безпеки праці, збереження здоров'я і працездатності людини.

Передбачена модернізація та дослідження динамічних властивостей автоматизованого електроприводу кульового млина з поліпшеними пусковими характеристиками в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК». Тому в даному розділі розглянуті основні шкідливі і небезпечні виробничі чинники на підприємстві, узагальнені питання техніки безпеки, пожежної профілактики та захисту навколишнього середовища.

6.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат введений в експлуатацію в 1970 році під назвою Дніпровський ГЗК. На ньому добуваються кар'єрним способом магнетитові кварцити з випуском залізорудних окатишів, приміняних в чорній металургії і виробництві сталі.

До складу комбінату входять такі виробничі об'єкти: кар'єр з видобутку корисних копалин; дві дробильні фабрики; фабрика сухої магнітної сепарації; дві збагачувальні фабрики; дві фабрики огрудкування залізорудного концентрату, цех технологічного автотранспорту, залізничний цех, а також допоміжні: технічного водопостачання і шламового господарства, енергетичний, ремонтно-будівельний та інші об'єкти допоміжного призначення.

Основні фабрики по переробці руди знаходяться на центральній проммайданчику комбінату, яка примикає до річкового порту. Проммайданчик комбінату знаходиться на південній стороні кар'єра на відстані 1 км з відмітками 70-73 м вище рівня моря. Електропостачання комбінату здійснюється від системи «Дніпро-енерго». Технічною водою

комбінат забезпечується від Дніпродзержинського водосховища, а питної - з артезіанських свердловин.

Згідно з ДСП 173-96 ПрАТ «Полтавський ГЗК» відноситься до Класу I. Санітарно-захисна зона 1000 м.

В приміщенні цеху передбачено створення мікроклімату, який забезпечує задовільні умови праці для роботи персоналу. Оптимальні мікрокліматичні умови при тривалому і систематичному впливі на людину забезпечують нормальний тепловий стан організму без напруги і порушення механізму терморегуляції.

Робота оператора млину відноситься до категорії Іб відповідно ДСН 3.3.6.042-99 і відноситься до робіт, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням. Загальні енерговитрати організму робітника даної категорії робіт 175 Вт (або 150 ккал/год.).

Допустимі і фактичні параметри метеоумов згідно ГОСТ 12.1.005-88 та ДСН 3.3.6.042-99 приводяться в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Допустимі і фактичні параметри метеоумов

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с, не більше	
		Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима
Холодний	Іб	16-22	20-24	40-60	75	0,1	0,1-0,3
Теплий		26-34	21-28	40-60	60 при 27 °С	0,2	<0,2

Температура внутрішніх поверхонь приміщень (стіни, підлога, стеля), а також температура зовнішніх поверхонь технологічного устаткування або його захисних обладнань (екранів і т. ін.) не повинна виходити за межі допустимих величин температури повітря для даної категорії робіт, вказаних в таблиці 6.1. З наведеної таблиці видно, що

температура повітря робочої зони в теплий період перевищує допустимі норми.

В приміщенні цеху вміст вуглецю становить 1-1,5% і не може завдати шкоди організмові працівників.

Враховуючи, що в цеху підвищена концентрація пилу, аналізуємо на даний шкідливий чинник. Пил може бути у вигляді аерозоллю або аерогелю.

Оцінюючи параметри запиленості цеху, слід звернути увагу, що пил гігієнічно шкідливий з огляду впливу на організм людини. Найбільш небезпечними вважаються частинки розмірів від 3 -10 мкм, які потрапляючи в легені при диханні затримуються в них і накопичуються. Що призводить до захворювань.

За ДСН 3.3.6.042–99 нормуються гранично допустимі концентрації різного пилу в робочій зоні. ГДК пилу різного походження коливаються від 1 до 10 мг/м³.

Найбільш високий вміст пилу спостерігається на складі готової продукції. При відсутності вентиляції концентрація пилу в повітрі безпосередньо у робітників складає 180 ÷ 240 мг/м³. На складі готової продукції середня концентрація пилу складає 20 ÷ 40 мг/м³. Приведені концентрації значно перевищують значення гранично припустимих концентрацій, яка за ГДК складає 10 мг/м³.

Шум - один із шкідливих факторів виробництва. Шум нормується за ДСН 3.3.6.037-99. Основою нормування є обмеження звукової енергії, яка діє на працівника протягом робочої зміни, значеннями безпечними для її здоров'я і працездатності.

Шум визиває робота двигунів, обладнання. Шум в приміщенні згідно з нормами не перевищує 60 дБА.

Таблиця 6.2 - Допустимі рівні звукового тиску

	Рівні звукового тиску в (дБ) в октавних смугах з середньгеометричними частотами (Гц)								Рівень звуку дБ(А)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Допустимий рівень зв. тиску	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Як бачимо з аналізу таблиці 6.2 рівень звукового тиску в даному приміщенні не порушує норми і є задовільним для роботи.

Працівники цеху піддаються впливу вібрації, гігієнічна оцінка вібрації здійснюється згідно з ДСН 3.3.6.039–99.

