

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Галич Анастасія Олексіївна
(ПІБ)

академічної групи 151М-22-1
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного керування процесом магнітної сепарації на гірничо-збагачувальному комбінаті
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Трипутень М.М.			
розділів:				
Теоретичний розділ	доц. Трипутень М.М.			
Експериментальний розділ	доц. Трипутень М.М.			
Цифрове моделювання системи керування	доц. Трипутень М.М.			
Економічна частина				
Охорона праці				
Рецензент				
Нормоконтролер	доц. Трипутень М.М.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та
інформаційно-вимірвальних систем
(повна назва)

_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студентки Галич А.О. академічної групи 151М-22-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного керування процесом магнітної сепарації на гірничо-збагачувальному комбінаті,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____.2023 № _____ - ____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.09.23 – 07.09.23
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.09.23 – 15.09.23
Синтез системи	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.09.23 – 01.10.23
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.10.23 – 01.11.23
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та дослідження системи керування	01.11.23 – 15.11.23
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.11.23 – 30.11.23

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

доц. Трипутень М.М.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2023

Дата подання до атестаційної комісії

30.11.2023

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Галич А.О.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 42 рис., 8 табл., 3 додатків, 8 джерел.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу магнітної сепарації на фабриці збагачення гірничо-збагачувального комбінату.

Об'єкт дослідження: система автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації.

Мета дослідження: вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу "густина зливу млина – вміст заліза в концентраті".

Основними методами дослідження використаними для досягнення поставленої мети були: аналіз літературних джерел, теоретичні та обчислюванні дослідження, статистичний аналіз даних.

У вступі описано стан питання автоматизації процесу магнітної сепарації.

У розділі «Стан питання та постановка задачі» наведено характеристику технологічного процесу, показано конструктивні особливості магнітних сепараторів, розглянуто технологічний процес магнітної сепарації з позицій задач управління і виконаний аналіз відомих систем управління процесом магнітної сепарації.

У розділі «Теоретична частина» виконано аналіз відомих методів регулювання об'єктами управління з запізнюванням. Розглянуто методики вибору структури і визначення параметрів предиктивного ПІ-регулятора. Виконано теоретичні дослідження стійкості САК процесом магнітної сепарації. Розраховано області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного керування, визначені параметри регуляторів.

У розділі «Експериментальний розділ» виконано обчислювальні дослідження на ЕОМ САР процесом магнітної сепарації по уточненню параметрів регулятора і визначено вплив коефіцієнта підсилення предиктивного ПІ-регулятора на показники якості системи автоматичного керування.

У розділі «Цифрове моделювання системи керування» було розроблено цифрову модель системи керування, згенеровано код програми ПЛК, розроблено

НМІ, проведено перевірку функціональності роботи системи керування та людино-машинного інтерфейсу.

У розділі «Економічна частина» розраховані капітальні і річні експлуатаційні витрати, коефіцієнт ефективності та термін окупності.

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях розглянуті питання з охорони праці для технологічного процесу магнітної сепарації на ГЗК, розроблені спеціальні заходи щодо охорони праці, проведено розрахунок пилоочищення на магнітних сепараторах, розглянуті питання пожежної профілактики при користуванні магнітними сепараторами.

Результати досліджень можуть бути використані при розробці САР процесом подрібнення в гірничо-видобувній промисловості.

РУДА, МАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР, ПРОЦЕС МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ, КОНЦЕНТРАТ, ХВОСТИ, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ, РЕГУЛЯТОР, МОДЕЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Галузь промисловості	10
1.2 Технологічний процес	11
1.3 Об'єкт керування	12
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	12
1.3.2 Структура об'єкту керування	16
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування	20
1.4 Апаратне забезпечення системи керування	21
1.4.1 Структура системи керування	22
1.4.2 Функціональна схема автоматизації	22
1.4.3 Розробка схеми електричної принципової	24
1.5 Формулювання завдань дослідження	25
2 Теоретичний розділ	26
2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання	26
2.2 Методи регулювання об'єктів з запізненням	29
2.3 Регулювання з передбаченням	30
2.3.1 Предиктор Сміта	30
2.3.2 Розрахунок предиктивного ПІ-регулятора	32
2.4 Висновки до розділу	36
3 Експериментальний розділ	37
3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора	37
3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ПІІІ-регулятором	39
3.3 Визначення експериментальної залежності ступеня стійкості САР від коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІІІ-регулятора	42
3.4 Висновки до розділу	43
4 Цифрове моделювання системи керування	44
4.1 Цифрова модель системи керування	44

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	47
4.3 Розробка ПЗ людино-машинного інтерфейсу	49
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	51
4.5 Висновки до розділу	52
5 Економічна частина	53
5.1 Доцільності САК	53
5.2 Капітальні витрати	53
5.3 Експлуатаційні витрати	54
5.4 Економічна ефективність	56
5.5 Висновки до розділу	57
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	58
6.1 Охорона праці процесом магнітної сепарації ГЗК	58
6.2 Заходи щодо охорони праці	59
6.3 Розрахунок пилоочищення на магнітних сепараторах	63
6.4 Пожежна профілактика при користуванні магнітними сепараторами	66
6.5 Висновки до розділу	69
Висновки	71
Список літератури	73
Додаток А. Програмні модулі системи управління	74
Додаток Б. Програмне забезпечення системи керування	77
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	79
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	83

ВСТУП

Актуальність теми.

У ході науково-технічного прогресу вдосконалюється і гірничозбагачувальна промисловість. Впроваджуються нові пристрої, що забезпечують більшу функціональність та швидкість роботи. Для більш точної інформації про об'єкти управління модернізуються датчики. Удосконалюються виконавчі механізми. Нововведення дозволяють підвищити рівень контролю та управління виробничими процесами.

Поява обчислювальної техніки та надійних швидкодіючих обчислювальних машин дало можливість вирішувати задачі оптимізації керування не окремими збагачувальними апаратами, а цілими технологічними лініями збагачення мінеральної сировини і навіть цехами. Вже накопичено певний досвід експлуатації таких систем в кольоровій та чорній металургії. Впровадження АСУ ТП приводить до підвищення економічності і продуктивності збагачувального виробництва.

Україна має найбільші запаси залізних руд, які становлять основу розвитку сировинної бази чорної металургії. Видобуток та переробка залізних руд проводиться на сучасних гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК), таких як: НКГЗК, ПівнГЗК, ПівдГЗК, ПРАТ «ІНГЗК», ПРАТ «ЦГЗК», ДП «ДИРЕКЦІЯ КГЗКОР», ПРАТ "ПОЛТАВСЬКИЙ ГЗК" та інші. Кожен ГЗК має у своєму складі магнітозбагачувальну фабрику. Магнітозбагачувальні фабрики є великими споживачами електроенергії і на даний момент є актуальною проблема енергозбереження в технологічних комплексах магнітного збагачення руд.

Якісне та ефективне збагачення неможливе без автоматизації. Ефективність автоматизації збагачувального виробництва пов'язані з найширшим використанням нових систем автоматичного і автоматизованого управління. Такі системи повинні забезпечити необхідні технологічні режими збагачувальних апаратів, злагоджену роботу транспортних ліній, контроль технологічних параметрів та властивостей.

На збагачувальних фабриках одним із технологічних процесів є процес магнітної сепарації.

При забезпеченні постійного складу матеріалу, що надходить на збагачення, не потрібно складних методів регулювання процесом магнітної сепарації. Автоматизація обмежується застосуванням пристроїв, які забезпечують підтримку заданого рівня пульпи.

Проте в даний час склад пульпи, що надходить на магнітну сепарацію, не є постійним. Автоматизація цього процесу дозволить підвищити продуктивність сепараторів, збільшити вилучення металу з руди та забезпечити сталість вмісту заліза в концентраті.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу магнітної сепарації на гірничо-збагачувальному комбінаті за рахунок вдосконалення системи автоматичного регулювання густини зливу млина. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація відхилень поточних значень вмісту заліза в концентраті від заданого значення в динамічному сенсі.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлені і вирішені такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування вмісту заліза в концентраті;

- проведений синтез системи автоматичного керування вмістом заліза в концентраті з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості протікання перехідних процесів на виході системи, та здійснені дослідження залежностей цих критеріїв від параметрів регулятора.

Об'єкт дослідження – система автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування процесом магнітної сепарації.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування процесом магнітної сепарації використані методи теорії автоматичного керування та моделювання. Експериментальні дослідження (моделювання) проведені на

основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- синтезовано предиктивний ПІ-регулятор системи автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації;
- визначено області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного керування;
- показано відсутність впливу інтегральної частини предиктивного ПІ-регулятора на показники якості перехідного процесу вихідної величини в системі автоматичного регулювання вмістом заліза в концентраті;
- визначена область оптимальних значень коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІ-регулятора системи автоматичного керування процесом магнітної сепарації.

Наукове положення – максимум ступеня стійкості системи автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації досягається застосуванням управління з передбаченням на основі пропорційної частини предиктивного ПІ- регулятора.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Україна належить до регіонів світу, найбільш насичених мінеральними ресурсами. З 120 видів корисних копалин, які сьогодні споживає людство, в надрах нашої країни виявлено майже 20 тисяч родовищ і проявів 117 корисних копалин, 8761 родовища і 1288 об'єкти обліку супутніх корисних копалин в них за 95 видами мінеральної сировини мають промислове значення і обліковуються в державному балансі запасів корисних копалин, 3055 родовище розробляються.

Мінерально-сировинний комплекс забезпечує вагому частку валового національного продукту. З видобутком і використанням корисних копалин пов'язано 48 відсотків промислового потенціалу країни і до 20 відсотків її трудових ресурсів. Ці показники наближаються до показників розвинутих країн з потужною гірничодобувною промисловістю, де зосереджено від 20 до 40 відсотків загальних інвестицій та до 20 відсотків трудових ресурсів.

Металогенічна провінція Українського щита включає Волинську, Подільську, Кіровоградську, Середньо-Придніпровську та Приазовську субпровінції та характеризується найбагатшим різноманіттям родовищ. Крім широко відомих видів мінеральної сировини, таких як залізо, титан, уран, виявлено нові для регіону корисні копалини. Так, граніт-зеленокам'яним поясам, розвинутим у Середньому Придніпров'ї (Сурська, Верхівцівсько-Чортомлицька структурно-металогенічні зони), властива золоторудна спеціалізація. У синклінальних прогинах та епікратонних западинах, виповнених протерозойськими вулканогенно-осадовими формаціями, виявлено поля літєвих пегматитів (Звенигородсько-Хмелівська, Федорівська металогенічні зони).

Основу мінерально-сировинної бази України складають родовища металічних корисних копалин, які представлені рудами всіх груп металів: чорні, кольорові, благородні, радіоактивні, рідкісні та рідкоземельні метали, розсіяні елементи (метали). Нині в Україні інтенсивно розробляються родовища залізних, марганцевих, уранових, титанових руд; розвідані з оціненими промисловими

запасами родовища міді, золота, хрому, нікелю, берилію, літію, ванадію, скандію, свинцю, цинку, алюмінію, ніобію, танталу, стронцію, гафнію, кадмію, срібла, рідкісноземельних елементів.

1.2 Технологічний процес

Магнітна сепарація – технологія поділу матеріалів на основі відмінності їх магнітних властивостей (магнітної сприйнятливості) та різної поведінки матеріалів у зоні дії магнітного поля, що змінює гравітаційну траєкторію матеріалів.

Магнітна сепарація є одним із основних методів збагачення корисних копалин (КК). Цей метод часто є основною операцією збагачення у складних схемах переробки руд при доведенні мінеральної сировини до необхідної концентрації. Крім того, вона використовується у допоміжних операціях для запобігання попаданню металевих предметів у дробарки та інше збагачувальне обладнання [2].

Широкому поширенню магнітної сепарації сприяє відносно низька вартість її в порівнянні з іншими методами збагачення, можливість створення гнучких схем збагачення, високий рівень механізації процесу.

Процес магнітної сепарації заснований на відмінності в магнітних властивостях компонентів руд чорних, що розділяються, та інших металів.

Якісні показники процесу магнітної сепарації залежать від співвідношення сильномагнітних, слабомагнітних та немагнітних фракцій у пульпі, що надходить на сепарацію.

Співвідношення фракцій у вихідній пульпі залежить від її гранулометричного складу та вмісту заліза у руді. У той же час гранулометричний склад пульпи можна змінювати, змінюючи густину зливу апарату, що класифікує, живить магнітну сепарацію.

Наприклад, фабрика Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату (ІнГЗК) переробляє руди Інгулецького родовища Криворізького залізорудного басейну. Розглянемо технологічну схему другої черги (секції 11-18) ІнГЗК (рисунок 1.1), вона включає дві стадії подрібнення в млинах самоподрібнення і

рудно-галькових і три стадії мокрої магнітної сепарації. Кінцева крупність помелу 98% класу -0.074 мм. Продуктивність магнітних сепараторів секції 11-18 (другої черги) наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Продуктивність магнітних сепараторів секції 11-18

Сепаратор магнітний для мокрої сепарації	Продуктивність, т/(м·год)
ПБМ-ПП-90/250 (I стадія сепарації)	17.5
ПБМ-ПП-120/250 (II стадія сепарації)	10.0
ПБМ-ПП-120/250 (III стадія сепарації)	9.1

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Поділ мінеральних частинок за магнітними властивостями може здійснюватися у трьох режимах:

- режим відхилення магнітних частинок характеризується підвищеною продуктивністю, але зниженою ефективністю процесу;
- режим утримання магнітних частинок характеризується високим вилученням магнітного компонента;
- режим вилучення магнітних частинок характеризується високою якістю магнітного продукту, але зниженням його вилучення.

Продуктивність магнітних сепараторів секції 11-18 (другої черги).

Розглянемо конструктивні властивості магнітного сепаратора ПБМ-ПП-120/250 [3]. Сепаратор ПБМ-120/250 являє собою однобарабанный магнітний сепаратор з нижнім живленням, магнітною системою з полюсами полярності по колу барабана. Він призначений для мокрого збагачення матеріалу крупністю 6 – 0 мм із поділом на два продукти: магнітний та немагнітний.

Сепаратор ПБМ-120/250 (рисунок 1.2) складається з наступних основних частин: магнітного барабана 5, магнітної системи 7, ванни 8 із завантажувальним коробом 3, рами 9, розвантажувального жолоба для концентрату 11 і 6 приводу, вбудованого всередину барабана, приймального короба 1, заспокоювача 2, бризкалі 4, насадки 10.

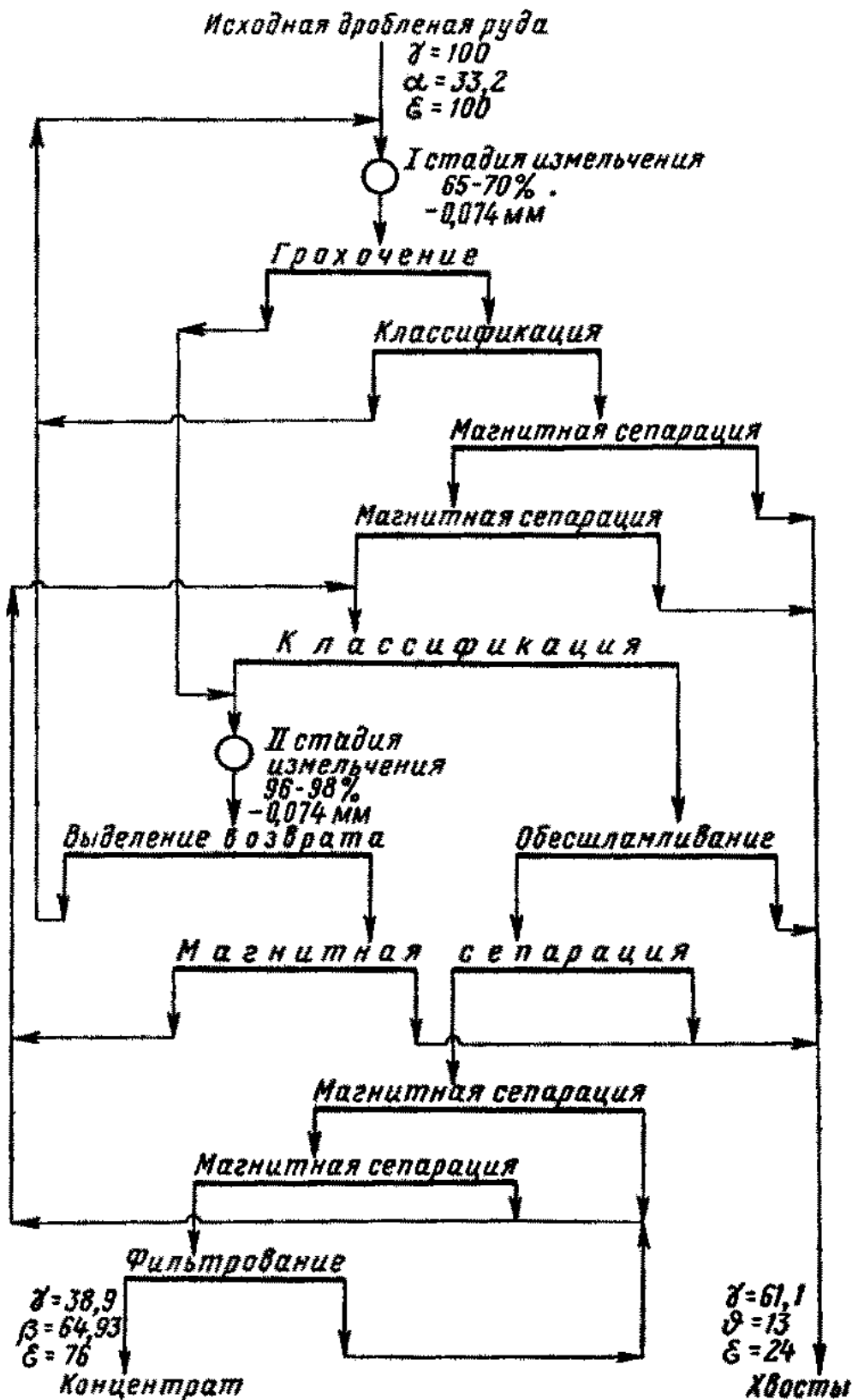


Рисунок 1.1 – Технологічна схема другої черги секції 11-18) Інгулецького ГЗК

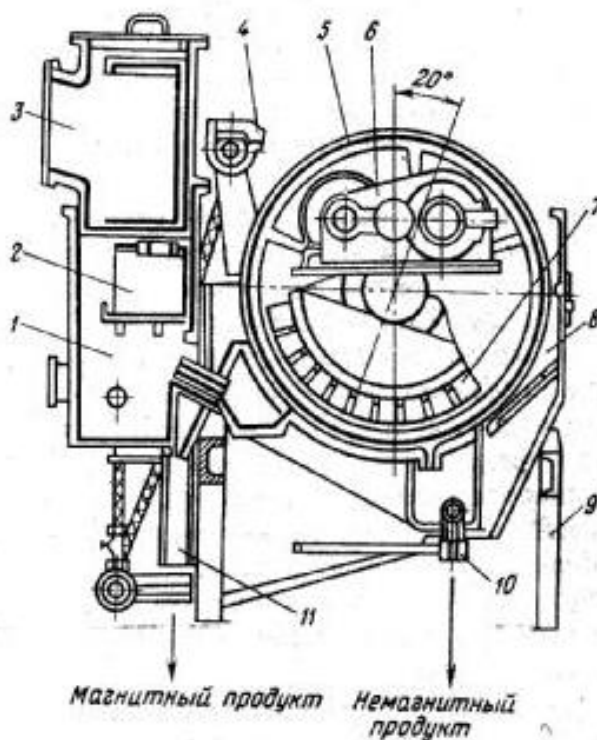


Рисунок 1.2 – Барабанный магнітний сепаратор ПБМ120/250

Сепаратор ПБМ-120/250 (рисунок 1.2) складається з наступних основних частин: магнітного барабана 5, магнітної системи 7, ванни 8 із завантажувальним коробом 3, рами 9, розвантажувального жолоба для концентрату 11 і 6 приводу, вбудованого всередину барабана, приймального короба 1, заспокоювача 2, бризкали 4, насадки 10.

Основний робочий орган сепаратора – магнітний барабан. Він є тонкостінним циліндром з двома кришками, що обертається на роликотішипниках, встановлених на нерухомій осі. Вісь магнітного барабана встановлена у роз'ємних підшипниках на П-подібних стійках рами. Барабан виготовлений з немагнітного матеріалу та зовні покритий гумою. Усередині барабана закріплена десятирядна магнітна система 7 з ярмом, якого кріпляться полюси постійних магнітів.

