

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 Кравченко Олег Ігорович
(ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
(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 подрібнення в лінії збагачення ГЗК
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Трипутень М.М.			
розділів:				
Синтез системи керування	доц. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	ст. викл. Бойко О. О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2022

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

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

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Кравченко О.І. академічної групи 151М-20-1
(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 подрібнення в лінії збагачення ГЗК

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-с

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	01.10.21 – 07.10.21
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.21 – 30.10.21
Синтез системи	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	30.10.21 – 01.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.21 – 01.12.21
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та дослідження системи керування	01.12.21 – 15.12.21
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.12.21 – 30.12.21

Завдання видано _____

(підпис керівника)

доц. Трипутень М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії _____

31.12.2021

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Кравченко О.І.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 101 с., 59 рис., 20 табл., 3 додатків, 19 джерел.

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

Об'єкт дослідження: система автоматичного регулювання процесом подрібнення.

Мета дослідження: вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу "продуктивність по вхідній руді – ступінь внутрішньомлинового заповнення".

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 подрібнення.

У розділі «Стан питання та постановка задачі» наведено характеристику технологічного процесу, показано конструктивні особливості подрібнювальних агрегатів, розглянуто технологічний процес подрібнення з позицій задач керування і виконаний аналіз відомих систем керування процесом подрібнення.

У розділі «Теоретична частина» виконано аналіз відомих методів регулювання об'єктами керування з запізнюванням. Розглянуто методики вибору структури і визначення параметрів ПІД- і ПІІ-регуляторів для керування процесом флотації. Виконані розрахунки параметрів П-, ПІ-, ПІД- і ПІІ-регуляторів.

У розділі «Експериментальний розділ» виконано обчислювальні дослідження на ЕОМ САР з різними типами регуляторів за відсутності збурюючого впливу і при подачі в контур керування збурюючого впливу розподіленого за нормальним законом. Наведені показники якості САР з різними регуляторами. За результатами дослідження вибраний найкращий регулятор.

У розділі «Цифрова модель об'єкта керування» було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування процесом подрібнення в лінії збагачення ГЗК, а також ЛМІ, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує коректно та згідно з вимогами до системи автоматичного керування.

У економічному розділі визначені капітальні та експлуатаційні витрати а також був проведений розрахунок економічної ефективності.

У розділі охорони праці розглянуті можливі небезпечні і шкідливі фактори та запропоновані інженерно-технічні заходи для їх усунення.

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

МЛИН, ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ, КОНВЕЄР, ПРОДУКТИВНІСТЬ, СТУПІНЬ ЗАПОВНЕННЯ, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ, ПОКАЗНИК ЯКОСТІ, РЕГУЛЯТОР, МОДЕЛЮВАННЯ, ГІПОТЕЗА.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	8
Вступ	9
1 Стан питання та постановка завдання	12
1.1 Галузь промисловості	12
1.2 Технологічний процес	13
1.3 Об'єкт керування	14
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	14
1.3.2 Структура об'єкту керування	17
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування	19
1.4 Апаратне забезпечення системи керування	20
1.4.1 Структура системи керування	20
1.4.2 Структурна схеми інформаційних потоків	21
1.4.3 Вибір апаратного забезпечення системи керування	22
1.4.4 Функціональна схема автоматизації	30
1.4.5 Розробка схеми електричної принципової	31
1.5 Формулювання завдань дослідження	32
2 Теоретична частина	33
2.1 Методи регулювання об'єктів з запізненням	33
2.2 Розрахунок параметрів ПД-регулятора за методом Циглера-Нікольса	34
2.3 Регулювання з упередженням	40
2.3.1 Предиктор Сміта	40
2.3.2 Розрахунок предиктивного ПІ-регулятора	42
2.4 Висновки до розділу	46
3 Експериментальний розділ	47
3.1 Дослідження регуляторів САР за відсутності збурюючого впливу	47
3.1.1 Дослідження ПД-регуляторів САР за відсутності збурюючого впливу	47
3.1.2 Дослідження ППІ-регулятора САР за відсутності збурюючого впливу	51
3.2 Дослідження регуляторів САР із збурюючим впливом	55

	6
3.2.1 Визначення статистичних параметрів САР з ППІ- і ПІД – регуляторами	55
3.2.2 Перевірка гіпотези про значущість відмінності оцінок середніх і дисперсій досліджуваних систем автоматичного керування процесом подрібнення	57
3.3 Висновки	59
4 Експериментальний розділ	61
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	66
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	68
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	72
4.5 Висновки до розділу	74
5 Економічна частина	75
5.1 Обґрунтування доцільності впровадження автоматизації в виробничий процес	75
5.2 Визначення капітальних вкладень на реалізацію проекту	75
5.3 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	76
5.4 Оцінка економічної ефективності оптимізації	79
5.4.1 Прибуток від підвищення продуктивності виробництва	79
5.4.2 Рентабельність оптимізаційних заходів	80
5.4.3 Приведені витрати В	80
5.4.4 Період повернення капіталу (термін окупності) Т	80
5.5 Висновки по розділу	81
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	82
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів технологічного процесу	82
6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	82
6.2.1 Подрібнення	82
6.2.2 Заходи щодо боротьби з вібрацією та шумом	83
6.2.3 Електробезпека	84
6.3 Розрахункова частина	84
6.3.1 Штучне освітлення	84

	7
6.3.2 Кондиціювання повітря для приміщення	85
6.4 Пожежна профілактика	86
6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях	87
6.6 Висновки до розділу	87
Висновки	88
Список літератури	89
Додаток А	91
Додаток Б	95
Додаток В	99
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	102

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

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

ВСТУП

Актуальність теми.

АСУ ТП є основним у напрямку автоматизації гірничих процесів. 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.

Для створення автоматичних систем керування застосовуються різні технічні засоби автоматики: контрольно-вимірювальна апаратура, різноманітні датчики, підсилювальні і виконавчі пристрої. Разом з тим слід зазначити, що, незважаючи на різноманітність технологічних процесів і завдань керування, більш ефективною виявилася концепція універсальних регуляторів і приладів, які можна використовувати для керування різними процесами.

Головними цілями автоматизації систем подрібнення є: автоматичний контроль процесу та стану технічного обладнання, автоматичне регулювання параметрів процесу подрібнення і керування роботою машин і механізмів. Основним недоліком є те, що технологічне обладнання схильне до зносу.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу подрібнення на гірничо-збагачувальному комбінаті за рахунок вдосконалення системи автоматичного регулювання ступенем заповнення млина. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація відхилень поточних значень ступеня заповнення млина від заданого значення в динамічному і стохастичному сенсі.

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

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування ступенем заповнення млина;

- проведений синтез системи автоматичного керування ступенем заповнення млина 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 подрібнення.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування процесом внутрішньомлиновим заповненням.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування процесом подрібнення використані методи теорії автоматичного керування, моделювання і статистичного аналізу даних. Експериментальні дослідження (моделювання) проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- синтезовано предиктивний ПІ-регулятор для системи автоматичного регулювання ступенем внутрішньомлиного заповнення;
- показано відсутність впливу інтегральної частини предиктивного ПІ-регулятора на показники якості перехідного процесу вихідної величини в системі автоматичного регулювання ступенем внутрішньомлиного заповнення;
- визначена область оптимальних значень коефіцієнта пропорційності предиктивного ПІ-регулятора системи автоматичного керування ступенем внутрішньомлиного заповнення;
- доведено ефективність предиктивного ПІ-регулятора в динамічному і стохастичному сенсі при керуванні ступенем внутрішньомлиного заповнення.

Наукове положення – мінімум дисперсії вихідної величини процесу флотації досягається застосуванням упередженого керування з використанням 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 інтенсивна 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

Подрібнюванням називається процес зменшення розміру часток матеріалу шляхом механічного впливу. Збагачення корисних копалин подрібнення застосовується для розкриття рудних зерен, що мають розмір від 5 мм до часток міліметра. Подрібнення є найбільш енергоємним процесом.

Самоподріблення – це подрібнення матеріалу в результаті взаємних ударів шматків, їх деформація і руйнування.

В даний час для подрібнення матеріалів застосовують машини різних типів, починаючи від великих щоккових дробарок, що дроблять брили матеріалу об'ємом до 2 м², і, завершуючи колоїдними млинами, які роздрібнюють продукти на частинки розміром до 0,1 мкм. Умовно виділяють подрібнення (велике, середнє і мале) і роздрібнення (тонке і надтонке). У практиці рудопідготовки на збагачувальних комбінатах застосовується самоподріблення в барабанних млинах.

Руда подається на стрічковий конвеєр. На стрічковому конвеєрі перед подачею руди в млин встановлені конвеєрні ваги для обліку ваги руди. У рудному (первинному) самоподрібненні в млин подається руда крупністю до 300-350 мм після дроблення. Млин розгружується в класифікатор. Зі зливом класифікатора подрібнений продукт виводиться з процесу, а недоподрібнені частки знову спрямовуються в млин (рис. 1.1).

Подрібнювання корисних копалин на збагачувальних комбінатах, цементних і металургійних заводах виробляється в основному мокрим способом, тобто з водою. За допомогою води здійснюється транспортування руди між агрегатами. Тому необхідно знати і враховувати властивості пульпи.

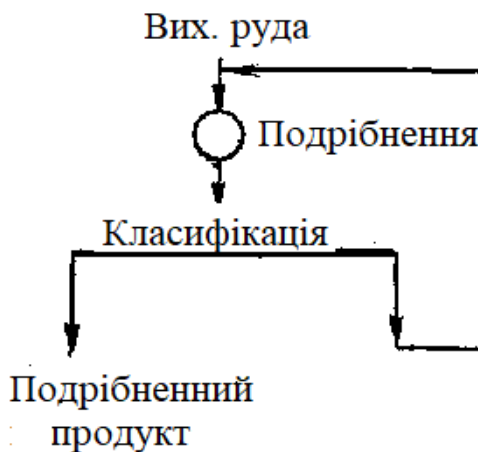


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу подрібнення

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Для подрібнення твердих матеріалів найбільшого поширення отримали барабанні млини.

Барабанні млини (рис. 1.2) представляють собою футерований барабан - 2, який частково заповнений мелючими тілами – 4 (шари, стержні, морська галька і т.п.). При обертанні барабана подрібнюючі тіла завдяки тертю захоплюються внутрішньою поверхнею барабана і піднімаються на деяку висоту, потім вільно подають(або перекочуються) вниз. Барабанні млини класифікуються за наступним основними ознаками:

- 1) за принципом роботи – млини періодичної та безперервної дії;
- 2) за способами подрібнення – млини сухого та мокрого подрібнення;
- 3) за характером роботи – млини, які працюють в відкритому або закритому циклі;
- 4) за лінійними розмірами барабана - короткі при $L \gg D$ (де L – довжина, D – діаметр барабану млина).

В барабанних млинах періодичної дії завантаження мелючими тілами, матеріалом, а також розвантаження млина відбуваються через люк в циліндричній частині барабана при його зупинці. Млини періодичної дії

використовують в помольних установках з низькою продуктивністю або при поєднанні подрібнення матеріалу та інших процесів при необхідності дотримання певного часу перебування матеріалу в зоні подрібнення.

В крупних та середніх виробництвах використовують барабанні млини безперервної дії, які мають порожні цапфи, одна з яких використовується для безперервного завантаження матеріалу, а інша – для безперервного розвантаження подрібненого матеріалу потоком газового або рідкого носія.

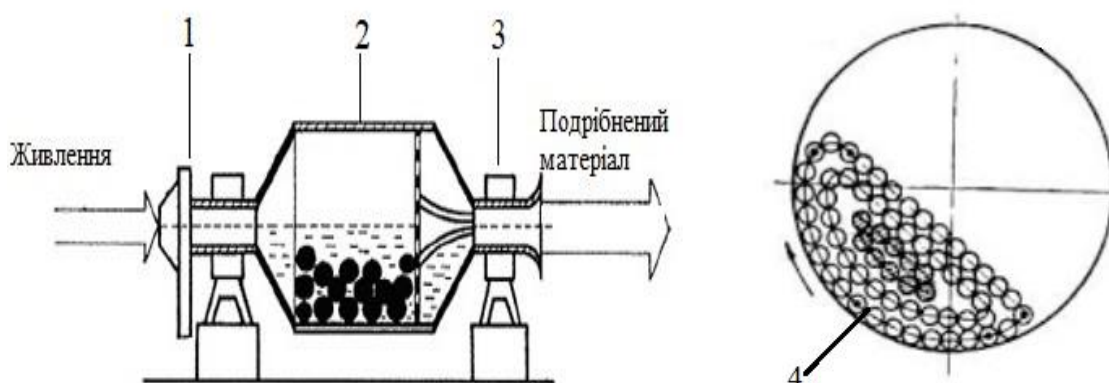


Рисунок 1.2 – Схема пристрою і принцип дії обертового барабанного млина
1 - загрузочна втулка; 2 – барабан; 3 – розгрузочна горловина; 4 - подрібнюючі тіла.

Млин ММС-70-23 (рис. 1.3) призначений для мокрого самоподріблення руд чорних і кольорових металів. Робота млина здійснюється при безперервній подачі в барабан руди і води. Матеріал, що потрапив у барабан, захоплюється ліфтерами і піднімається на певну висоту. Падаючи зверху, шматки матеріалу вдаряються один об одного і об броню. При цьому відбувається постійне перемішування матеріалу, під час якого він подрібнюється шляхом розколювання, роздавлювання і стирання.

Подрібнений матеріал, крупність якого стає менше розміру щілини розвантажувальних ґраток, разом з водою проходить через щілини в порожнині підґратчастих футерувань і вивантажується з барабана млина.

Максимальна крупність грудок матеріалу, що завантажується в млин, 400 мм, продуктивність млина 80-500 т/год, внутрішній діаметр барабана 7 000 мм, довжина барабана 2 300 мм.

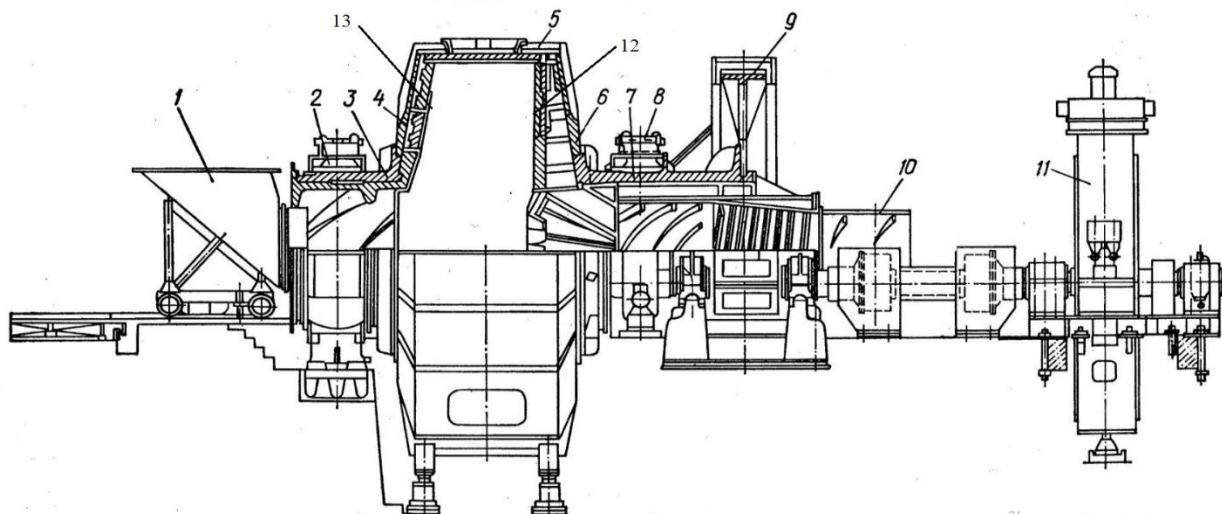


Рисунок 1.3 – Поздовжній розріз млина для мокрого рудного самоподріблення ММС-70х23

Млин мокрого самоподріблення (рис. 1.3) складається з барабана 5 із завантажувальними кришками 4 і 6, за допомогою яких барабан опирається на корінні підшипники 2 і 8. Торцеві кришки мають пустотілі цапфи: завантажувальну 3 і розвантажувальну 7. Обертання барабану передається від електродвигуна через вінець зубчастий 9, закріплений на розвантажувальній цапфі.

Корпус барабана складається з двох половин з'єднаних фланцями. До корпусу приєднані порожні цапфи 3 і 7. У цапфах розташовані завантажувальна і розвантажувальна втулки. Завантажувальна втулка має спіралі, призначені для прискорення подачі руди в млин, і спіральний пристрій для повернення у млин пульпи, що протікає скрізь ущільнення. Вихідна руда завантажується у млин за допомогою завантажувального пристрою 1, який являє собою патрубок, що переміщується механічним приводом по рейках.

Футеровка барабана складається з броньових плит і ліфтерів 13, футеровка торцевих стінок складається з двох рядів плит. Кріплення плит здійснюється ліфтерами і болтами з потайними головками. Біля розвантажувального кінця млина установлена решітка 12. Щілини решітки мають ширину 20 мм і виконані з розширенням у бік розвантаження. Кріплення решіток здійснюється боковими ліфтерами і болтами. Як і у кульових млинів з решітками, в млинах типу ММС простір між решіткою 12 і торцевою кришкою 6 розділено радіальними перегородками – розвантажувальними ліфтерами на секторні камери відкриті у цапфу 7. Ці ліфтери відливаються разом з футеровочними плитами.

Наявність решітки і розвантажувальних ліфтерів дозволяє здійснити примусове розвантаження подрібненого продукту з млина і підтримувати у млині низький рівень пульпи. При обертанні млина ліфтери 13 діють, як елеваторне колесо: піднімають пульпу до рівня розвантажувальної цапфи 7, через яку вона видаляється з млина. Класифікація подрібненого матеріалу здійснюється на бутарі 10, яка закріплена на розвантажувальній цапфі. Рудна галька виділяється з млина через вікна у розвантажувальній решітці. Млини мокрого самоподріблення у залежності від типорозміру приводяться в рух одним або двома електродвигунами.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Основними вихідними змінними процесу самоподріблення в ММС (рис. 1.4) є зміст готового класу крупності в вихідному продукті G_m , продуктивність готового класу q_g , споживана потужність P_p і ступінь внутрімлинового заповнення φ .

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

Найбільш трудоемним і важливим в оптимізації процесів самоподріблення руд є вибір критерія оптимальності і математичної моделі технологічного процесу. Так як процеси ККД і МСИ відносять к підготовчим процесам, то для їх керування застосовують технологічні критерії.

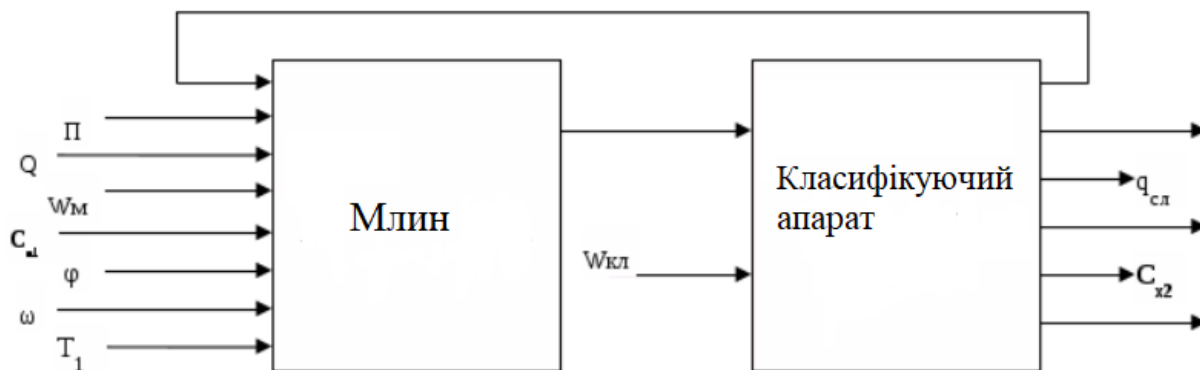


Рисунок 1.4 – Змінні процесу подрібнення

Змінні процесу подрібнення можна класифікувати наступним чином:

1. Вхідні:

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

2. Вихідні:

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

Такі фактори як знос тіл, що мелють, футерування барабана млина, піскові насадки гідроцеклону, можна характеризувати як перешкоди.

Контроль завантаження барабану млина рудою і циркулююче навантаження циклу подрібнення – здійснюють природні індикатори, що відображують хід процесу подрібнення і реагують на зміну всіх параметрів циклу.

Ступінь завантаження млина рудою найбільш просто контролювати за рівнем шуму, виробленого тілами, що мелють в зоні їх падіння. При зменшенні рівня завантаження рівень шуму зростає, при збільшенні – зменшується.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Режими функціонування технологічного процесу керування процесом подрібнення 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 подрібнення руди:

- якщо завершено подачу води, то зупинення млина, живильника і конвеєра, перекриття вентилів на водопідводячих трубках;

- якщо порушення герметичності обладнання і трубопроводів, то зупинка млина, живильника і конвеєра, перекриття вентилів на водопідводячих трубах;
- якщо завершилася подача вихідної руди, то зупинення млина живильника і конвеєра, припинення подачі води;
- якщо вийшли з ладу контролюючі пристрої, то зупинка млина, живильника і конвеєра, припинення подачі води;
- якщо обрив стрічки, то зупинка млина, живильника і конвеєра;
- якщо заклинювання стрічки, то зупинка млина, живильника і конвеєра.

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

1.4 Апаратне забезпечення системи керування

1.4.1 Структура системи керування

В якості об'єкту керування, що розробляється, виступає ММС-70х23.

Вхідним параметром об'єкта є продуктивність по вхідній руді що подається в завантажувальний пристрій діапазоном від 0-140 т/год. Вихідним параметром об'єкта керування є ступінь внутрімлинового заповнення що може знаходитися в діапазоні від 30-60 %. Основним завданням розроблюваної системи керування є підтримання ступеня заповнення 50%.