Коливання тіл з частотою 16 Гц сприймається організмом, як вібрація.

Генерується вібрація ручним інструментом, механізмами і сприймається тілом людини при безпосередньому контакті.

Таблиця 6.3 - Допустимі значення нормованих параметрів локальної вібрації

Середньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Допустимі значення нормованих параметрів локальної вібрації			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м/с ²	дБ	м/с*10 ⁻²	дБ
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109

Таблиця 6.4 - Фактичні значення нормованих параметрів локальної вібрації

Середньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Допустимі значення нормованих параметрів локальної вібрації			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м/с ²	дБ	м/с*10 ⁻²	дБ
63	5,2	80	1,3	105
125	10,5	90	1,3	105

Фактичні показники вібрації на даній ланці виробництва, як видно з таблиць (6.3 та 6.4) не виходять за рамки допустимих показників.

Продуктивність праці та безпека працівника значною мірою залежить від якісних і кількісних характеристик освітленості робочого місця, як фактора ефективного функціонування зорової та рухової систем людини. Багато нещасних випадків на виробництві стається через погане освітлення. Світло викликає біологічні і психологічний вплив на організм людини. Часте пристосування очей, різкі тіні, освітлення надто яскравим світлом втомлюють очі, знижують їх захисну реакцію, око втрачає контрастну чутливість і гостроту зору.

Згідно ДБН В.25-28-2006 робота оператора млину відноситься до VI розряду зорової роботи, який характеризується роботою дуже малої точності.

Параметри природного освітлення забезпечуються за рахунок світлових прорізів у стінах приміщень і аераційних ліхтарів. Параметри природного і штучного освітлення приведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 - Параметри природного і штучного освітлення

Розряд зорової роботи	Природне освітлення			Штучне освітлення			
	Район по ресурсам світового клімату	m, коеф. світового клімату	КПО, e_n , %	Освітленість, E, лк		Пок. освітленості P	Коеф пульс., %
				Нормативне значення	Фактичне значення		
VI	1	1	1,8	200	180	40	20

При освітленні приміщення цеху використовують природне освітлення та штучне, яке здійснюється електричними лампами, і комбіноване, при якому у світлий час доби недостатнє освітлення доповнюється штучним.

Окрім вказаних шкідливостей на ділянці є частини механізмів, що обертаються, які можуть травмувати персонал, що не дотримується правил охорони праці. Всі рухомі деталі, що обертаються, захищені.

Законом України "Про охорону праці" на працівника покладається обов'язок знати і виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поведіння з машинами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту; дотримуватися зобов'язань щодо охорони праці, передбачених колективним договором та правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства; проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди; співробітничати з власником у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці; особисто вживати посилюючих заходів щодо усунення будь-яких виробничих ситуацій, які створюють загрозу для працюючих.

У зв'язку з тим, що однією з істотних причин виробничого травматизму є недостатнє знання працюючими безпечних методів і прийомів роботи на заводі проводяться наступні заходи.

При прийомі на роботу робітників і службовців, а також при переведенні на іншу роботу або при зміні характеру роботи адміністрація підприємства зобов'язана ознайомити працівників з питаннями безпеки праці, виробничої санітарії та протипожежної профілактики шляхом проведення спеціального інструктажу та навчання. Без цього допуск до роботи не дозволяється.

Робота персоналу по обслуговуванню електрообладнання, а також осіб що знаходяться поруч з обладнанням, пов'язана з впливом електромагнітного випромінювання. За ГОСТом 12.1.002-84 ССБТ[32] опромінення електричним полем регламентується як за величиною напруженості, так і за часом дії.

Електричне обладнання, є потенційно небезпечним для працюючих, оскільки органи відчуття людини на віддалі не можуть виявити електричну напругу.

Таблиця 6.6 - Класифікація виробничих приміщень за електробезпекою

Приміщення за ступенем ураження	Вологість, %	Температура, °С	Клас
Приміщення без підвищеної безпеки	40 - 60	20 - 28	1
Приміщення з підвищеною небезпекою	Більша 75	Більша 35	2
Приміщення особливо небезпечні	Близько 100		3

Приміщення цеху за ступенем небезпеки ураження людей відповідно таблиці 6.6 належить до класу 1.

Згідно ПУЕ приміщення цеху відносяться до категорії приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом, так як небезпека ураження електричним струмом тут обумовлена великою кількістю електрообладнання, наявністю струмопровідного пилю, високою вологістю, а також можливістю одночасного дотику до сполученим з землею металевих елементів технологічного обладнання і корпусом електрообладнання.

За застосовуваній напрузі цех відноситься до приміщень з електроустановками напругою вище 1000 В. За доступності електрообладнання - до виробничих приміщень.

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 виробничий процес у цеху з вибухо- і пожежобезпеки відноситься до категорії «В»; клас зони пожежонебезпеки П-Па.

Будівлю цеху побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій, цегли, залізобетону, скла і ін.) і, згідно ДБН В.1.1-7-2002, вона має II ступінь вогнестійкості.