Магнітна система всередині барабана розгорнута на 20° від вертикальної площини у бік розвантаження магнітного продукту. Однак за допомогою поворотного пристрою, що складається з важеля, укріпленого на кінці осі барабана, тяги з різьбленням, гайки можна змінювати кут відхилення магнітної системи. Для огляду мастила зубчастого зачеплення і періодичної зміни олії в редукторі (1 раз на

6 міс.) у кришці барабана передбачений люк, що герметично закривається. Нижня частина барабана занурена у ванну, встановлену на поздовжніх балках рами. Внизу ванна має шість отворів для розвантаження хвостів зі спеціальним розвантажувальним механізмом важеля типу 10. Розвантажувальний жолоб кріпиться на поздовжній балці рами.

Барабан приводиться у обертання за допомогою приводу, що складається з електродвигуна, редуктора проміжної опори, шестірні та зубчастого колеса, насадженого на одну з кришок барабана. Електродвигун із редуктором з'єднаний за допомогою муфти.

Привід барабана встановлений на майданчику зверху ярма магнітної системи. Центрування зубчастої пари проводиться за допомогою прокладок під лапи редуктора та проміжної опори. Живлення електроенергією здійснюється по кабелю, що проходить через порожню цапфу нерухомої осі барабана. Барабани, ванни та живильники футеруються композитною сумішшю холодного затвердіння або гумуються зносостійкою гумою.

Розглянемо принцип роботи сепаратора ПБМ-ПП-120/250. Матеріал, що підлягає збагаченню у вигляді пульпи подається в завантажувальний короб з багатоступінчастим розподільником, завдяки чому рівномірно розтікається по ширині короба, потім по патрубках живлення і по лотку під магнітний барабан. Під дією магнітного поля сильномагнітні частинки матеріалу притягуються до поверхні обертового барабана. При виході із зони дії магнітного поля магнітні частинки відвалюються на лоток, що відводить їх у розвантажувальний жолоб. Для кращого відділення магнітних частинок від поверхні барабана та просування їх по лотку над барабаном встановлені бризки переливного типу. Вода в бризкалах і на розведення пульпи живлення в короб подається за допомогою водорозподільника.

Немагнітний матеріал (хвости) провалюється в щілину, розташовану всередині ванни під барабаном, осідає на дно і розвантажується через насадки, що мають змінні гумові вкладки різного перерізу.

У разі забивання отвору однієї або кількох насадок випадковими великими включеннями всі насадки за допомогою рукоятки розвантажувального механізму

можуть бути відведені вбік, пронизані вниз потоком пульпи або прочистені металевим гаком.

Усередині ванни розташований зливний відсік із патрубком для розвантаження зливу.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Як керований об'єкт, процес магнітної сепарації характеризується наступними параметрами (рисунок 1.3).

Обурювальні впливи: α – вміст заліза на вході; d – крупність матеріалу; δ – густина пульпи; q – продуктивність.

Керуючі впливи: q_v – витрати додаткової води; H – напруженість магнітного поля; n – частота обертання барабана.

Вихідні показники: β , v – вміст заліза відповідно в концентраті та хвостах; γ_β і γ_v – вихід відповідно концентрату та хвостів.

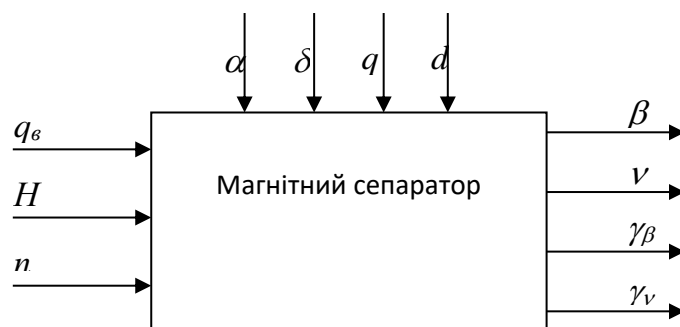


Рисунок 1.3 – Структура процесу магнітної сепарації.

Мета управління процесом магнітної сепарації - забезпечення максимальної продуктивності технологічної лінії при постійній якості концентрату та обмеження на втрати заліза у хвостах:

$$\begin{aligned} Q &\rightarrow \max; \\ \beta_1 &< \beta < \beta_2; \\ v &\leq v_{\text{дон}}, \end{aligned} \quad (1.1)$$

де Q – продуктивність технологічної лінії магнітного збагачення; β_1 і β_2 – нижня і верхня межі вмісту заліза в концентраті; $v_{\text{дон}}$ – допустимий вміст заліза у хвостах.

Магнітний сепаратор (МС) як двопродуктовий апарат має два канали управління – якості концентрату та якості хвостів. Тому при виборі впливу, що управляє, необхідно враховувати його вплив на обидві вихідні змінні β і v .

Оскільки інерційність магнітного сепаратора невелика, вибір впливу, що управляє, можна виробляти за статичними характеристиками, враховуючи тільки чутливість керованих параметрів до керуючого впливу.

Можливі регулюючі дії процесу магнітної сепарації δ , q_v , n_6 , H за чутливістю до них регульованих величин β і v можна розташувати у такому порядку: по каналах – «керівні дії – вміст заліза в концентраті» $\delta - 0,02 \text{ \%}/(\text{г/л})$; q_v ($p_{\text{тв}}$ у ванні сепаратора) – $0,0167 \text{ \%}/(\text{г/л})$; $n_6 - 2\% (\text{м/с})$; $H - 0,025\%(\text{кА/м})$; по каналах «керівні дії – вміст заліза у хвостах» $H - 0,5\%(\text{кА/м})$; n (екстремальна залежність); q_v ($p_{\text{тв}}$) – $0,00667 \text{ \%} (\text{г/л})$; $\delta - 0,00286 \text{ \%} (\text{г/л})$.

Крім того, при виборі регулюючого впливу необхідно враховувати, що в конструкцію магнітного сепаратора важко вбудувати (з міркувань надійності роботи) будь-які периферійні пристрої для регулювання процесу. У зв'язку з цим утруднено застосування таких регулюючих впливів, як зміна частоти обертання сепаратора барабана і напруженості магнітного поля сепаратора. Зміна витрати води на кожен сепаратор q_v може вплинути на роботу інших сепараторів та викликати небажані явища.

МС працюють разом з подрібнювальними агрегатами, а останні змінюють продуктивність по жорсткому в широких межах. Отже, процес сепарації перебуває у нестабільних умовах. Нестабільність густини пульпи, що надходить на сепарацію, призводить до нестабільного режиму роботи сепаратора, внаслідок коливань навантаження на магнітний сепаратор через зміну продуктивності циклу подрібнення при мінливості гранулометричного складу та фізико-механічних властивостей вихідної руди. Тому для управління (стабілізації) якістю концентрату необхідно регулювати густину пульпи, що надходить у процес сепарації, причому при збагаченні крупнокраплених руд підвищення якості концентрату необхідно підвищувати густину пульпи, а при збагаченні тонкокраплених руд – зменшувати її.

Густину пульпи, що надходить на сепарацію, найбільш раціонально регулювати зміною густини зливу апарату, що класифікує, попереднього магнітної сепарації. На рис. 1.4 наведена функціональна схема системи автоматичного керування вмісту магнітного заліза в промпродукті магнітного сепаратора першої стадії подрібнення, класифікації та магнітної сепарації.

Дана САУ призначена для підтримки заданого значення $\beta_{\text{зад}}$ шляхом коригування завдання системі автоматичної стабілізації густини пульпи зливу класифікатора $\rho_{\text{зл.зад}}$. Система автоматичної стабілізації густини зливу класифікатора $\rho_{\text{зл}}$ містить датчик густини 1, вторинний прилад 2, регулятор 3, виконавчий механізм 4, регулюючий орган 5.

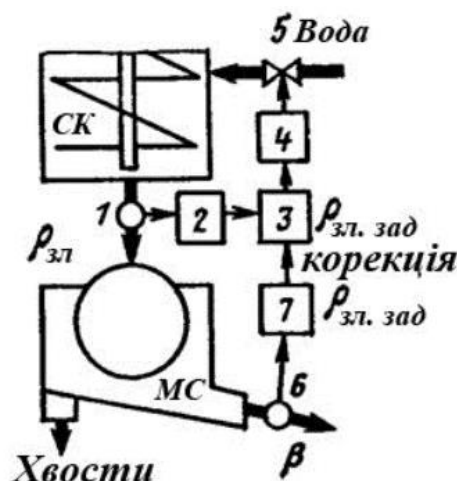


Рисунок 1.4 - Функціональна схема системи автоматичного керування вмісту магнітного заліза в концентраті

Задане значення густини пульпи в зливі класифікатора СК коригується виконавчим двигуном вторинного приладу 7, що вимірює поточного значення β датчиком 6. При зміні фізико-механічних і хіміко-мінералогічних властивостей вихідної руди, що визначаються головним чином її текстурно-структурними ознаками, змінюється ступінь розкриття мінералів у зливі класифікатора СК, що призводить також і до зміни якості промпродукту щодо заданого значення $\beta_{\text{зад}}$.

Підтримка значення $\beta_{\text{зад}}$ може бути здійснена також найпростішою замкнутою одноконтурною системою регулювання. Вибір схеми системи автоматичного управління МС залежить від динамічних властивостей конкретного апарату, що класифікує.

На рис. 1.5 наведена структурна схема системи автоматичного керування вмісту магнітного заліза в концентраті.

При управлінні каналом: густина зливу млина – вміст заліза в концентраті, необхідно автоматично змінити концентрацію вмісту магнітного заліза в

промпродукті β магнітного сепаратора, після чого вона порівнюється із заданою концентрацією $\beta_{\text{зад}}$ і за наявності відхилення регулятор змінює витрату додаткової води до млина. Збільшуючи її, якщо концентрація заліза в промпродукті падає нижче за задану, і зменшуючи, якщо концентрація заліза перевищує задану.

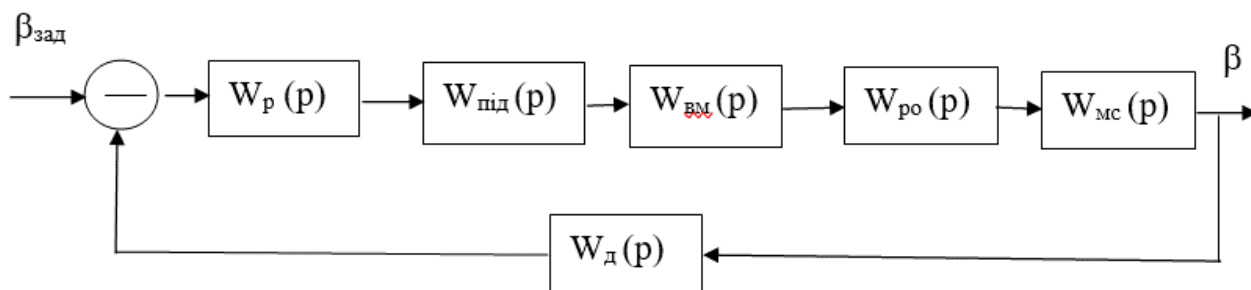


Рисунок 1.5 - Структурна схема системи автоматичного керування вмісту магнітного заліза в концентраті

За динамічними властивостями магнітний сепаратор є інерційною ланкою першого порядку із запізненням, передатна функція якого має вигляд:

$$W_{\text{мс}}(p) = \frac{k_{\text{мс}}}{T_{\text{мс}}p + 1} e^{-\tau_{\text{мс}}p} \quad (1.2)$$

де $k_{\text{мс}}$ – передавальний коефіцієнт магнітного сепаратора по відповідному каналу (по каналу: густина зливу млина – вміст заліза в концентраті $k_{\text{мс}} = 0,1 - 0,2\% / (\text{г/л})$, для однобарабаного сепаратора становить $0,118 \% / (\text{г/л}) / 13$); $T_{\text{мс}}$ – постійна часу магнітного сепаратора (по каналу: густина зливу млина – вміст заліза у концентраті $T_{\text{мс}} \approx 5-10$ с, приймаємо $T_{\text{мс}} = 10$ с.); $\tau_{\text{мс}}$ – час запізнення, обумовлений транспортуванням пульпи до точки контролю ($\tau_{\text{мс}} \approx 30-50$ с, приймаємо $\tau_{\text{мс}} = 30$ с.) /6/.

Виконавчий механізм є інтегруючою ланкою, але оскільки час інтегрування дуже малий, його можна розглядати як підсилювальну ланку:

$W_p(p)$ – передатна функція регулятора;

$W_{\text{під}}(p) = k_{\text{під}} = 21,6$ – передавальна функція підсилювальної ланки;

$W_{\text{вм}}(p) = k_{\text{вм}} = 3,8$ – передавальна функція виконавчого механізму;

$W_{\text{ро}}(p) = k_{\text{ро}} = 2,1$ – передавальна функція регулюючого органу;

$W_{\text{д}}(p) = k_{\text{д}} = 1$ – передатна функція датчика.

$$W_{MC}(p) = \frac{k_{MC}}{T_{MC}p+1} e^{-\tau_{MC}p} = \frac{0,118}{10p+1} e^{-30p} \quad - \quad \text{передатна функція магнітного}$$

сепаратора;

Передатна функція наведеної безперервної частини САК МС відповідно до структурної схеми наведеної на третьому кресленні має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{k_{під}k_{ВМ}k_{ро}k_{під}k_{MC}}{T_{MC}p+1} e^{-\tau_{MC}p} = \frac{20,339}{10p+1} e^{-30p}. \quad (1.3)$$

Одне з основних завдань, що виникають розробки системи автоматичного регулювання, полягає у виборі найбільш відповідного закону регулювання, тобто. визначення типу регулятора.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Режими функціонування технологічного процесу керування процесом магнітної сепарації розділяють:

- аварійні режими експлуатації;
- режим нормальної експлуатації;
- передаварійні режими експлуатації.

Фази виробничого процесу режиму нормальної експлуатації:

- технічний процес;
- підготовка до пуску комплексу;
- запуск комплексу;
- зупинка комплексу.

До числа аварійних режимів роботи відносять:

- відключення електричного живлення;
- припинення подачі води;
- при обриві зв'язку з об'єктом;
- при виході з ладу різних контролюючих пристроїв.

Логічні правила, описуючі виникнення аварійних ситуацій в технічному комплексі магнітної сепарації:

- якщо завершено подачу води, то зупинення сепаратора, перекриття вентилів на водопідводячих трубах, зупинення подачі пульпи;
- якщо порушення герметичності обладнання і трубопроводів, то зупинка сепаратора, перекриття вентилів на водопідводячих трубах, зупинення подачі пульпи;
- якщо завершилася подача пульпи, то зупинення припинення подачі води;
- якщо вийшли з ладу контролюючі пристрої, то зупинка сепаратора, припинення подачі води, зупинення подачі пульпи;

За результатом аналізу роботи даного об'єкту керування можна визначити що він безперервний.

1.4 Апаратне забезпечення системи керування

До мінімального складу структури керування магнітним сепаратором ПБМ-ПП-120/250 продуктивністю 120 т/г, за вхідними і вихідними сигналами, мають входити наступні сигнали.

Вхідні сигнали:

- | | |
|--|------------|
| – вміст заліза в концентраті, % | 50...90; |
| – вміст заліза в хвостах, % | 0...20; |
| – щільність пульпи на вході, кг/м ³ | 0...3 000; |
| – витрати пульпи на вході, т/г | 100...120; |

Вихідні сигнали керування:

- | | |
|---|------------|
| – насос подачі додаткової води, кВт / В | 2,8 /~380; |
| – магнітна система, кВт / В | 12 /~380; |
| – електропривід обертання барабана, кВт / В | 2,8 /~380. |

Слід окремо відзначити, що треба забезпечити можливість регулювання витрат додаткової води, тобто забезпечити «лінійний» режим роботи електроприводу насосу подачі додаткової води.

Мета управління процесом магнітної сепарації - забезпечення максимальної продуктивності технологічної лінії при постійній якості концентрату та обмеження

на втрати заліза у хвостах.

1.4.1 Структура системи керування

Роботою магнітного сепаратора ПБМ-ПП-120/250 керує програмований логічний контролер (ПЛК) (рис. 1.6).

Датчики вмісту заліза в концентраті, вмісту заліза в хвостах, щільності пульпи на вході, витрати пульпи на вході забезпечують необхідною інформацією САК яка керує технологічними параметрами режимами роботи магнітного сепаратора ПБМ-ПП-120/250.

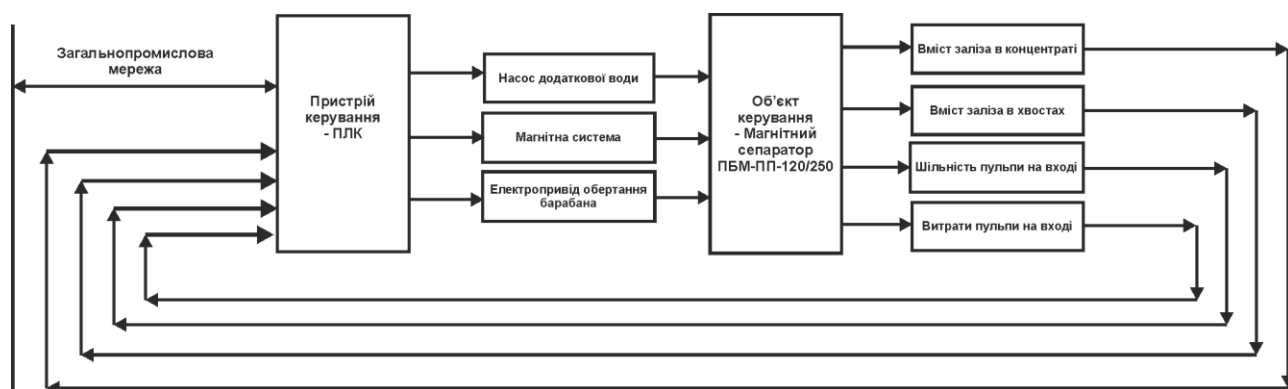


Рисунок 1.6 – Структурна схема підсистеми керування

САК має забезпечити максимальну продуктивність технологічної лінії при постійній якості концентрату та обмеження на втрати заліза у хвостах.

САК має вихідні сигнали:

- насос додаткової води (лінійне керування);
- магнітна система (дискретне керування);
- електропривід обертання барабана (дискретне керування).

1.4.2 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації наведена на рис. 1.7.

САК магнітним сепаратором ПБМ-ПП-120/250 має ПЛК (UY 7) – VIPA 214-2BS33, який підключено до АСУ ТП за допомогою інтерфейсу RS-485.

Витрати пульпи на вході до магнітного сепаратору здійснює датчик (FE 1 - Kobold DZR - 3006F018) з перетворювачем 4...20 мА.

Вимірювання щільності пульпи на вході магнітного сепаратору вимірює радіоізотопний щільномір ПРИЗ-Т (DE 2 – ПРИЗ-Т) з перетворювачем 4...20 мА.

Концентрації заліза у пульпи концентрату та хвостів на вході магнітного сепаратору вимірюється концентратоміром (FE 3 – КВЧ 5М) з перетворювачем 4...20 мА.

На підставі отриманих первинних значень ПЛК формує керуючі впливи по підтримці максимальної продуктивності технологічної лінії при постійній якості концентрату та обмеження на втрати заліза у хвостах.

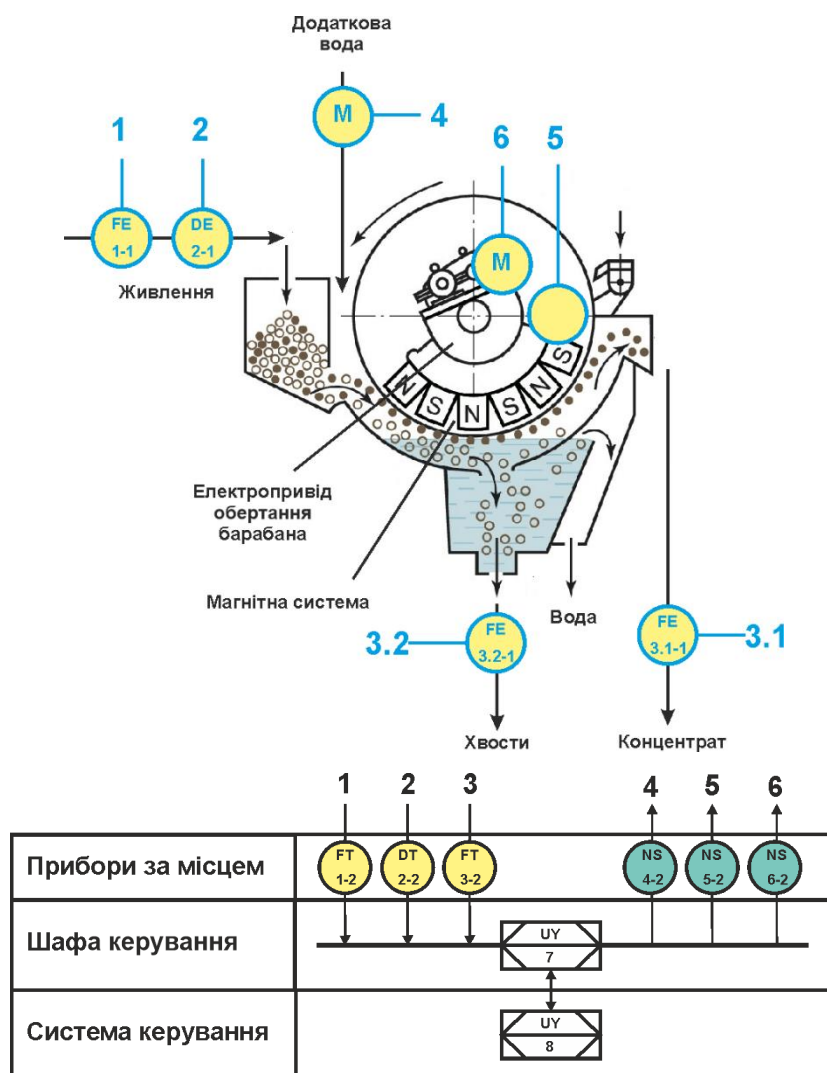


Рисунок 1.7 – Функціональна схема автоматизації сепаратору СУ-200

Керування продуктивністю насоса подачі додаткової води здійснюється за допомогою трьох-фазного частотного перетворювача (NS-4 Altivar Process ATV930D55N4).