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

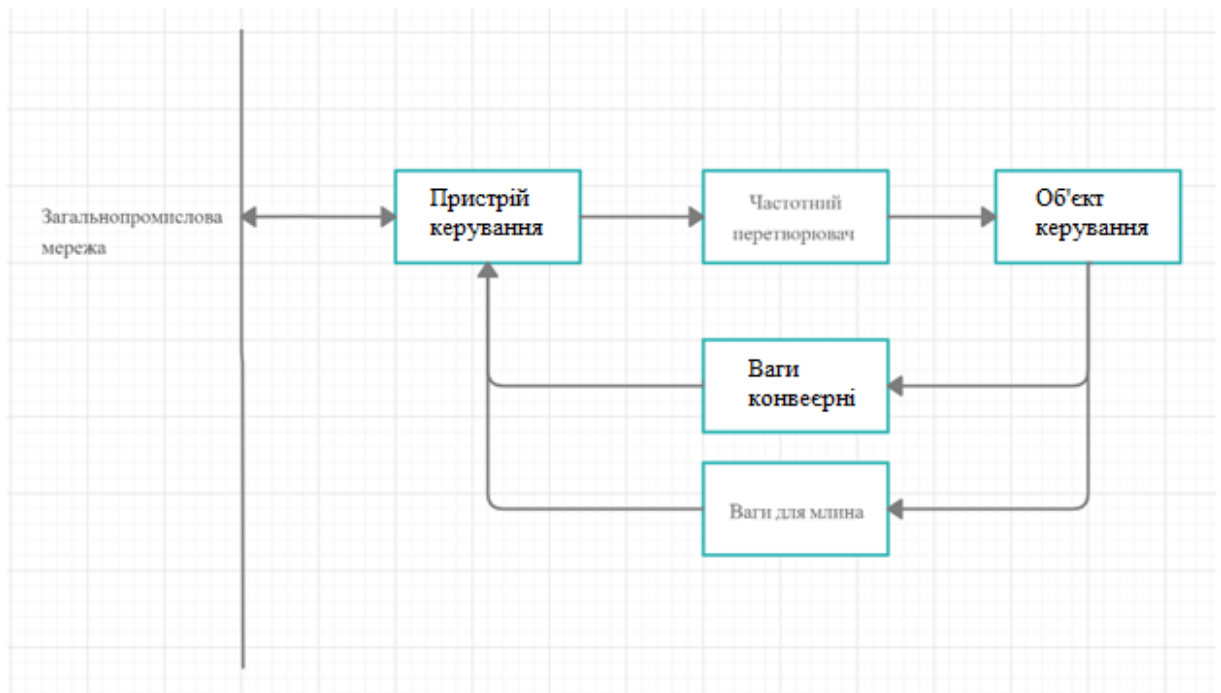


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи керування

1.4.2 Структурна схеми інформаційних потоків

Підсистема керування технологічним обладнанням складається з пристроїв збору інформації (ваги конвеєрні які вимірюють вагу руди і швидкість конвеєра), еталонів і станів обладнання (датчик вимірювання ваги млина), системи контролю стану обладнання, програми керування, що реалізують формування керуючого впливу, протиаварійного захисту, блоку переходу до ручного режим керування та виконуючих органів.

Оскільки система повинна забезпечувати візуалізацію і контроль за технологічним процесом, вона має включати підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-машинного інтерфейсу, реєстрації параметрів процесів і сигналізації досягнення параметрами заданих значень.

Крім того система повинна забезпечуватися архівуванням технологічних процесів що відбуваються, тому в ній має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище.

Розроблена структурна схема інформаційних потоків наведена на рис. 1.6. Дана структура забезпечує підтримку заданої ступені заповненості млина, збір

інформації про технологічний процес, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних і створення резервних копій. Крім того дана структура забезпечує контроль, за обладнанням і сигналізацію досягнення параметрами керування заданих значень.

Таким чином підсистема автоматизованого керування технологічним обладнанням представлена у вигляді апаратно-програмного комплексу, який має ваговий датчик який вимірює ступінь заповненості млина та конвеєрні ваги, об'єкт керування, пристрій керування в якості якого виступає частотний перетворювач.

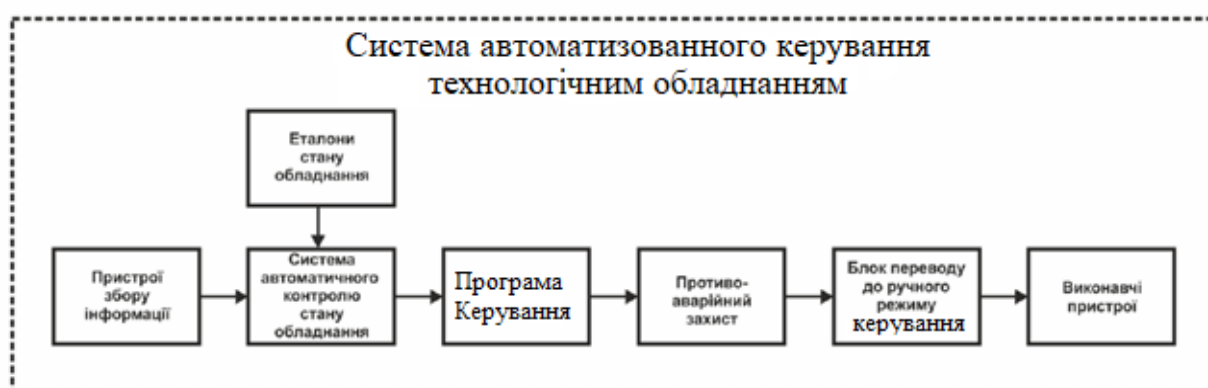


Рисунок 1.6 – Структурна схема інформаційних потоків

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

1.4.3 Вибір апаратного забезпечення системи керування

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



Рисунок 1.7 – Тензометричний датчик UTILCELL 740

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики тензометричного датчику UTILCELL 740

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

Для регулювання продуктивності по вхідній руді діапазоном(0-140 т/год) використовуються конвеєрні ваги КнВ-2Д-1Р (рис. 1.8).

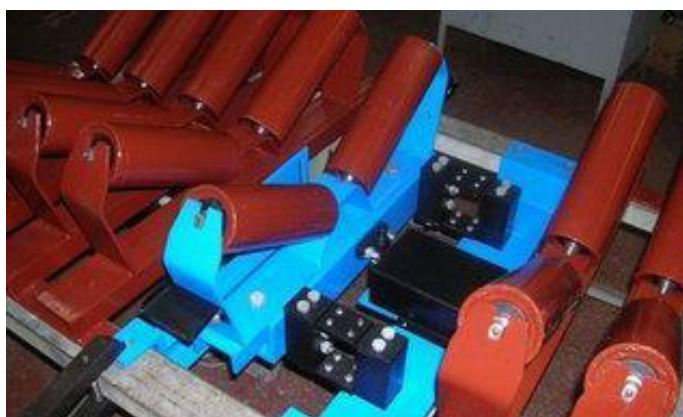


Рисунок 1.8 – Ваги конвеєрні КнВ-2Д-1Р:

Система контролю і керування конвеєрних ваг здійснює безперервне зважування матеріалів. Маса матеріалів підраховується шляхом інтегрування

продуктивності за час роботи. Передбачена можливість передачі інформації в ЕОМ верхнього рівня для подальшої обробки і використання.

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

Інформація про результати надходить в прилад тензовимірювач і відображається на цифрове табло. При необхідності інформація може передаватися в систему АСУ на ЕОМ.

Ваги конвеєрні КнВ-2Д-1Р забезпечують відображення на табло тензовимірювального приладу такої інформації:

- миттєве значення навантаження на датчик ваги;
- продуктивність конвеєра;
- маса переміщеного матеріалу накопиченим підсумком;
- час завантаження;
- швидкість руху стрічки конвеєра.
- ваги складаються з наступних основних частин:
- вантажопідйомний пристрій(ГПУ) з тензометричним датчиком;
- роликоопори;
- датчик контролю швидкості стрічки;
- тензовимірювач конвеєрний.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики конвеєрних ваг КнВ-2Д-1Р

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

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

Частотний перетворювач з широтна-імпульсною модуляцією (ШІМ) являє собою інвертор з подвійним перетворенням напруги. Спочатку мережева напруга 380 В випрямляється вхідним доданими мостом, потім згладжується і фільтрується за допомогою конденсаторів. Це перший етап перетворення.



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

На другому етапі з постійної напруги, за допомогою мікросхем керування і вихідних мостових IGBT (біполярні транзистори з ізольованим затвором) ключів, формується ШІМ-послідовність певної частоти і скважності. На виході частотного перетворювача видаються пачки прямокутних імпульсів, але за рахунок індуктивності обмоток статора асинхронного двигуна, вони інтегруються і перетворюються нарешті в напругу близьке до синусоїди. Технічні характеристики частотного перетворювача фірми Siemens Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1 наведено у табл. 1.3.

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

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

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

Таблиця 1.4 – Виконавчі пристрої

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

Відповідно вимогам до системи керування швидкості подачі руди в якості пристрою керування слід використовувати програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера повинен бути не більше 100 мс, для забезпечення реакції на змінення швидкості. Крім того контролер повинен мати не менше 1 кілобайта вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

Виходячи з того, що до контролеру повинні бути підключені ваговий процесор з RS-485, та тензометричний датчик UTIL CELL 74, контролер повинен мати модульну структуру, що забезпечить підключення тільки обраного обладнання та легке розширення подальшого функціоналу.

Висунутим вимогам задовольняє програмований логічний контролер компанії VIPA 214-2BS33. Даний контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, обсяг пам'яті програм 144 кілобайта і обсяг робочої пам'яті 96 кілобайт та інтерфейс RS-485 (рис. 1.10). Технічні характеристики контролера наведені в табл. 1.5.

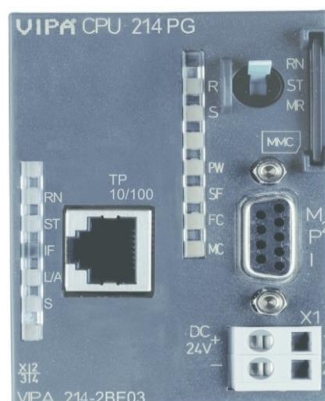


Рисунок 1.10 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

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

Для підключення до вагового процесора до програмованого логічного контролера та від програмованого логічного контролера до частотного перетворювача застосовується інтерфейс RS-485. Схема підключення наведена на рис. 1.11

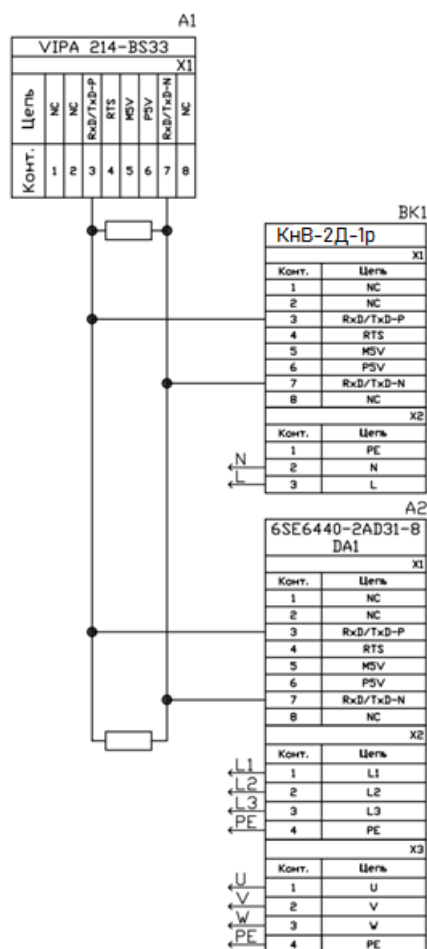


Рисунок 1.11 – Схема підключення вагового процесора та частотного перетворювача

На підставі обраного програмованого логічного контролера складена табл. 1.8.

Таблица 1.8 – Програмований логічний контролер

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

Програмований логічний контролер та його модулі живиться від джерела постійної напруги +24 В. Споживана потужність програмованого логічного контролера 5 Вт.

Відповідно до цього в якості джерела постійної напруги обрано джерело живлення SPD24301 зі змінною напругою живлення від ~ 85 до ~ 264 В, вихідною напругою +24 В і потужністю 30 Вт (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Джерело живлення SPD24301

Схема підключення програмованого логічного контролера 214-2BS33 до джерела живлення SPD24301 приведена на рис. 1.13.

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики джерела живлення SPD24301

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

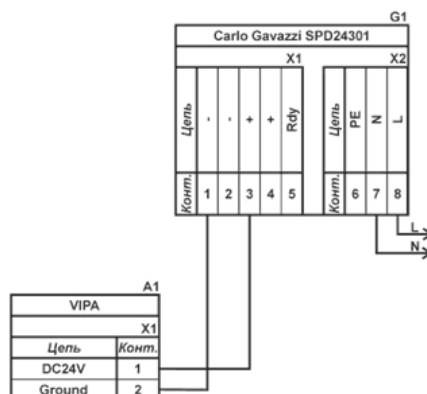


Рисунок 1.13 – Схема підключення ПЛК 214-2BS33 до джерела живлення SPD24301

1.4.4 Функціональна схема автоматизації

На основі вимог до системи керування продуктивність подачі руди у млин та апаратного забезпечення розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 1.14.

В якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 5 – VIPA 214-2BS33). Програмований логічний контролер підключений до загальнопромислової мережі за допомогою інтерфейсу RS-485.

Вага руди, яка подається в млин вимірюється 4 тензодавачами (W 2-1-4), швидкість подачі руди – давачем швидкості (SE 2-5). Вони об'єднані у конвеєрні ваги та підключено до вагового процес (WIRY 2-6). Ваговий процесор підключається до програмованого логічного контролера через RS-485 інтерфейс.

Для вимірювання ступені заповненості млина застосовуємо тензометричний датчик UTIL CELL 740 (ET 4-1) і підключаємо до програмно логічного контролеру через RS-485 інтерфейс.

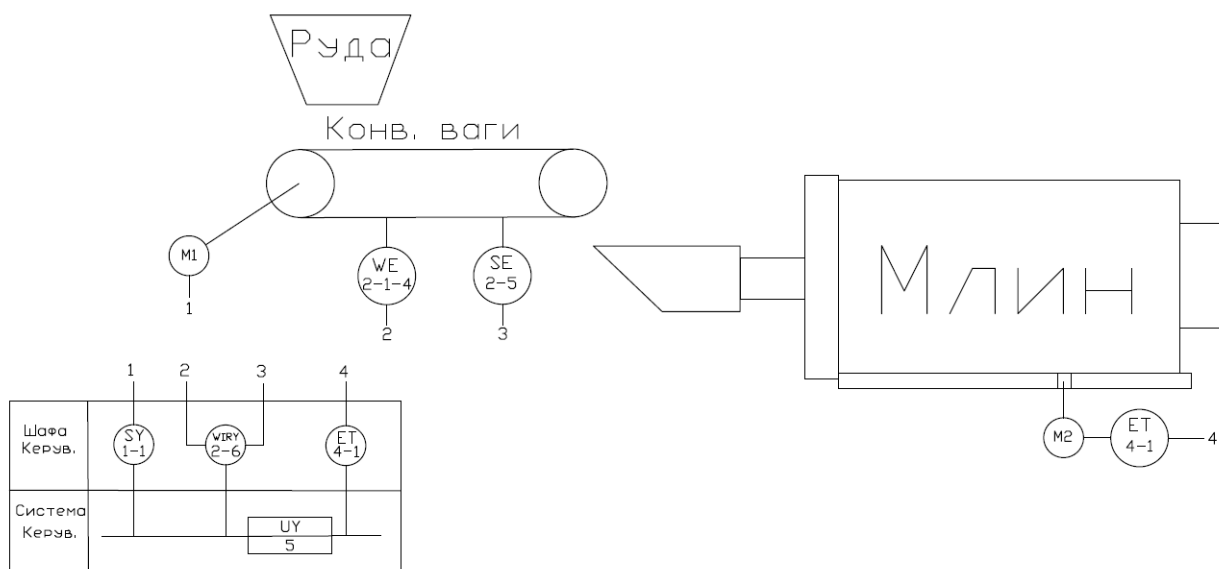


Рисунок 1.14 – Функціональна схема автоматизації системи керування

Якщо ступень заповнення нижче чи вище норми, за допомогою частотного перетворювача (SY 1-1) змінюється швидкість конвеєра, тим самим

мінючи продуктивність подачі руди в млин. Частотний перетворювач отримує дані за програмованого логічного контролера через RS-485 інтерфейс.

1.4.5 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування млином самоподріблення рис. 1.14.

У системі використовується блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1), який підключено до програмованого логічного контролера VIPA 214-1BS33 (A1).

Конвеєрні ваги КнВ-2Д-1Р (ВК1) отримують живлення від мережі змінної напруги 220 В, а частотний перетворювач Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1 (A2) – від мережі змінної напруги 380 В.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-1BS33 (A1) та загальнопромисловою мережею (A3) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X1). Зв'язок між контролером та частотним перетворювачем Micromaster 440 6SE6440-2AD31-8DA1 (A2) також реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

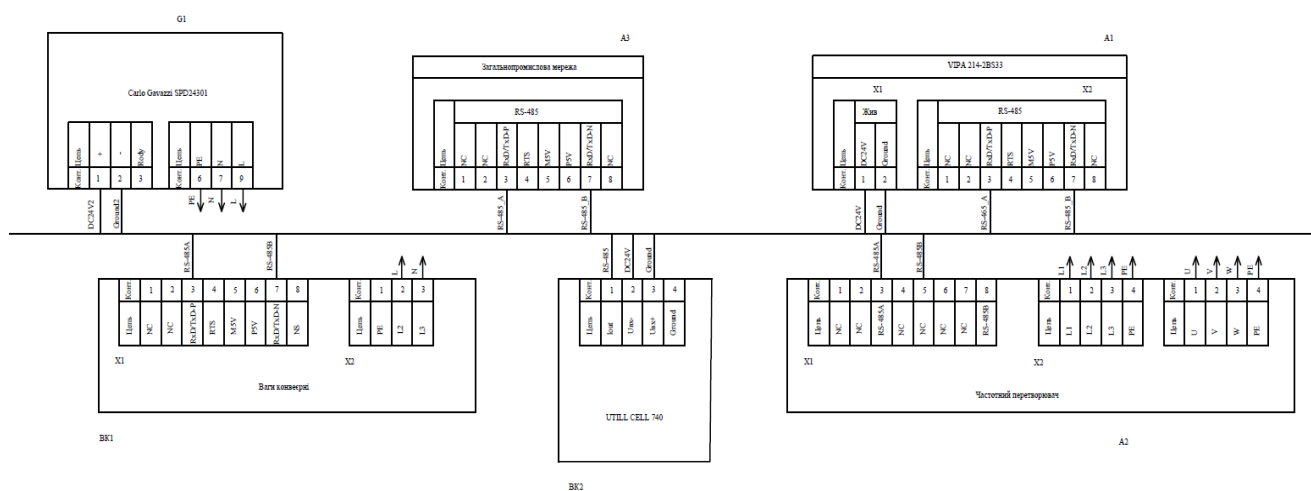


Рисунок 1.15 – Схема електрична принципова системи керування

Вимірювання продуктивність руди, що надходить у млин, виконують конвеєрні ваги КнВ-2Д-1Р (ВК1). Зв'язок між контролером та конвеєрними вагами реалізовано через інтерфейс RS-485.

Вимірювання ступеня заповнення млина виконує тензOMETричний датчик UTILCELL 740 (ВК2), який підключено до 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 ” продуктивність по вхідній руді – ступінь внутрішньомлинового заповнення” .

Для досягнення даної мети поставлені наступні задачі:

- визначити параметри ПІД- і ППІ-регуляторів;
- визначити показники якості з ПІД- і ППІ-регулятори;
- встановити експериментальну залежність показників якості перехідного процесу від параметрів ППІ-регулятора;
- перевірити гіпотезу про значущість відмінностей оцінок дисперсій керованої величини досліджуваних САР;
- підтвердити на емуляторі керованого процесу подрібнення ефективність запропонованої САР.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Методи регулювання об'єктів з запізненням

В розділі 1 даної магістерської роботи показано, що для ефективної роботи барабанного млина необхідно реалізувати керування по каналу «продуктивність по вхідній руді – ступінь внутрішньомлинового заповнення». За результатами проведеної автором ідентифікації процесу подрібнення по даному каналу при виконанні бакалаврської роботи у 2020 році визначена відповідна передатна функція $W(p) = \frac{614,98}{46,64p+1} e^{-4,9p}$. Для реалізації замкнутої системи автоматичного керування необхідно обґрунтувати структурну схему регулятора і визначити його параметри.

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 [1; 2].

Типові закони регулювання мають суттєвий недолік пов'язаний з тим, що вони потребують додатково адаптивного налаштування у випадках зміни параметрів об'єкта [3; 4]. Такі ж недоліки стосуються і імпульсного регулювання згідно [5; 6]. Якщо в системі автоматичного керування передбачений контроль збурень, то доречним є використання каскадного і комбінованого регулювання [8; 9].

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 реалізацією, 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 [9; 10].

Застосування нечітких алгоритмів регулювання не дає будь-яких явних переваг перед класичними методами керування. А проблема стійкості в системі з нелінійним алгоритмом регулювання істотно ускладнюється [11; 12].

2.2 Розрахунок параметрів ПІД-регулятора за методом Циглера-Нікольса

При використанні типових законів регулювання значного поширення набув метод Циглера-Нікольса. Він ґрунтується на використанні даних, отриманих експериментально на реальному об'єкті і потребує додаткового налаштування після розрахунку параметрів ПІД-регулятора. Відомі два варіанти даного метода.

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

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

Таблиця 2.1 - Формули розрахунку параметрів типових регуляторів

	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	$0,50K_p^*$	-	-
ПІ-регулятор	$0,45K_p^*$	$0,54K_p^*/T^*$	-
ПІД-регулятор	$0,60K_p^*$	$1,20K_p^*/T^*$	$0,075K_p^*T^*$

У другому варіанті метода Циглера-Нікольса використовується крива розгону. Якщо об'єкт керування має передаточну функцію аперіодичної ланки першого порядку з запізненням $W(p) = \frac{K}{Tp+1} e^{-p\tau}$, то параметри регулятора вибраного типу розраховуються за формулами наведеними в табл. 2.2. Тут K - коефіцієнт підсилення аперіодичної ланки, T -постійна часу, τ - час чистого запізнювання. Метод дає задовільні результати, якщо:

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

Таблиця 2.2 - Формули розрахунку параметрів типових регуляторів

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

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

Представимо передаточну функцію розімкнутої частини системи автоматичного керування (САУ) із послідовно з'єднаними об'єктом керування і П-регулятором у вигляді [13]:

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

Складемо характеристичний поліном замкнутої САУ:

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

Система автоматичного керування перебуватиме на межі стійкості (здійснюватиме сталі коливання з постійними амплітудою і частотою) згідно критерію Михайлова, якщо характеристичний поліном (2.3) дорівнюватиме нулю (годограф Михайлова проходитьиме через точку з координатами $[0;j0]$ на комплексній площині). Маємо:

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

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

$$46,64j\omega + 1 + K_{\pi}614,98(\cos 4,9\omega - jsin 4,9\omega) = 0 \quad (2.5)$$

Складемо систему рівнянь, записавши (2.5) для дійсної і уявної частин виразу:

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

Із системи рівнянь (2.6) визначимо частоту сталих коливань ω , критичний коефіцієнт підсилення K_{π}^* , а потім за формулою $T = \frac{2\pi}{\omega}$ розрахуємо період сталих коливань T^* . Із першого рівняння системи маємо:

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

Із другого рівняння системи маємо:

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

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

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

Після тотожних перетворень рівняння (2.9) отримаємо:

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

Тригонометричне рівняння (2.10) не можна розв'язати аналітично відносно невідомої величини ω . Дане рівняння розв'яжемо у графічний спосіб із використанням пакету прикладних програм MathCAD.