Для забезпечення пожежної безпеки використовуються наступні заходи: вся апаратура управління розміщена в герметизованому контейнері, електродвигуни всіх механізмів мають ступінь захисту від зовнішнього середовища.

Для ліквідації вогнищ загоряння застосовуються такі засоби

пожежогасіння: ящики з піском, внутрішні пожежні крани, забезпечені протипожежним рукавом. Розташовані вони поблизу пожежонебезпечних ділянок виробництва, на увазі. Робочі знають місця їх розміщення. Ящики з піском використовуються для ліквідації починаються пожеж на окремих ділянках.

Внутрішній пожежний кран встановлений біля входу в приміщення. При ньому знаходиться викидний рукав довжиною 10 м і стовбур, які розміщуються в спеціальній шафі. Зовні будівлі по її периметру в підземних колодязях розміщені пожежні гідранти.

Для доступу на дах будівлі використовуються пожежні сходи, укріплені на стінах. Для гасіння можливих пожеж в цеху (відділі, ділянці, лабораторії) передбачені первинні засоби пожежогасіння, які визначаються на підставі НАПБ А.01.001-2004 та НАПБ Б.03.001-2004.

Пожежною сигналізацією обладнанні всі приміщення цеху. Для гасіння пожеж в електроустановках застосовуються ручні газові вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-5, найбільш поширені засоби пожежогасіння, призначені для гасіння невеликих загорянь різних речовин і матеріалів, а також електроустановок, що знаходяться під напругою не більше 380 В. Вогнегасник типу ОУ-5 являє собою сталевий товстостінний балон, заповнений рідкою вуглекислою.

6.2 Заходи поліпшення умов праці

6.2.1 Заходи для безпечної роботи з млинами

До роботи з млином допускаються особи з числа оперативного персоналу, які мають групу з електробезпеки не нижче Ш, які вивчили справжню «Інструкцію по експлуатації» і пройшли інструктаж з техніки безпеки з відповідним записом в Журналі обліку перевірки знань інструкцій по ТБ.

Оперативне обслуговування млина необхідно проводити строго відповідно до вимог "Галузевих правил з охорони праці (правил безпеки) при експлуатації електроустановок».

Всі особи, які взаємодіють в будь-якій формі з млином, повинні вивчити і керуватися також приводяться нижче правилами:

- Забороняється під час роботи обладнання залишати робоче місце або передоручати спостереження за працюючої млином іншій особі, яка не має допуску до роботи з нею.

- Забороняється експлуатувати млин без захисної огорожі.

- Забороняється подрібнювати на млині матеріали, що не мають охарактеризованих властивостей і речовини непередбачуваного або недослідженого поведінки їх при подрібненні в млині. Це може привести до аварійної ситуації і поломки млина.

- Забороняється подрібнення вибухонебезпечних матеріалів.

- Забороняється включати млин при відкритій камері подрібнення.

- Забороняється включати млин при знятих захисних кожухах приводу.

- Забороняється проводити роботи на млині при відключеною зовнішньої вентиляції.

- При роботі в безпосередній близькості з млином необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму.

- При роботі з млином необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту та спецодяг.

- Перед відкриттям млини необхідно її знеструмити, відключивши від електромережі. При цьому повинні бути виконані всі вимоги "Галузевих Правил з охорони праці (правил безпеки) при експлуатації електроустановок».

- Перед відкриттям млини необхідно її охолодити до температури 30-40 градусів. При появі сторонніх звуків, стукоту, диму, запаху або інших

ознак ненормальної роботи, при підвищенні вібрації або температури млин необхідно негайно відключити.

Повторне включення допускається тільки після з'ясування причин поганої роботи і їх усунення.

6.2.2 Індивідуальні засоби захисту

Для захисту тіла людини від таких шкідливих виробничих факторів як бруд, вода, холод, токсичні речовини, для працівників передбачена видача спецодягу і спецвзуття, а також засобів особистої гігієни (мазі, пасти), які створюють короточасну захист працюючих від дії рідин або парів отруйних речовин.

Спецодяг виконана з бавовняної тканини, що оберігає її від забруднення, також для нормальної терморегуляції організму вона виконується повітро-і паронепроникною, і вільним, щоб не заважати руху робітника. Спецодяг окремо виготовляється для чоловіків і для жінок.

Робочим ділянки флотації видається спецодяг, передбачена ГОСТом 12.4.043-78, типу А, виконана з лляної тканини.

Комплект типу А складається з куртки, напівкомбінезона і засобів захисту голови. У шві з'єднання кокетки зі спинкою і в області пахвових западин - вентиляційні отвори.

Як спецвзуття видаються гумові чоботи, передбачені ГОСТом 5375-39 79 і захищають робітників, як від води, так і від ураження електричним струмом. Для захисту від ураження електричним струмом ремонтникам видаються діелектричні рукавиці (ТУ 38.106359-79).

6.2.3 Розрахунок заземлення

Захисне заземлення - це електричне з'єднання з землею або її еквівалентом, металічних неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Мета захисного заземлення - понизити струм, який протікає через людину (Іл) при дотику до заземленого корпусу пристрою діагностики, коли там виникне Удот (напруга дотику) у результаті пошкодження або пробною ізоляції струмо- провідних частин.