Керування магнітною системою здійснюється через трьох-фазне твердотільне реле (NS-5 Jotta SSR 25DA).

Керування електроприводом обертання барабану здійснюється через трьох-фазне твердотільне реле (NS-6 Jotta SSR 25DA).

1.4.3 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова системи керування технологічним обладнанням процесу збагачення залізної руди представлена рис. 1.8.

Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до ПЛК VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулів вводу та виводу та датчиків.

Чотири аналогових датчика підключені до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD53 (A1 – X3) до каналів 0...3 (4...20 мА).

Керування насосом подачі води здійснюється через трьох-фазний частотний перетворювачі YA1.

Керування магнітною системою і електроприводом обертання барабану здійснюється через трьох-фазні твердотільні реле YA2 та YA3.

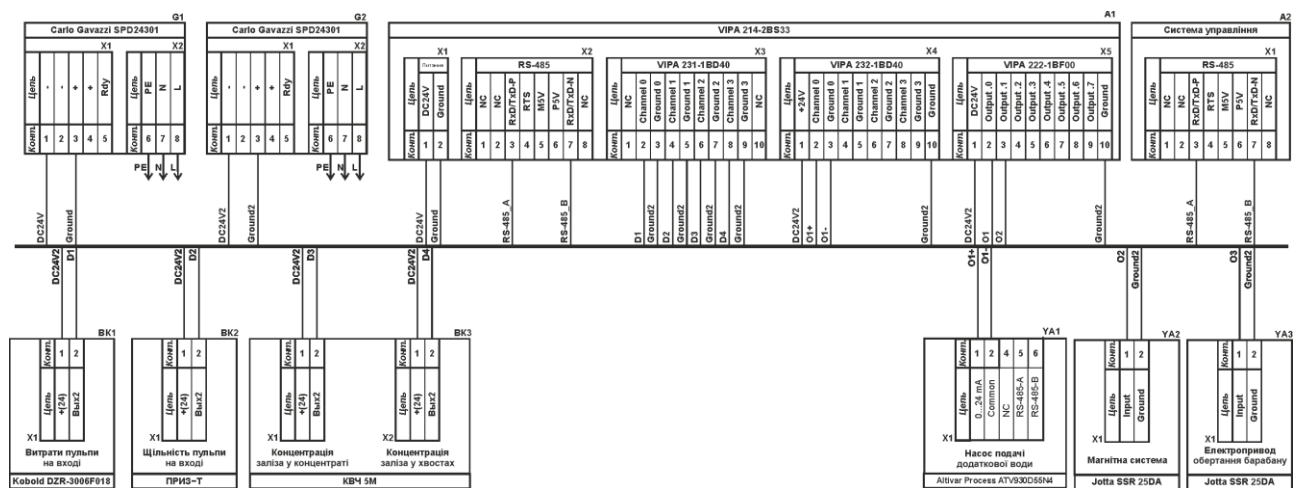


Рисунок 1.8 – Схема електрична принципова підсистеми керування

Зв'язок між ПЛК та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

1.5 Формулювання завдань дослідження

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

Метою магістерської роботи є вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу "густина зливу млина – вміст заліза в концентраті".

Для досягнення даної мети поставлені наступні задачі:

- визначити області стійкої та нестійкої роботи САР процесом магнітної сепарації;
- визначити критичний час запізнення САР процесом магнітної сепарації;
- визначити параметри ППІ-регулятора;
- визначити показники якості системи з ППІ-регулятором;
- встановити експериментальну залежність показників якості перехідного процесу від параметрів ППІ-регулятора;
- підтвердити на емуляторі керованого процесу подрібнення ефективність запропонованої САР.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання

В розділі 1 даної магістерської роботи показано, що для ефективної роботи барабанного млина необхідно реалізувати управління по каналу «густина зливу млина – вміст заліза в концентраті». Передаточна функція магнітного сепаратора по даному каналу має вигляд $W(p) = 20,339e^{-30p}/(10p + 1)$. Якщо вихідну величину β САК подати на вхід, то отримаємо замкнуту САК з одиничним зворотним зв'язком – систему автоматичного регулювання САР (рис. 1.5). Визначимо межу стійкості та критичний час запізнювання даної САР без коригувального пристрою.

Розрахунок областей стійкої та нестійкої роботи САР виконаємо з використанням частотного Михайлова виконаємо в загальному вигляді, позначивши коефіцієнт підсилення, постійну часу та час чистого запізнення відповідно T, K, τ .

Характеристичний поліном САР матиме вигляд:

$$D(p) = Tp + 1 + Ke^{-\tau p} \quad (2.1)$$

Перейдемо від характеристичного поліному до характеристичного вектору:

$$D(j\omega) = jT\omega + 1 + Ke^{-\tau j\omega}, \quad (2.2)$$

або:

$$D(j\omega) = jT\omega + 1 + K(\cos\tau\omega - jsin\tau\omega). \quad (2.3)$$

Позначимо дійсну частину в (2.3) через $X(\omega)$, а уявну – через $Y(\omega)$ і прирівняємо до нуля. Отримаємо систему рівнянь, що задає межу стійкості:

$$\begin{cases} X(\omega) = 1 + K\cos\tau\omega = 0 \\ Y(\omega) = T\omega - K\sin\tau\omega = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Визначимо коефіцієнт підсилення K із першого рівняння системи (2.4):

$$K = -\frac{1}{\cos\tau\omega}, \quad (2.5)$$

Вираз для постійної часу T знайдемо із другого рівняння:

$$T\omega - K\sin\tau\omega = 0, \quad (2.6)$$

$$T = \frac{K \sin \tau \omega}{\omega}. \quad (2.7)$$

Після підстановки (2.5) в (2.7) дістанемо:

$$T = \frac{-\frac{1}{\cos \tau \omega} \sin \tau \omega}{\omega}, \quad (2.8)$$

$$T = \frac{-\operatorname{tg} \tau \omega}{\omega}, \quad (2.9)$$

Для побудови графіка визначимо діапазон зміни ω із умов $K > 0$ і $T > 0$.

Маємо:

$$\begin{cases} -\frac{1}{\cos \tau \omega} > 0 \\ \frac{-\operatorname{tg} \tau \omega}{\omega} > 0 \end{cases}, \quad (2.10)$$

Оскільки $\omega > 0$, то:

$$\begin{cases} \cos \tau \omega < 0 \\ \operatorname{tg} \tau \omega < 0 \end{cases}, \quad (2.11)$$

Вирази в лівих частинах нерівності (2.11) одночасно більше нуля тоді, коли $\frac{\pi}{2} < \tau \omega < \pi$. Тоді $\frac{\pi}{2\tau} < \omega < \frac{\pi}{\tau}$.

Для заданого значення $\tau = 30$ на площині координат $[T; K]$ будемо за рівняннями (2.5), (2.9) межу стійкості, змінюючи ω від $\frac{\pi}{60}$ до $\frac{\pi}{30}$ (рис.2.1).

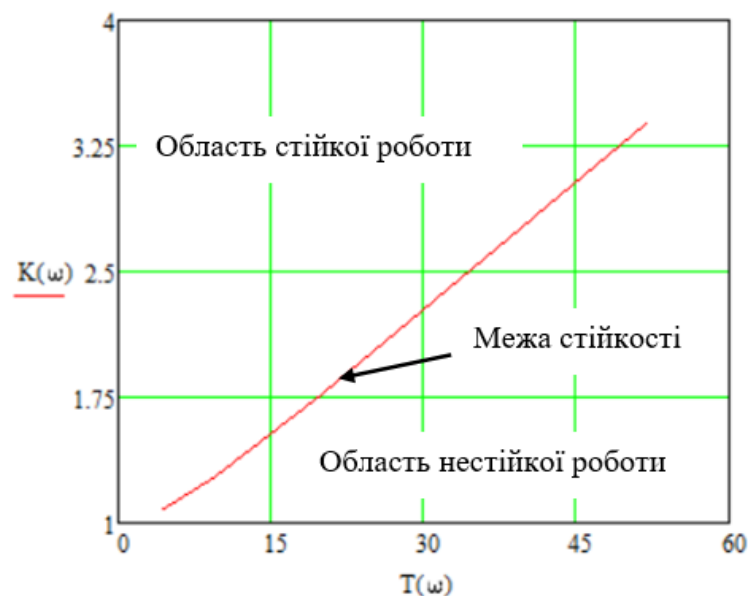


Рисунок 2.1 – Графік межі стійкості

На даному рафіку показані також області стійкої та нестійкої роботи. Неважко бачити, що точка з координатами $K = 20,339$ та $T = 10$ с знаходиться в області нестійкої роботи.

Визначимо критичний час запізнення. Для цього застосуємо критерій Найквіста. Розімкнута частина САР складається із аперіодичної ланки та ланки чистого запізнення, які з'єднані послідовно. Амплітудно частотна характеристика розімкнутої частини визначається амплітудно частотною характеристикою аперіодичної ланки:

$$A_0(\omega) = \frac{K}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} \quad (2.11)$$

Із формули (2.11) визначимо ω_0 , для якої амплітудно частотна характеристика розімкнутої частини САР дорівнюватиме одиниці:

$$\frac{K}{\sqrt{T^2\omega_0^2 + 1}} = 1 \quad (2.12)$$

Із (2.12) дістанемо:

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{K^2 - 1}}{T} \quad (2.13)$$

Для знаходження САР на межі стійкості необхідно, щоб фазова частотна характеристика для частоти ω_0 дорівнювала $-\pi$. Фазова частотна характеристика із послідовно з'єднаних аперіодичної ланки та ланки чистого запізнення дорівнює сумі фазових частотних характеристик цих ланок. Отже:

$$\varphi_0(\omega_0) - \tau_{кр}\omega_0 = -\pi \quad (2.14)$$

Визначимо критичний час запізнення, підставивши в (2.14) замість ω_0 вираз із (2.13):

$$\tau_{кр} = \frac{\pi + \varphi_0(\omega_0)}{\omega_0} = \frac{T(\pi - \arctg(\sqrt{K^2 - 1}))}{\sqrt{K^2 - 1}}, \quad (2.15)$$

Після підстановки в (2.15) значень коефіцієнтів отримаємо:

$$\tau_{кр} = \frac{10(\pi - \arctg(\sqrt{20,339^2 - 1}))}{\sqrt{20,339^2 - 1}} = 0,81 \quad (2.16)$$

Із виконаного аналізу випливає, що САР є нестійкою, а критичний час чистого запізнення значно менший за час чистого запізнення магнітного

сепаратора. Система автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації потребує введення додаткових динамічних ланок – коригуючих пристроїв.

2.2 Методи регулювання об'єктів з запізненням

Для регулювання об'єктами керування з запізненням широко застосовуються наступні методи: типові закони регулювання, імпульсне регулювання, каскадне і комбіноване регулювання, регулювання з упередженням, регулювання на основі продукційних правил нечіткої логіки (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Розподіл законів регулювання

Вибір конкретного закону керування залежить від відношення часу чистого запізнення τ до величини перехідного процесу t_n . Тривалість перехідного процесу в аперіодичній ланці приблизно дорівнює $5T$. Тут T - постійна часу аперіодичної ланки.

Типові закони регулювання мають суттєвий недолік пов'язаний з тим, що вони потребують додатково адаптивного налаштування у випадках зміни параметрів об'єкта. Такі ж недоліки стосуються і імпульсного регулювання згідно. Якщо в системі автоматичного керування передбачений контроль збурень, то доречним є використання каскадного і комбінованого регулювання.

Типові закони регулювання мають суттєвий недолік пов'язаний з тим, що вони потребують додатково адаптивного налаштування у випадках зміни параметрів об'єкта. Такі ж недоліки стосуються і імпульсного регулювання згідно. Якщо в системі автоматичного керування передбачений контроль збурень, то доречним є використання каскадного і комбінованого регулювання.

При одних і тих же параметрах настройки регуляторів запас стійкості САУ з регулятором Сміта вище, ніж звичайних САУ. Це означає, що при однаковому запасі стійкості САУ (наприклад, при одній і тій же мірі загасання перехідних процесів) для регулятора Сміта можна прийняти більший коефіцієнт посилення, що забезпечить кращу якість регулювання. До недоліків регулятора Сміта, крім складності його структури і апаратною реалізації, відноситься висока чутливість до параметрів настройки моделі. Помилки в налаштуванні моделі, викликані неточністю апріорних знань про характеристики об'єкта або нестационарністю його властивостей, можуть привести не тільки до погіршення якості перехідних процесів, а й до втрати стійкості системи регулювання.

Застосування нечітких алгоритмів регулювання не дає будь-яких явних переваг перед класичними методами управління. А проблема стійкості в системі з нелінійним алгоритмом регулювання істотно ускладнюється. При регулюванні процесом магнітної сепарації співвідношення $\tau/t_{\text{п}} \approx 30/(5 \cdot 10) = 0,6$. Для даного співвідношення найкращим регулюванням є регулювання з упередженням.

2.3 Регулювання з передбаченням

2.3.1 Предиктор Сміта

ПД-регулятор, який передбачає поведінку об'єкта керування через час τ , називається предиктором Сміта. Головна ідея предиктора Сміта полягає в тому,

щоб з моделі виключити затримку і таким чином спрогнозувати зміни вихідної величини об'єкта керування до того, як вони там з'являться. Така можливість з'являється завдяки штучному введенню в контур управління певної динамічної ланки та ланки чистого запізнення.

Структурна схема системи автоматичного керування представлена на рис. 2.3. В наведеній системі можна виділити регулятор, об'єкт керування та модель об'єкта керування. Робота даної системи полягає в наступному.

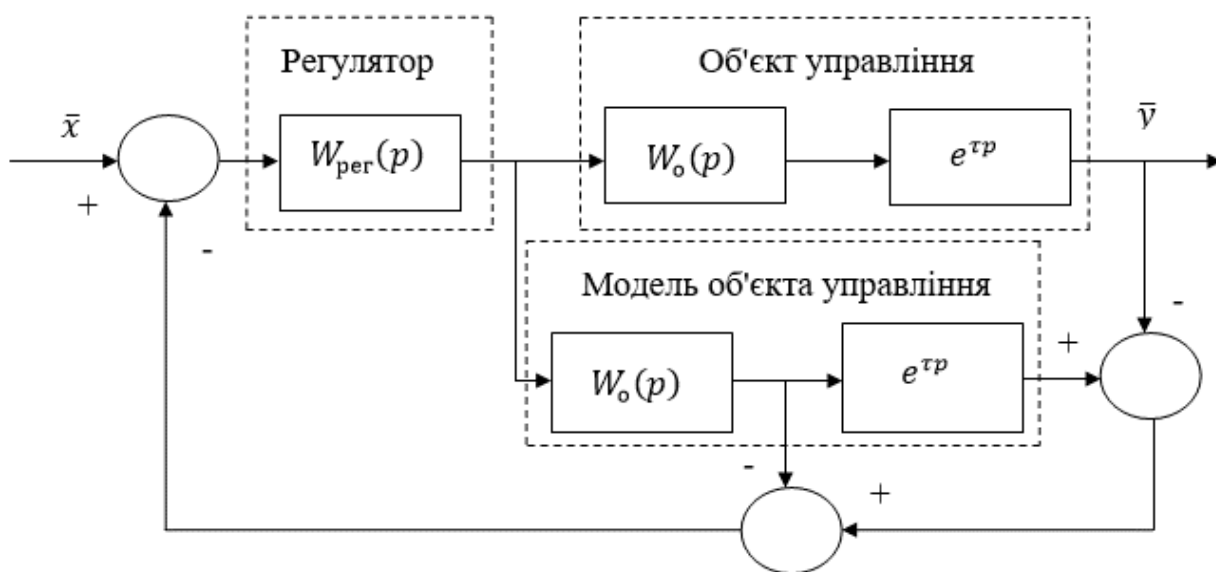


Рисунок 2.3 – Система управління з упередженням

Передаточні функції системи автоматичного без урахування та з урахуванням моделі об'єкта керування мають відповідно вигляд (2.17) та (2.18):

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p)W_0(p)e^{-\tau p}}{1 + W_{\text{рег}}(p)W_0(p)e^{-\tau p}} \quad (2.17)$$

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

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{W_{\text{рег}}(p)W_0(p)e^{-\tau p}}{1 + W_{\text{рег}}(p)W_0(p)} \quad (2.18)$$

Формула (2.18) є передатною системою автоматичного регулювання, у якій одиничний зворотний зв'язок не охоплює ланку чистого запізнення. Для пошуку структури та параметрів регулятора можна скористатися методом Циглера-Ніколса. В основі даного метода є використання експериментальних даних для

розрахунку параметрів ПІД-регулятора. В подальшому розраховані параметри уточнюються при налаштуванні ПІД-регулятора на реальному об'єкті.

Використання метода Циглера-Ніколса починається з експериментального дослідження системи автоматичного регулювання. На цьому етапі до складу САР входить лише пропорційна частина ПІД-регулятора. Поступовим збільшенням коефіцієнта підсилення K_{Π} виводять САР на межу стійкості і фіксують значення коефіцієнта підсилення K_{Π}^* та період T^* сталих коливань.

Надалі розраховують параметри типових регуляторів згідно табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Формули розрахунку параметрів типових регуляторів

	K_{Π}	K_i	K_D
П-регулятор	$0,50K_{\Pi}^*$	-	-
ПІ-регулятор	$0,45K_{\Pi}^*$	$0,54K_{\Pi}^*/T^*$	-
ПІД-регулятор	$0,60K_{\Pi}^*$	$1,20K_{\Pi}^*/T^*$	$0,075K_{\Pi}^*T^*$

Метод Циглера-Ніколса забезпечує необхідний запас стійкості системи.

2.3.2 Розрахунок предиктивного ПІ-регулятора

Предиктивний ПІ-регулятор (ППІ-регулятор) – є модифікацією предиктора Сміта, який поширений в автоматичних системах більш широко ніж сам предиктор Сміта. Один із варіантів ППІ-регулятора наведено на рис.2.4. 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.