Для процесу подібнення із урахування передатної функції $W(p) = \frac{614,98}{46,64p+1} e^{-4,9p}$ рівняння (2.10) набуде вигляду:

$$-tg 4,9\omega = 46,64\omega \quad (2.11)$$

Тангенс є функцією періодичною, тому рівняння (2.11) має безліч розв'язків. При збільшенні коефіцієнта підсилення K_{π} П-регулятора починаючи з нуля, матимемо безліч значень сталих коливань з різними частотами ω^*

відповідно для різних K_{π}^* . Визначимо перше значення $K_{\pi 1}^*$, яке відповідатиме найменшому значенню ω_1^* . Для цього оцінимо проміжок, в якому має перебувати ω_1^* . Оскільки права частина (2.11) більше нуля, то і:

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

Тоді:

$$tg4,9\omega < 0$$

Звідки:

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

І остаточно:

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

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

Таблиця 2.3 - Інтервали існування ω^*

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

Оскільки частота ω не може бути від'ємною, то $\omega_1^* \in [0,32; 0,64)$. Визначимо ω_1^* . Для цього в середовищі пакету прикладних програм MathCAD збудуємо окремо графіки лівої і правої частин рівняння (2.11) і знайдемо ординату точки їх перетину. Результати розв'язання рівняння на визначеному проміжку існування ω_1^* наведені на рис. 2.1 і 2.2. На рис. 2.1 показані збудовані графіки і точка їхнього перетину, на рис. 2.2 – абсциса і ордината точки перетину графіків, визначених за допомогою функції X-Y Trace. Отже $\omega_1^* = 0,334 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Визначимо період сталих коливань $T^* = \frac{2\pi}{\omega_1^*} = \frac{2\pi}{0,334} \approx 18,8$ с. Підставимо

$\omega_1^* = 0,334 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ в (2.7) і визначимо $K_{\pi 1}^*$,

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

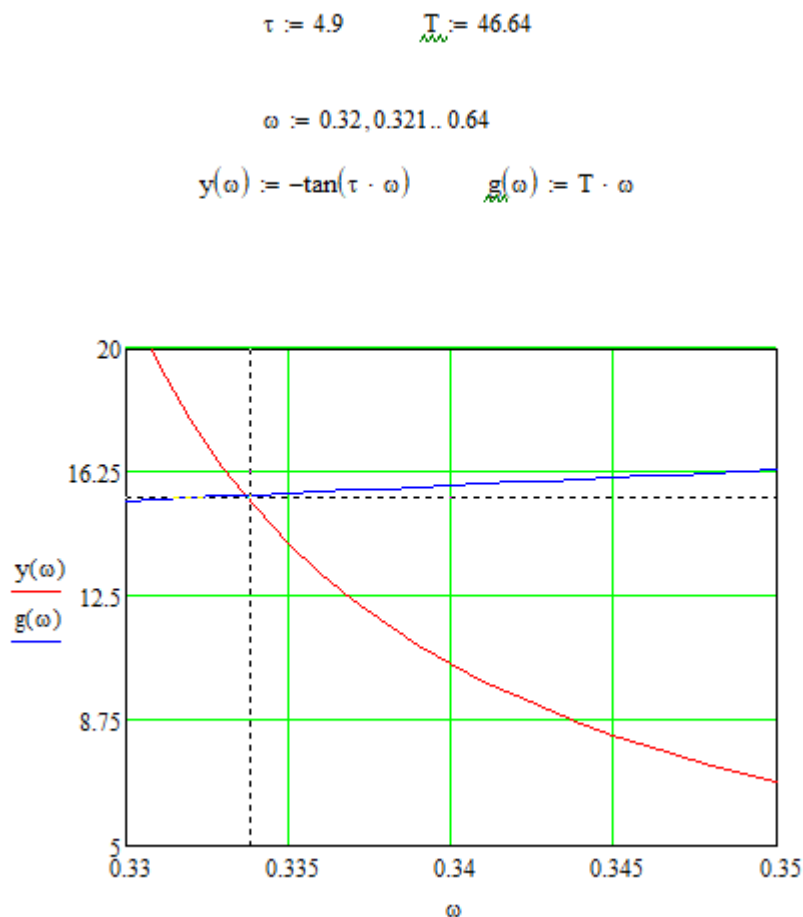


Рисунок 2.1 – Розв'язання тригонометричного рівняння у графічний спосіб

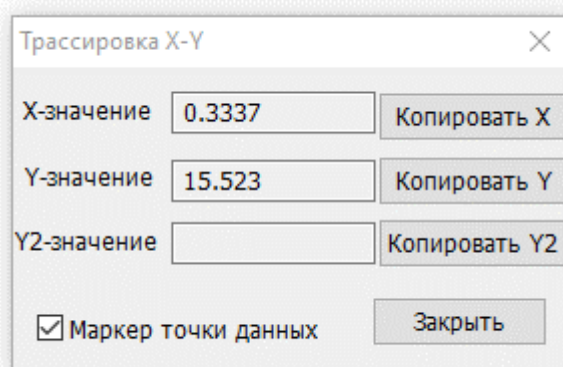


Рисунок 2.2 - Визначення частоти сталих коолиань

Для перевірки правильність розрахунків застосуємо модель системи автоматичного регулювання і реалізуємо моделювання в середовищі SIMULINK MatLAB за структурною схемою на рис. 2.3.

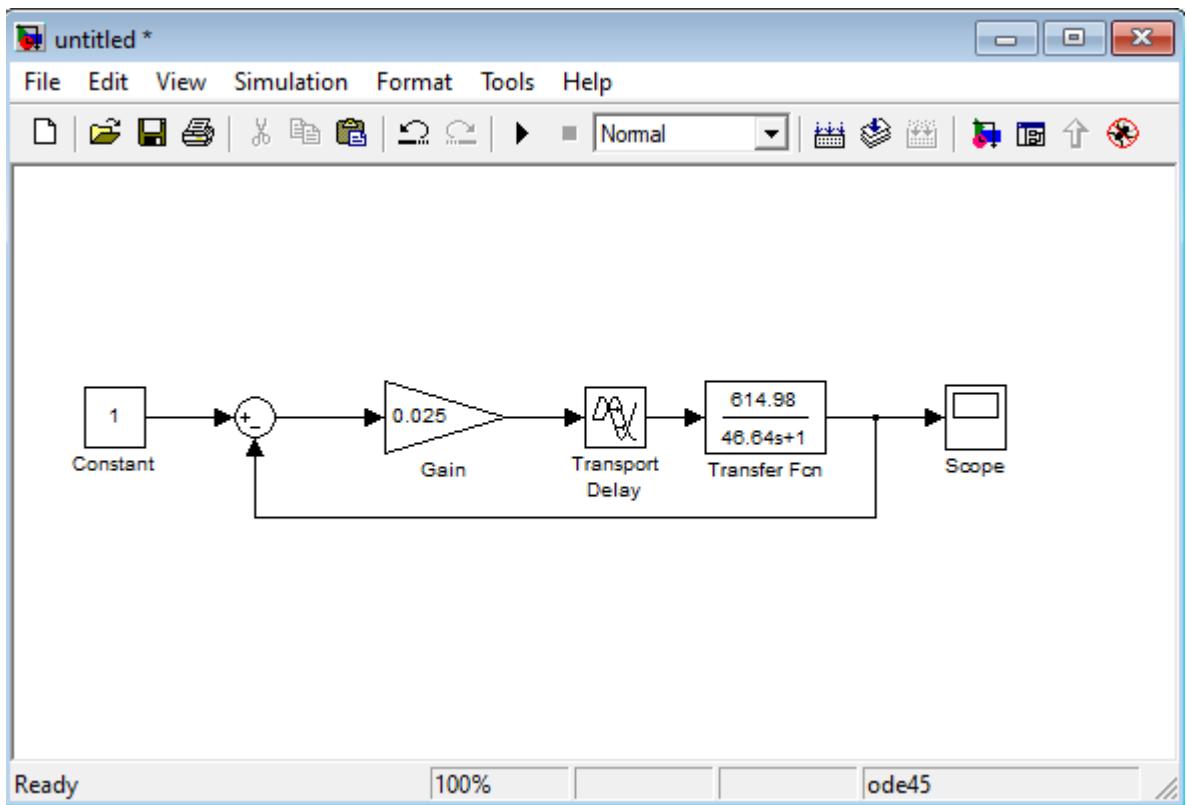


Рисунок 2.3 – Модель системи автоматичного регулювання

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

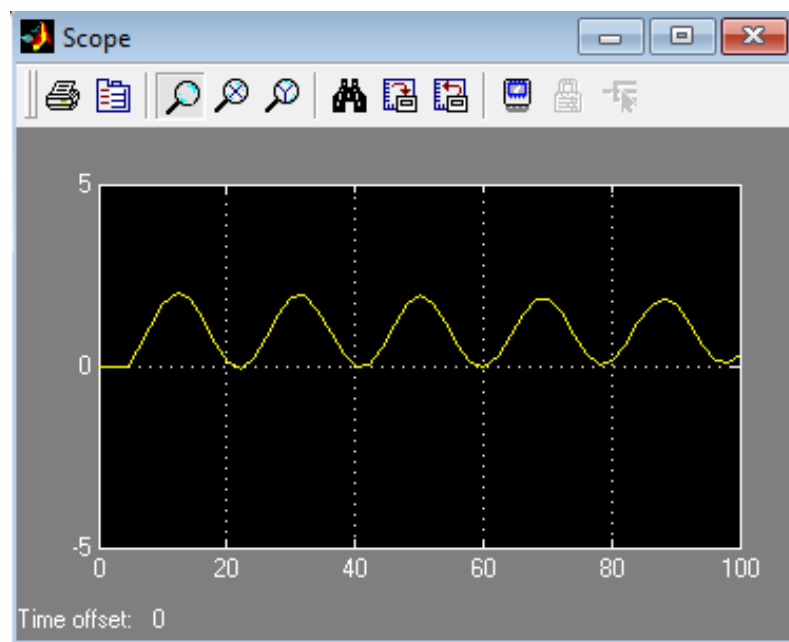


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд сталих коливань в САР

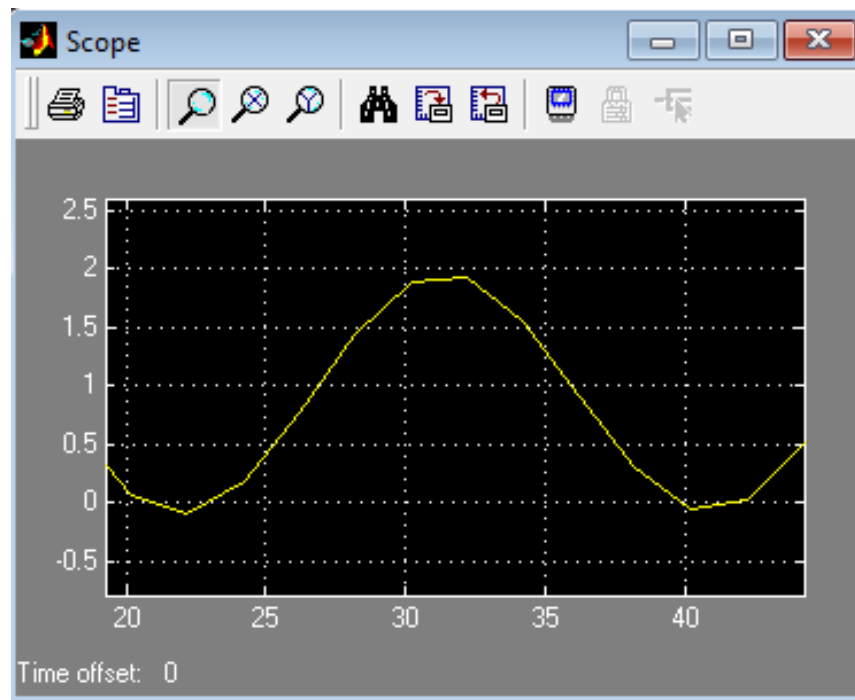


Рисунок 2.5 – Частина коливань

Результати моделювання повністю збігаються з розрахунками.

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

Таблиця 2.4 – Параметри і передатні функції типових регуляторів

	K_p	K_i	K_d	Передаточна функція
П-регулятор	0,012	-	-	$W_p(p) = 0,012$
ПІ-регулятор	0,011	0,001	-	$W_{пi}(p) = 0,011 + \frac{0,001}{p}$
ПІД-регулятор	0,015	0,002	0,035	$W_{пид}(p) = 0,015 + \frac{0,002}{p} + 0,035p$

2.3 Регулювання з упередженням

2.3.1 Предиктор Сміта

У 1957 р Смітом було запропоновано використання спеціальних ПІД-регуляторів, які передбачають поведінку об'єкта через час τ . Такий регулятор називається предиктором Сміта [14].

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

Одна із можливих реалізацій такої системи наведена на рис. 2.6. Принцип роботи системи полягає у наступному.

За відсутності моделі об'єкта керування (предиктора Сміта) передаточна функція САУ з ПД-регулятором і ланкою транспортного запізнювання у прямому контурі, замкнутої одиничним зворотним зв'язком, матиме вигляд (рис. 2.6):

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

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

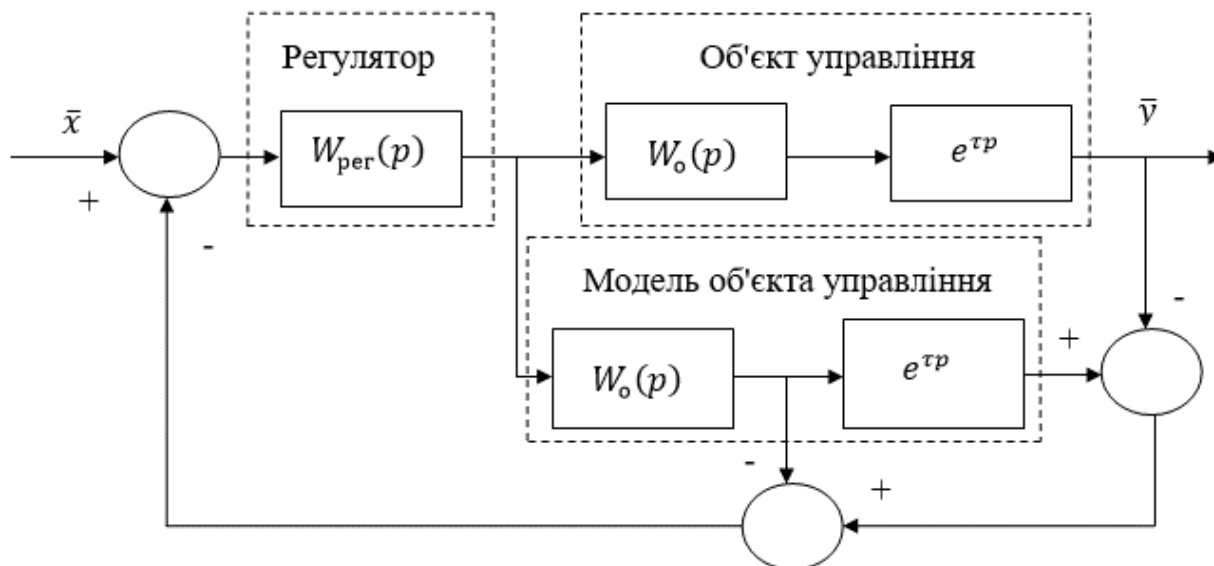


Рисунок 2.6 – Система керування з предиктором Сміта

У разі підключення до системи пре диктора Сміта в якості внутрішнього контуру, різниця сигналів на виході об'єкта і моделі дорівнюватиме нулю. Тоді передаточна функція замкнутої системи буде:

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

Характеристичний поліном (2.15) на відміну від (2.14) не залежить від транспортної затримки. А це означає, що ланка транспортного запізнювання не впливає на швидкість і швидкодію системи.

За допомогою топологічних перетворень структурних схем можна отримати багато еквівалентних між собою систем з предиктором Сміта.

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.2.7. Тут: $W_o(p) = \frac{K}{Tp+1}$ - дробова-раціональна частина передаточної функції об'єкта керування; K , T – коефіцієнт підсилення і постійна часу; τ - час чистого запізнювання об'єкта керування.

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

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

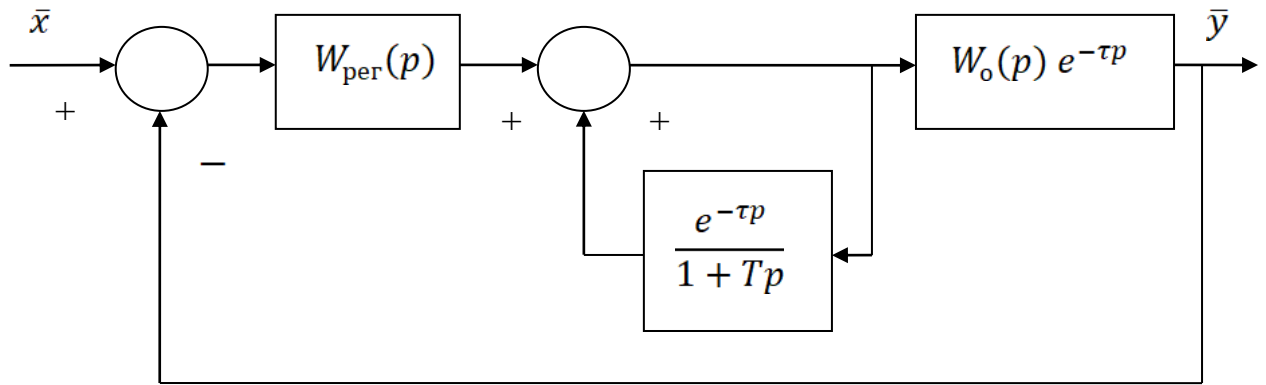


Рисунок 2.7 – Система керування з ППІ-регулятором

Виконаємо тотожні перетворення. Дістанемо:

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

Характеристичний поліном замкнутої САУ матиме вигляд:

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

За критерієм стійкості Михайлова система автоматичного керування перебуватиме на межі стійкості (здійснюватиме сталі коливання з постійними амплітудою і частотою), якщо характеристичний поліном (2.18) дорівнюватиме нулю. Тоді:

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

Після перетворень виразу (2.19) за формулою Ейлера отримаємо:

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

Прирівняємо до нуля дійсну і уявну частини (2.20). Дістанемо систему рівнянь:

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

Із системи рівнянь (2.21) визначимо частоту сталих коливань ω , критичний коефіцієнт підсилення K_n^* , а потім за формулою $T = \frac{2\pi}{\omega}$ розрахуємо період сталих коливань T^* . Розв'яжемо перше рівняння (2.21) відносно критичного коефіцієнта підсилення:

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

Розв'яжемо друге рівняння (2.21) відносно критичного коефіцієнта підсилення:

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

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

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

Після тотожних перетворень рівняння (2.24) дістанемо:

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

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

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

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

Перевіримо правильність виконаних розрахунків моделюванням в середовищі SIMULINK MATLAB за структурною схемою на рис. 2.8.

На рис. 2.9 показано загальний вигляд перехідного процесу в САУ, а на рис. 2.10 – частина перехідного процесу для перевірки періоду коливань T^* . Результати моделювання повністю збігаються з розрахунками.

Значення параметрів ПІ-регулятора, розрахованих з урахуванням $T^* \approx 18,8$ с і $K_{PI}^* \approx 0,026$ наведені в табл. 2.5.

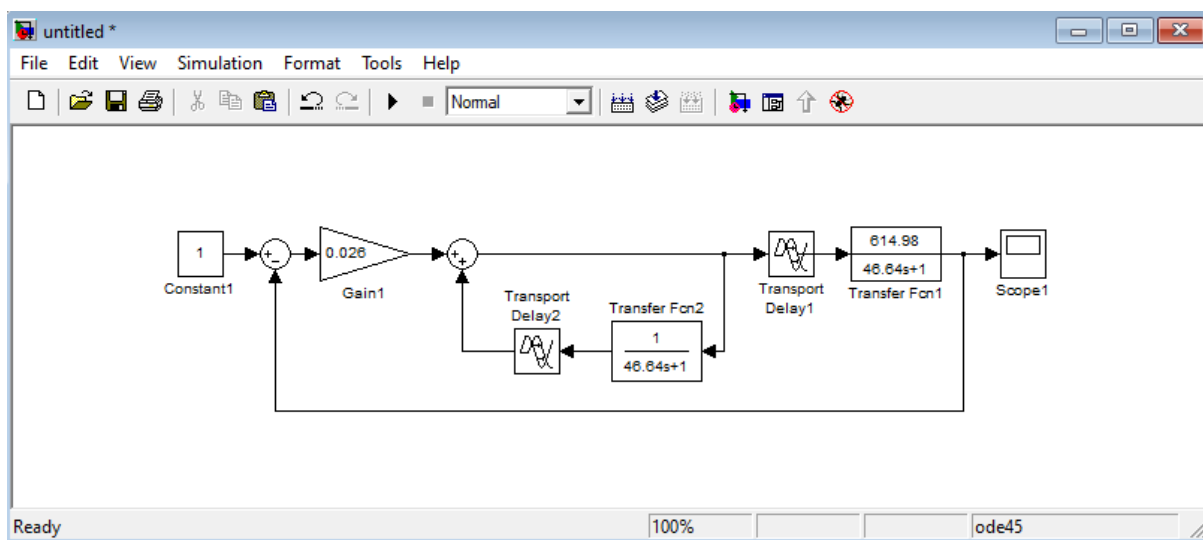


Рисунок 2.8 – Модель САУ

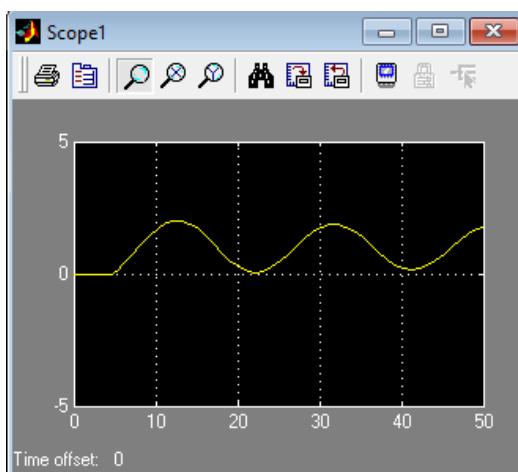


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд сталих коливань в САУ

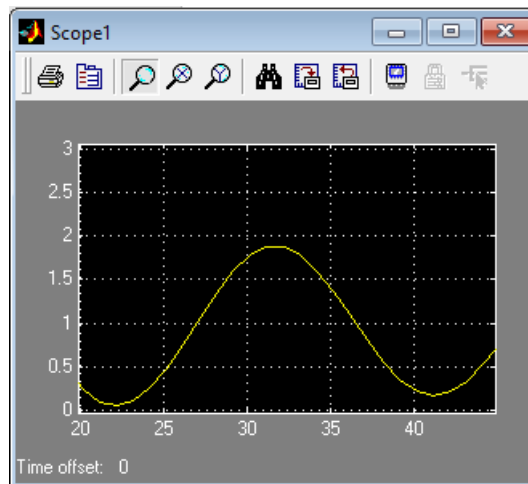


Рисунок 2.10 – Частина сталаих коливань

Таблиця 2.5 - Параметри і передатна функція ПІ-регулятора

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

2.4 Висновки до розділу

1. Для керування процесом подрібнення доцільно використовувати ПІД-регулятор або предиктивний ПІ-регулятор Сміта.
2. Відношення величини транспортного запізнення до постійної часу передатної функції процесу подрібнення потребує застосування для розрахунку параметрів ПІД-регулятора перший варіант метода Циглера-Нікольса оснований на використанні запасів стійкості.
3. Для визначення періоду сталих коливань керованої величини доцільно використовувати графоаналітичні методи розв'язання трансцендентних рівнянь.
4. Теоретично доведено збіг періоду сталих коливань керованої величини в розрахунках параметрів ПІД-регулятора за методом Циглера-Нікольса і предиктивного ПІ-регулятора Сміта.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

В ході обчислюваного експерименту були поставлені і вирішені наступні задачі:

- визначення оцінок якості регулювання розрахованих в розділі 2 САР за відсутності збурюючих впливів методом моделювання в середовищі SIMULINK ППП MATLAB;
- визначення найкращих уставок регуляторів за відсутності збурюючих впливів методом моделювання в середовищі SIMULINK ППП MATLAB;
- виконати обчислювальний експеримент з моделями САР із збурюючим впливом, розподіленим за нормальним законом, методом моделювання в середовищі SIMULINK ППП MATLAB;
- визначити найефективніший регулятор при роботі САР із збурюючим впливом, розподіленим за нормальним законом, за статистичним критерієм Фішера-Снедекера.