Проведемо розрахунок контуру на майданчику нагляду за електрообладнанням шляхом зведення до визначення числа вертикальних заземлювачів та довжини сполучної смуги. За правилами, опір контуру заземлення не повинний перевищувати 4Ом для напруги живлення до 1000 В. В най несприятливих умовах опір одиночного заземлювача визначимо по формулі:

$$R_{ст} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H+l}{4H-l} \right).$$

У якості заземлювача вибираємо стержень:

– довжина $l=1,5$ м;

– діаметр $d=0,016$ м;

– відстань від поверхні землі до половини довжини стержня $H=0,85$ м;

– ρ – питомий опір ґрунту $\rho=10^2$ Ом·м.

$$R_{ст} = 0,366 \frac{\rho 10^2}{1,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 1,5}{0,016} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 0,85 + 1,5}{4 \cdot 0,85 - 1,5} \right) = 60 \text{ Ом.}$$

Кількість одиночних заземлювачів n розрахуємо по формулі:

$$n = \frac{R_{ст}}{r_{н.з} \cdot \eta_{ст}},$$

де $r_{н.з}$ – значення контурного заземлення, що нормує, згідно ПУЕ-86 [28], $r_{н.з} = 4$ Ом.

$\eta_{ст}$ – коефіцієнт використання одиночного заземлювача для стержнів $\eta_{ст} = 0,66$.

$$n = \frac{60}{4 \cdot 0,66} = 22 \text{ шт.}$$

Опір сполучної смуги, що з'єднує одиночні заземлювачі, визначимо по формулі:

$$R_{\text{пол}} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{b \cdot H},$$

де l – довжина смуги $l = a \cdot n = 79,2$ м;

a – відстань між стержнями $a = 3,6$ м;

H – глибина закладення смуги $H = 0,1$ м.

$$R_{\text{пол}} = 0,366 \frac{10^2}{79,2} \lg \frac{2 \cdot 79,2^2}{0,04 \cdot 0,1} = 3 \text{ Ом.}$$

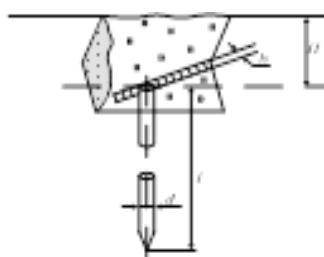


Рисунок 3.1– Заземлюючий стержень

Опір штучного контурного заземлення визначимо по формулі

$$R_{\text{к.з.}} = \frac{R_{\text{ст}} \cdot R_{\text{пол}}}{R_{\text{ст}} \cdot \eta_{\text{пол}} + n \cdot R_{\text{пол}} \cdot \eta_{\text{ст}}},$$

де $\eta_{\text{пол}} = 0,4$ - коефіцієнт використання з'єднуючої полоси в контурі

із вертикальних електродів;

$$R_{\text{к.з.}} = \frac{60 \cdot 3}{60 \cdot 0,4 + 22 \cdot 3 \cdot 0,66} = 2,66 \text{ Ом.}$$

Розраховане значення опору заземлюючого контуру задовольняє вимогам електробезпеки.

Побудуємо схему заземлюючого контуру.

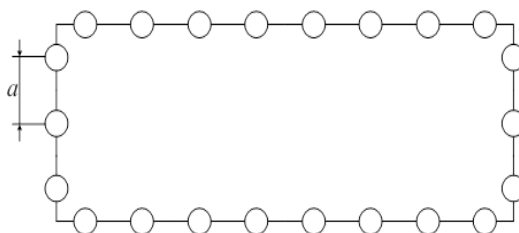


Рисунок 3.2 – План заземлюючого контуру

6.3 Захист навколишнього середовища

Природному стану регіону характерні екологічні проблеми, що притаманні всім великим містам.

Однією із стратегічних цілей розвитку Полтавської області є поліпшення навколишнього природного середовища.

Для вирішення проблем визначені основні пріоритетні напрями: розвиток інженерної інфраструктури та поліпшення стану водних об'єктів у Полтавській області; проведення невідкладних заходів щодо ліквідації наслідків шкідливої дії вод для захисту населених пунктів, сільсько-господарських угідь; виконання робіт із забезпечення сільських населених пунктів питною водою.

Для покращення екологічної ситуації необхідно:

- Підвищувати міри по охороні навколишнього середовища, ширше застосовувати в промисловості маловикідні технології.

- Вдосконалювати комбіновані виробництва, забезпечувати повне та детальне використання природних ресурсів сировини і матеріалів, які включають шкідливу дію на навколишнє середовище.

- Потрібно вдосконалювати технологічне обладнання на підприємствах, використовувати більш нові і досконалі технології, які менше забруднювати навколишнє середовище.

- Підвищити діяльність державного контролю за станом природного середовища і джерелом забруднення, покращити технологічне оснащення цієї служби більш ефективними приладами і устаткуванням.