Визначимо математичний вираз для розрахунку критичного коефіцієнта підсилення K_n^* для ППІ-регулятора системи на рис.2.4. Розімкнута частина має передаточну функцію:

$$W_{роз}(p) = K_n^* \frac{1}{1 - \frac{e^{-p\tau}}{Tp+1}} \frac{Ke^{-p\tau}}{Tp+1} \quad (2.19)$$

або:

$$W_{роз}(p) = K_n^* \frac{Ke^{-p\tau}}{Tp+1 - e^{-p\tau}} \quad (2.20)$$

Характеристичний поліном системи автоматичного регулювання визначимо як суму поліномів чисельника та знаменника передаточної функції розімкнутої частини:

$$D(p) = Tp + 1 - e^{-p\tau} + K_n K e^{-p\tau} \quad (2.21)$$

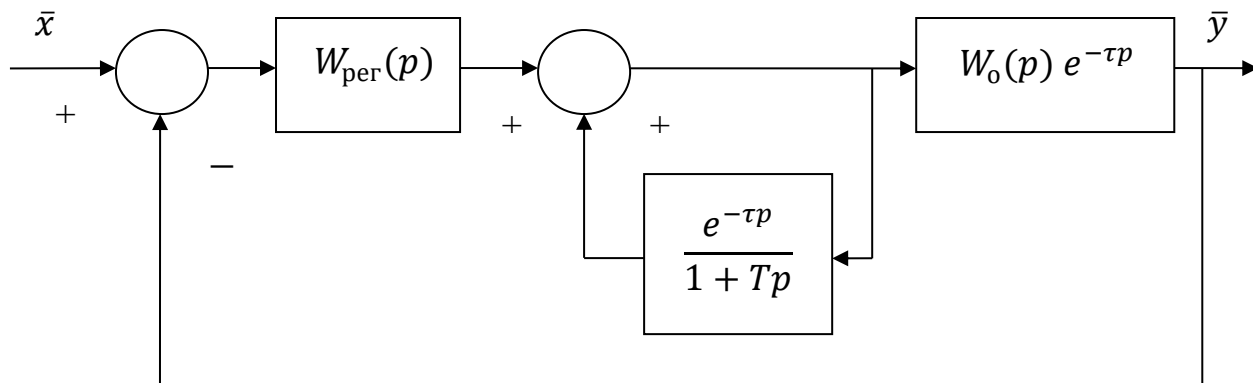


Рисунок 2.4 – Система управління з ППІ-регулятором

Властивості САР повністю визначаються коренями її характеристичного поліному:

$$Tp + 1 - e^{-p\tau} + K_n K e^{-p\tau} = 0 \quad (2.22)$$

Перейдемо від характеристичного поліному (2.22) до характеристичного комплексу і запишемо його в тригонометричній формі:

$$Tj\omega + 1 - (\cos\tau\omega - jsin\tau\omega) + K_n K (\cos\tau\omega - jsin\tau\omega) = 0 \quad (2.23)$$

Для того, щоб система перебувала на межі стійкості необхідно, щоб дійсна та уявна частини характеристичного комплексу дорівнювали нулю. Маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 1 - \cos\tau\omega + K_n K \cos\tau\omega = 0 \\ T\omega + \sin\tau\omega - K_n K \sin\tau\omega = 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Система рівнянь є параметричною. Розв'яжемо її рівняння відносно K_n^* :

$$K_n = -\frac{1 - \cos\tau\omega}{K \cos\tau\omega} \quad (2.25)$$

$$K_n = \frac{T\omega + \sin\tau\omega}{K \sin\tau\omega} \quad (2.26)$$

Із (2.25) і (2.26) маємо:

$$-\frac{1 - \cos\tau\omega}{K \cos\tau\omega} = \frac{T\omega + \sin\tau\omega}{K \sin\tau\omega} \quad (2.27)$$

Після тотожних перетворень (2.27) дістанемо:

$$-tg\tau\omega = T\omega \quad (2.28)$$

Розв'яжемо графічно рівняння (2.28) відносно величини ω . Для цього застосуємо пакет прикладних програм MATHCAD.

Підставимо в (2.28) значення параметрів технологічного процесу магнітної сепарації:

$$-tg30\omega = 10\omega \quad (2.29)$$

Оскільки тангенс є функцією періодичною, рівняння (2.29) має безліч коренів. Тому при збільшенні коефіцієнта підсилення K_n П-регулятора починаючи з нуля, матимемо безліч значень сталих коливань з різними частотами ω^* відповідно для різних K_n^* . Визначимо перше значення K_{n1}^* , яке відповідатиме найменшому значенню ω_1^* . Для цього оцінимо проміжок, в якому має перебувати ω_1^* . Оскільки права частина (2.29) більше нуля, то і $-tg30\omega > 0$. Тоді $tg30\omega < 0$. Звідки:

$$-\frac{\pi}{2} + \pi k \leq 30\omega < \pi k, \quad k \in Z$$

І остаточно:

$$-\frac{\pi}{60} + \frac{\pi}{30}k \leq \omega < \frac{\pi}{30}k, \quad k \in Z \quad (2.30)$$

В табл. 2.2 наведені проміжки, в яких перебувають значення ω^* , розраховані за виразом (2.30).

Таблиця 2.2 - Проміжки існування ω^*

k	0	1	2
Проміжки	$-\frac{\pi}{60} \div 0$	$\frac{\pi}{60} \div -\frac{\pi}{30}$	$\frac{\pi}{20} \div \frac{\pi}{10}$

Оскільки частота ω не може бути від'ємною, то $\omega_1^* \in [\pi/60 \div -\pi/30)$. Визначимо ω_1^* . Для цього в середовищі пакету прикладних програм MATHCAD збудуємо окремо графіки лівої і правої частин рівняння (2.29) і знайдемо координати точки їх перетину. Результати розв'язання рівняння на визначеному проміжку існування ω_1^* наведені на рис. 2.5 і 2.6. На рис.2.5 показані збудовані графіки і точка їхнього перетину, на рис. 2.6 – абсциса і ордината точки перетину

графіків, визначених за допомогою функції *X-YTrace*. Отже $\omega_1^* = 0,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.
 Визначимо період сталих коливань $T^* = \frac{2\pi}{\omega_1^*} = \frac{2\pi}{0,08} \approx 78,5 \text{ с}$. Підставимо $\omega_1^* = 0,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ в (2.25) і визначимо K_{n1}^* :

$$K_{n1}^* = -\frac{1 - \cos\tau\omega_1^*}{K\cos\tau\omega_1^*} \approx -\frac{1 - \cos(30 \cdot 0,08)}{20,34 \cos(30 \cdot 0,86)} \approx 0,116 \quad (2.31)$$

Значення параметрів ПІ-регулятора, розрахованих з урахуванням $T^* \approx 78,5 \text{ с}$ і $K_{n1}^* \approx 0,12$ наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Параметри предиктивного ПІ-регулятора

	K_n	K_i	K_d	Передаточна функція
ПІ-регулятор	0,052	0,001	-	$W_{ni}(p) = 0,052 + \frac{0,001}{p}$

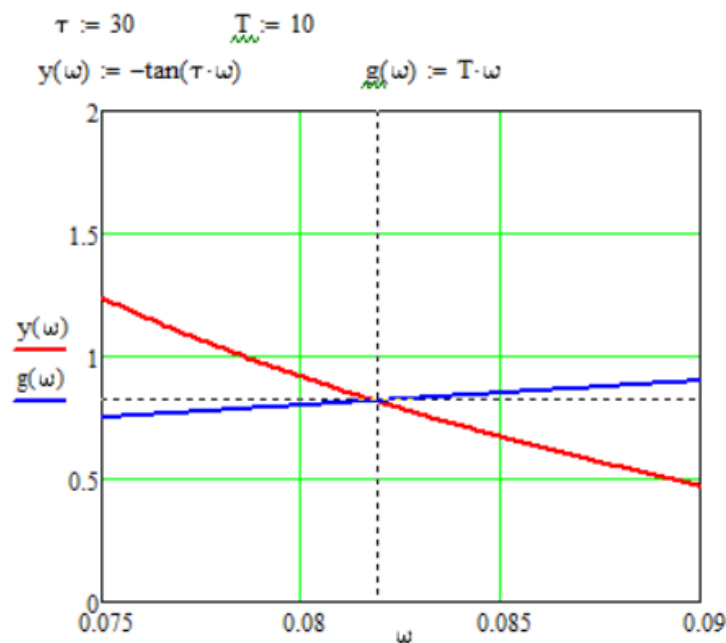
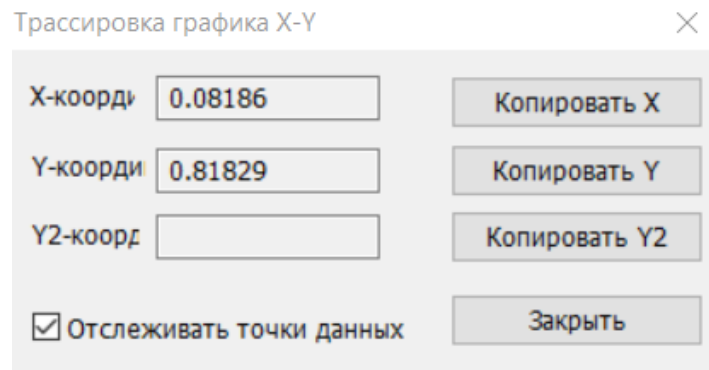


Рисунок 2.5 – Графічне розв'язання рівняння



Трассировка графика X-Y

X-координаты: 0.08186

Y-координаты: 0.81829

Y2-координаты:

Отслеживать точки данных

Копировать X

Копировать Y

Копировать Y2

Закреть

Рисунок 2.6 - Визначення значення ω_1^*

2.4 Висновки до розділу

Система автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації є нестійкою і потребує введення додаткових динамічних елементів для переводу її до працездатного стану.

Регулювання процесом магнітної сепарації доцільно виконувати із застосуванням штучної моделі в контурі керування. Розрахунок параметрів регулятора доцільно виконати на основі метода Циглера-Нікольса.

Визначення частоти сталих коливань керованої величини на межі стійкості системи автоматичного регулювання доцільно виконати графоаналітичним методом.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі в ході обчислювального експерименту перевірені результати теоретичних досліджень, а також встановлено вплив коефіцієнта підсилення предиктивного ПІ-регулятора на показники якості перехідного процесу системи автоматичного керування магнітним сепаратором. Зазначені дослідження виконані на ЕОМ в середовищі додатку SIMULINK в ППП MATLAB.

В ході обчислюваного експерименту були поставлені і вирішені наступні задачі:

- перевірка правильності розрахунків області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації за відсутності коригувального пристрою;
- перевірка правильності розрахунку критичного часу запізнення системи автоматичного керування за відсутності коригувального пристрою; визначення найкращих уставок регуляторів за відсутності збурюючих впливів методом моделювання в середовищі SIMULINK ППП MATLAB;
- визначення найкращого налаштування предиктивного ПІ-регулятора;
- отримання експериментальної залежності ступеня стійкості системи автоматичного регулювання від коефіцієнта підсилення предиктивного ПІ-регулятора.

3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора

Складемо структурну схему системи автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації (за відсутності регулятора) в середовищі SIMULINK ППП MATLAB (рис. 3.1).

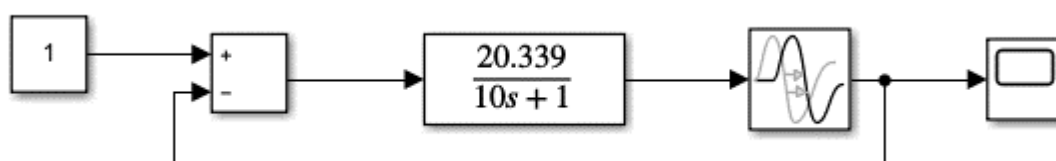


Рисунок 3.1 – Структурна схема САР магнітної сепарації без регулятора

З даними графіка 2.1 (п. 2.1) визначаємо координати стійкої роботи системи $[30; 1,75]$, нестійкої роботи системи $[15; 2,5]$ і роботи системи на межі стійкості $[20, 2; 1,77]$. Даним координатам відповідають перехідні процеси наведені відповідно на рис. 3.2-3.4.

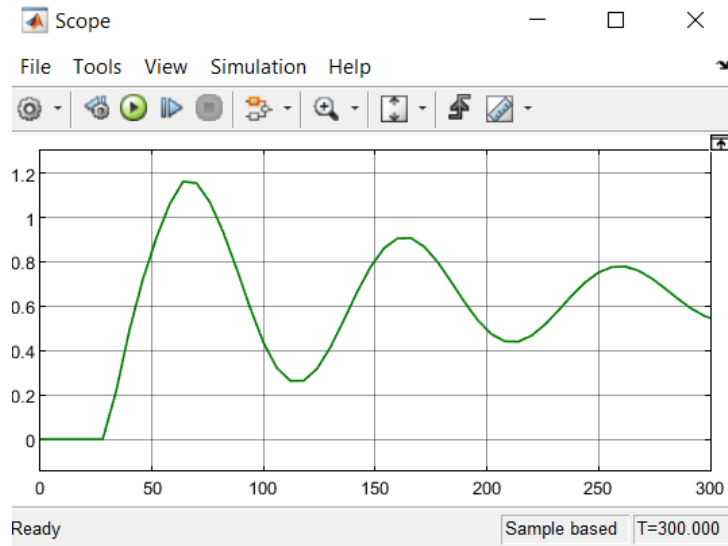


Рисунок 3.2 – Графік перехідного процесу стійкої системи

Неважко бачити, що результати моделювання відповідають теоретичним розрахункам.

Для перевірки критичного часу чистого запізнення встановимо в ланці чистого запізнення $\tau_{кр} = 0,81$, розрахованого за формулою п. 2.1 (формула 2.16). Графік перехідного процесу наведений на рис. 3.5.

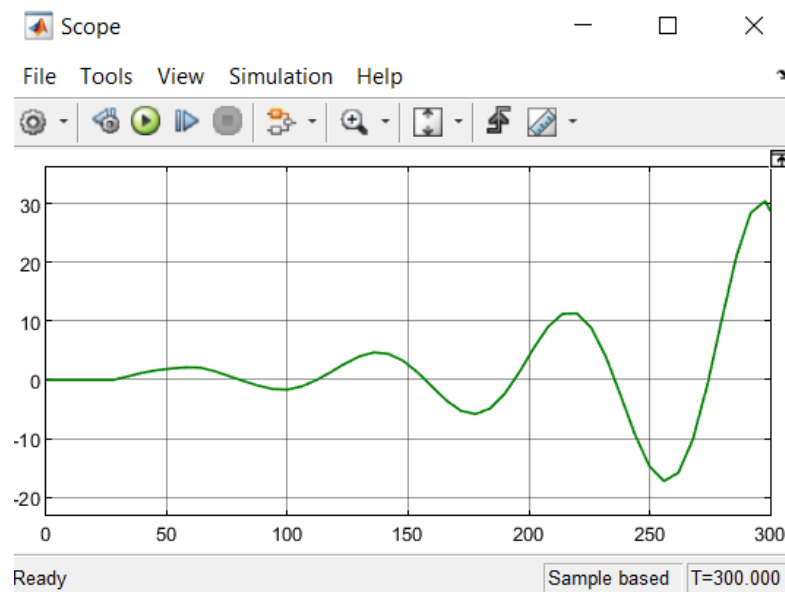


Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу нестійкої системи

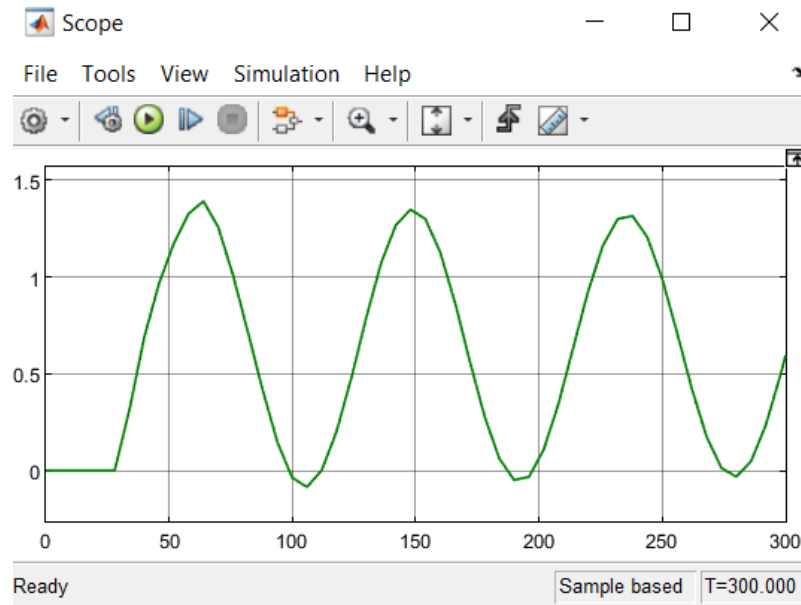


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу нестійкої системи

Із рисунка 3.5 випливає, що САР перебуває на межі стійкості. Отже критичний час запізнення розраховано правильно.

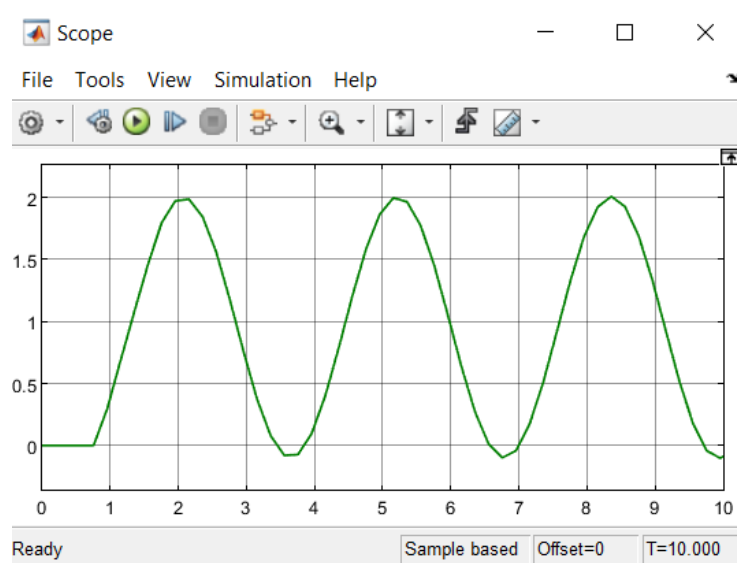


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу при $\tau_{кр} = 0,81$

3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ППІ-регулятором

Складемо структурну схему системи автоматичного регулювання процесом магнітної сепарації з предиктивним ПІ-регулятором в середовищі SIMULINK ППМ MATLAB (рис. 3.6). В структурній схемі встановлено розрахований в п. 2.3.3

(формула 2.31) критичний коефіцієнт підсилення $K_{п1}^* \approx 0,116$ для перевірки періоду коливань при виведенні САР на межу стійкості. На рис. 3.7 наведено графік перехідного процесу.

Як видно із рис. 3.7 період коливань $T^* \approx 80$ с, що відповідає розрахункам.

Перевірку якості керування процесом магнітної сепарації виконаємо з використанням структурної схеми САР на рис. 3.8. В моделі даної структурної схеми встановлені коефіцієнт підсилення та інтегральний коефіцієнт, що розраховані в п.2.3.3 (табл.2.3).