3.1 Дослідження регуляторів САР за відсутності збурюючого впливу

3.1.1 Дослідження ПІД-регуляторів САР за відсутності збурюючого впливу

Для дослідження САР з ПІД-регуляторами в середовищі SIMULINK ППП MATLAB розроблена модель системи автоматичного регулювання, структурна схема якої наведена на рис.3.1. Модель процесу подрібнення представлена послідовно з'єднаними блоками *Transfer Fon* і *Transport Dilay*. Моделювання ПІД-регулятора реалізовано паралельним з'єднанням його трьох частин: П-регулятора (блок *Slider Gain 1*), ІІ-регулятора (послідовно з'єднані блоки *Slider Gain* і *Integrator*) і ПД-регулятора (послідовно з'єднані блоки *Slider Gain2* і *Derivative*). Задаючий вплив вводиться в САР за допомогою блока *Step* (ступінчатий вплив), а збурюючі впливи – за допомогою блоків *Random Number* (нормальний закон розподілу) і *Sine Wave* (гармонійний сигнал). Крім того, до

структурної схеми САР входять ручні перемикачі *Manual Switch* для оперативної зміни структури схеми відповідно до розв'язуваної задачі в ході дослідження. Блоки *Ground* використовуються для подачі на відповідні блоки нульового сигналу. Блок *Scope* використовується для відображення зміни вихідної величини у часі при вводі в САР різних за формою впливів.

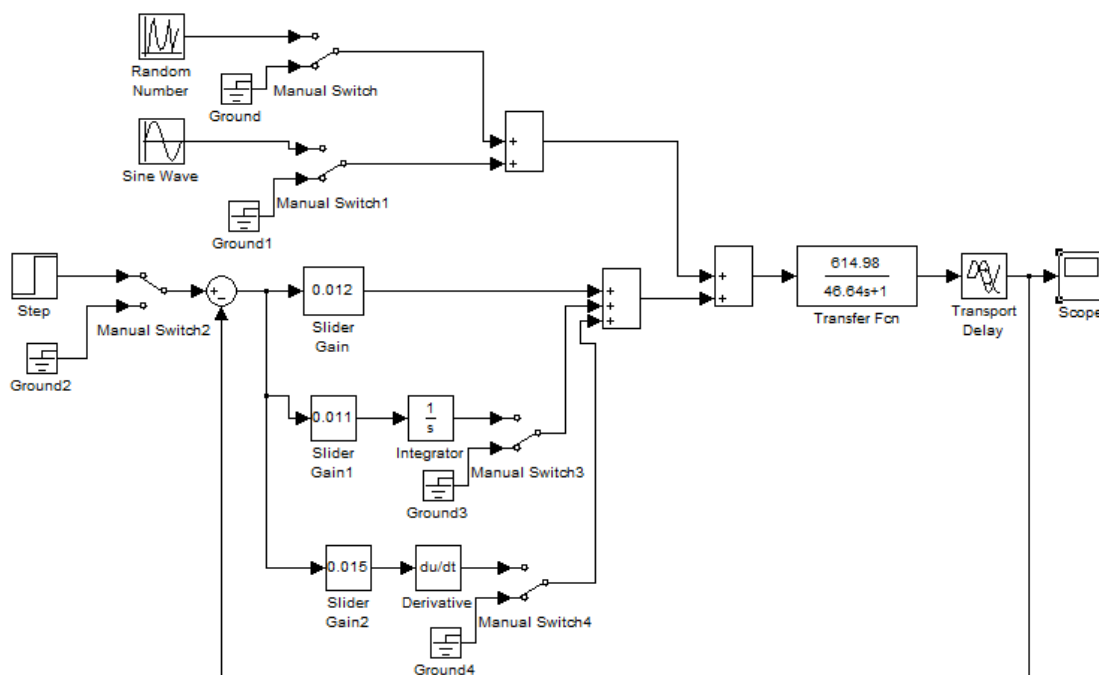


Рисунок 3.1 – Модель САР з ПІД-регулятором процесом подрібнення

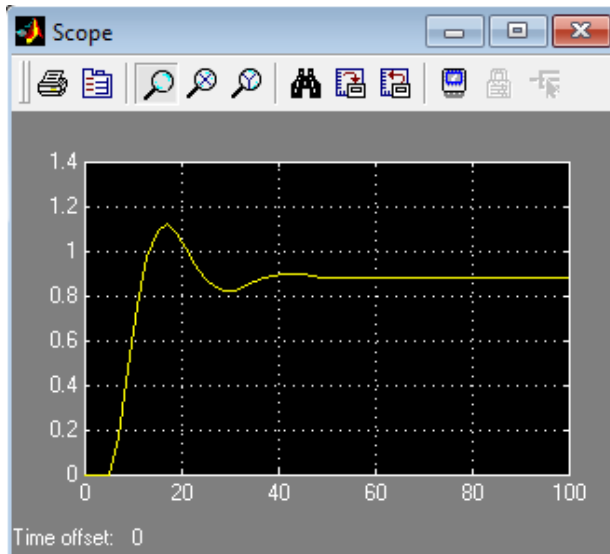
За результатами моделювання роботи САР процесом подрібнення без збурюючого впливу з уставками регуляторів, розрахованих в розділі 2 і наведених в табл. 2.4, отримані перехідні процеси показані на рис. 3.2-3.4. На рис. 3.5 показаний перехідний процес без використання ПІД-регулятора, а на рис. 3.6 – перехідний процес з найкращими настройками регулятора, підібраних експериментально на моделі:

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

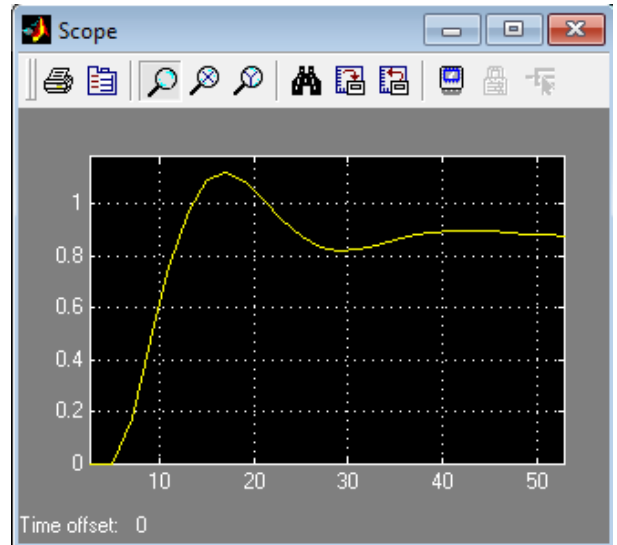
Час регулювання визначався моментом часу після якого керована величина відрізняється від усталеного значення не більше ніж на 5%. Ступінь стійкості визначена за відомою формулою [15]:

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

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



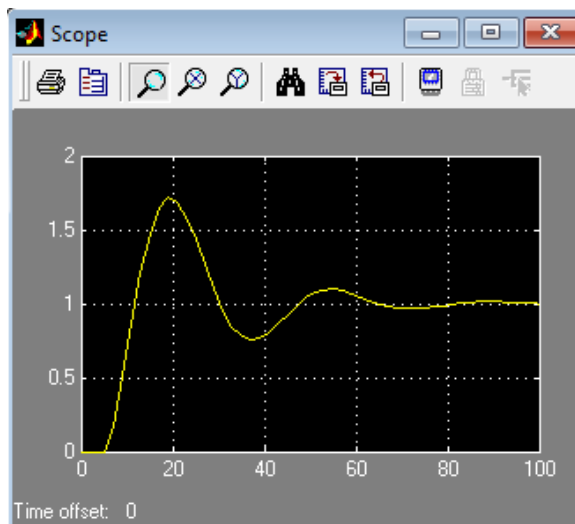
а)



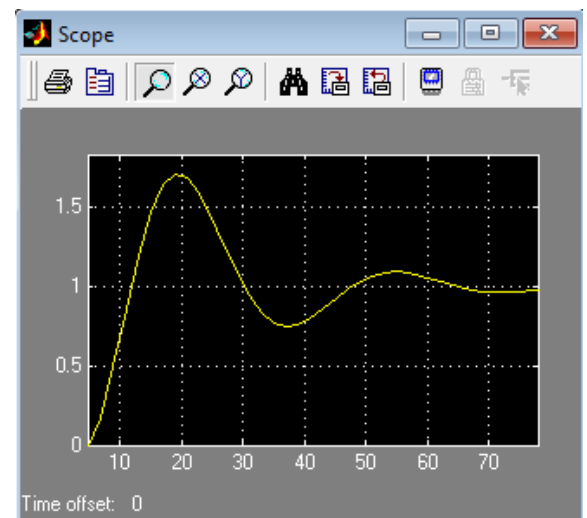
б)

Рисунок 3.2 – Перехідний процес в САР з П-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості



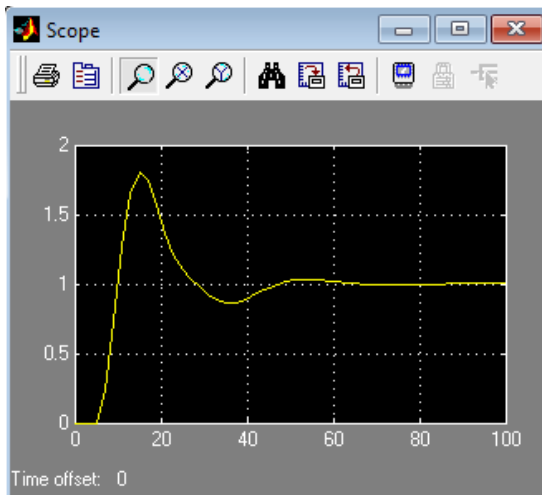
а)



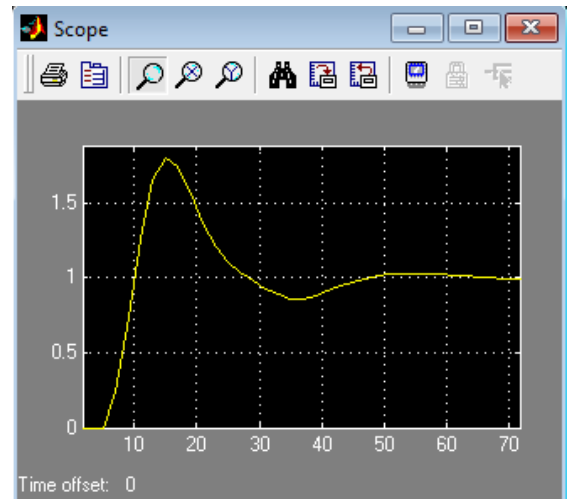
б)

Рисунок 3.3 – Перехідний процес в САР з ПІ-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості



а)



б)

Рисунок 3.4 – Перехідний процес в САР з ПІД-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

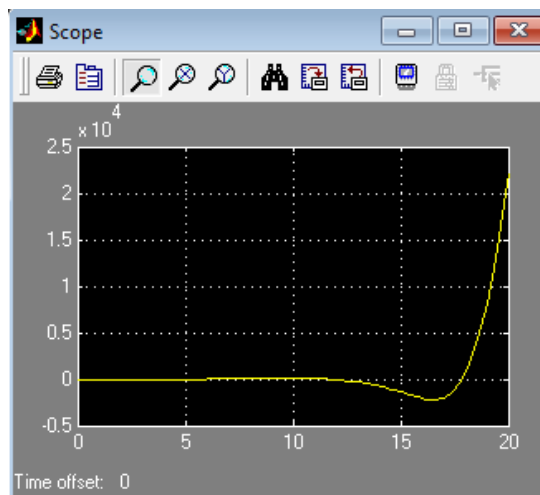
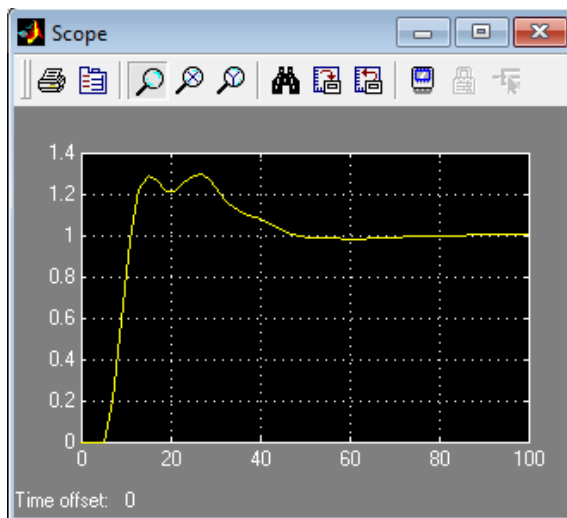
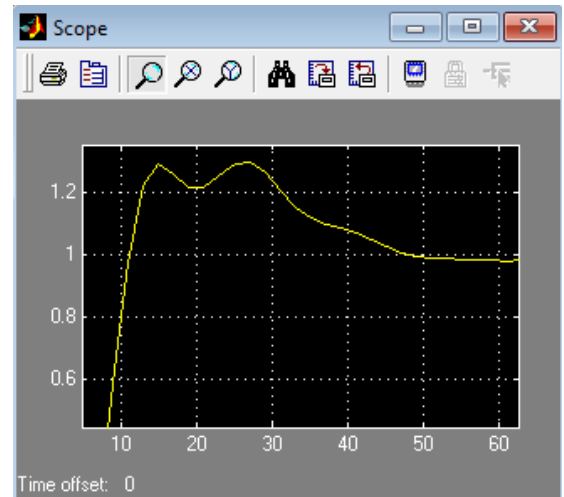


Рисунок 3.5 – Перехідний процес в САР без регулятора



а)



б)

Рисунок 3.6 – Перехідний процес в САР з найкращими настройками регулятора
а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

Таблиця 3.1 - Показники якості системи керування з ПІД-регулятором

Параметр Регулятор	Ступінь стійкості	Статична похибка	Час регулювання, с	Перерегул ювання, %	Коливання
Без регулятора	нестійка	-	-	-	-
П-регулятор	0,06	0,1	50	28	1
ПІ-регулятор	0,04	0	70	60	1
ПІД- регулятор	0,06	0	50	80	1
ПІД- регулятор з найкращими настройками	0,06	0	47	29	-

3.1.2 Дослідження ПІІ-регулятора САР за відсутності збурюючого впливу

Для дослідження САР процесу флотації з ПІІ-регулятором в середовищі SIMULINK ПІІІ MATLAB розроблена модель системи автоматичного регулювання, структурна схема якої наведена на рис. 3.7. Дана схема відрізняється від схеми, представленої на рис. 3.1 тим, що не містить

диференціальну частину ПД-регулятора, а в її внутрішній контур включений предиктор. Предиктор представлений послідовно з'єднаними блоками *Transfer Fon1* і *Transport Dilay 1*.

За результатами моделювання роботи САР процесом подрібнення без збурюючого впливу з уставками ППІ-регулятора, розрахованих в розділі "Синтез системи автоматичного керування" і наведених в табл. 2.5, отримані перехідні процеси показані на рис. 3.8

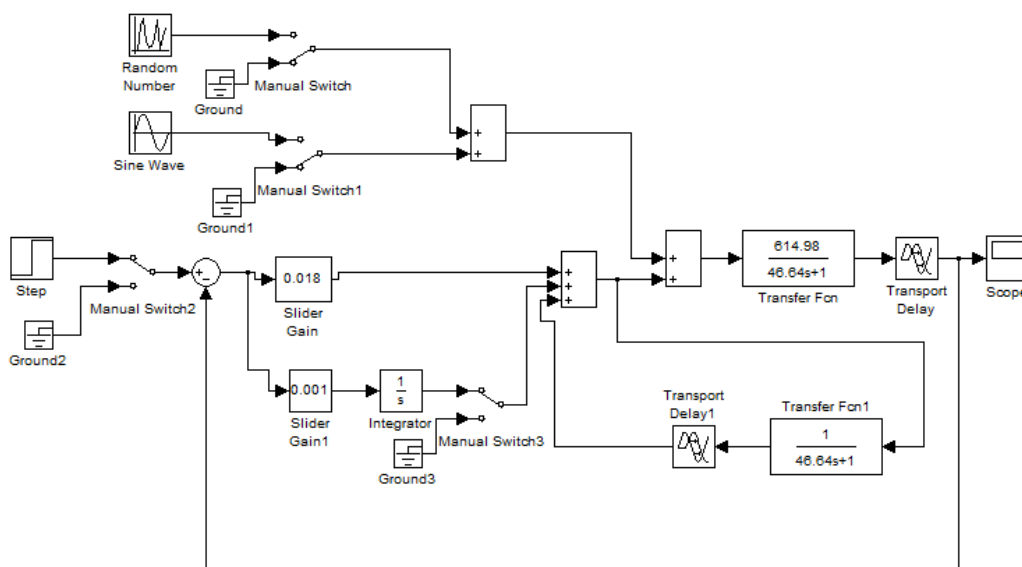
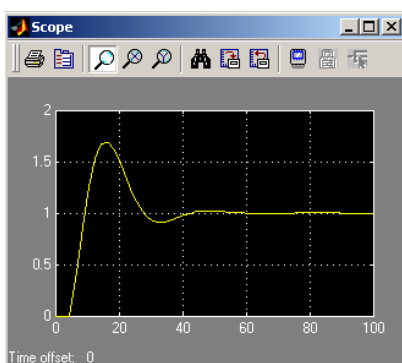
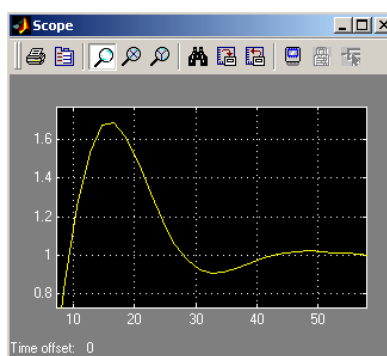


Рисунок 3.7 – Модель САР з предиктивним ПІ-регулятором процесом подрібнення



а)



б)

Рисунок 3.8 – Перехідний процес в САР з ППІ-регулятором

а) загальний вигляд; б) для оцінки показників якості

Для визначення найкращих параметрів предиктивного ПІ-регулятора було проведено додаткову серію експериментів. В ході експериментів встановлено, що наявність інтегруючої ланки призводить до погіршення показників якості перехідного процесу. Залежність показників якості перехідного процесу від коефіцієнта підсилення k_{Π} пропорційної частини представлені в табличному (табл. 3.2) і графічному (рис.3.9). На графіку рис.3.9 значення ступеня стійкості системи автоматичного регулювання збільшені у сто разів з метою їхнього відображення в одній системі координат.

Неважко бачити, що найкраще регулювання відповідає $k_{\Pi} = 0,007 \div 0,009$. В табл. 3.2 значення показників якості, які відповідають зазначеним коефіцієнтам підсилення виділені жирним шрифтом.

Таблиця 3.2 - Результати обчислювального експерименту

Параметри k_{Π}	Ступінь стійкості, η	Час регулювання $t_{\text{пер}}, \text{XB}$	Перерегул ювання, $\sigma, \%$	Коливання m, c
0,001	0,03	117	0	0
0,002	0,03	116	0	0
0,003	0,06	53	0	0
0,004	0,06	50	0	0
0,005	0,08	40	0	0
0,006	0,09	32	0	0
0,007	0,13	24	0	0
0,008	0,17	18	1	0
0,009	0,18	17	4	0
0,010	0,13	24	9	0
0,011	0,12	25	13	0
0,012	0,13	24	24	1
0,013	0,13	24	24	1
0,014	0,09	32	29	1
0,015	0,09	33	34	1

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

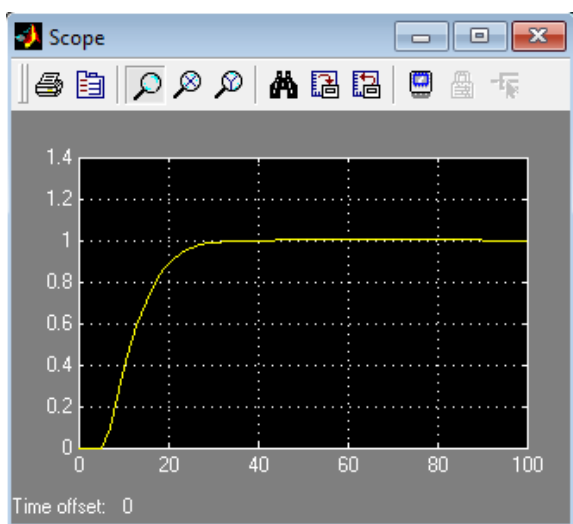
Передатна функція з найкращими налаштуваннями предиктивного ПІ-регулятора має вигляд:

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

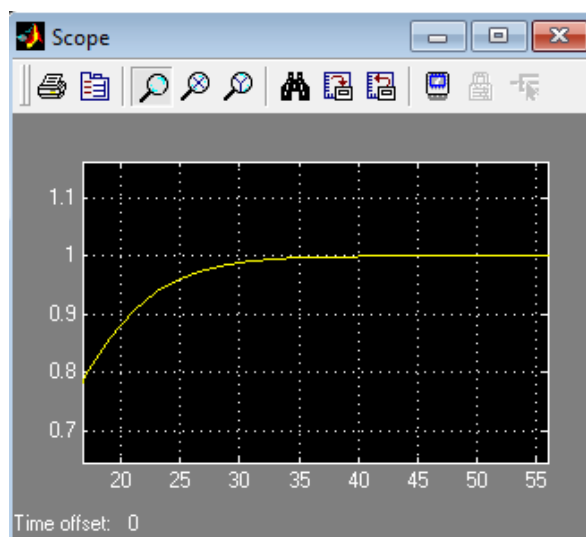
На рис. 3.10 показаний перехідний процес при $k_{\text{п}} = 0,007$, а в табл.3.3 – показники якості перехідного процесу для розрахованого предиктивного ПІ-регулятора і оптимально налаштованого в ході обчислювального експерименту.