Джерелами забруднення навколишнього середовища є викиди витяжної вентиляції і автотранспорту. Для очищення повітря від пилу встановлено пиловловлювачі, циклони, які майже на 100% очищають повітря від пилу. На території підприємства з метою поглинання шуму і поліпшення атмосфери створені зелені насадження.

ПрАТ «Полтавський ГЗК» послідовно прагне поліпшити політику управління довкіллям, впроваджуючи Систему управління довкіллям (СУОС) - ISO 14001.

ВИСНОВКИ

Випускна кваліфікаційна робота магістра представляє собою завершений науково-дослідницький проект, в рамках якого була вирішена проблема управління процесом подрібнення за параметрами "продуктивність за вхідною рудою – ступінь внутрішньомлинового заповнення". Основні досягнення роботи можна зібрати у наступні пункти:

Розглянуті різні методи управління технологічним об'єктом з запізнюванням.

Проведено розрахунки для ПД- і ПП-регуляторів, визначено значення коефіцієнта підсилення у прямому контурі САР, за якого система виходить на межу стійкості. Також розраховані частота і період коливань.

Визначено параметри ПД- і ПП-регуляторів за методом Циглера-Нікольса.

Методом моделювання на ЕОМ у середовищі SIMULINK ПП MATLAB вибраний найкращий регулятор, базуючись на оцінках показників якості САР та мінімізації дисперсії вихідної величини.

Перевірена гіпотеза про значущість відмінностей оцінок середніх і дисперсій досліджуваних САР процесом подрібнення.

Розроблено людино-машинний інтерфейс управління процесом флотації для емулятора на базі програмованого логічного контролера VIPA System 200 V і програмного забезпечення HMI/SCADA системи Zenon Supervisor 7/0.

Підтверджена ефективність вибраного регулятора на емуляторі.

Виконані економічні розрахунки щодо ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.

Розроблені та обґрунтовані заходи з безпеки праці, а також виконані розрахунки заземлення.

Список літератури

1. Корнієнко В.І. Ієрархічне адаптивне керування процесами рудопідготовки за синергетичним принципом з інтелектуальним прогнозуванням / В.І. Корнієнко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 11. – С. 61-66.
2. Корнієнко В.І. Адаптивне керування процесами рудопідготовки за мінімумом узагальненої роботи з інтелектуальним прогнозуванням / В.І. Корнієнко // Гірничая електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 83. – С. 79-88. – ISSN 0201-7814.
3. Корнієнко В.І. Методика ідентифікації нелінійних процесів рудопідготовки / В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна // Гірничая електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 82. – С. 77-85. – ISSN 0201-7814.
4. Бубнова Т.О. Адаптивне вейвлет-нейронне прогнозування нелінійних процесів рудопідготовки / Т.О. Бубнова, В.І. Корнієнко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 9. – С. 80-83.
5. Попович М.Г., Ковальчук О.М. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Либідь, 2007. – 656 с.
http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Popovich_2007_656.pdf
6. Пічкур В.В. Лекції з теорії керування. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2017. 232 с. http://mss.unicyb.kiev.ua/manuals/Lectures_control_theory.pdf
7. Новицький І.В. Сучасна теорія керування: навч. посіб. / І.В. Новицький, С.А. Ус. Мін-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 263 с.
8. Моклячук, М. П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі. Підручник. – К. : Видавничополіграфічний центр "Київський університет", 2009. – 380 с. <http://probability.univ.kiev.ua/userfiles/mmp/var-Book-2010.pdf>
9. Paluszek M., Thomas S. MATLAB Machine Learning Recipes: A Problem-Solution Approach. 2nd ed. APRESS, 2019

10. Bubnicki Z. Modern Control Theory / Z. Bubnicki. – Berlin, Springer, 2002. – 421 p.
11. Лебедев В.Ф., Предкин Н.И. Выбор оптимального режима для изотермического реактора дегидрирования// Автоматизация химических производств. - 1964. N3-4. С. 32-37.
12. Хаджийски М. Проектиране на системи за управление на технолошчни обекти. 4 1.- София, Технике 1982.
13. Kopeikina T.V. To the control theory of singularly perturbed dynamic system with delay II Mathematical theory of networks and systems. MTNS 2000. - 2000., - 234-242 pp.
14. Moore C.F., Smith C.L., Murril P.W. Instruments and Control Systems, 43(1), 70(1970).
15. Випадкові процеси: навч. посіб. / І.В. Новицький, С.А. Ус; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. випр. і доп. – Д. : НГУ, 2014. – 132 с.
16. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій / Ю. П. Зайченко. – К. : Слово, 2006. – 688 с.
17. Michael Voskoglou Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Their Applications. – 2020. – 366 p.
18. Smith O.J.M. Close control of loops with dead time // Chemical Engineering Progress. 1957. Vol. 53. P. 217_235.
19. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб./ О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штабальок. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.
20. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.
21. Волощенко А. Б., Джалладова І. Б. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчально-методичний посібник для самоств. вивч. дисципліни. К.: КНЕУ, 2003. 356 с.