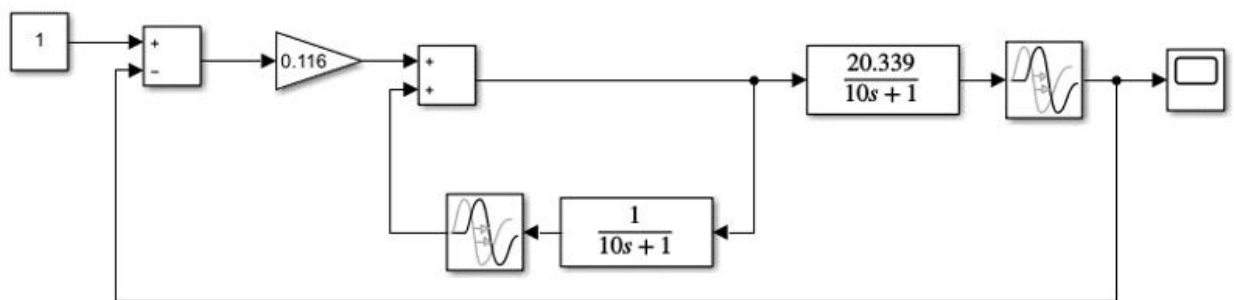


Рисунок 3.6 – Структурна схема САР з предиктивним ПІ-регулятором

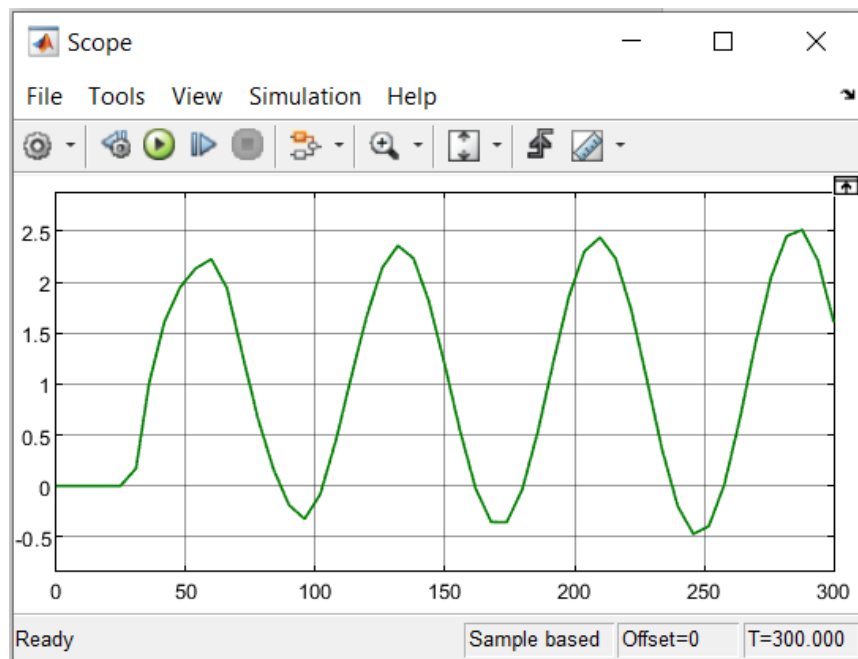


Рисунок 3.7 – Графік перехідного процесу

Після додаткового налаштування параметрів регулятора САР встановлена передаточна функція регулятора:

$$W_p(p) = 0,05 \quad (3.1)$$

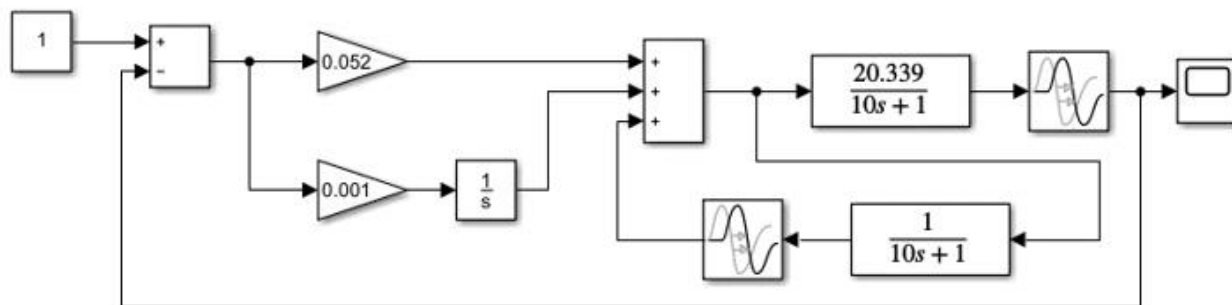
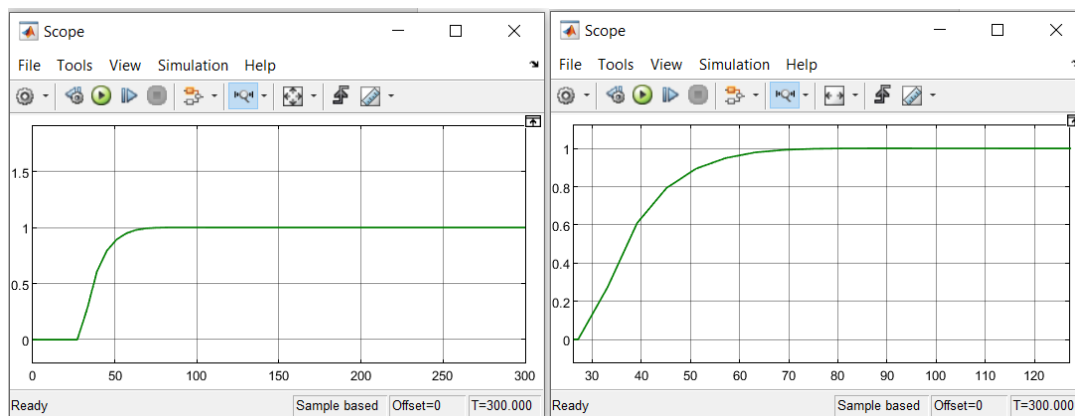


Рисунок 3.8 – Модель САР з предиктивним ПІ-регулятором

На рис. 3.9 а, 3.9 б показані перехідні процеси з найкращим налаштуванням предиктивним ПІ-регулятором, а в табл. 3.1 –показники якості перехідного процесу.



а)

б)

Рисунок 3.9 – Перехідні процеси в САР з найкращими налаштуваннями регулятора

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

Таблиця 3.1 - Показники якості системи управління з ПІІ-регулятором

Параметр Регулятор	Ступінь стійкості	Статична похибка	Час регулювання, с	Перерегул ювання, %	Коливання
ПІІ- регулятор з найкращими налаштуваннями	0,08	0	40	0	0

3.3 Визначення експериментальної залежності ступеня стійкості САР від коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІ-регулятора

Залежність показників якості САР процесу магнітної сепарації від коефіцієнта підсилення K_p пропорційної частини представлені в таблиці 3.2. На рис.3.11 представлена експериментальна залежність ступеня стійкості від коефіцієнта підсилення пропорційної частини регулятора $\eta = f(K_p)$. Незабачити, що найкраще регулювання відповідає $K_p = 0,05$. В табл. 3.2 значення показників якості, які відповідають найкращому коефіцієнту підсилення виділені жирним шрифтом.

Таблиця 3.2 - Результати обчислювального експерименту

Параметри k_p	Ступінь стійкості, η	Час регулювання $t_{рег}, хв$	Перерегулювання, $\sigma, \%$	Коливання m
0,01	0,005	630	0	0
0,02	0,009	330	0	0
0,03	0,018	170	0	0
0,04	0,033	90	0	0
0,05	0,075	40	0	0
0,06	0,055	55	17	0
0,07	0,025	120	30	1
0,08	0,019	155	51	2
0,09	0,001	270	55	3

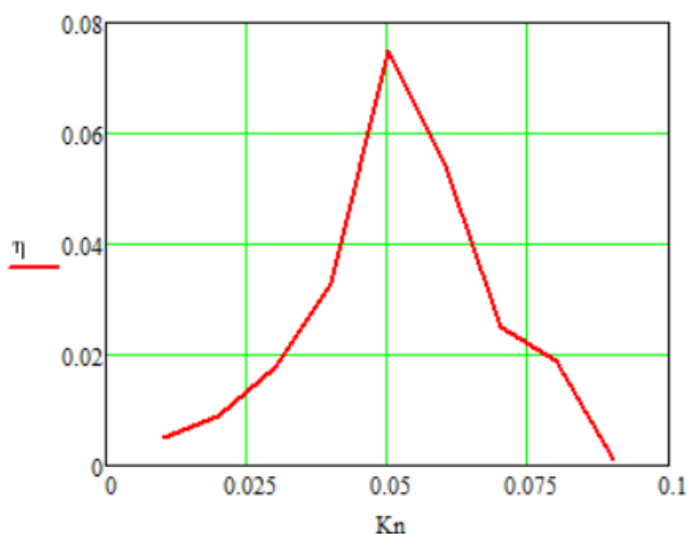


Рисунок 3.11 – Залежність $\eta = f(K_p)$

3.4 Висновки до розділу

Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання за відсутності регулятора.

Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання з предиктивним ПІ-регулятором.

При регулюванні процесом подрібнення на основі предиктивного ПІ-регулятора суттєвий вплив на перехідний процес чине тільки пропорційна частина.

Залежність ступеня стійкості системи автоматичного керування від коефіцієнта пропорційної частини предиктивного ПІ-регулятора має екстремальний характер.

4 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Цифрова модель системи керування

Перетворимо безперервну модель об'єкта керування до цифрового виду, схема моделювання безперервної моделі та цифрової представлена на рис. 4.1.

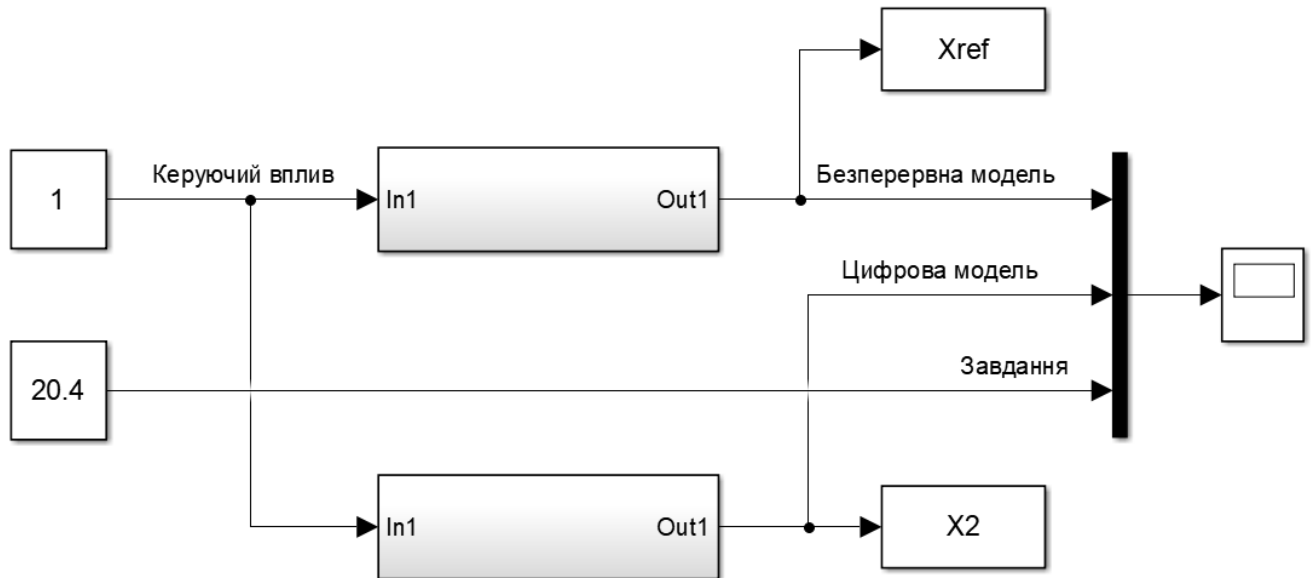


Рисунок 4.1 – Схема безперервної та цифрової моделі

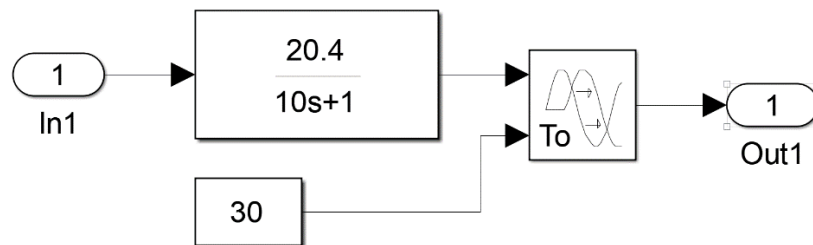


Рисунок 4.2 – Блок безперервної моделі об'єкта керування

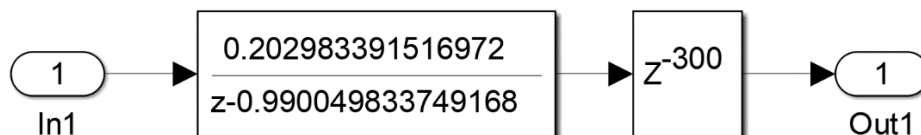


Рисунок 4.3 – Блок цифрової моделі об'єкта керування

Моделювання динамічної характеристики для цих моделей наведено на рис. 4.4.

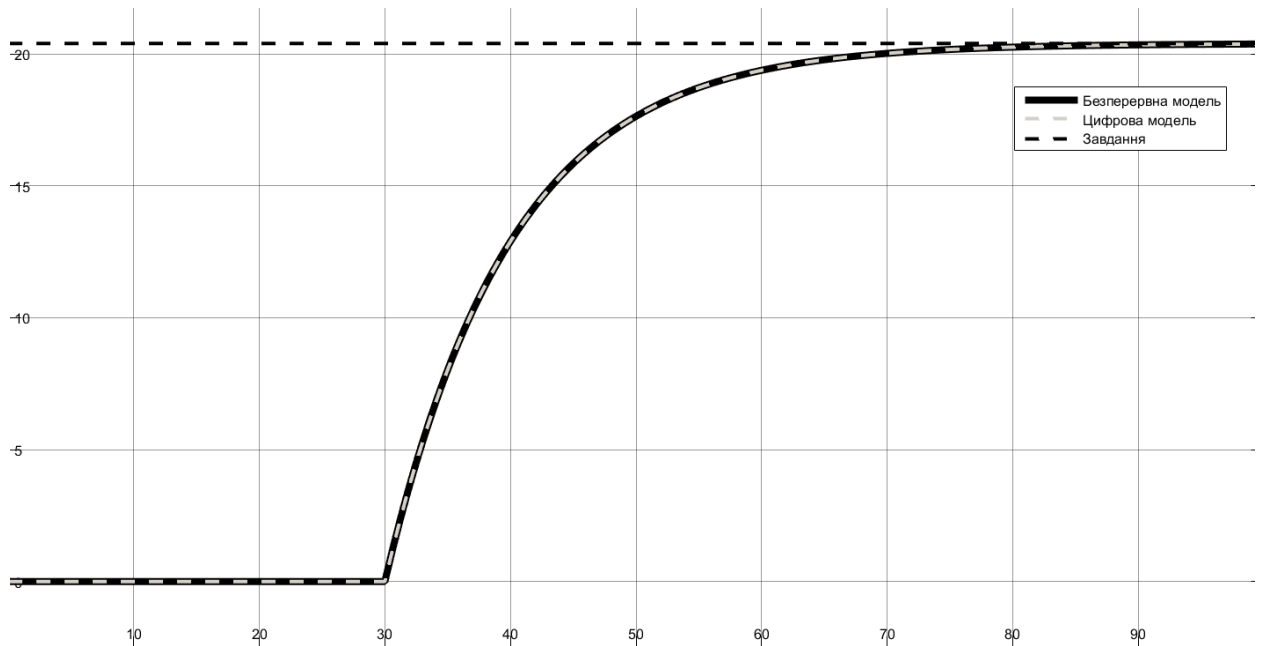


Рисунок 4.4 – Динамічна характеристика безперервного та цифрового об'єкта керування

Результат перевірки адекватності параметрів характеристик для безперервної і цифрової моделей:

Відповідність характеристик для безперервної і цифрової моделей
 $\text{FitX2} = 100.00$

Коефіцієнт кореляції: 1.000

Статистичний критерій Фішера: 346084309826393280.000

Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.711

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.

Модель є адекватною до об'єкта керування.

Схема моделювання САК наведена на рис. 4.5.

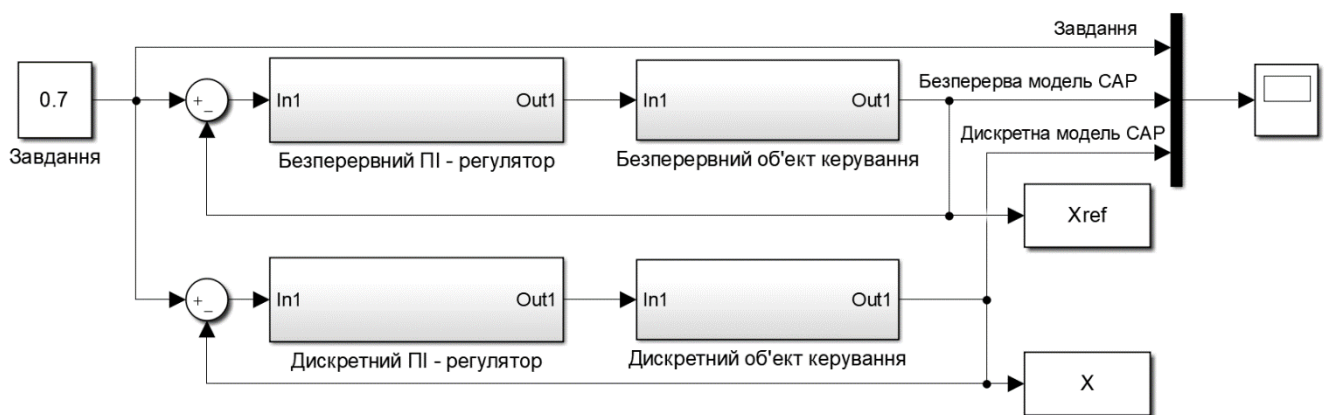


Рисунок 4.5 - Схема моделювання безперервної і цифрової САК.

На рис. 4.6 представлено блок безперервного ПІД-регулятора.

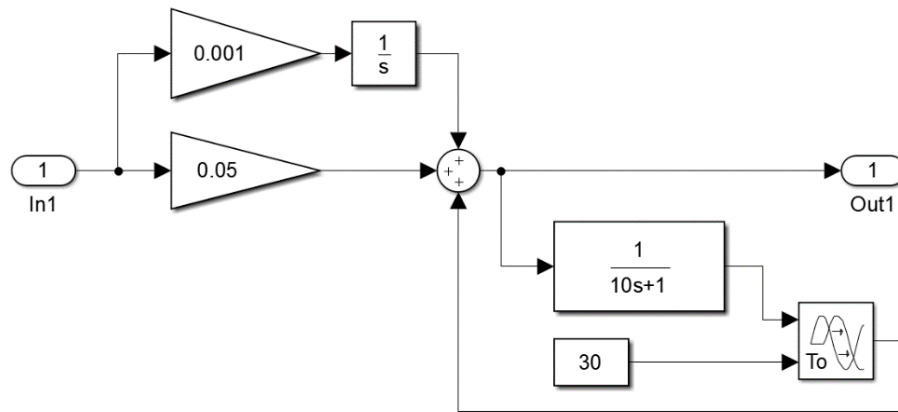


Рисунок 4.6 - Блок безпервного ПД-регулятора.

На рис. 4.7 представлено блок цифрового ПД-регулятора.

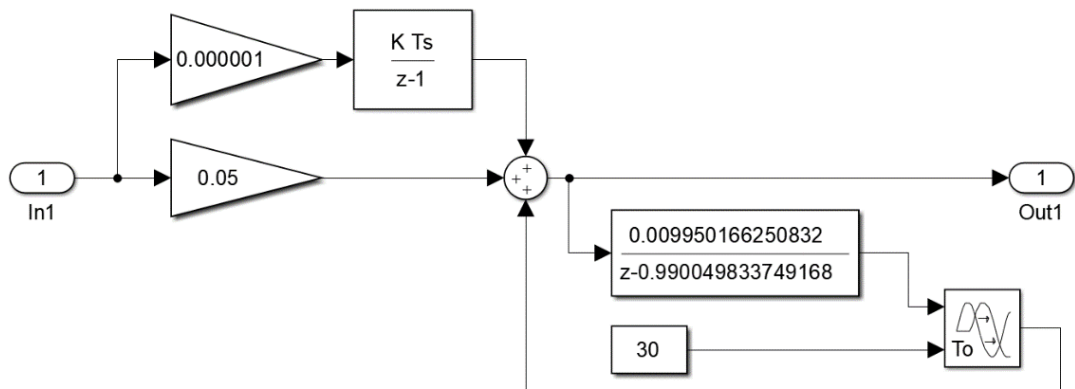


Рисунок 4.7 - Блок цифрового ПД-регулятора.

Результат керування безпервної і цифрової САР показано на рис. 4.8.

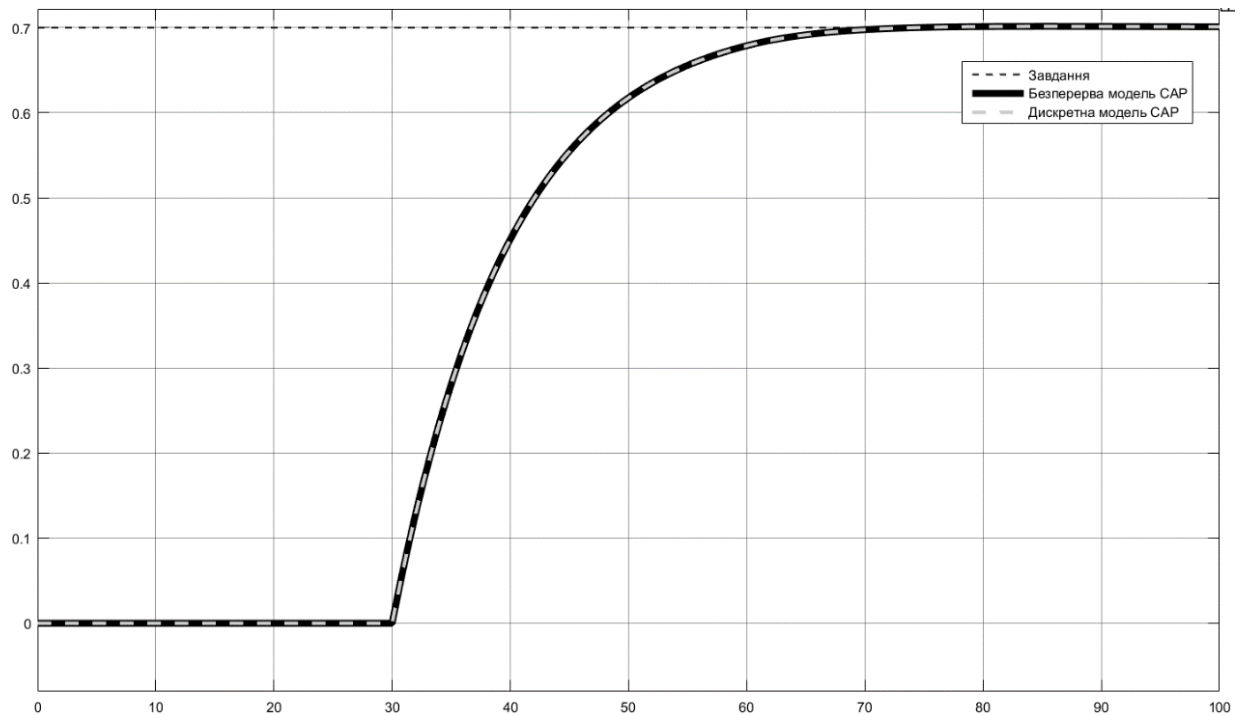


Рисунок 4.8 – Результат керування безперервної і цифрової САР

Результати перевірки параметрів адекватності цифрової моделі САР до безперервної моделі САР:

Відповідність характеристик безперервної і цифрової моделей САР
 Відповідність безперервної і цифрової моделей САР: 100.00 %
 Коефіцієнт кореляції: 1.000
 Статистичний критерій Фішера: 1804093076725.768
 Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.711
 Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.
 Модель є адекватною до об'єкта керування.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Для реалізації ПЗ системи керування в SCADA системі zenon додаємо драйвер “S7 TCP-IP driver” підключення до ПЛК “VIPA” Ethernet (рис. 4.9) і змінні САК (рис. 4.10).