Рисунок 3.9 – Графіки залежності показників якості перехідного процесу від коефіцієнту підсилення



а)



б)

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

Таблиця 3.3 - Показники якості системи керування з ППІ-регулятором

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

3.2 Дослідження регуляторів САР із збурюючим впливом

3.2.1 Визначення статистичних параметрів САР з ППІ- і ПІД – регуляторами

Для дослідження САР з розрахованими і уточненими експериментально параметрами регуляторів із збурюючим впливом, розподіленим за нормальним законом, розроблені раніше структурні схеми доповнені блоками для розрахунків середнього значення вихідної величини і її дисперсії на рис. 11-12. Послідовно з'єднані блоки *Інтегратор 1* і *Gain* застосовані для визначення середнього значення, а блоки *Constant*, *Product*, *Інтегратор 2* і *Gain 1* – для визначення дисперсії. Відображення середнього значення і дисперсії керованої величини по закінченню моделювання здійснюється відповідно в блоках *Display* і *Display 1*.

В процесі моделювання на вхід системи автоматичного регулювання було подано ступінчастий вплив $x_{\text{вх}} = 45\%$, а в контур керування - нормально розподілений сигнал з нульовим середнім значенням і дисперсією 0,01. Результати моделювання наведені в табл. 3.4. На рис. 3.13 показані зміни вихідної величини в САР з ПІД- і ППІ-регуляторами.

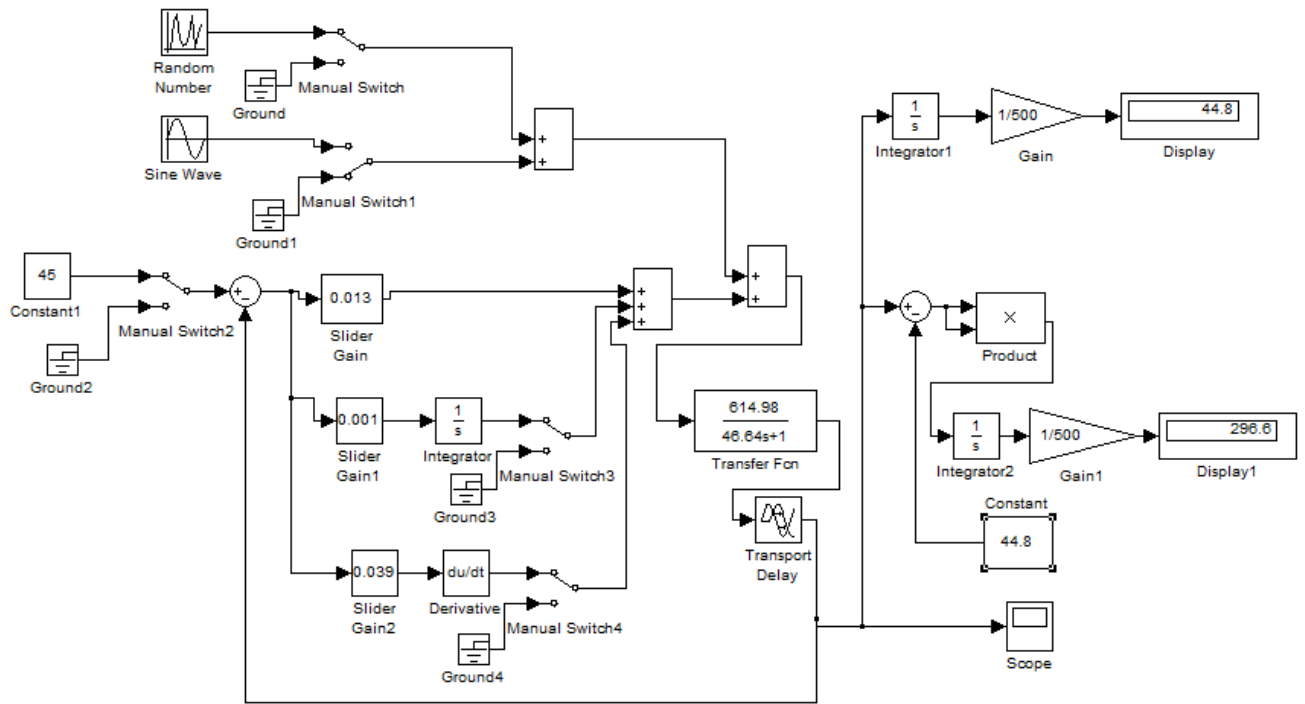


Рисунок 3.11 – Структурна схема САР з ПІД-регулятором

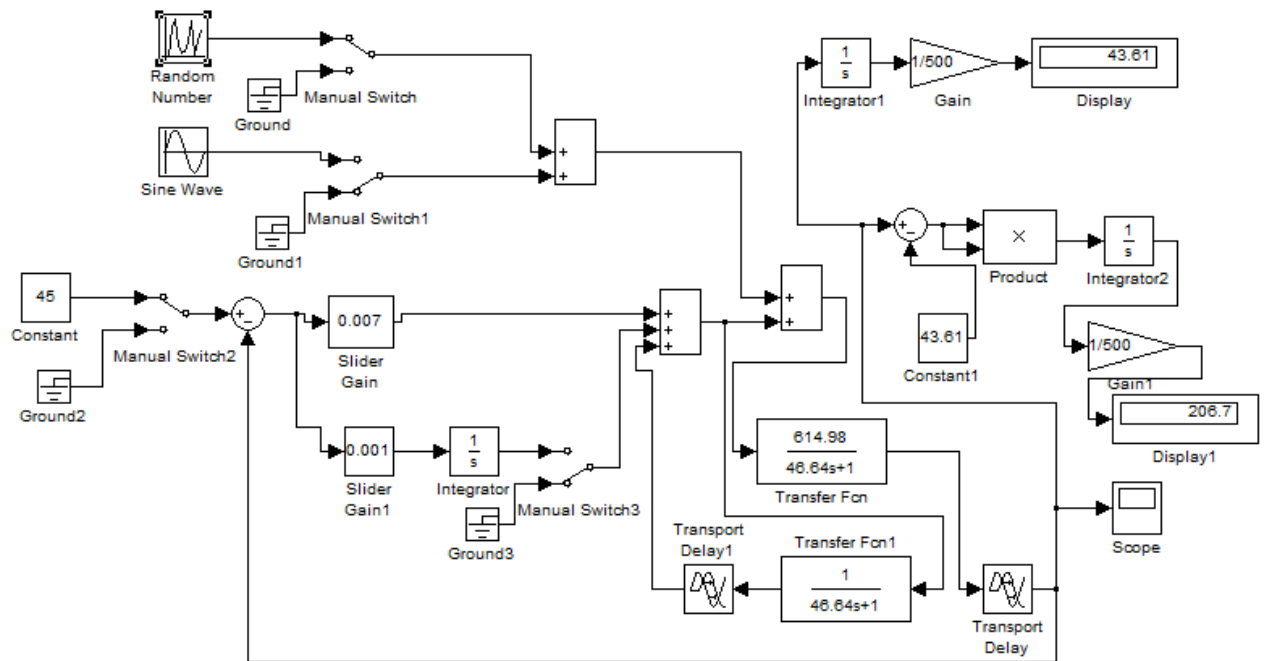
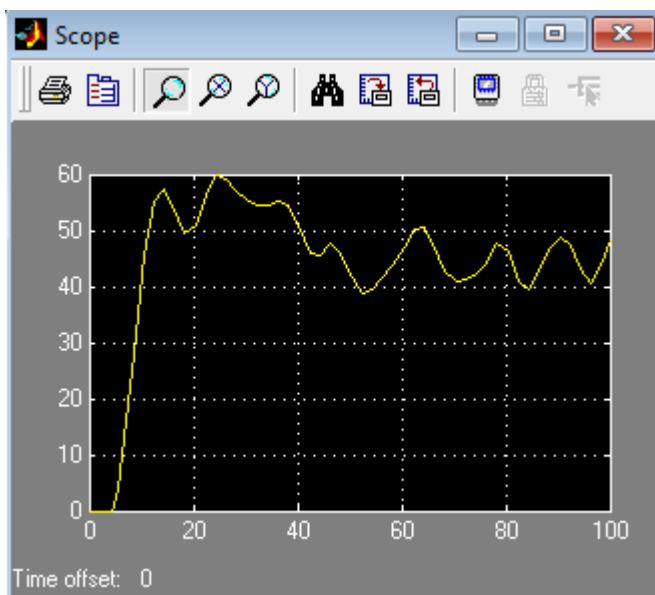
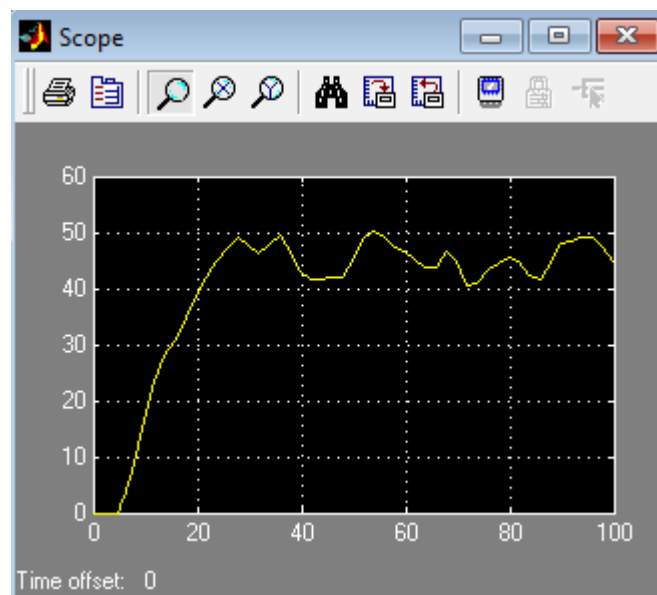


Рисунок 3.12 – Структурна схема САР з ПІ-регулятором



а)



б)

Рисунок 3.13 – Зміна вихідної величини в САР

а) з ПІД-регулятором; б) з ПІ-регулятором

Таблиця 3.4 - Результати моделювання САР

Моделювана система	З ПІД-регулятором	З ПІ-регулятором
Статистичний параметр		
Математичне очікування	44,80	43,84
Виправлена дисперсія	296,60	206,70

3.2.2 Перевірка гіпотези про значущість відмінності оцінок середніх і дисперсій досліджуваних систем автоматичного керування процесом подрібнення

Результати моделювання САР з різними регуляторами, наведеними в табл. 3.4 показують, що середні значення вихідних величин та їхні виправлені дисперсії відрізняються. Для остаточного висновку щодо вибору регулятора необхідно перевірити приналежність середніх і дисперсій одній генеральній сукупності згідно [16].

Перевіримо чи належать середні одній генеральній сукупності при невідомих дисперсіях випадкових величин, тобто перевіримо нульову гіпотезу $H_0: M(\text{ПД}) = M(\text{ППІ})$. Визначимо середню різницю варіантів вихідних величин САР з різними регуляторами. Для цього проведемо обчислювальний експеримент з використанням моделі, яка містить системи автоматичного регулювання з налаштованими ПД- та ППІ-регуляторами, а також блоків для розрахунку статичних параметрів (рис. 14). За результатами експерименту встановлено, що сума різниць варіантів $\sum d_i = -611,5$, вибіркова середня величина $\bar{d} = -1,22$, а також $\sum d_i^2 = 103600$ ($i = \overline{1, n}, n = 500$ – кількість варіант).

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

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

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

По таблиці критичних точок розподілу Стьюдента за рівнем значущості $\alpha = 0,05$ (зазвичай приймається для технічних систем) і кількості ступенів свободи $n = 500$ знаходимо критичну точку $t_{\text{двос.кр.}} = 1,96$. Оскільки $|T_{\text{сп}}| < t_{\text{двос.кр.}}$ – немає підстав відкидати нульову гіпотезу. Середні значення керованої величини відрізняються несуттєво.

Перевіримо чи належать дисперсії одній генеральній сукупності при рівних значеннях їхніх середніх. Дана перевірка полягає у наступному [16]. Для того, що б при даному рівні значущості $\alpha = 0,05$ перевірити нульову гіпотезу $H_0: D(\text{ПД}) = D(\text{ППІ})$ про рівність генеральних дисперсій нормальних сукупностей при конкуруючій гіпотезі $H_1: D(\text{ПД}) > D(\text{ППІ})$, необхідно розрахувати спостережуване значення критерію (відношення більшого значення виправленої дисперсії до меншої):

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

Після цього по таблиці критичних точок Фішера-Снедекера [16] при заданому рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числу ступенів свободи $n_1 = 500$ і $n_2 = 500$ знаходимо критичну точку $F_{кр}(0,05; 500; 500) = 1,03$. Якщо $F_{сп} < F_{кр}$ немає підстав відкидати нульову гіпотезу. Якщо $F_{сп} > F_{кр}$ - нульову гіпотезу відкидають. У даному випадку $1,43 > 1,03$, тобто $F_{сп} > F_{кр}$. Отже нульову гіпотезу про рівність двох дисперсій відкидаємо. А це означає, що ППІ-регулятор більш ефективний ніж ПІД-регулятор при впливі на роботу САР нормально розподіленого збурюючого сигналу.

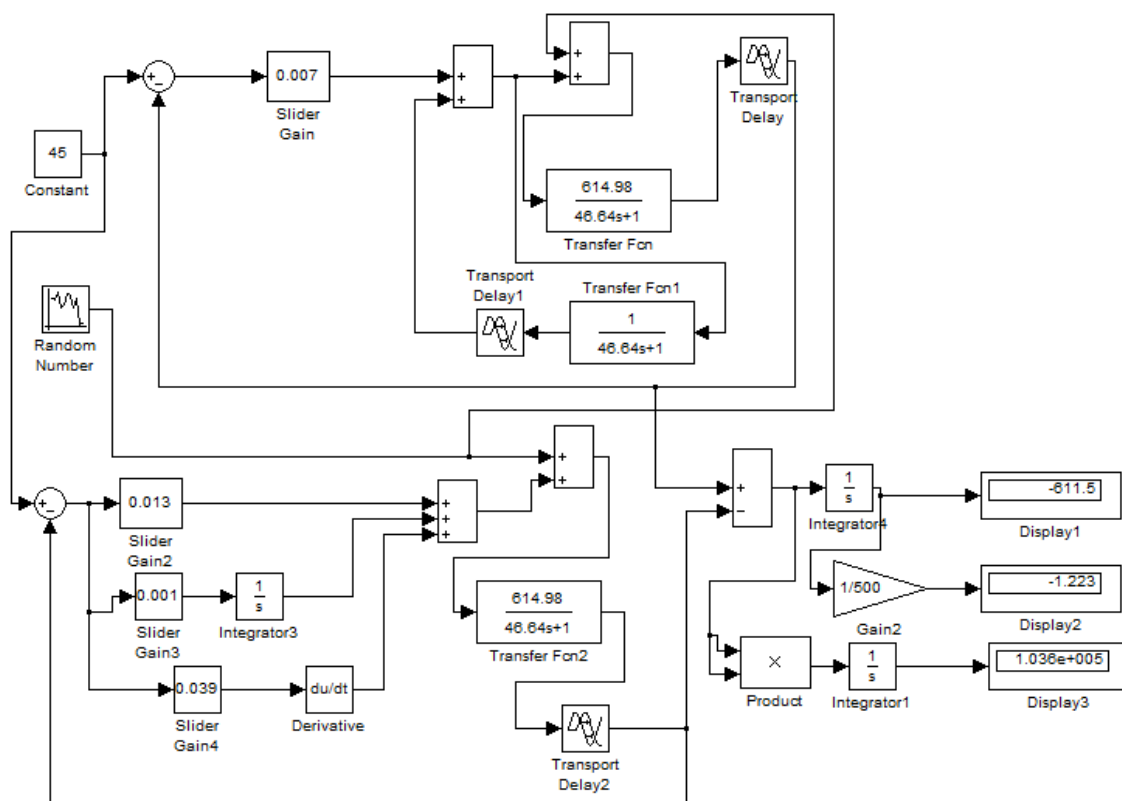


Рисунок 3.14 – Модель обчислювальної системи для визначення середньої різниці варіантів вихідних величин САР з різними регуляторами

3.3 Висновки

1. Найефективніше регулювання процесом подрібнення на основі ПІД-регулятора досягається шляхом використання всіх його частин: пропорційної, інтегральної, диференціальної.

2. При регулюванні процесом подрібнення на основі ППІ-регулятора суттєвий вплив на перехідний процес чине тільки пропорційна частина.
3. Найкращі оцінки показників якості перехідного процесу в САР процесом подрібнення досягаються при використанні ППІ-регулятора.
4. При впливі на роботу САР процесом подрібнення нормально розподіленого збурюючого сигналу ППІ-регулятор більш ефективний ніж ПД-регулятор.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Вихідними даними для цього розділу є синтезована система автоматичного керування процесом подрібнення в лінії збагачення ГЗК (рисунок 4.1).

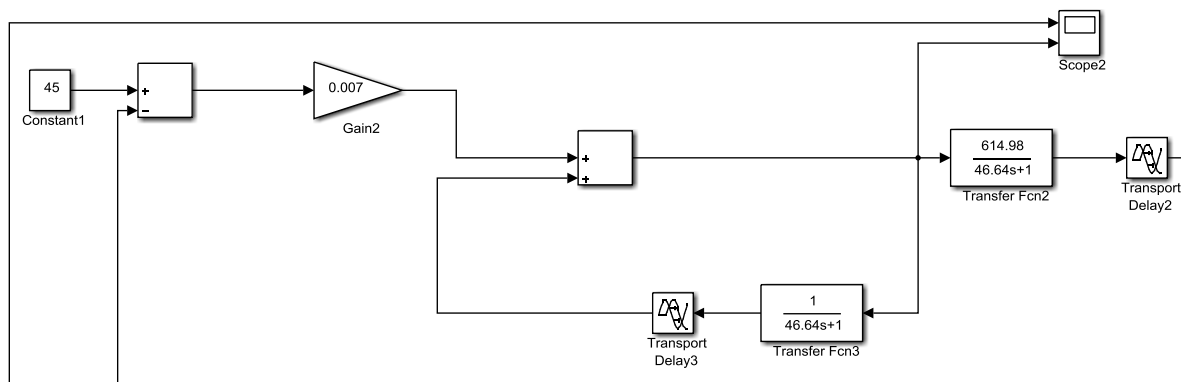


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої системи автоматичного керування

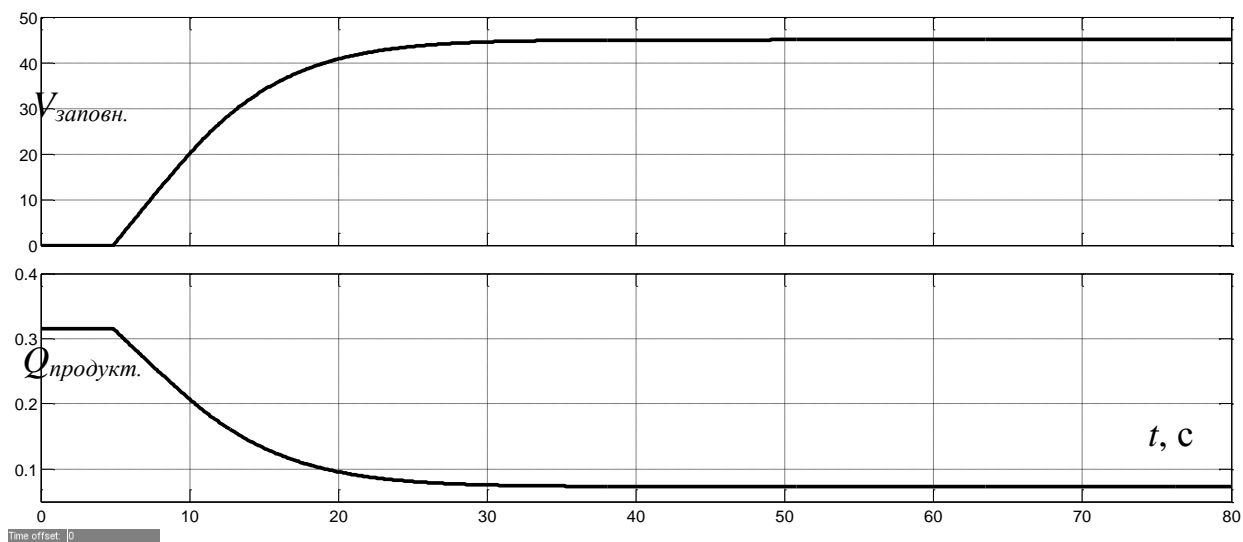


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої системи автоматичного керування (верхній рис. – керована величина, нижній – керуюча)

Для розробки програмного забезпечення для даної системи керування треба перейти до цифрових моделей регулятора та об'єкта керування. У зв'язку з цим, виконаємо заміну неперервних елементів системи автоматичного керування цифровими. Для перетворення аперіодичної ланки регулятора та аперіодичної ланки об'єкта створена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Z-перетворення неперервних елементів регулятора та об'єкта керування на цифрові

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

Результат роботи програми 4.1:

```
a_a1 =
      0  1.317155203810776
b_a1 =
  1.000000000000000 -0.997858214569887
a_a2 =
      0  0.002141785430113
b_a2 =
  1.000000000000000 -0.997858214569887
```

На основі результатів роботи програми 4.1 створимо цифрову модель об'єкта керування (рис.4.3) та системи автоматичного керування САК (рис.4.4).