22. Горбань С. Ф., Снижко Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика: курс лекций. К.: МАУП, 1999. 168 с.
23. Донченко В. С., Сидоров М. В., Шарапов М. М. Теорія ймовірності та математична статистика: навчальний посібник. К.: Академія, 2009. 288 с.
24. Єрьоменко В. О., Шинкарик М. І. Теорія імовірностей: навчальний посібник для студентів економічних спеціальностей. Тернопіль: Економічна думка, 2000. 176 с.
25. Жалдак М. І., Михалін Г. О. Елементи стохастики з комп'ютерною підтримкою: посібник для вчителів. К.: Шкільний світ, 2002. 128 с.
26. Жерновий Ю. В. Збірник задач з теорії ймовірностей та математичної статистики для студентів нематематичних спеціальностей. Львів, 2009. 18 с. URL: http://zyurvas.narod.ru/Lekcyi_z_TIMS/zbirn_zadach.pdf.

ДОДАТОК А

Програмні модулі системи управління

А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: system_model_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for
subsystem "system_model_group/Об'єкт керування"
*
* Model name                : system_model_group
* Model version              : 1.6
* Model creator               : work
* Model last modified by     : work
* Model last modified on     : Thu Jan 13 20:18:38
2022
* Model sample time          : 0s
* Subsystem name              :
system_model_group/Об'єкт керування
* Subsystem sample time      : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-
2013
* ST code generated on       : Thu Jan 13 20:20:16
2022
https://t.me/+tt4djooRjXNjAy
*
* Target IDE selection        : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included         : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_control: LREAL;
    -
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_value: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..48] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 48 DO |
Delay_DSTATE[i] := 0.0;

```

```

        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay:
'<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn_states := 0.0;
        SS_STEP:

        (* Output: '<Root>/bo_value' incorporates:
* Delay: '<S1>/Delay' *)
        bo_value := Delay_DSTATE[0];

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' *)
        FOR k := 0 TO 47 DO
            Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
        END_FOR;
        Delay_DSTATE[48] := 1.3171552038107761 *
DiscreteTransferFcn_states;
        (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn' incorporates:
* Update for Inport: '<Root>/bi_control' *)
        DiscreteTransferFcn_states := bi_control - (-
0.997858214569887 * DiscreteTransferFcn_states);
        END_CASE;
        END_FUNCTION_BLOCK
        VAR_GLOBAL CONSTANT
        SS_INITIALIZE: SINT := 0;
        SS_STEP: SINT := 1;
        END_VAR
        VAR_GLOBAL
        END_VAR

```

A.2 Модуль регулятора

```

(*
*
* File: system_model_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for
subsystem "system_model_group/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name                : system_model_group
* Model version              : 1.6
* Model creator              : work
* Model last modified by    : work
* Model last modified on    : Thu Jan 13 20:18:38
2022
* Model sample time         : 0s

```

```

|
* Subsystem sample time          : 0.1s
  * Simulink PLC Coder version    : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
2013
  * ST code generated on         : Thu Jan 13 20:19:19
2022
  *
  * Target IDE selection         : 3S CoDeSys 2.3
  * Test Bench included          : No
  *
  *)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
  ssMethodType: SINT;
  bi_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_cd https://t.me/+tt4djooRjlxNjAy
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
  Delay1_DSTATE: ARRAY [0..48] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
  k: DINT;
  i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
  SS_INITIALIZE:
    (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1'
*)
    FOR i := 0 TO 48 DO
      Delay1_DSTATE[i] := 0.0;
    END_FOR;
    (* End of InitializeConditions for Delay:
'<S1>/Delay1' *)

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
    SS_STEP:

    (* Output: '<Root>/bo_control' incorporates:
  * Delay: '<S1>/Delay1'
  * Gain: '<S1>/Gain1'|

```

ДОДАТОК Б

Програмне забезпечення системи керування

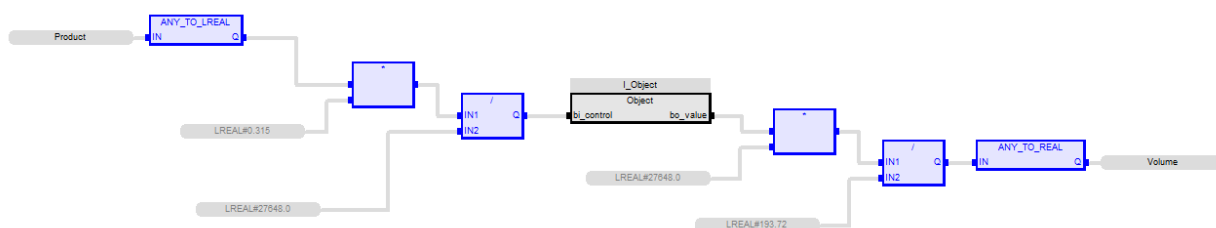
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(* Output: '<Root>/bo_value' incorporates:

* Delay: '<S1>/Delay' *)

bo_value := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)

FOR k := 0 TO 47 DO

 Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];

END_FOR;

Delay_DSTATE[48] := LREAL#1.3171552038107761 *

DiscreteTransferFcn_states;

(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'

incorporates:

* Update for Inport: '<Root>/bi_control' *)

DiscreteTransferFcn_states := bi_control - (LREAL#-0.997858214569887 *

DiscreteTransferFcn_states);

Б.1.4 Перелік змінних

VAR_INPUT

bi_control : LREAL ;

END_VAR

VAR_OUTPUT

bo_value : LREAL ;

END_VAR

VAR

DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;

Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 48] OF LREAL ;

k : DINT ;

i : DINT ;

END_VAR

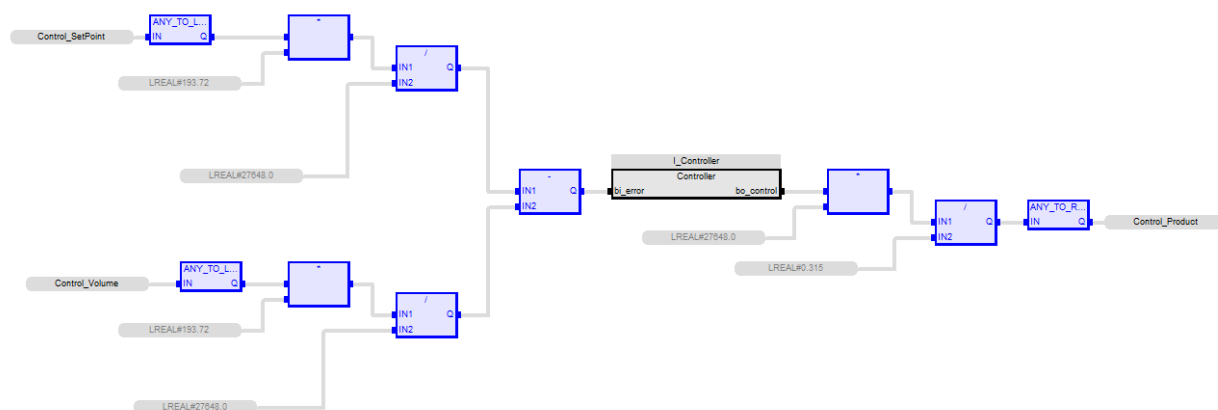
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

```
(* Output: '<Root>/bo_control' incorporates:
  * Delay: '<S1>/Delay1'
  * Gain: '<S1>/Gain1'
  * Inport: '<Root>/bi_error'
  * Sum: '<S1>/Sum3' *)
bo_control := (LREAL#0.007 * bi_error) + Delay1_DSTATE[0];
(* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
  * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
FOR k := 0 TO 47 DO
  Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay1_DSTATE[48] := LREAL#0.002141785430113 *
https://t.me/+tt4djooRjlxNjAy
DiscreteTransferFcn1_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := bo_control - (LREAL#-
0.997858214569887 * DiscreteTransferFcn1_states);
```

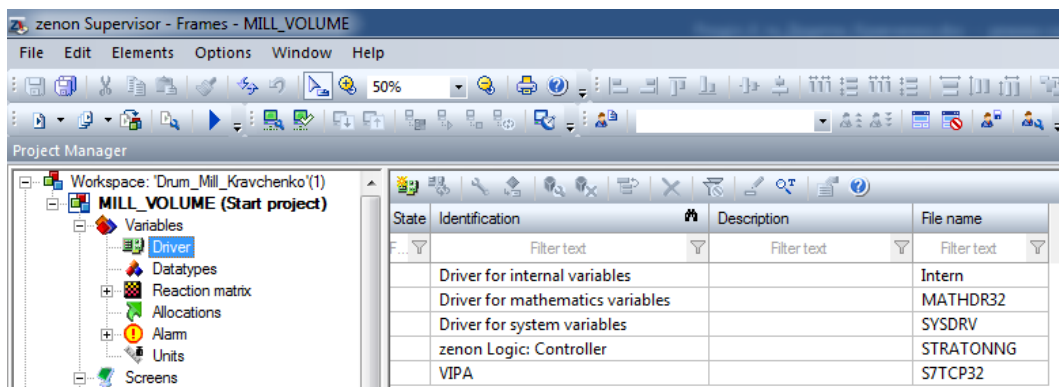
Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_error : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_control : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  Delay1_DSTATE : ARRAY [0 .. 48] OF LREAL ;
  k : DINT ;
  i : DINT ;
END_VAR
```


ДОДАТОК В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера

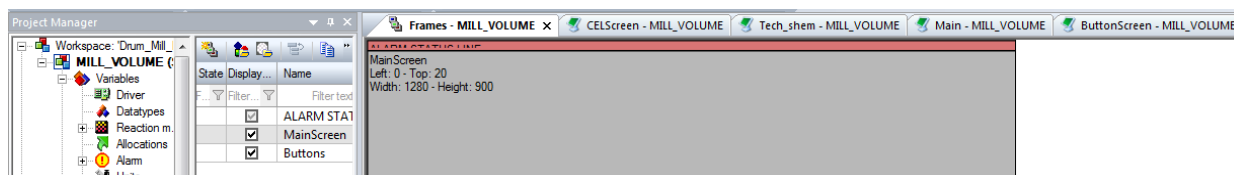


В.2 Перелік змінних

The screenshot shows the 'Project Manager' on the left with 'Variables' expanded. The main table lists the following variables:

State	Name	Identification	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver
	Product			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA
	Volume			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA
	Controller/Global/Control_SetPoint			0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...
	Controller/Global/Control_Volume			0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...
	Controller/Global/Control_Product			0	0	0	0	0		STRATONNG - zeno...