Sta...	Identification	Description	File name
	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32

Рисунок 4.9 – Драйверу САК

State	Name	Identificat..	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit nu...	Align...	Symb...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filt...	Filt...	Filt...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Volume		(%)	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Latch		(0...1)	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	SetPoint		(0...1)	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive			0	0	0	0	0		Intern - Driver for in...	BOOL	0	0

Рисунок 4.10 – Змінні ПЛК

ПЗ об'єкта керування функціонує на програмному програмованому логічному контролері zenon Logic в режимі симуляції. Користувацький функціональний блок об'єкту керування “Object” та “Controller” розроблено на мові програмування Structured Text (рис. 4.11 та рис. 4.12).

```

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay' *)
Out1 := Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2' *)
FOR k := 0 TO 298 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[299] := LREAL#0.202983391516972 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2' incorporates:
 * Update for Import: '<Root>/In1' *)
u_states := In1 - (LREAL#-0.990049833749168 * u_states);

```

Рисунок 4.11 – Програма об'єкту керування “Object”.

```

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay'
 * Gain: '<S1>/Gain 1'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S1>/Sum1' *)
Out1 := (LREAL#0.05 * u) + Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3' *)
FOR k := 0 TO 298 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[299] := LREAL#0.009950166250832 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3' *)
u_states := Out1 - (LREAL#-0.990049833749168 * u_states);

```

Рисунок 4.12 – Програма ПІ-регулятора “Controller”.

На рис. 4.13 показана схема об'єкта керування в симуляторі zenon Logic.

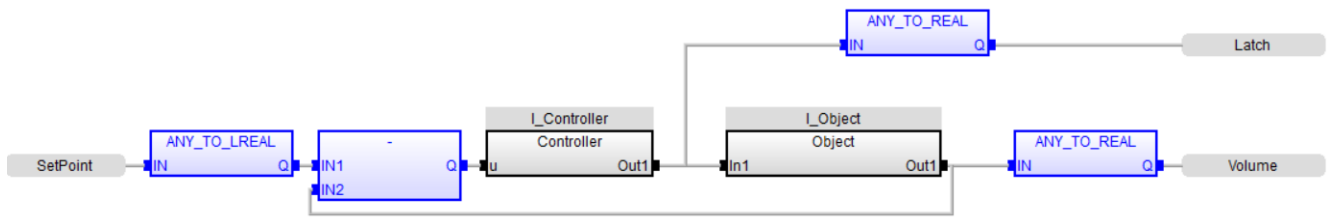


Рисунок 4.13 – Схема об'єкту керування

На рис. рис. 4.14 показано результат перевірки роботи об'єкту керування в симуляторі zenon Logic.

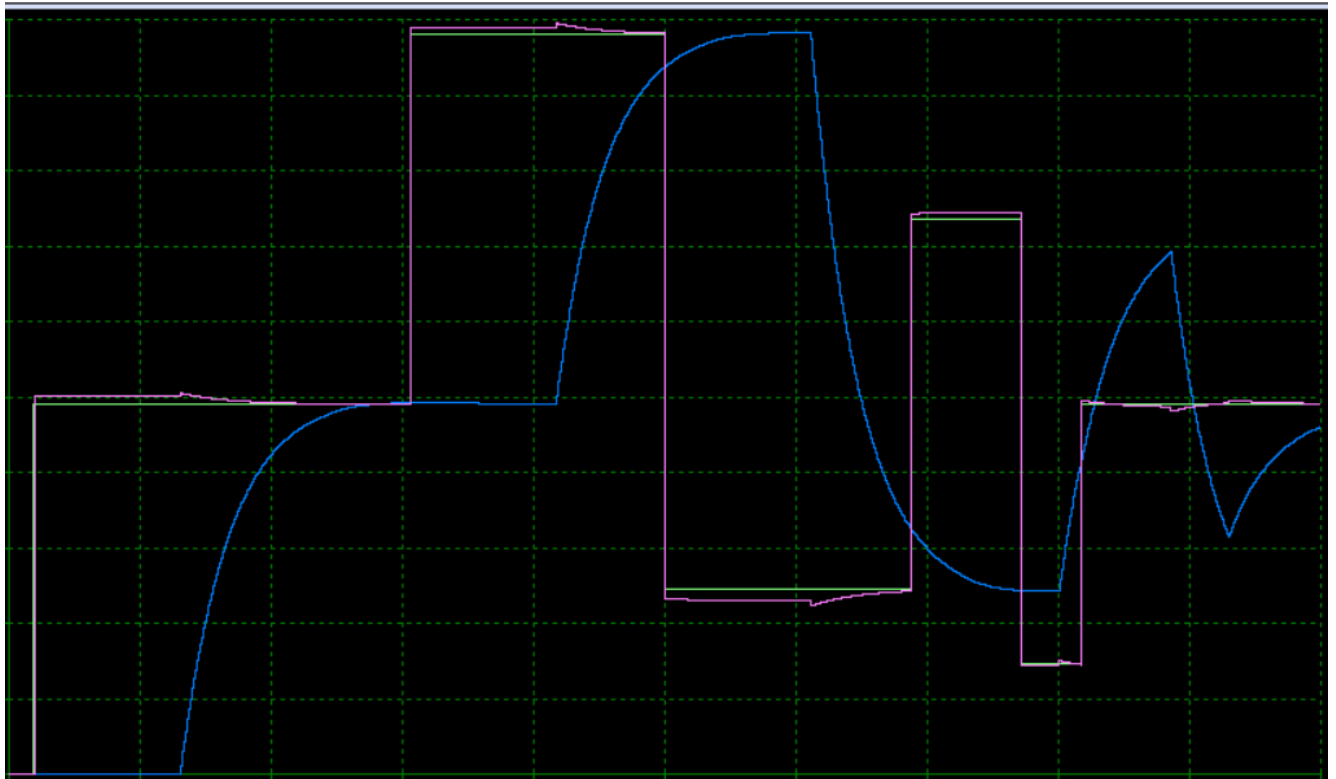


Рисунок 4.14 – Результат моделювання роботи САК

4.3 Розробка ПЗ людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс (НМІ) призначено спостерігати за САК у реальному часі, контролювати параметри об'єкту керування. Шаблони НМІ для відображення основних інформаційних вікон та кнопок навігації (рис. 4.15).

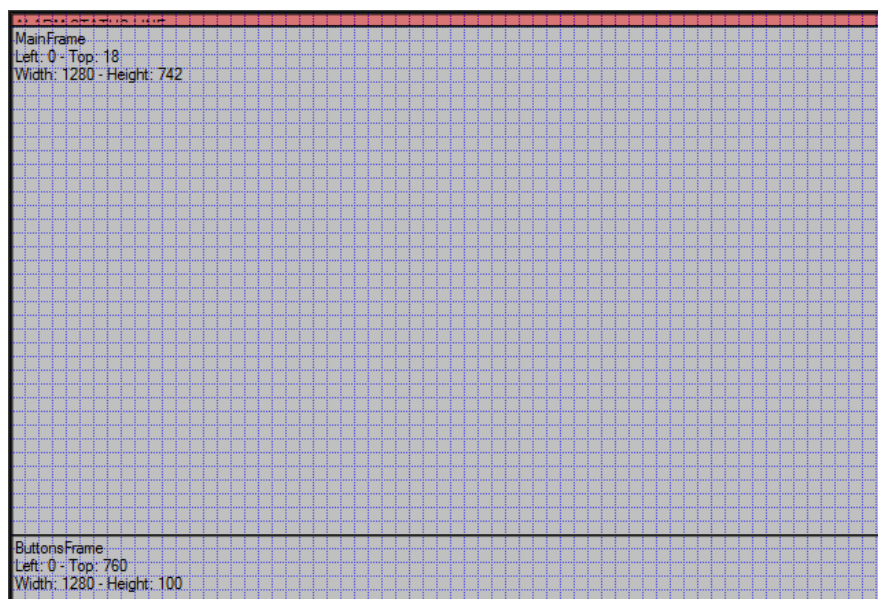


Рисунок 4.15 – Шаблони НМІ

Кнопки навігації керування процесом відображення інформації у вікнах НМІ зображено на рис. 4.16.

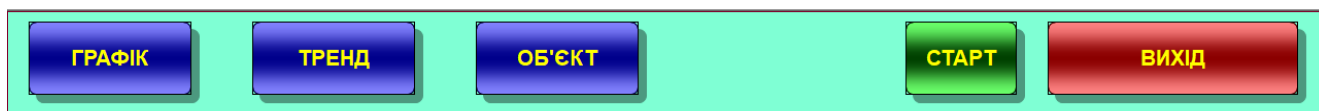


Рисунок 4.15 – Кнопки навігації

Вікно «ТРЕНД» має інформацію про змінні системи керування та «Тренд» відображення цих змінних у графічному вигляді на протязі 5 хв. відрізка часу (рис. 4.17), вікно «ГРАФІК» містить архівну інформацію (рис. 4.18), вікно «ОБ'ЄКТ» містить інформацію про об'єкт керування (рис. 4.19).

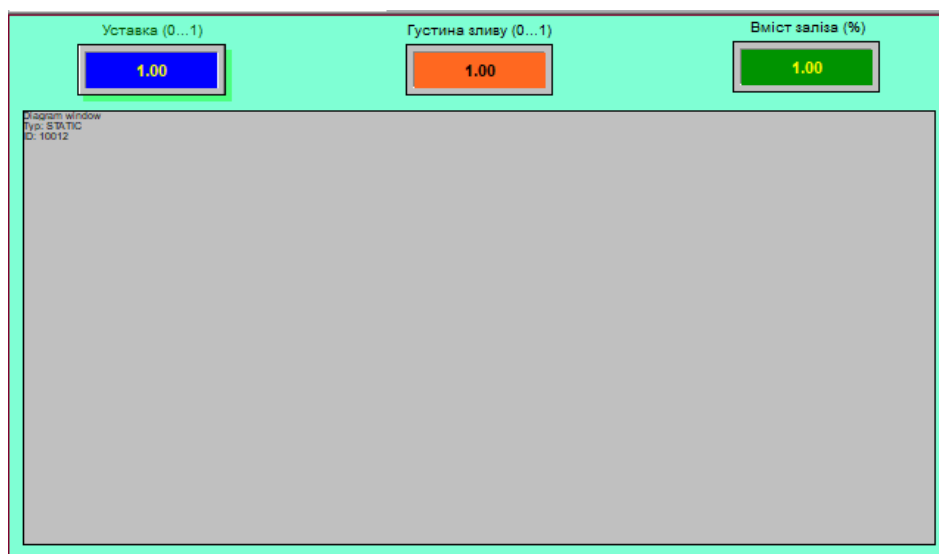


Рисунок 4.16 – Вікно НМІ «ТРЕНД»

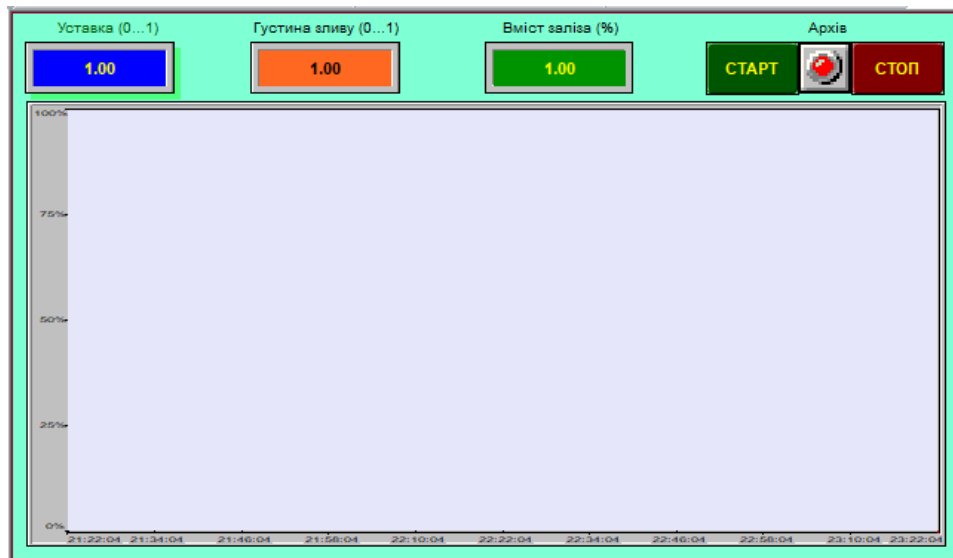


Рисунок 4.17 – Вікно НМІ «ГРАФІК»

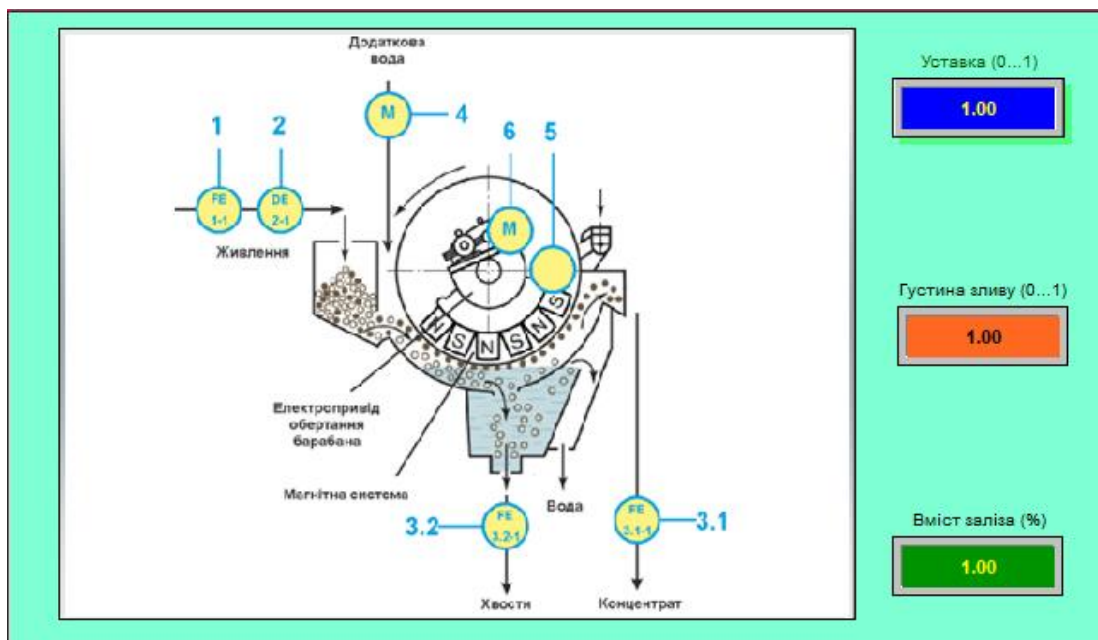


Рисунок 4.18 – Вікно НМІ «ОБ'ЄКТ»

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Функціонування ПЗ відбувалася шляхом подачі уставки у діапазоні 0...1 °С та спостереження роботи САК, роботу кнопок. Роботи САК в SCADA-системі zenon Logic показана на рис.. 4.19.

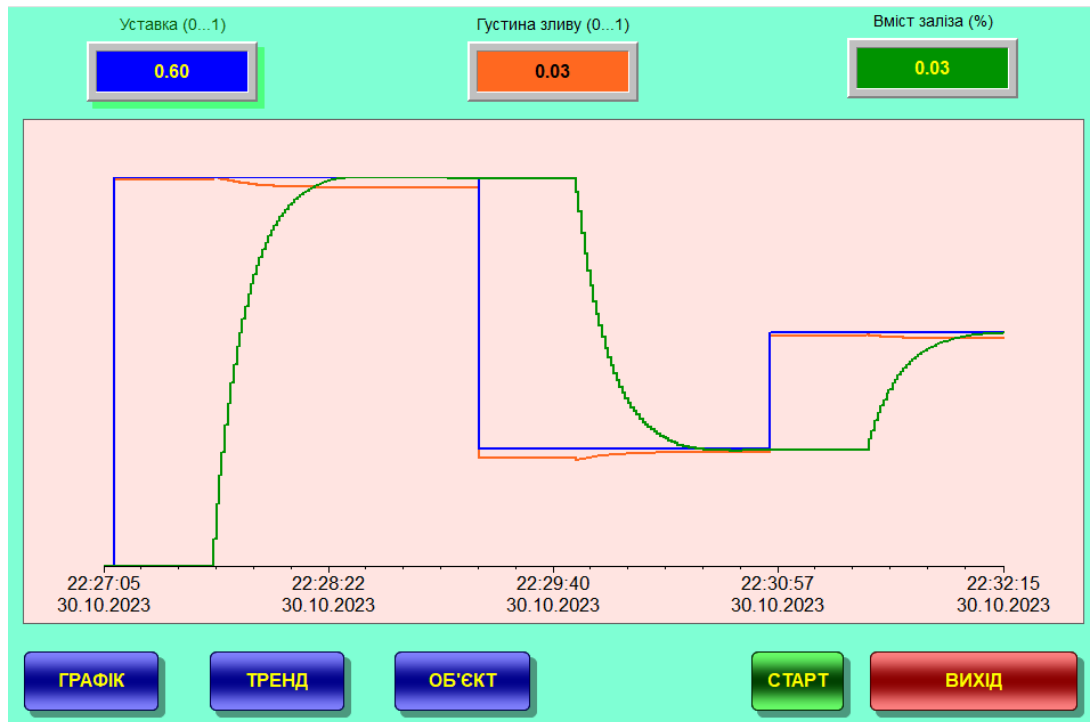


Рисунок 4.17 – Роботи САК в SCADA system zenon Logic

4.5 Висновки до розділу

На основі безперервної моделі системи керування було розроблено цифрову модель системи керування, розподілено її на дві підсистеми - підсистему регулятора та об'єкт керування і згенеровано код програми ПЛК, розроблено НМІ. Проведено перевірку функціональності роботи системи керування та людинно-машинного інтерфейсу.

На підставі перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення функціонує відповідно до заданих алгоритмів та забезпечує виконання роботи САК.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Доцільності САК

Система САК призначена для стабілізації роботи і збільшення продуктивності технологічного обладнання магнітної сепарації на гірничо-збагачувальному комбінаті.

5.2 Капітальні витрати

Капітальні витрати:

$$K = B_o + B_{mp} + B_m, \quad (5.1)$$

де B_o – вартість обладнання, грн.; B_{mp} – транспортні витрати, грн; B_m – витрати на монтаж, грн.

Таблиця 5.1 – Обладнання САК

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	ПЛЛ VIPA 214DPM (214-1BM02)	од.	1	15 151,84	15 151,84
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	8 045,84	8 045,84
3	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	5 651,47	5 651,47
4	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BD00	од.	1	7 167,40	7 167,40
5	Датчик витрати пульпи Kobold DZR - 3006F018	од.	1	10 261,03	10 261,03
6	Радіоізотопний щільномір ПРИЗ-Т	од.	1	9 600,67	9 600,67
7	Концентратомір кондуктометричний (кондуктометр) КВЧ 5М	од.	1	15 755,74	15 755,74
8	Частотний перетворювач Altivar Process ATV930D55N4	од.	1	46 965,93	46 965,93
9	Реле Jotta SSR 25DA (3x~380В, 0...24 В)	од.	2	451,00	902,00
10	Мережний кабель	м	200	23,20	4 640,00
11	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	39 853,33	39 853,33
12	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1 450,00	2 900,00
	Разом				166 895,25

Вартість основного та допоміжного обладнання $B_o = 166\,895,25$ грн.

Транспортно-заготівельні роботи складають 5 % від вартості обладнання:

$$B_{mp} = B_o * 0,05 \quad (5.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$B_{mp} = 166\,895,25 * 0,05 = 8\,344,76 \text{ грн.}$$

Монтажна-налагоджувальні роботи складають 7 % від вартості обладнання:

$$B_m = B_o * 0,07 \quad (5.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$B_m = 166\,895,25 * 0,07 = 11\,682,67 \text{ грн.}$$

$$K = 166\,895,25 + 8\,344,76 + 11\,682,67 = 186\,922,68 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на придбання та налагодження обладнання складають 186 922,68 грн.