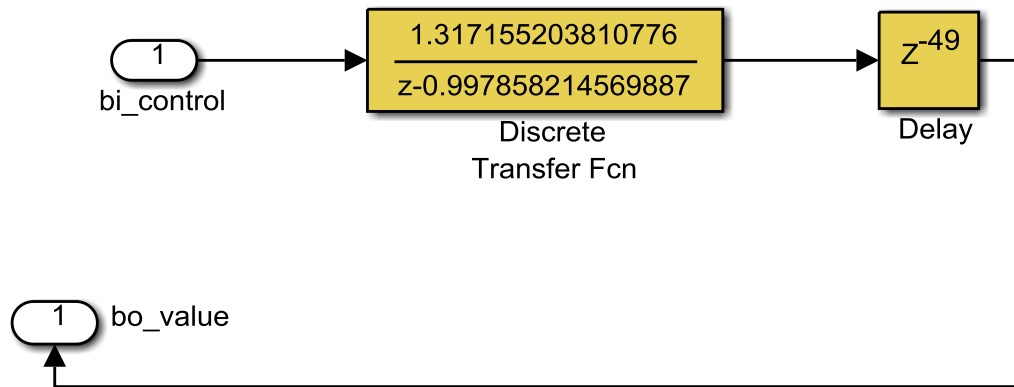


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

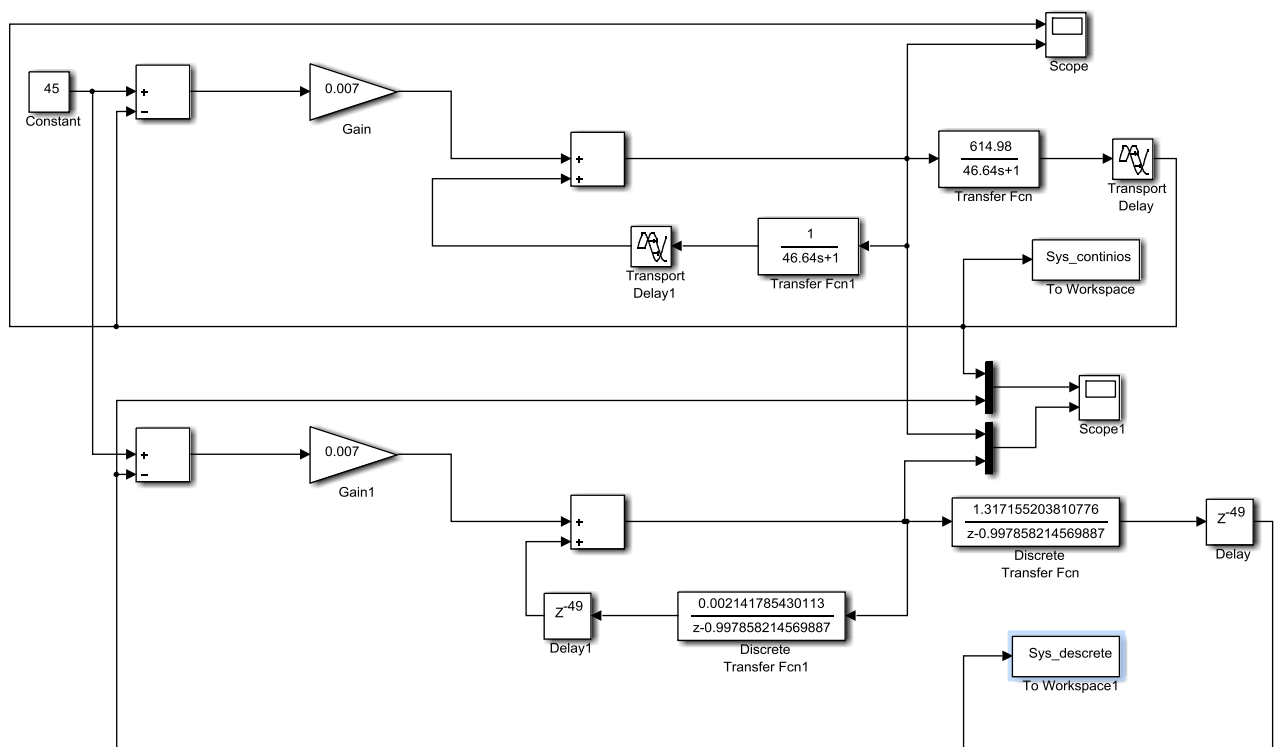
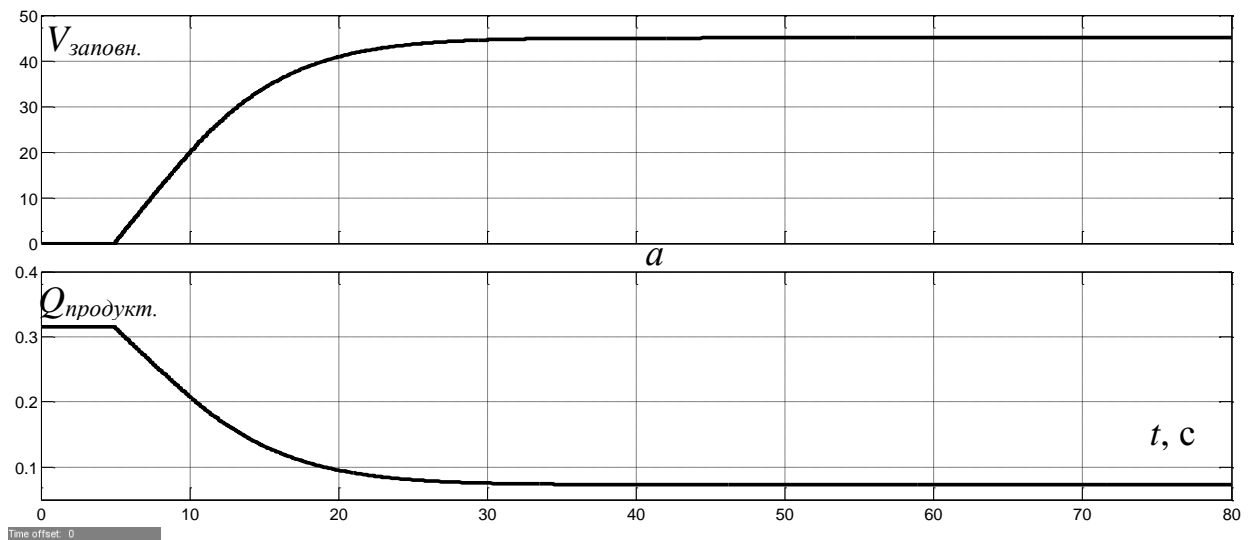


Рисунок 4.4 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування



б

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

З рисунку 4.5 видно, що графіки як керованої величини, так і керуючої практично збіглися. Оцінимо більш точно відповідність цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі за нормованим середньоквадратичним відхиленням між точками графіків зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової моделей.

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

Як видно за результатами перевірки, маємо дуже високий відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній.

Згрупуємо модель цифрової САК за підсистемами, одною з яких є об'єкт керування, а іншою – регулятор (рисунок 4.6).

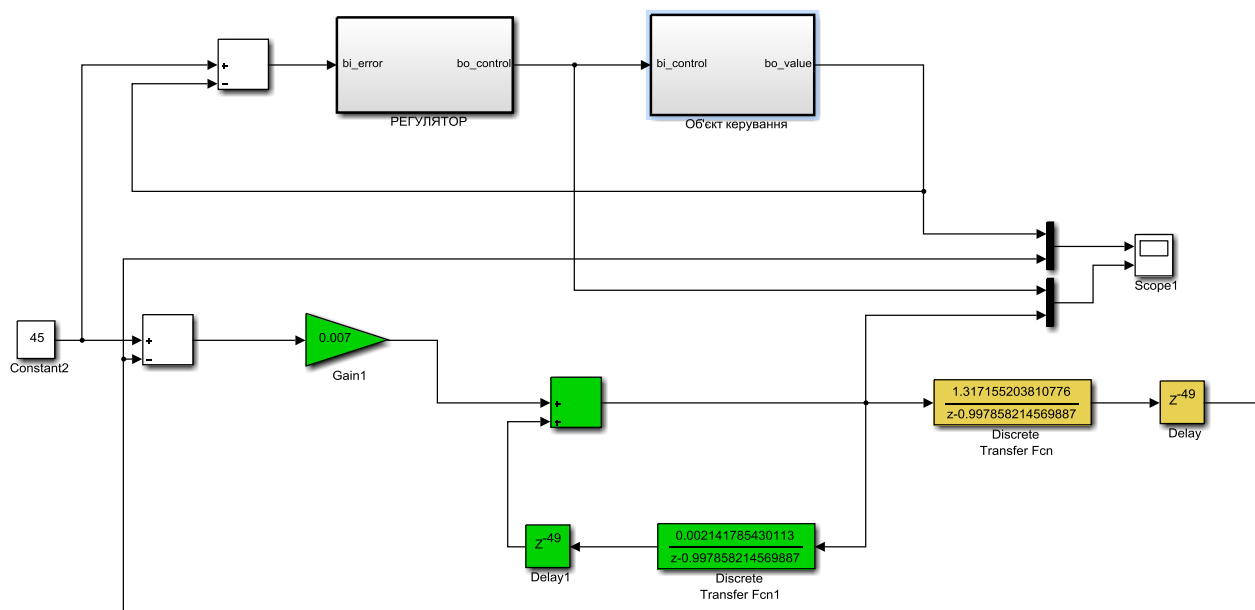


Рисунок 4.6 – Групування цифрової моделі системи автоматичного керування

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

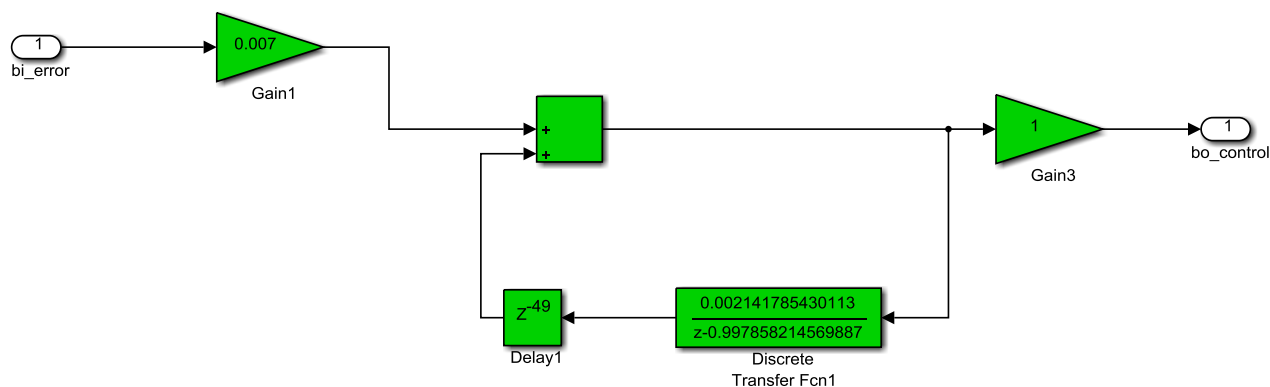


Рисунок 4.7 – Цифрова модель регулятора

На рисунку 4.7 цифрова модель ППІ-регулятора представлена розкладеною на окремі компоненти згідно формулі предиктивного ПІ-регулятора. На основі цифрової моделі САК згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматичного керування умовно можна поділити на дві окремі частини (два окремих програмних блоки): регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення (ПЗ) об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

З метою розробки ПЗ об'єкту керування був створений драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.8.

Для драйвера пристрою керування були створені відповідні змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів моделі об'єкту керування (показані на рисунку 4.9).

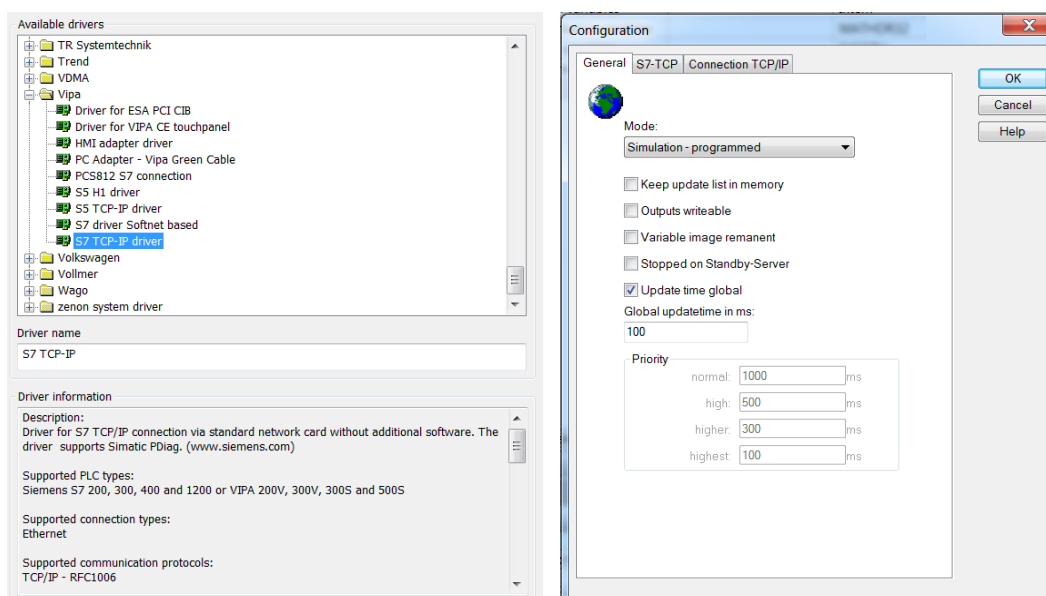


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою керування та його настройка

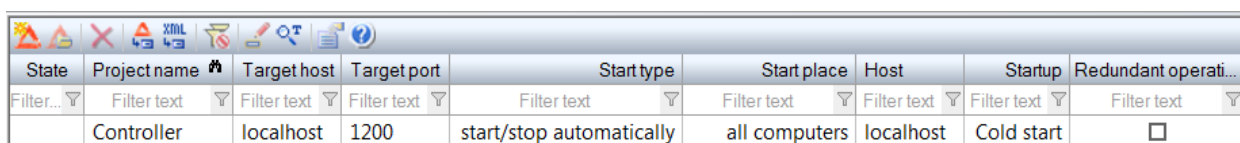
Name	Identification	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	S
Product			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3	
Volume			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування реалізована модель об'єкту керування на основі раніше створеного програмного модуля. Далі, з використанням отриманого користувальницького функціонального блоку, розроблене програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення ОК наведені у додатку Б.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку створений проект регулятора (рисунок 4.10).

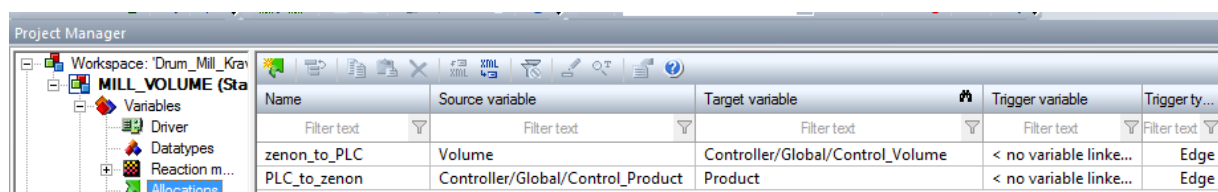


State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проект регулятора

Також створені змінні регулятора, що відповідають значенню уставки наповненості млина, фактичному значенню керованої величини та керуючому впливу (додаток Б).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкту керування реалізований через механізм розподілу «Allocations» (рисунок 4.11).



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

Рисунок 4.11 – Механізм розподілу «Allocations»

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

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

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

Для забезпечення повноцінної функціональності системи автоматичного керування людино-машинний інтерфейс повинний забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта керування;
- можливість слідкувати за станом технологічного процесу, та сповіщати у разі виникнення аварійних подій.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

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

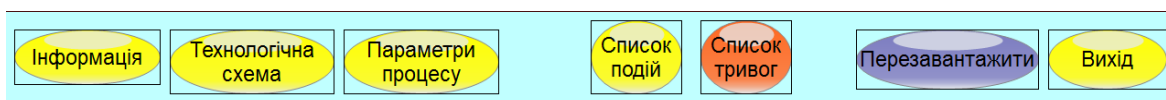
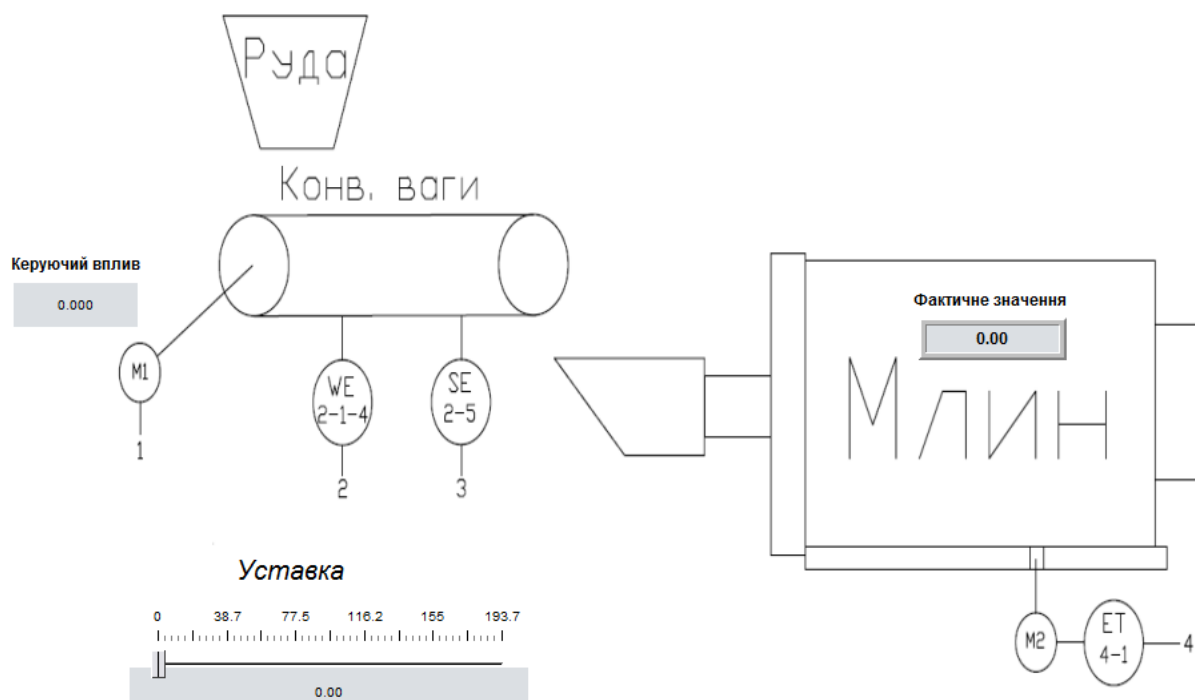


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

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

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



Система автоматичного керування процесом подрібнення в лінії збагачення ГЗК

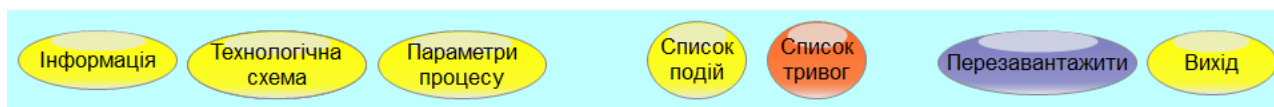


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

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

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



Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Оди...	Користувач - п...
15.01.2022 14:35:21	System was started				SYSTEM
15.01.2022 14:35:34	Modify spontaneous value: (50.31)	Controller/Global/Control_50.31			SYSTEM
15.01.2022 14:36:57	System was stopped				SYSTEM
15.01.2022 14:43:16	System was started				SYSTEM
15.01.2022 14:44:22	Modify spontaneous value: (45.05)	Controller/Global/Control_45.05			SYSTEM

Рисунок 4.15 – Зображення списку подій

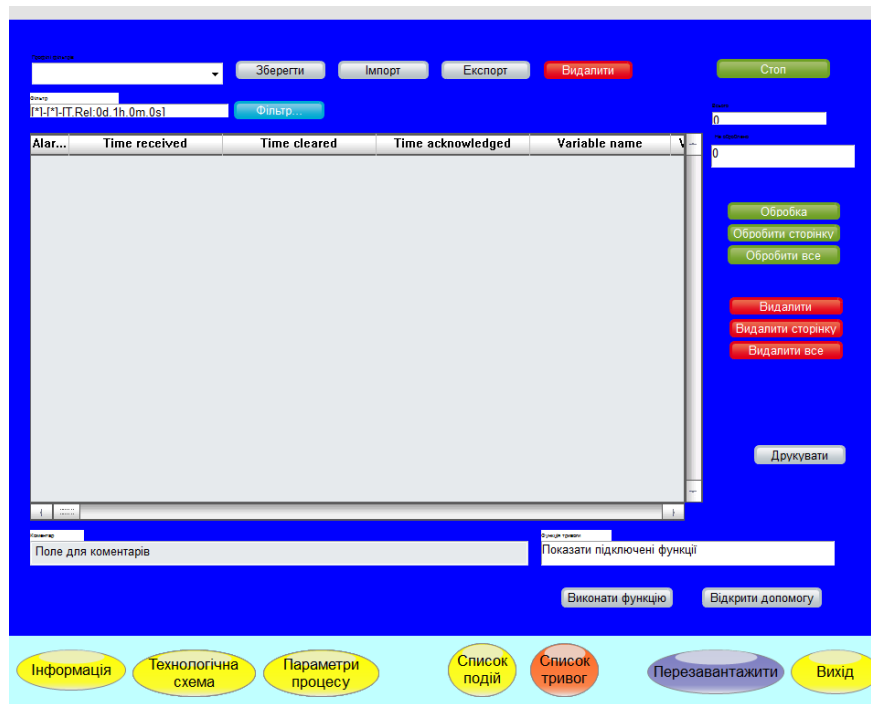


Рисунок 4.16 – Зображення списку тривог

Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.17.

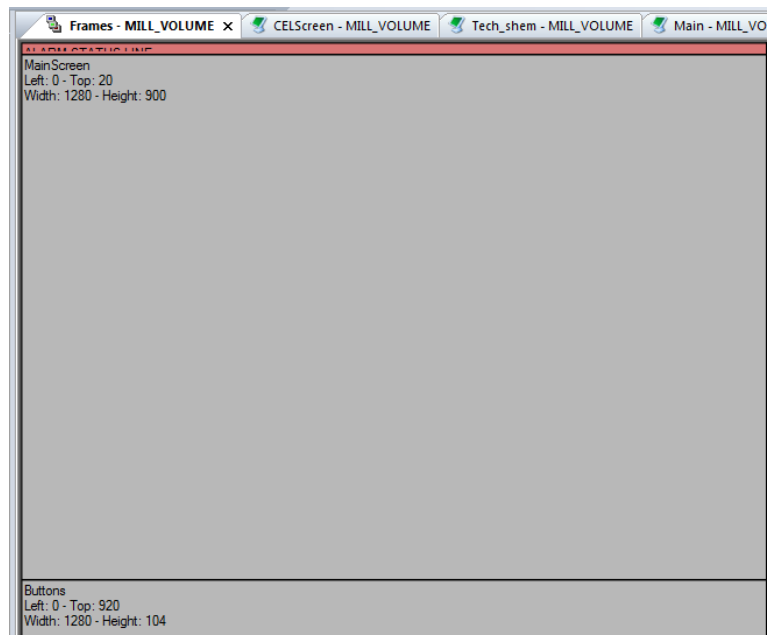


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні зображення розміщені в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, він є статичним та відображається постійно. Для

розробки зображень «Список подій» та «Список тривог» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення ЛМІ більш детально наведене в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі декількох уставок наповненості барабанного млина у діапазоні від 30 до 70.