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

The screenshot shows the 'Project Manager' on the left with 'Variables' expanded. The main table lists the following functions:

Sta...	Name	Type	Parameter
	SwitchProcessScreen	Screen switch	ProcessScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Standard)
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Standard)
	Switch_FullTrend	Screen switch	Full_Trend (Extended Trend) - NEW DIAGRAM[HD]
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	Exit	Exit Runtime	

В.5 Зображення

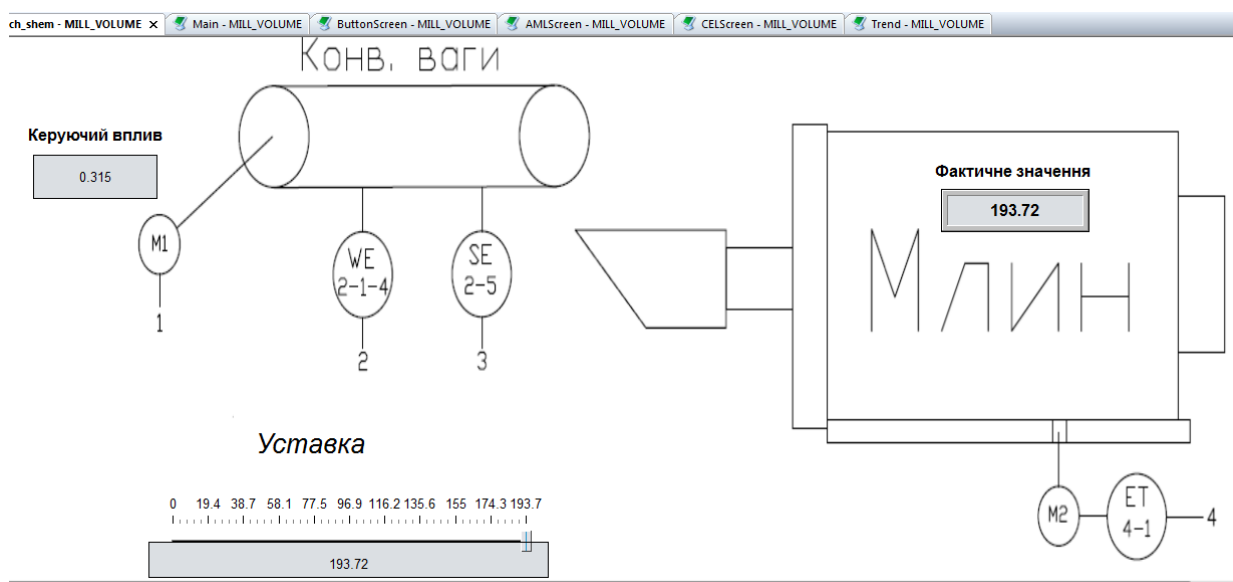
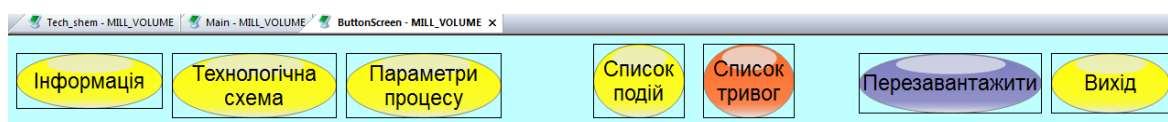
Project Manager

Workspace: 'Drum_Mill'

MILL_VOLUME (

- Variables
 - Driver
 - Datatypes
 - Reaction m...
 - Allocations
 - Alarm
 - Units
 - Screens
 - Frames
 - Event lists

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filtertext	Filtertext	Filtertext	Filtertext	Filtertext	Filtertext	Filtertext
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#0000FF	< no function l...	< no function l...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#7D9EC0	< no function l...	< no function l...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#C0FFFF	< no function l...	< no function l...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#0000FF	< no function l...	< no function l...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#388E8E	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	#40E0D0	SwitchButtonS...	< no function l...



Tech_shem - MILL_VOLUME Main - MILL_VOLUME ButtonScreen - MILL_VOLUME AMLScreen - MILL_VOLUME CELScreen - MILL_VOLUME Trend - MILL_VOLUME

Профіль фільтра

Profile selection

Тип: COMBOBOX

Зберегти

Імпорт

Експорт

Віддалити

Stop/Continue

Фільтр

Встановити фільтр

Фільтр...

Header

Alarm Message list

Тип: SysListView32

ID: 10022

Статус

Кількість всього

Кількість необроблених

Тип: STATIC

Обробка

Обробити сторінку

Обробити все

Віддалити

Віддалити сторінку

Віддалити все