5.3 Експлуатаційні витрати

Складові експлуатаційних витрат:

- амортизація основних засобів C_a ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу C_z ;
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати C_c ;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування $C_{p.m.o.}$;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування C_{ee} ;
- інші витрати $C_{інш.}$

Експлуатаційні витрати:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{інш.}, \quad (5.4)$$

Термін експлуатації обладнання 4 групи становить 5 років, норма амортизації при використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості визначається за формулою:

$$H_a = (2 / T) * 100, \quad (5.5)$$

де T – термін використання, роки; H_a – норма амортизації, %;

$$H_a = (2 / 5) * 100 = 40, C_a = (ПВ * H_a) / 100, \quad (5.6)$$

де C_a – річна сума амортизаційних (річна); $ПВ$ – первісна вартість, що дорівнює капітальним витратам, грн;

Отже, норма амортизації складе 40%., а сума амортизаційних відрахувань становитиме:

$$C_a = 186\,922,68 * 40 / 100 = 74\,769,07 \text{ грн.}$$

Фонд робочого часу:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) * T_{зм} \quad (5.7)$$

де, T_k – фонд робочого часу, дні ($T_k = 365$); $T_{вих.св}$ – вихідні та святкові дні, дні ($T_{вих.св} = 105$); $T_{відп}$ – відпустка, дні ($T_{відп} = 21$); $T_{зм}$ – тривалість зміни, год ($T_{зм} = 8$).

$$T_{ном.рік} = (365 - 105 - 21) * 8 = 1\,912 \text{ годин.}$$

У процесі роботи задіяний 1 оператор кожну зміну, 1 інженер одну зміна на добу і 1 наладчик кожну зміну. Графік роботи у три зміни.

Річний фонд заробітної плати наведеною в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ П/П	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	120,45	1 912	759 991,32	60 799,31	53 199,39	873 990,02
2	Технолог	1	140,55		295 604,76	23 648,38	20 692,33	339 945,47
3	Наладчик	1	126,50		266 054,80	21 284,38	18 623,84	305 963,02
Разом								1 519 898,51

Заробітна плата персоналу проектної системи керування
 $C_z = 1\,519\,898,51$ грн.

Соціальні заходи:

$$C_c = 0,22 * C_z \quad (5.8)$$

$$C_c = 0,22 * 1\,519\,898,51 = 334\,377,67 \text{ грн.}$$

Ремонтом та технічним обслуговування:

$$C_{р.т.о.} = K * 0,04, \text{ грн} \quad (5.9)$$

$$C_{р.т.о.} = 186\,922,68 * 0,04 = 7\,476,91 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії для пристроїв автоматизації:

$$C_{ee} = K_e * 24 * K_{др} * T, \quad (5.10)$$

де K_e – потужність, кВт; $K_{др}$ – кількість днів у році (365 днів); T – тариф на електроенергію (1,3286 грн за кВт/год без ПДВ).

Споживання електроенергії для засобів автоматизації становить 1,45 кВт/год. Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_{ee} = 1,45 * 365 * 24 * 1,3286 * 1,2 = 20\,251,05 \text{ грн.}$$

Інші витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати:

$$C_{\text{інш}} = C_3 * 0,04 \quad (5.11)$$

$$C_{\text{інш}} = 1\,519\,898,51 * 0,04 = 60\,795,94 \text{ грн.}$$

За формулою 4.3 річні експлуатаційні витрати:

$$C_e = 74\,769,07 + 1\,519\,898,51 + 334\,377,67 + 7\,476,91 + 20\,251,05 + 60\,795,94 = 2\,017\,569,15 \text{ грн.}$$

Розраховані експлуатаційні витрати представлено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Склад експлуатаційних виплат

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	74 769,07
Фонд заробітної плати	1 519 898,51
Відрахування на соціальне страхування	334 377,67
Ремонт і технічне обслуговування	7 476,91
Електроенергія	20 251,05
Інші витрати	60 795,94
Разом	2 017 569,15

5.4 Економічна ефективність

Коефіцієнт ефективності:

$$E_p = E / K, \text{ частки од.} \quad (5.12)$$

де E – загальна річна економія, тис. грн.; K – капітальні витрати, тис. грн.

Один магнітний сепаратор забезпечує прибуток до 12,0 млн. грн. Автоматизація підвищує рівень прибутку в середньому на 1,0 %, таким чином економія буде 120 грн.

$$E_p = 120\,000 / 186\,922,68 = 0,64.$$

Нормативне значення коефіцієнту дорівнює 0,15.

$$E_p > E_n \quad (5.13)$$

$$0,64 > 0,15.$$

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років капітальні витрати окупляться за рахунок загальної економії від впровадження об'єкта проектування:

$$T_p = K / E, \text{ років} \quad (5.14)$$

$$T_p = 186\,922,68 / 120\,000 = 1,5 \text{ роки.}$$

5.5 Висновки до розділу

Капітальні витрати складають 187 тис. грн., річні експлуатаційні витрати, 2 млн. грн., коефіцієнт ефективності більший ніж його нормативне значення, термін окупності 1,5 роки.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що впровадження системи керування є доцільним та економічно вигідним.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Охорона праці процесом магнітної сепарації ГЗК

Магнітна сепарація - це один з основних процесів збагачення корисних копалин, який використовується для розділення мінеральних компонентів за їх магнітними властивостями. У гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) магнітна сепарація застосовується для збагачення таких корисних копалин, як залізни, марганцеві, титанові, хромові руди, а також мінералів, що містять рідкісні метали.

Процес магнітної сепарації в ГЗК включає в себе наступні етапи:

Подрібнення корисної копалини до крупності, при якій магнітні властивості мінеральних компонентів проявляються найбільш чітко.

Розділення мінеральних компонентів за їх магнітними властивостями за допомогою магнітних полів.

Збір продуктів сепарації.

На кожному з цих етапів існують потенційні ризики для здоров'я і безпеки працівників.

Основні ризики:

– Ризик травмування при роботі з обладнанням. Магнітна сепарація здійснюється за допомогою спеціального обладнання, яке може бути травмонебезпечним. Наприклад, дробарки і млини можуть травмувати працівників, якщо вони не дотримуються правил техніки безпеки.

– Ризик отруєння пилом. Під час подрібнення корисної копалини утворюється пил, який може потрапити в дихальні шляхи працівників. Це може призвести до розвитку пневмоконіозів та інших захворювань органів дихання.

– Ризик електротравматизму. Магнітні сепаратори можуть бути електрифіковані. Тому працівники повинні дотримуватися правил електробезпеки.

– Ризик вибуху і пожежі. У процесі магнітної сепарації можуть утворюватися горючі пилові суміші. Тому працівники повинні дотримуватися правил пожежної безпеки.

6.2 Заходи щодо охорони праці

Для забезпечення охорони праці при процесі магнітної сепарації в ГЗК необхідно:

- Забезпечити працездатність обладнання. Обладнання для магнітної сепарації повинно бути в справному стані і регулярно проходити огляди і ремонти.
- Забезпечити дотримання правил техніки безпеки при роботі з обладнанням. Працівники повинні пройти навчання з техніки безпеки і дотримуватися встановлених правил.
- Забезпечити належні умови праці. Робочі місця повинні бути обладнані відповідно до вимог охорони праці.
- Забезпечити контроль за станом повітряного середовища. У приміщеннях, де проводиться магнітна сепарація, необхідно регулярно проводити контроль за станом повітряного середовища.

На кожному з етапів процесу магнітної сепарації необхідно вжити наступних заходів щодо охорони праці:

а) Подрібнення:

- встановити захисні огороження на дробарках і млинах;
- обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ);
- організувати регулярний контроль за станом обладнання.

б) Розділення:

- встановити захисні огороження на магнітних сепараторах;
- обладнати робочі місця ЗІЗ;
- організувати навчання працівників з техніки безпеки.

в) Збір:

- організувати належні умови праці в приміщеннях, де проводиться збір продуктів сепарації;
- забезпечити контроль за станом повітряного середовища.

При роботі з магнітними сепараторами існує ризик травмування, пов'язаний з рухомими частинами обладнання, обертовими елементами, струмом, падаючими предметами тощо.

Можливі наслідки:

- травми різного ступеня тяжкості, аж до смертельного результату.

Можливі причини:

- недотримання правил техніки безпеки.
- несправність обладнання.
- недолік освітлення.

Оцінка ризику:

- ймовірність ризику: висока (4);
- важка шкода: велика (3);
- рівень ризику: високий (12);

Заходи щодо зниження ризику:

- забезпечення працездатності обладнання;
- забезпечення дотримання правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- забезпечення належних умов праці.

Конкретні заходи:

- встановити захисні огороження на рухомих частинах обладнання, зокрема на обертових дисках і роторах;
- обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема касками, рукавичками, спецодягом;
- організувати навчання працівників з техніки безпеки;

Контроль за виконанням заходів:

- регулярні інструктажі з техніки безпеки;
- проведення перевірок працездатності обладнання.

Оцінка ризику проводиться за 5-бальною шкалою. Ймовірність ризику оцінюється від 1 (низька) до 5 (висока). Важка шкода оцінюється від 1 (незначна) до 5 (велика). Рівень ризику визначається як добуток імовірної шкоди на тяжкість шкоди.

Виконання заходів щодо зниження ризику дозволяє зменшити рівень ризику до прийняттого рівня.

Конкретні заходи щодо зниження ризику травмування при роботі з магнітними сепараторами:

- встановлення захисних огорожень на рухомих частинах обладнання, зокрема на обертових дисках і роторах, дозволяє запобігти травмуванню працівників, які випадково зачеплять ці частини;

- обладнання робочих місць засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема касками, рукавичками, спецодягом, дозволяє захистити працівників від травм, які можуть бути отримані в разі падіння предметів або у разі несправності обладнання;

- організація навчання працівників з техніки безпеки дозволяє підвищити обізнаність працівників про потенційні ризики і навчити їх діяти в безпечний спосіб;

- регулярні інструктажі з техніки безпеки дозволяють підтримувати рівень знань працівників про техніку безпеки на високому рівні. Проведення перевірок працездатності обладнання дозволяє своєчасно виявити несправності і усунути їх, щоб запобігти травмуванню працівників.

Виконання цих заходів дозволить забезпечити належний рівень охорони праці при роботі з магнітними сепараторами.

При роботі з магнітними сепараторами утворюється пил, який може потрапити в дихальні шляхи працівників. Це може призвести до розвитку пневмоконіозів та інших захворювань органів дихання.

Можливі наслідки:

- розвиток пневмоконіозів, легеневих захворювань, астми тощо.

Можливі причини:

- недотримання правил техніки безпеки;
- несправність обладнання;
- недолік вентиляції;

Оцінка ризику:

- ймовірність ризику: середня (3);
- важка шкода: велика (3);

- рівень ризику: середній (9).

Заходи щодо зниження ризику:

- забезпечення працездатності обладнання;
- забезпечення дотримання правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- забезпечення належних умов праці.

Конкретні заходи:

- встановити на магнітних сепараторах системи пилоочищення;
- обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема респіраторами, захисними окулярами, спецодягом;
- організувати навчання працівників з техніки безпеки.

Контроль за виконанням заходів:

- регулярні інструктажі з техніки безпеки;
- проведення перевірок працездатності обладнання.

Виконання заходів щодо зниження ризику дозволяє зменшити рівень ризику до прийняттого рівня.

Конкретні заходи щодо зниження ризику отруєння пилом при роботі з магнітними сепараторами:

Встановлення на магнітних сепараторах систем пиловидалення дозволяє зменшити кількість пилу, що утворюється в процесі роботи.

Обладнання робочих місць засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема респіраторами, захисними окулярами, спецодягом, дозволяє захистити працівників від пилу, який може потрапити в дихальні шляхи.

Організація навчання працівників з техніки безпеки дозволяє підвищити обізнаність працівників про потенційні ризики і навчити їх діяти в безпечний спосіб.

Регулярні інструктажі з техніки безпеки дозволяють підтримувати рівень знань працівників про техніку безпеки на високому рівні. Проведення перевірок працездатності обладнання дозволяє своєчасно виявити несправності і усунути їх, щоб запобігти утворенню пилу.

Виконання цих заходів дозволить забезпечити належний рівень охорони праці при роботі з магнітними сепараторами.

6.3 Розрахунок пилоочищення на магнітних сепараторах

Розрахунок пилоочищення на магнітних сепараторах

Дані:

- продуктивність магнітного сепаратора - 100 т/год;
- вміст пилу в вихідній сировині – 10 %;
- допустима концентрація пилу в атмосфері робочої зони - 2 мг/м³;

Розрахунок:

Маса пилу, що утворюється в процесі роботи магнітного сепаратора, визначається за формулою:

$$m = V * C * 100, \quad (6.1)$$

де: m - маса пилу, кг; V - продуктивність магнітного сепаратора, т/год; C - вміст пилу в вихідній сировині, %; $m = 100 \text{ т/год} * 10\% * 100 \text{ кг/т} = 10 \text{ т/год}$.

Об'єм повітря, який необхідно очистити від пилу, визначається за формулою:

$$V = m / C, \quad (6.2)$$

де: V - об'єм повітря, м³; m - маса пилу, кг; C - допустима концентрація пилу в атмосфері робочої зони, мг/м³.

$$V = 10 \text{ т/год} / 2 \text{ мг/м}^3 * 1000 \text{ мг/кг} = 50000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Потужність пилоочисного обладнання визначається за формулою:

$$N = V * Q, \quad (6.3)$$

де: N - потужність, кВт; V - об'єм повітря, який необхідно очистити, м³/год; Q - продуктивність пилоочисного обладнання, м³/год.

$$N = 50000 \text{ м}^3/\text{год} * 0,05 \text{ м}^3/\text{ч} * 1 \text{ кВт/м}^3/\text{ч} = 2500 \text{ кВт}.$$

Для очищення повітря від пилу, що утворюється в процесі роботи магнітного сепаратора з продуктивністю 100 т/год, необхідно використовувати пилоочисне обладнання з продуктивністю не менше 50000 м³/год і потужністю не менше 2 500 кВт.

У реальних умовах для розрахунку пилоочищення необхідно враховувати також такі фактори, як:

- тип пилу (сипучий, злиплий тощо);
- розміри пилу;
- швидкість руху повітря;
- температура повітря.

Ці фактори можуть впливати на продуктивність і ефективність пилоочисного обладнання.

При роботі з магнітними сепараторами може утворюватися статична електрика, яка може призвести до травмування працівників.

Можливі наслідки:

- шок;
- опік;
- пошкодження органів дихання;
- пошкодження шкіри.

Можливі причини:

- недотримання правил техніки безпеки;
- несправність обладнання.

Оцінка ризику:

- ймовірність ризику: середня (3);
- важка шкода: велика (3);
- рівень ризику: середній (9).

Заходи щодо зниження ризику:

- забезпечення працездатності обладнання;
- забезпечення дотримання правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- забезпечення належних умов праці.

Конкретні заходи:

- встановити на магнітних сепараторах системи заземлення;

- обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема гумовими рукавичками, взуттям, спецодягом;
- організувати навчання працівників з техніки безпеки.

Контроль за виконанням заходів:

- регулярні інструктажі з техніки безпеки;
- проведення перевірок працездатності обладнання.

Виконання заходів щодо зниження ризику дозволяє зменшити рівень ризику до прийняттого рівня.

Конкретні заходи щодо зниження ризику травмування від статичної електрики на магнітних сепараторах:

Встановлення на магнітних сепараторах систем заземлення дозволяє відводити статичну електрику в землю, що зменшує ймовірність її накопичення на тілі працівників.

Наприклад, магнітні сепаратори можуть бути заземлені за допомогою металевих штирів, які вбиваються в землю.

Обладнання робочих місць засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема гумовими рукавичками, взуттям, спецодягом дозволяє захистити працівників від ураження статичною електрикою.

Наприклад, гумові рукавички і взуття дозволяють запобігти передачі статичної електрики від обладнання до тіла працівника.

Організація навчання працівників з техніки безпеки дозволяє підвищити обізнаність працівників про потенційні ризики і навчити їх діяти в безпечний спосіб.

Наприклад, працівники повинні бути навчені, як правильно заземляти обладнання, як використовувати засоби індивідуального захисту і як діяти в разі ураження статичною електрикою.

Регулярні інструктажі з техніки безпеки дозволяють підтримувати рівень знань працівників про техніку безпеки на високому рівні. Проведення перевірок працездатності обладнання дозволяє своєчасно виявити несправності і усунути їх, щоб запобігти утворенню статичної електрики.

Виконання цих заходів дозволить забезпечити належний рівень охорони праці при роботі з магнітними сепараторами.

6.4 Пожежна профілактика при користуванні магнітними сепараторами

Приклади вибухів і аварій на магнітних сепараторах:

- 2023 рік, Україна. Вибух на магнітному сепараторі для збагачення руди заліза призвів до загибелі трьох працівників і травмування п'яти.
- 2021 рік, Китай. Вибух на магнітному сепараторі для переробки металобрухту призвів до загибелі двох працівників.

Ці випадки свідчать про те, що вибухи і аварії на магнітних сепараторах є серйозною проблемою, яка може призвести до травм і загибелі людей, а також до матеріальних збитків. Тому важливо вжити всіх необхідних заходів для їх запобігання. Тому проведемо розрахунок масштабів аварії при вибуху магнітного сепаратора

Дані:

- тип магнітного сепаратора: стрічковий, для збагачення руди заліза;
- продуктивність: 1 000 т/год;
- вміст заліза в сировині: 30 %;
- вміст домішок у сировині: 70 %;
- маса стрічки: 100 кг/м;
- довжина стрічки: 100 м.

Розрахунок: Маса заліза, що проходить через сепаратор за годину:

$$m = 1000 \text{ т/год} * 0,3 = 300 \text{ т/год.}$$

Маса домішок, що проходить через сепаратор за годину:

$$m = 1000 \text{ т/год} * 0,7 = 700 \text{ т/год.}$$

Маса пилу, що утворюється в процесі роботи сепаратора за годину:

$$m = m_{\text{заліза}} * f_{\text{пилу}} / 100\% \quad (6.4)$$

де: $f_{\text{пилу}}$ - фактор утворення пилу, який зазвичай приймається рівним 0,5 %.

$$m = 300 \text{ т/год} * 0,005 / 100\% = 0,15 \text{ т/год.}$$

Об'єм пилу, що утворюється в процесі роботи сепаратора за годину:

$$V = m / \rho \quad (6.5)$$

де: ρ - щільність пилю, яка зазвичай приймається рівною $1,5 \text{ г/см}^3$.

$$V = 0,15 \text{ т/год} / 1,5 \text{ г/см}^3 * 1000 \text{ см}^3/\text{м}^3 = 100 \text{ см}^3/\text{год}.$$

Об'єм повітря, необхідний для гасіння вибуху:

$$V_{\text{гашення}} = V * 1000 / m_{\text{заліза}} \quad (6.6)$$

$$V_{\text{гашення}} = 100 \text{ см}^3/\text{год} * 1000 / 300 \text{ т/год} * 1000 \text{ кг/т} * 1000 \text{ см}^3/\text{м}^3 = 33,33 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Максимальний радіус зони ураження при вибуху:

$$r = \sqrt{(3 * V_{\text{гашення}} / \rho_{\text{повітря}} * g)} \quad (6.7)$$

де: $\rho_{\text{повітря}}$ - щільність повітря, яка зазвичай приймається рівною $1,2 \text{ кг/м}^3$;
 g - прискорення вільного падіння, яке зазвичай приймається рівним $9,8 \text{ м/с}^2$; $r = \sqrt{(3 * 33,33 \text{ м}^3/\text{год} / 1,2 \text{ кг/м}^3 * 9,8 \text{ м/с}^2)} = 10,6 \text{ м}.$

При вибуху магнітного сепаратора для збагачення руди заліза з продуктивністю $1\,000 \text{ т/год}$ максимальний радіус зони ураження складе $10,6 \text{ м}$. У цій зоні можливі руйнування обладнання, будівель і споруд, а також травмування і загибель людей.

При роботі з магнітними сепараторами існує ризик пожежі, пов'язаний з утворенням горючих пилових сумішей.

Оцінка ризику. Ризик: Пожежа від горючих пилових сумішей при роботі з магнітними сепараторами.

Опис ризику: При роботі з магнітними сепараторами може утворюватися горюча пилова суміш, яка може загорітися в разі наявності джерела запалення.

Можливі наслідки:

- пожежа;
- вибух;
- загибель людей;
- завдання матеріальної шкоди.

Можливі причини:

- недотримання правил техніки безпеки;
- несправність обладнання;

– випадкове потраплення джерела запалення в зону утворення горючої пилової суміші.