З рисунка 4.18 видно, що об'єкт та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи автоматичного керування (монотонний перехідний процес з перерегулюванням до 5%).

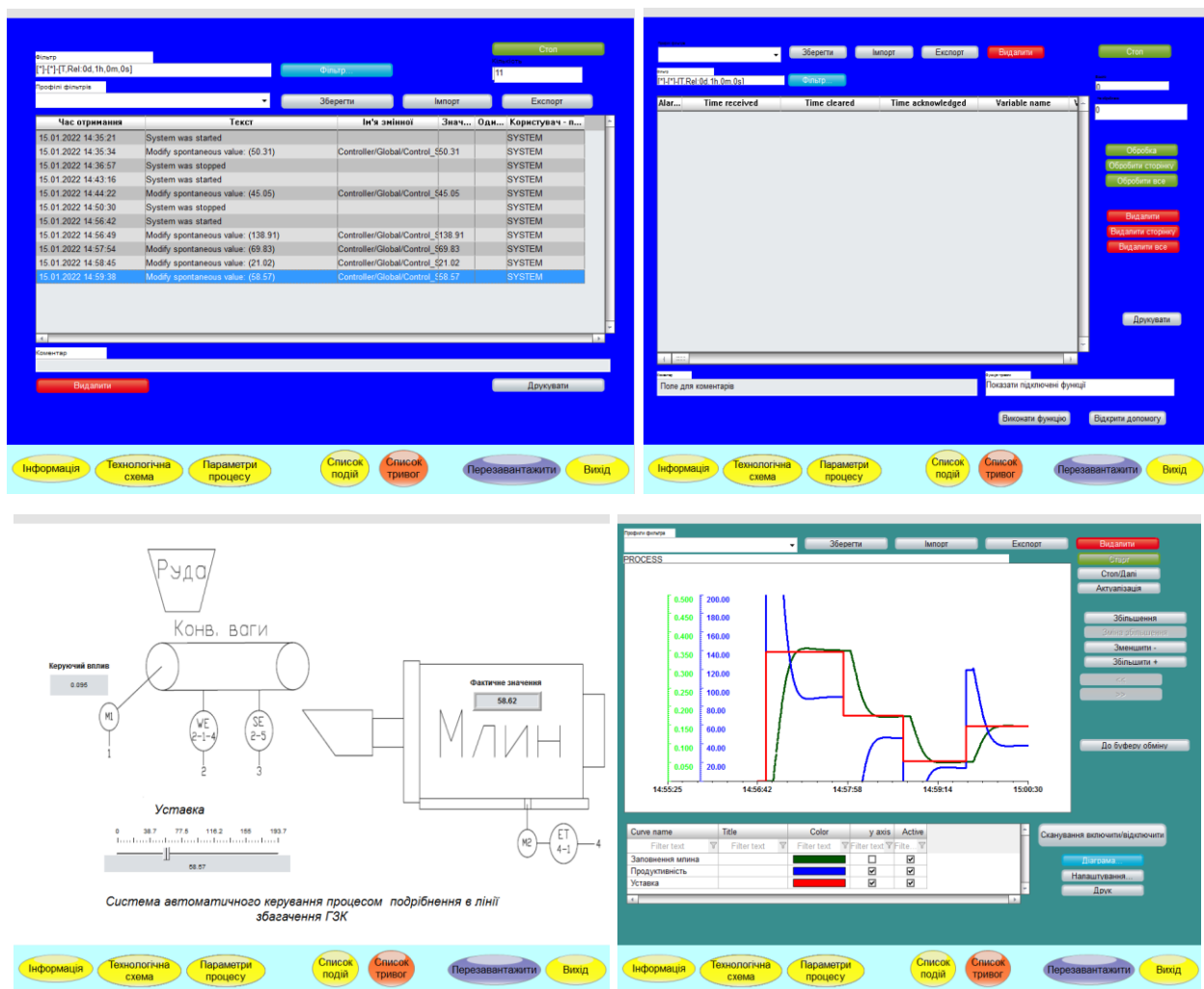


Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування ПЗ системи керування

У ході перевірки роботи ЛМІ встановлено, що усі кнопки виконують свої функції коректно, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи автоматичного керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система автоматичного керування працює згідно з вимогами у нормальному режимі, список тривог порожній.

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує коректно, згідно з вимогами до системи автоматичного керування та може бути використане на виробництві.

4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування процесом подрібнення в лінії збагачення ГЗК, а також ЛМІ, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує коректно та згідно з вимогами до системи автоматичного керування.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Обґрунтування доцільності впровадження автоматизації в виробничий процес

У роботі розглядається процес автоматизації процесу подрібнення на лінії ГЗК. Для підвищення загальної продуктивності та ефективності роботи необхідне впровадження сучасне обладнання та технологій в даний процес.

Далі Автоматизована система здатна задовольнити запити такого характеру як постійний контроль за протіканням технологічного процесу. Та переваги такої інновації полягають в енерго та ресурсозбереженні, збільшенні продуктивності виробництва, скороченні часу підготовки обладнання до процесу подрібнення.

5.2 Визначення капітальних вкладень на реалізацію проекту

Розрахуємо капітальні витрати, необхідні на впровадження і реалізації системи автоматизації подрібнення. До таких капітальних витрат відносяться вартість установки, вартість транспортування, вартість монтажних робіт:

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

де $K_{уст}$ - витрати на обладнання,

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

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

$K_{уст}$ розраховано в таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 – Вартість комплектуючих системи

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

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

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

Отже, згідно з отриманими значеннями розрахуємо:

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

Результати розрахунків занесені в таблицю 5.2:

Таблиця 5.2 - Перелік витрат та їх величина

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

5.3 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати містять: витрати на ресурси, витрати на основну та додаткову заробітну плату обслуговуючого персоналу та відрахування на соціальні заходи, амортизаційні відрахування, вартість витратних матеріалів, витрати на поточний ремонт, інші витрати.

Річні витрати на ресурси V_p визначаються за формулою:

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

де W – потужність установки, кВт = 1.5;

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

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

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

2. Визначення річних витрат на основну та додаткову заробітну плату обслуговуючого персоналу та відрахування від неї на соціальні заходи проводиться за формулою:

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

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

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

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

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

n – кількість фахівців.

Для обслуговування установки задіяний такий робочий персонал: 1 оператор ПК, що займається керуванням установки; 1 технологічний наглядач, який проводить в кінці робочої зміни огляд і профілактику пошкоджень обладнання; 2 інженера-механіка, що виконують в разі необхідності ремонтні роботи. У відповідності з цим, розроблена таблиця 5.3, в якій розраховані зарплати співробітників за рік з урахуванням коефіцієнта участі, а також соціальних відрахувань та додаткової зарплати.

Таблиця 5.3 – Розрахунок заробітної плати робочого персоналу

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

3. Амортизаційні відрахування за установкою доцільно розраховувати за формулою

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

де F – балансова вартість установки;

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

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

4. Річна вартість витратних матеріалів. До видаткових матеріалів відноситься масло, необхідне для обробки запчастин конвеєрних вагів для якісної експлуатації. Використовується масло Yuko MGE-46B HM 46, яке має ціну 1180 грн. Протягом року витрачаються 20 літрів такого масла, відповідно витрати становлять 1180 грн.

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

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

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

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

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

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

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

Отримані дані занесені в таблицю 5.4 :

Таблиця 5.4 - Сума експлуатаційних витрат

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

За розрахунками річні витрати склали: $V_{ре} = 358337$ грн.

5.4 Оцінка економічної ефективності оптимізації

5.4.1 Прибуток від підвищення продуктивності виробництва

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

$$П_{річ} = V_{річ} \times Ц - V_{ре}, \quad (5.7)$$

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

$Ц$ – тариф або ринкова ціна одиниці продукції.

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

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

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

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

$$\Delta\Pi t = \Pi_{21} - \Pi_{20} \quad (5.8)$$

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

де $\Delta\Pi t$ – зміна прибутку, зумовлена впровадженням оптимізації;

Π_{21} , Π_{20} – показники прибутку в 2020-2021 роках з реалізацією та без реалізації оптимізації.

5.4.2 Рентабельність оптимізаційних заходів

Рентабельність R_i реалізації проекту розрахуємо за формулою простої норми прибутку:

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

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

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

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

5.4.3 Приведені витрати В

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

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

де K – капітальні вкладення;

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

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

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

5.4.4 Період повернення капіталу (термін окупності) Т

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

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

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

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

Таблиця 5.4 - Очікувані економічні показники від оптимізації

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

5.5 Висновки по розділу

У розділі розраховано основні показники ефективності проекту з оптимізації процесу подрібнення.

Було отримано відсоток рентабельності проекту $R = 35\%$ що є задовільним показником.

Такий рівень рентабельності пов'язаний з тим, що реалізація оптимального заповнення млина не є дорогою, а ефект від прискорення позитивно позначається на всьому циклі виробництва.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів технологічного процесу

У даній роботі розглядається автоматизація процесу подрібнення в лінії забезпечення ГЗК, об'єктом дослідження є Млин мокрого самоподрібнення ММС 70х23, для якого будуть розглядатися шкідливі фактори й заходи щодо охорони праці. Наведемо перелік небезпечних та шкідливих факторів:

- ураження електричним струмом;
- отруєння шкідливими газами та пилом що виділяється при подрібненні;
- підвищений рівень шуму, вібрації;
- можливість механічних травм від обертаючих деталей та вузлів.

6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

6.2.1 Подрібнення

Для запобігання небезпеки поряд з ММС 70х23 передбачено дотримуватися наступних заходів:

Аварійний вимикач розміщується на пульті керування, а також поряд з об'єктом;

Прилади контролю пройшли своєчасну перевірку.

Повітря робочої зони:

Обладнання повинно бути герметичним.

Підшипники обладнання повинно щоденно змазуватися та очищатися від пилу та надлишків мастила.

Експлуатоване технічне обладнання повинно щоденно очищатись від осілої на них горючого пилу.

Концентрація шкідливих пар, газів і пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати гранично припустимими, установленними вимогами.

Для підвищення продуктивності праці й працездатності робітників необхідні стабільні метеорологічні умови, а саме: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

Передбачена гідроуборка виробничого приміщення через кожні 4 години.

Для очищення повітря застосовується приточна вентиляція, установки якої складаються з наступних елементів; воздухозабірний пристрій, воздуховод, фільтр, калорифер, вентилятор, приточні отвори. Фільтр, калорифер і вентилятор установлені спільно - створюючи вентиляційну камеру.

6.2.2 Заходи щодо боротьби з вібрацією та шумом

Для послаблення вібрацій прокладати віброізоляцію, встановлювати на обладнання пружинні або гумові прокладки. Вібруючі машини з динамічним навантаженням (вентилятори, насоси, агрегати) встановлювати на окремі фундаменти, роботи з обладнанням, що вібрує, слід проводити у зачинених опалювальних приміщеннях. Зменшити вібраційний вплив можуть прості процедури: ретельна збірка деталей, періодична зміна мастила, своєчасний ремонт обладнання, по можливості використання амортизаційних покриттів.

Для зменшення шуму від млина, що створюється при ударах куль, персоналу необхідно строго дотримуватися режиму їх експлуатації: не допускати недовантаження, своєчасно зупиняти для зміни зношеної броні і футерування, застосовувати легкі багатошарові звукоізоляційні перегородки з повітряними прошарками. Для звукоізоляції найбільш шумних вузлів та агрегатів (ланцюгові передачі, двигуни, компресори, вентилятори) використовувати звукоізоляційні кожухи, які є засобами, що встановлюються в безпосередній близькості від джерела шуму. В тих випадках, коли неможливо ізолювати шумне устаткування чи його вузли, захистити працівника від дії шуму шляхом облаштування звукоізольованої кабіни з пультом керування та оглядовими вікнами.

6.2.3 Електробезпека

Для захисту працюючих від враження електричним струмом застосовують наступні заходи:

- ізоляція струмоведучих частин;
- недоступність струмоведучих частин;
- орієнтація в електроустановках;
- ізоляція від землі;

Для захисту від струмів короткого замикання й перевантажень застосовуються автоматичні вимикачі, апаратури керування електроприводом розташована в шафі закритого типу. Корпус шафи й електродвигуна приєднаний до заводського контуру заземлення.

Категорично забороняється ремонт частин під напругою без попереднього відключення напруги. Відповідно правил має бути табличка з надписом «Робота під напругою», для інформації.

Для кожного відсіку складу має бути складена схема електропостачання.

Перед підключенням установки проводять її зовнішній огляд для встановлення справності.

Робота у справна-сухому спецодязі і рукавицях.

6.3 Розрахункова частина

6.3.1 Штучне освітлення

У вечірній час у приміщенні використовується система штучного освітлення. Розрахунок та симуляція штучного освітлення виконані у програмі DIALux. За результатами виявлено що для робочого приміщення 13 на 7 м для нормального освітлення потрібно 20 джерел освітлення потужністю 30 Вт.

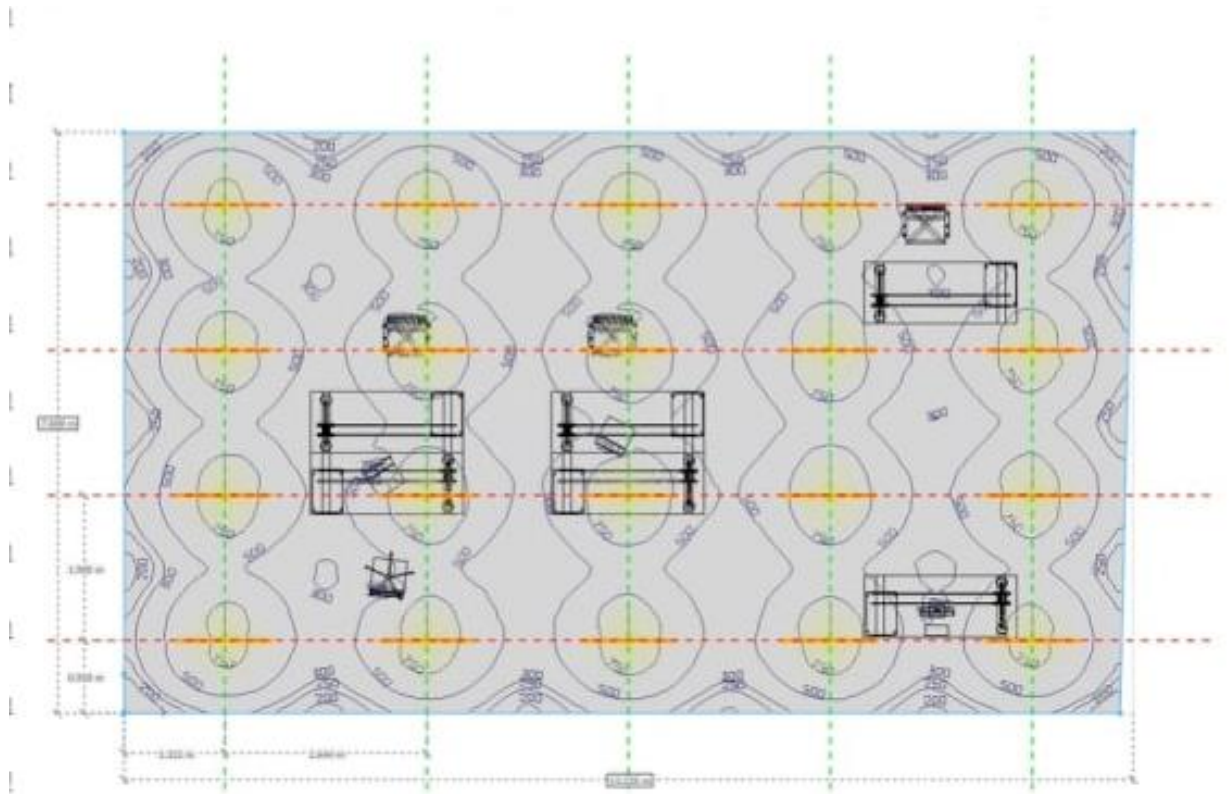


Рисунок 6.1 – Карта штучного освітлення приміщення

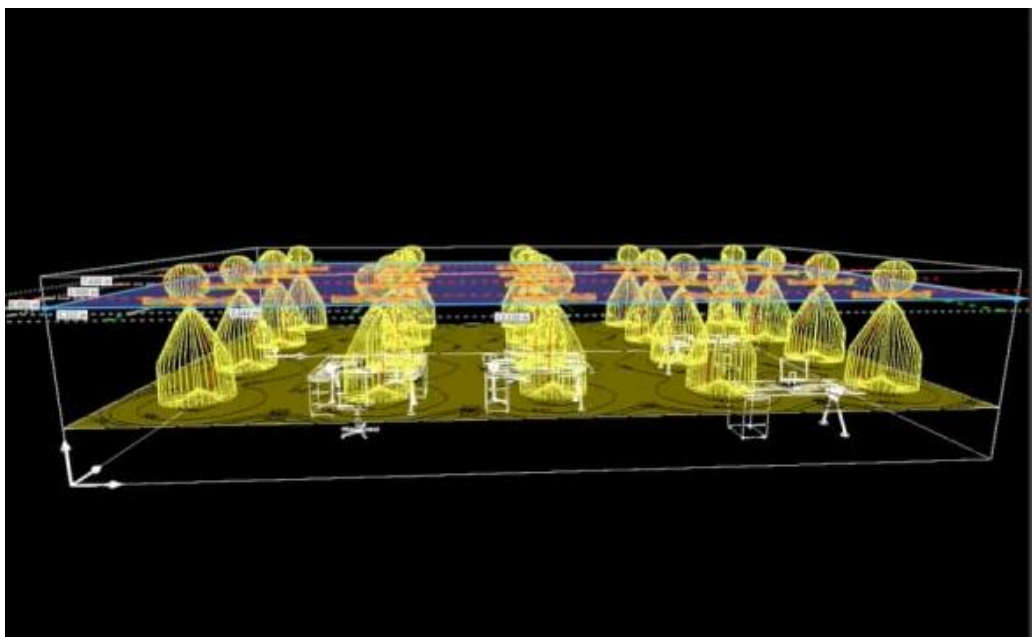


Рисунок 6.2 – Розташування джерел освітлення у 3D

6.3.2 Кондиціонування повітря для приміщення

Необхідний об'єм повітря для розбавлення шкідливих речовин допустимих концентрацій розраховують за формулою:

$$L = q / C1 - C2, \quad (6.1)$$

де L – кількість припливного повітря за одиницю часу, яке необхідно ввести в приміщення для зменшення вмісту шкідливої речовини (випарів, газів, пилу), м³/год;

q – кількість шкідливої речовини, що виділяється у приміщення за годину, мг/год (при розрахунку за CO₂ кількість вуглекислого газу, яку виділяє одна людина

$C1$ – концентрація шкідливої речовини у повітрі, яке видаляється (\leq ГДК), мг/м³ (значення ГДК деяких речовин згідно до ГОСТ 12.1005-88 ССБТ);

$C2$ – концентрація шкідливої речовини у повітрі, яке подається у приміщення ($C2 \leq 0,3$ ГДК), мг/м³ ($C2 = 0,3 \cdot C1$)

$$L = 1200 / (70 - 0,6) = 17,3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Після розрахунку повітрообміну за газовиділенням, розраховуємо кратність повітрообміну K :

$$K = L / V \quad (6.2)$$

де K – кратність повітрообміну (год)

L – кількість припливного повітря (м³/год)

V – об'єм приміщення (м³) = 182 м³

$$K = 17,3 / 182 = 0,09 \text{ год}.$$

6.4 Пожежна профілактика

Виробнича будівля цеху подрібнення відноситься до класу Д Негорючі речовини та матеріали в холодному стані пожежна-вибухобезпечних приміщень. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом – до приміщень з підвищеною небезпекою характеризується вологістю (відносна вологість перевищує 75 %) і струмопровідними підлогами.

Головним заходом запобігання пожеж і вибухів від електрообладнання є правильний вибір і експлуатація обладнання у вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях.

Будинки й споруди категорії Д слід обладнати системи оповіщення та керування людей про пожежу відповідно до вимог СП 3.13130.2009 «Системи протипожежного захисту. Система оповіщення та керування евакуацією людей про пожежу. Вимоги пожежної безпеки».

6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Під час технологічного процесу може виникнути ситуація, яка загрожуватиме життю не тільки працівникам, а й людям поза його межами. У таких випадках працівник зобов'язаний дотримуватися деяких правил:

- негайно сповістити про це в пожежну охорону (у випадку пожежі)
- повідомити керівництво про виникнення пожежі;
- організувати оповіщення працівників про пожежу.

Посадова особа об'єкта, що прибула до місця надзвичайної ситуації зобов'язана:

Організувати евакуацію людей з будівлі до безпечного місця;

Вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, незв'язаних з ліквідацією надзвичайної ситуації;

За необхідності відключити електроенергію (за винятком систем протипожежного захисту), зупинити транспортуючі пристрої, агрегати, апарати, перекрити сировинні, газові, парові і водяні комунікації, зупинити систему вентиляції в аварійному і суміжних з ним приміщеннях.

6.6 Висновки до розділу

У розділі розглянуті та проаналізовані шкідливі та небезпечні чинники, на робочому місці. Розроблені інженерно-технічні заходи щодо запобігання або зменшення впливу шкідливих та небезпечних чинників, а також питання пожежної профілактики та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Розраховано штучне освітлення та кондиціонування повітря для приміщення.

ВИСНОВКИ

Атестаційна робота є закінченою дослідницькою роботою, в якій вирішена задача керування процесом подрібнення по каналу "продуктивність по вхідній руді – ступінь внутрішньомлинового заповнення".