Оцінка ризику:

- ймовірність ризику: висока (4);
- важка шкода: велика (3);
- рівень ризику: дуже високий (12).

Заходи щодо зниження ризику:

- забезпечення працездатності обладнання;
- забезпечення дотримання правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- забезпечення належних умов праці.

Конкретні заходи:

- встановити на магнітних сепараторах системи очищення повітря від пилу;
- обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема респіраторам, захисними окулярами, спецодягом;
- організувати навчання працівників з техніки безпеки.

Контроль за виконанням заходів:

- регулярні інструктажі з техніки безпеки;
- проведення перевірок працездатності обладнання.

Виконання заходів щодо зниження ризику дозволяє зменшити рівень ризику до прийняттого рівня.

Конкретні заходи щодо зниження ризику пожежі від горючих пилових сумішей при роботі з магнітними сепараторами:

Встановлення на магнітних сепараторах систем очищення повітря від пилу дозволяє зменшити концентрацію пилу в атмосфері робочої зони, що зменшує ймовірність її загоряння.

Обладнання робочих місць засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема респіраторам, захисними окулярами, спецодягом дозволяє захистити працівників від вдихання пилу і ураження відкритих ділянок шкіри в разі пожежі.

Організація навчання працівників з техніки безпеки дозволяє підвищити обізнаність працівників про потенційні ризики і навчити їх діяти в безпечний спосіб.

Регулярні інструктажі з техніки безпеки дозволяють підтримувати рівень знань працівників про техніку безпеки на високому рівні. Проведення перевірок працездатності обладнання дозволяє своєчасно виявити несправності і усунути їх, щоб запобігти утворенню горючих пилових сумішей.

Виконання цих заходів дозволить забезпечити належний рівень пожежної безпеки при роботі з магнітними сепараторами.

6.5 Висновки до розділу

На основі результатів розрахунку ризиків можна зробити наступні висновки:

Рівень ризику травмування від статичної електрики при роботі з магнітними сепараторами є середнім. Це пов'язано з тим, що статична електрика може накопичуватися на тілі працівників при роботі з магнітними сепараторами, що може призвести до ураження електричним струмом.

Рівень ризику пожежі від горючих пилових сумішей при роботі з магнітними сепараторами є дуже високим. Це пов'язано з тим, що при роботі з магнітними сепараторами може утворюватися горюча пилова суміш, яка може загорітися в разі наявності джерела запалення.

Рівень ризику вибуху або аварії на магнітному сепараторі є дуже високим. Це пов'язано з тим, що магнітні сепаратори є складними інженерними системами, які працюють під високим тиском і температурою.

Для зниження рівня ризиків при роботі з магнітними сепараторами необхідно вжити наступних заходів:

Встановити на магнітних сепараторах системи заземлення. Це дозволить відводити статичну електрику в землю, що зменшить ймовірність її накопичення на тілі працівників.

Обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема гумовими рукавичками, взуттям, спецодягом. Це дозволить захистити працівників від ураження статичною електрикою.

Встановити на магнітних сепараторах системи очищення повітря від пилу. Це дозволить зменшити концентрацію пилу в атмосфері робочої зони, що зменшить ймовірність її загоряння.

Обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема респіраторам, захисними окулярами, спецодягом. Це дозволить захистити працівників від вдихання пилу і ураження відкритих ділянок шкіри в разі пожежі.

Встановити на магнітних сепараторах системи блокування, які б запобігали несанкціонованому запуску обладнання. Це дозволить запобігти вибуху або аварії.

Обладнати робочі місця засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема касками, рукавичками, спецодягом. Це дозволить захистити працівників від ураження в разі вибуху або аварії.

Організувати навчання працівників з техніки безпеки. Це дозволить підвищити обізнаність працівників про потенційні ризики і навчити їх діяти в безпечний спосіб.

Реалізація цих заходів дозволить забезпечити належний рівень охорони праці при роботі з магнітними сепараторами.

ВИСНОВКИ

Атестаційна робота є закінченою дослідницькою роботою, в якій вирішена задача управління процесом магнітної сепарації "густина зливу млина – вміст заліза в концентраті".

Основними результатами роботи є:

1. В роботі розглянуті способи управління технологічним об'єктом з запізнюванням.
2. Проведений аналіз роботи САР процесом магнітної сепарації за відсутності регулятора.
3. Для ППІ-регуляторів розраховані значення коефіцієнта підсилення у прямому контурі САР, при якому система виходить на межу стійкості. Розраховані частота і період коливань.
4. Обґрунтований вибір типу регулятора САР процесом магнітної сепарації.
5. За методом Циглера-Нікольса визначені параметри предиктивного ПІ-регулятора.
6. Методом моделювання на ЕОМ в середовищі SIMULINK ППП MATLAB підтверджені теоретичні розрахунки та вибраний найкращий регулятор, виходячи із оцінок показників якості САР.
7. Методом обчислювального експерименту показана екстремальна залежність показника стійкості САР від коефіцієнту пропорційності предиктивного ПІ-регулятора.
8. Розроблено людино-машинний інтерфейс управління процесом сепарації для емулятора на базі програмованого логічного контролера VIPA System 200 V і програмного забезпечення HMI/SCADA системи Zenon Supervisor 7.0.
9. Підтверджена ефективність обраного регулятора на емуляторі.
10. Виконані економічні розрахунки щодо ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.

11. Розроблені і обґрунтовані заходи з безпеки праці, виконані розрахунки освітлення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олійник Т.А. Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд / Т.А. Олійник // Збагачення корисних копалин. – 2018. - №69(110). – С. 32-44.
2. Білецький В.С., Смирнов В.О. Технологія збагачення корисних копалин (видання друге). – Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. – 272 с.
3. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. – Д.: Днбас, 2004. – Т.1: А – К. – 640 с.
4. Медведєв М.Г., Пащенко І.О. Теорія ймовірностей та математична статистика. Підручник. – К.: Вид-во “Ліра-К”. 2008. – 536 с.
5. Герич М.С., Синявська О.О. Математична статистика: навч. посіб. Ужгород: ДВНЗ “УжНУ”, 2021. 146 с.
6. Коваль А.В. Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів: навч. посібник / А.В. Коваль. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 133 с.
7. Літнарівич Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник, МEGУ, Рівне, 2011.-140 с
8. Теорія автоматичного управління (лінійні та особливі системи). Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студентів напряму підготовки 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» Частина 1/ Упоряд.: М.М. Трипутень, В.Є Воскобоник -Дніпро НТУ «ДП» 2018. – 93 с.

ДОДАТОК А. ПРОГРАМНІ МОДУЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

А.1 Модуль об'єкта керування

```

FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    u: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..299] 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 299 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2'
*)
        u_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
        * Delay: '<S1>/Delay' *)
        Out1 := Delay_DSTATE[0];

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2' *)
        FOR k := 0 TO 298 DO
            Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
        END_FOR;
        Delay_DSTATE[299] := 0.202983391516972 * u_states;
        (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2' incorporates:
        * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
        u_states := u - (-0.990049833749168 * u_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

```

FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    u: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u_DSTATE: LREAL;
    u_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..299] 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 299 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1'
*)
        u_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3'
*)
        u_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
        * Delay: '<S1>/Delay'
        * DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1'
        * Gain: '<S1>/Gain 1'
        * Inport: '<Root>/In1'
        * Sum: '<S1>/Sum1' *)
        Out1 := ((0.05 * u) + u_DSTATE) + Delay_DSTATE[0];

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3' *)
        FOR k := 0 TO 298 DO
            Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];

```

```

END_FOR;
Delay_DSTATE[299] := 0.009950166250832 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Gain 2'
 * Inport: '<Root>/In1' *)
u_DSTATE := ((1.0E-6 * u) * 0.1) + u_DSTATE;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3' *)
u_states := Out1 - (-0.990049833749168 * u_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

ДОДАТОК Б. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Б.1 Програмне забезпечення керування

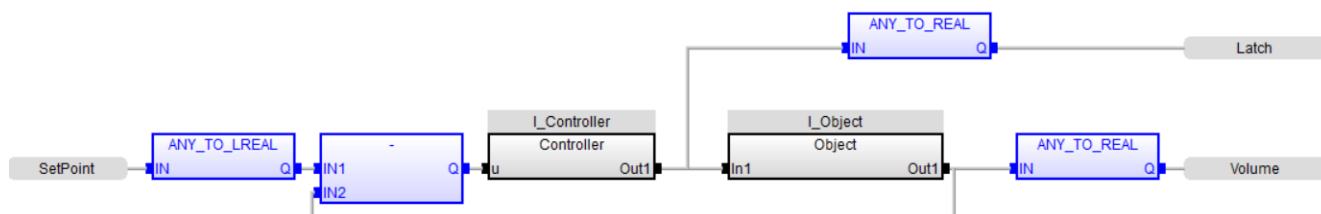
Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (* Основна програма *)

[ST] Main_object (* Об'єкт керування *)

[ST] Controller (* Контролер *)

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Об'єкт керування, програма

(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:

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

Out1 := Delay_DSTATE[0];

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

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2' *)

FOR k := 0 TO 298 DO

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

END_FOR;

Delay_DSTATE[299] := 0.202983391516972 * u_states;

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

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 2' incorporates:

* Update for Inport: '<Root>/In1' *)

u_states := u - (-0.990049833749168 * u_states);

Б.1.4 Об'єкт керування, перелік змінних

```
VAR_INPUT
    u: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
```

```

u_states: LREAL;
Delay_DSTATE: ARRAY [0..299] OF LREAL;
k: DINT;
i: DINT;
END_VAR

```

Б.1.5 Контролер, програма

```

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
 * Delay: '<S1>/Delay'
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1'
 * Gain: '<S1>/Gain 1'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S1>/Sum1' *)
Out1 := ((0.05 * u) + u_DSTATE) + Delay_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3' *)
FOR k := 0 TO 298 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[299] := 0.009950166250832 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Gain 2'
 * Inport: '<Root>/In1' *)
u_DSTATE := ((1.0E-6 * u) * 0.1) + u_DSTATE;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 3' *)
u_states := Out1 - (-0.990049833749168 * u_states);

```

Б.1.6 Контролер, перелік змінних

```

VAR_INPUT
    u: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u_DSTATE: LREAL;
    u_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..299] OF LREAL;
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR

```

ДОДАТОК В ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛЮДИНО- МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ

В.1 Драйвера

Sta...	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32

В.2 Перелік змінних

State	Name	Identificat...	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit nu...	Align...	Symb...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Volume		(%)	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Latch		(0...1)	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	SetPoint		(0...1)	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive			0	0	0	0	0		Intern - Driver for in...	BOOL	0	0

В.3 Шаблони зображень

St...Disp...	Name	Background...	Freely definea...	Left [pix...	Top [pix...	Right [pi...	Bottom [...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filter t...
<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STAT...	#FF000C	<input type="checkbox"/>	0	0	1920	25
<input checked="" type="checkbox"/>	MainFrame	#C0C0C	<input type="checkbox"/>	0	18	1280	760
<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonsFrame	#C0C0C	<input type="checkbox"/>	0	760	1280	860

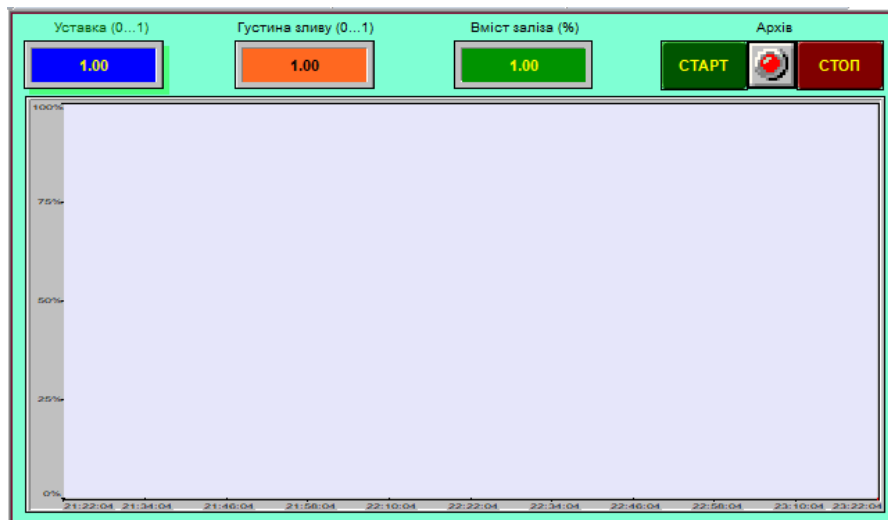
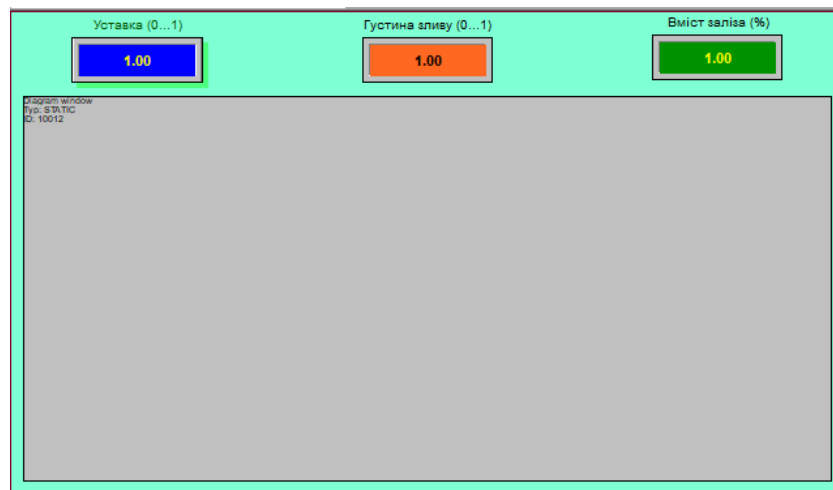
3 total / 3 filtered / 0 selected

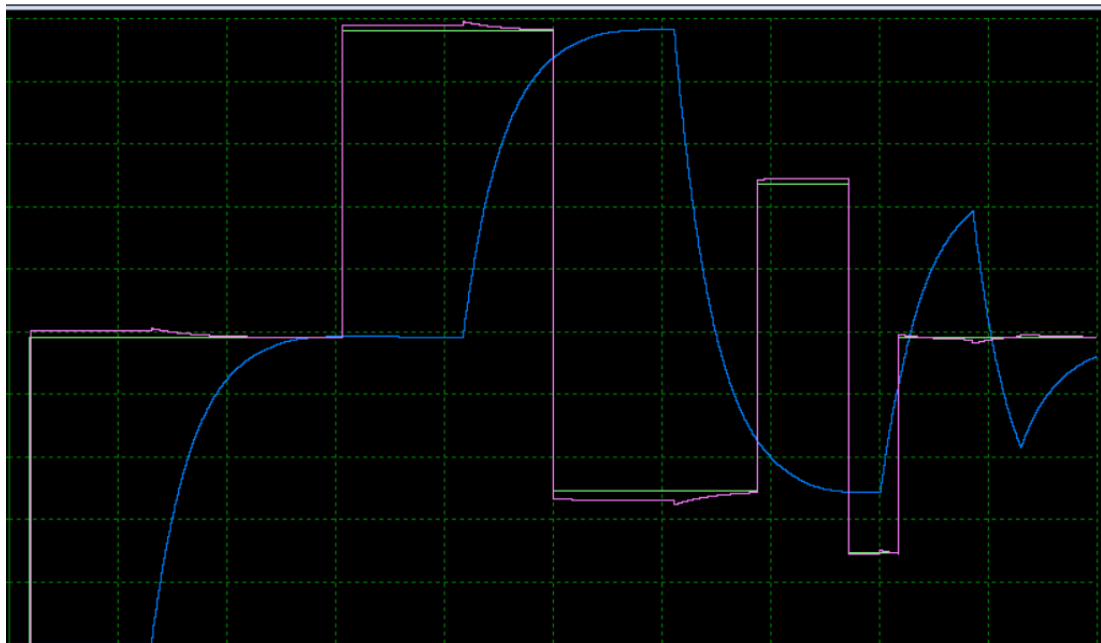
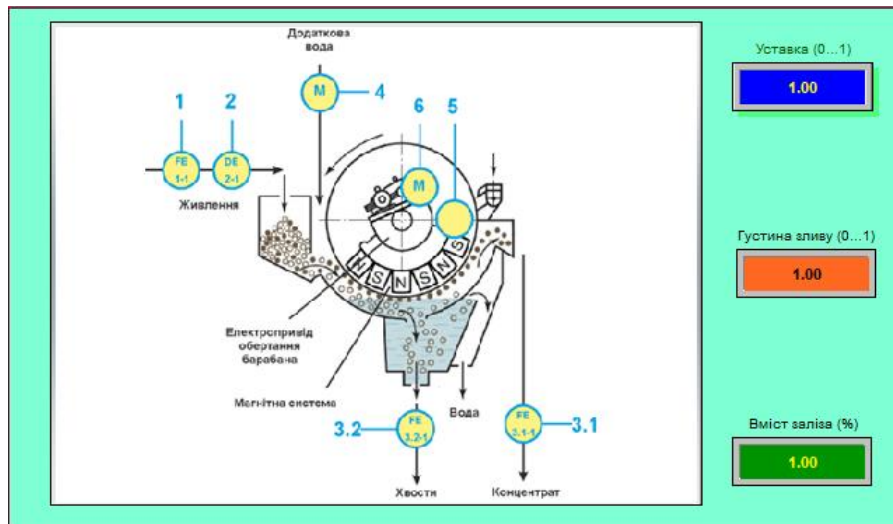
В.4 Функції

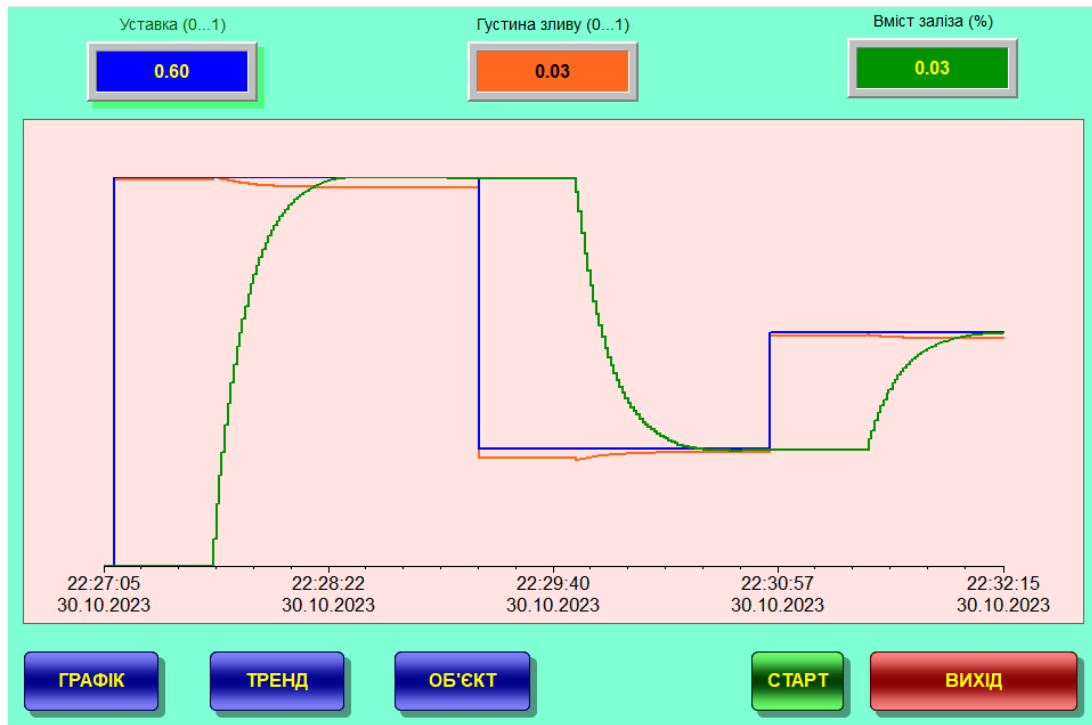
Name	Type	Parameter
Function_Button_Exit	Exit Runtime	
Function_Button_Start	Reload project online	changed objects
Function_Buttons_Screen	Screen switch	Screen_Buttons (Standard)
Function_Button_Schedule	Screen switch	Screen_Schedule (Standard)
Function_Button_Object	Screen switch	Screen_Object (Standard)
Function_Button_Trend	Screen switch	Screen_Trend (Extended Trend) - TRE...
Function_Archive_Start	Write set value	Archive - On (1)->
Function_Archive_Stop	Write set value	Archive - Off (0)->
Function_Button_ArchiveStart	Archive: Start	A0
Function_Button_ArchiveStop	Archive: Stop	A0

10 total / 10 filtered / 0 selected

В.5 Зображення







ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