Основними результатами роботи є:

1. В роботі розглянуті способи керування технологічним об'єктом з запізнюванням.
2. Для ПД- і ПП-регуляторів розраховані значення коефіцієнта підсилення у прямому контурі САР, при якому система виходить на межу стійкості. Розраховані частота і період коливань.
3. За методом Циглера-Нікольса визначені параметри ПД- і ПП-регуляторів.
4. Методом моделювання на ЕОМ в середовищі SIMULINK ПП MATLAB вибраний найкращий регулятор, виходячи із оцінок показників якості САР і мінімуму дисперсії вихідної величини.
5. Перевірена гіпотеза про значущість відмінностей оцінок середніх і дисперсій досліджуваних САР процесом подрібнення.
6. Розроблений людино-машинний інтерфейс керування процесом флотації для емулятора на базі програмованого логічного контролера VIPA System 200 V і програмного забезпечення HMI/SCADA системи Zenon Supervisor 7/0.
7. Підтверджена ефективність вибраного регулятора на емуляторі.
8. Виконані економічні розрахунки щодо ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.
9. Розроблені і обґрунтовані заходи з безпеки праці, виконані розрахунки освітлення.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Ашимов А.А. Системы автоматического управления с изменяющейся конфигурацией для объектов с запаздыванием - Алматы: Галым, 1995г. - 628 с.
2. Калман Р.Е. Об общей теории систем управления // 1-й Международный конгресс ИФАК: Тр./ АН СССР.-М., 1961. - Т.2.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. -М.: Энергоатомиздат, 1985.-296с.
4. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования - М.; Госэноргоиздат, 1961
5. Хаджийски М. Проектиране на системи за управление на техно-лошчни обекти. 4 1.- София, Технике 1982.
6. Цыпкин ЯЗ. Попков Ю.С., Теория нелинейных импульсных систем. - М.: Наука, 1973.-416 с.
7. Лебедев В.Ф., Предкин Н.И. Выбор оптимального режима для изотермического реактора дегидрирования// Автоматизация химических производств. - 1964. N3-4. С. 32-37.
8. Хаджийски М. Проектиране на системи за управление на технолошчни обекти. 4 1.- София, Технике 1982.
9. Kopeikina T.B. To the control theory of singularly perturbed dynamic system with delay II Mathematical theory of networks and systems. MTNS 2000. - 2000., - 234-242 pp.
10. Moore C.F., Smith C.L., Murril P.W. Instruments and Control Systems, 43(1), 70(1970).
11. Ермоленко В. Применение нечеткой логики в микроконтроллерном управлении // Радиолобитель. Ваш компьютер. 1997. № 3. С. 13-17.
12. Лукас В.А. Введение в fuzzy управление. Екатеринбург. Изд-во УГГГА, 1997.-36С

13. Теорія автоматичного керування (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.
14. Smith O.J.M. Close control of loops with dead time // Chemical Engineering Progress. 1957. Vol. 53. P. 217_235.
15. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.-304 с.
16. Г.Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистики. Учеб. пособие для студентов вузов/В.Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2004 г. – 404 с.: ил.
17. М.М. Трипутень, М.М. Трипутень, О.І. Кравченко СИНТЕЗ ЗАКОНІВ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ / Міжнародна науково-практична конференція "ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ – 2020. Молодь: наука та інновації" - 24 грудня 2020 р. - Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", 2020. с.83-84.
18. <http://minerals-ua.info/metulichni-korisni-kopalini/> - Мінеральні ресурси України.
19. Автоматичне Керування технологічними процесами збагачувальних фабрик / А.Н. Марюта, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько.

ДОДАТОК А

Програмні модулі системи керування

A.1 Модуль об'єкта керування

```
(*
*
* File: system_model_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for
subsystem "system_model_group/Об'єкт керування"
*
* Model name                : system_model_group
* Model version              : 1.6
* Model creator              : work
* Model last modified by    : work
* Model last modified on    : Thu Jan 13 20:18:38 2022
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            :
system_model_group/Об'єкт керування
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on      : Thu Jan 13 20:20:16 2022
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_control: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_value: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..48] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 48 DO
```

```

        Delay_DSTATE[i] := 0.0;
    END_FOR;
    (* End of InitializeConditions for Delay:
'<S1>/Delay' *)

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

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

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

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

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

```

A.2 Модуль регулятора

```

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

```

```

* Model sample time           : 0s
* Subsystem name              :
system_model_group/PEFYJЯTOP
* Subsystem sample time      : 0.1s
* Simulink PLC Coder version  : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on       : Thu Jan 13 20:19:19 2022
*
* Target IDE selection        : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included         : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_control: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    Delay1_DSTATE: ARRAY [0..48] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1' *)
        FOR i := 0 TO 48 DO
            Delay1_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay:
'<S1>/Delay1' *)

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

        (* Outport: '<Root>/bo_control' incorporates:
* Delay: '<S1>/Delay1'
* Gain: '<S1>/Gain1'
* Inport: '<Root>/bi_error'
* Sum: '<S1>/Sum3' *)
        bo_control := (0.007 * bi_error) + Delay1_DSTATE[0];

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fc1' *)

```

```

FOR k := 0 TO 47 DO
    Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay1_DSTATE[48] := 0.002141785430113 *
DiscreteTransferFcn1_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := bo_control - (-
0.997858214569887 * DiscreteTransferFcn1_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

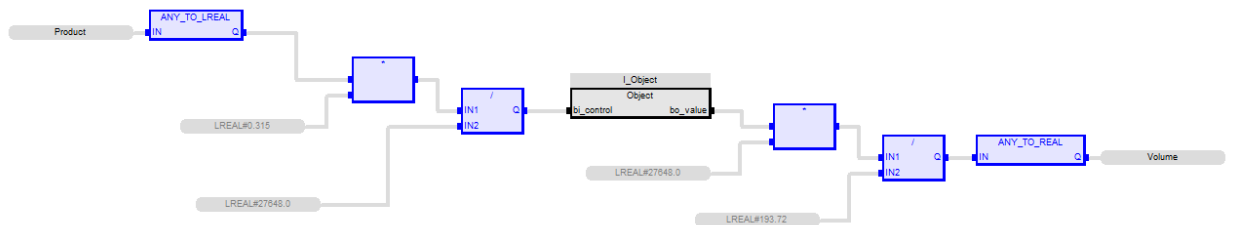
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

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

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

bo_value := Delay_DSTATE[0];

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

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

FOR k := 0 TO 47 DO

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

END_FOR;

Delay_DSTATE[48] := LREAL#1.3171552038107761 *

DiscreteTransferFcn_states;

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

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

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

```

DiscreteTransferFcn_states := bi_control - (LREAL#-0.997858214569887 *
DiscreteTransferFcn_states);

```

Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT

```

```

    bi_control : LREAL ;

```

```

END_VAR

```

```

VAR_OUTPUT

```

```

    bo_value : LREAL ;

```

```

END_VAR

```

```

VAR

```

```

    DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;

```

```

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

```

```

    k : DINT ;

```

```

    i : DINT ;

```

```

END_VAR

```

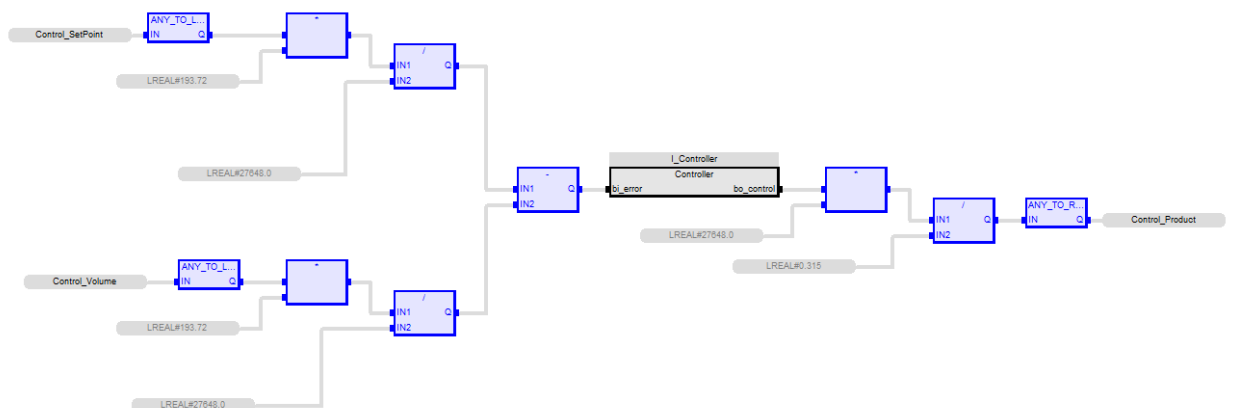
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

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

* Delay: '<S1>/Delay1'

* Gain: '<S1>/Gain1'

* Inport: '<Root>/bi_error'

* Sum: '<S1>/Sum3' *)

bo_control := (LREAL#0.007 * bi_error) + Delay1_DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

FOR k := 0 TO 47 DO

 Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];

END_FOR;

Delay1_DSTATE[48] := LREAL#0.002141785430113 *

DiscreteTransferFcn1_states;

(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

DiscreteTransferFcn1_states := bo_control - (LREAL#-0.997858214569887 *

DiscreteTransferFcn1_states);

Б.2.4 Перелік змінних

VAR_INPUT

 bi_error : LREAL ;

END_VAR

VAR_OUTPUT

 bo_control : LREAL ;

END_VAR

VAR

 DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;

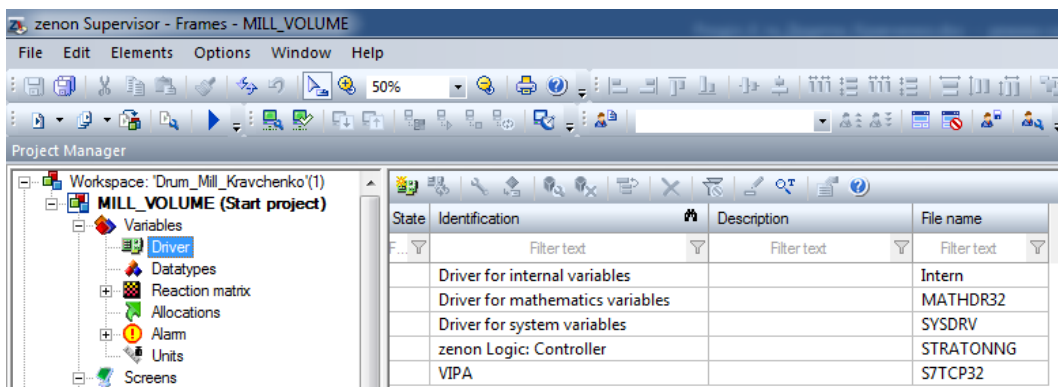
 Delay1_DSTATE : ARRAY [0 .. 48] OF LREAL ;

```
k : DINT ;  
i : DINT ;  
END_VAR
```

ДОДАТОК В

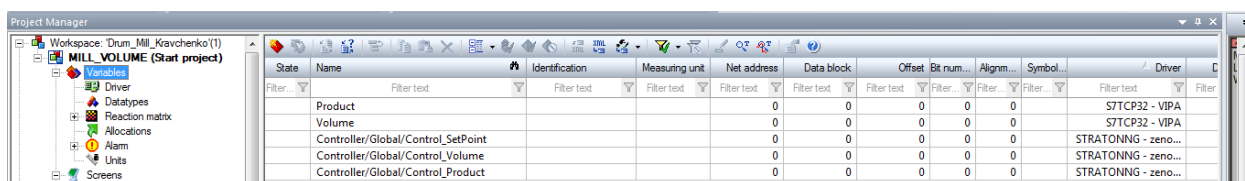
Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



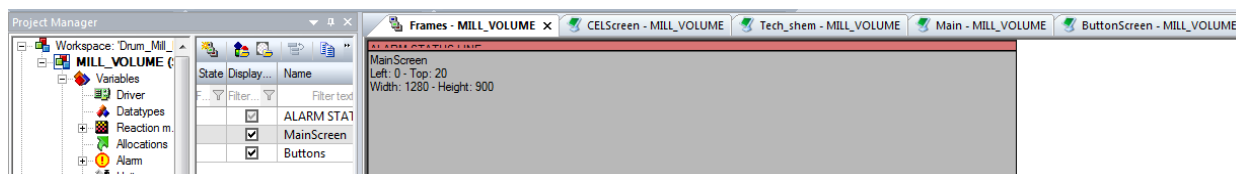
State	Identification	Description	File name
Filter	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	zenon Logic: Controller		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

В.2 Перелік змінних



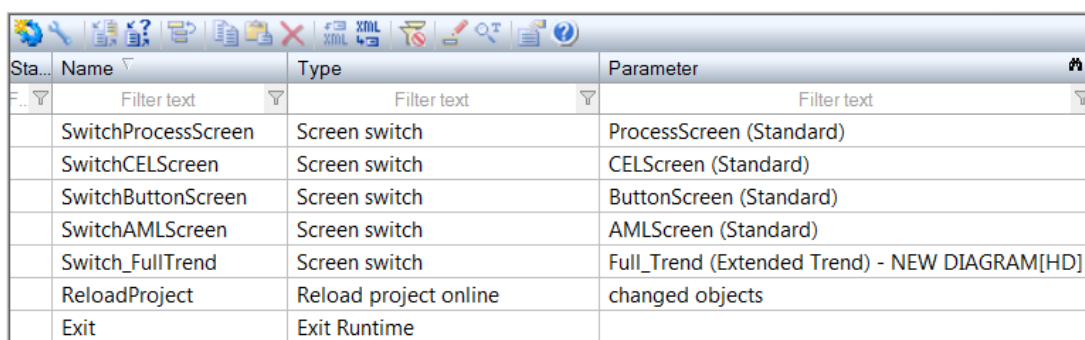
State	Name	Identification	Measuring unit	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Filter
Filter	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter
	Product			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	
	Volume			0	0	0	0	0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

В.3 Шаблони зображень



State	Display...	Name
Filter	Filter text	Filter text
	<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STA1
	<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreen
	<input checked="" type="checkbox"/>	Buttons

В.4 Функції



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

В.5 Зображення

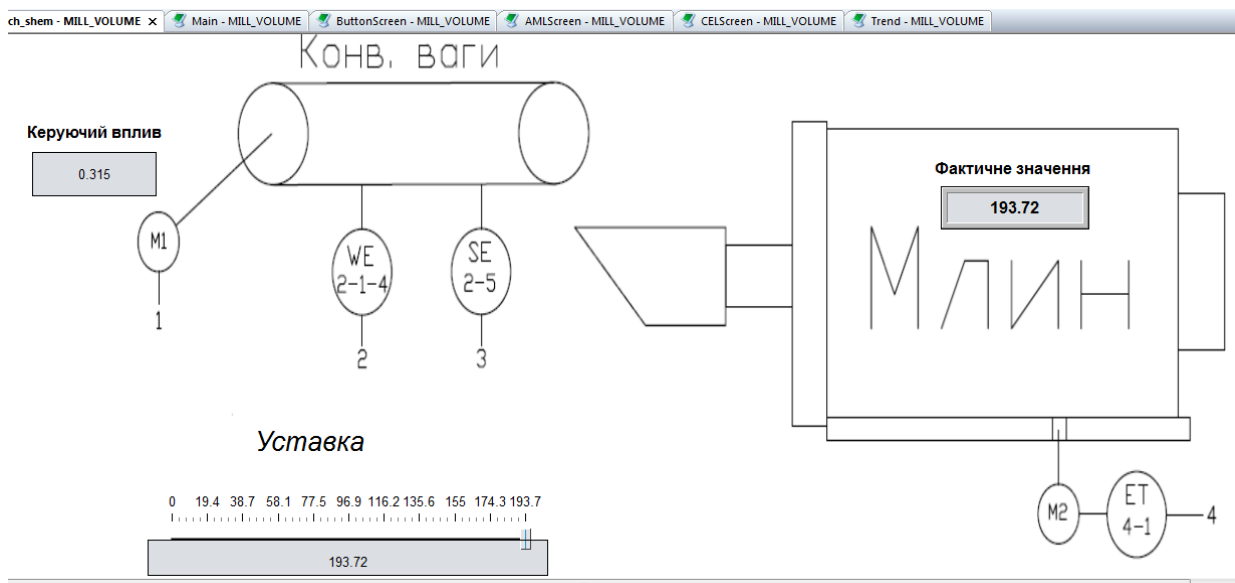
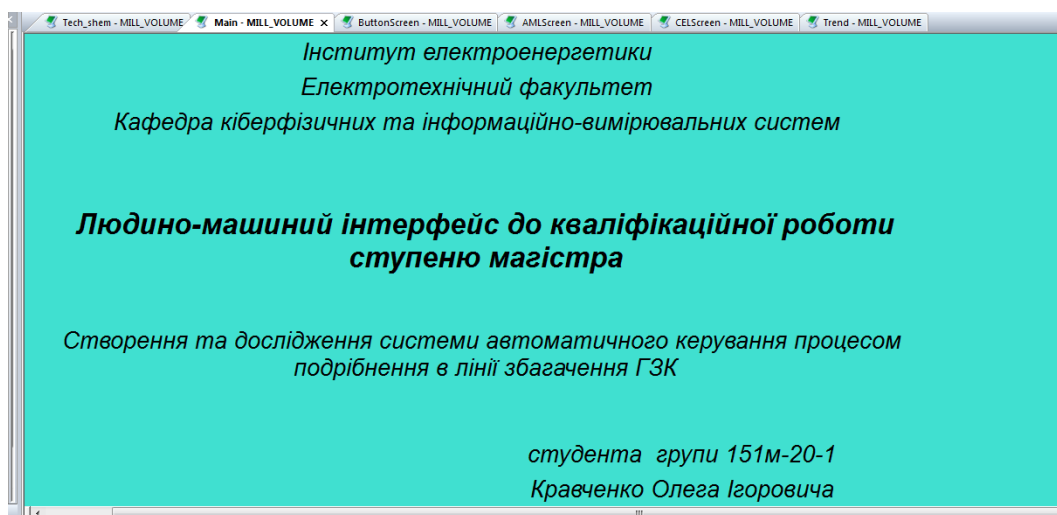
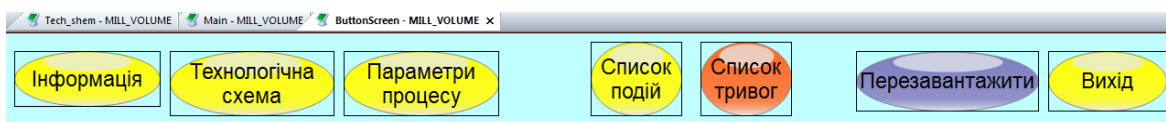
Project Manager

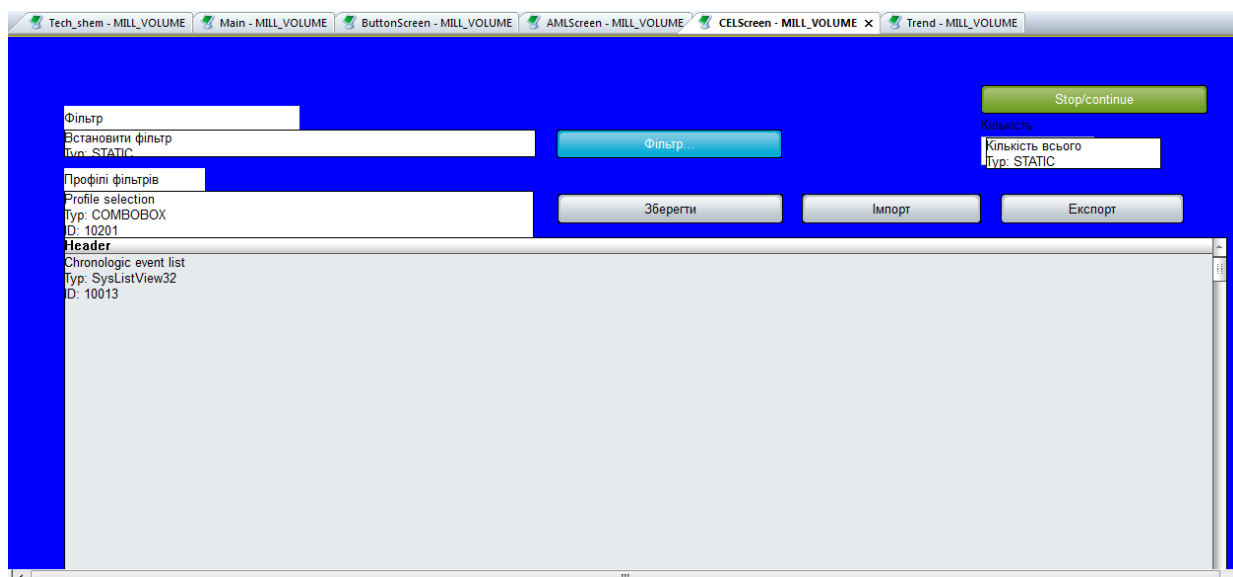
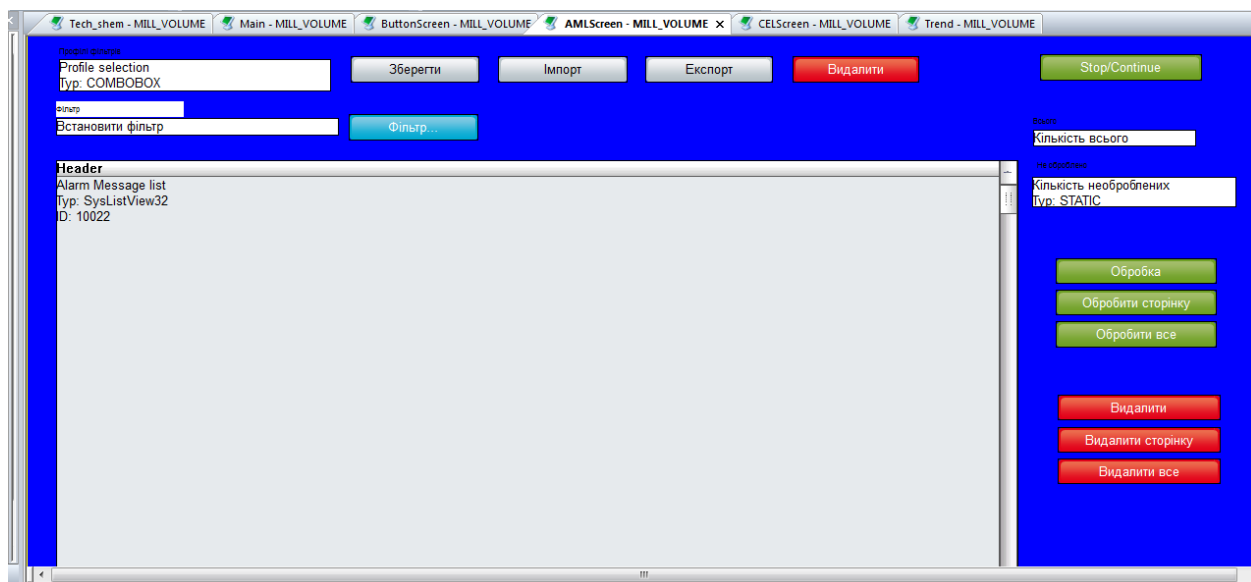
Workspace: 'Drum_Mill'

MILL_VOLUME (C:\...)

- Variables
 - Driver
 - Datatypes
 - Reaction m.
 - Allocations
 - Alarm
 - Units
 - Screens
 - Frames
 - Ext Data

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





ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

