

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

студент Сусой Олександр В'ячеславович
(ПІБ)

академічної групи 151М-22-1
(шифр)

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

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

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	проф. Бубліков А.В.			
розділів:				
Теоретичний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Синтез та дослідження системи керування	проф. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	проф. Бубліков А.В.			

Дніпро
2023

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

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

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студенту Сусою О. В. академічної групи 151М-22-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13.11.2023 р. №1372-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	01.09.23 – 14.09.23
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	15.09.23 – 30.09.23
Синтез та дослідження системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	01.10.23 – 31.10.23
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.23 – 14.11.23
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	15.11.23 – 24.11.23
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.23 – 05.12.23

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

проф. Бублік А.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2023

Дата подання до атестаційної комісії

10.12.2023

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Сусой О.В.
(прізвище, ініціали)

Реферат

Об'єкт дослідження – система автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна.

Предмет дослідження – закони автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна.

Проведений аналіз прохідницького комбайна як об'єкта автоматизації та за його результатами сформовані вимоги щодо якості функціонування системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна.

Запропонована методика настройки ПД-регулятора на основі виділення окремих функціональних режимів роботи прохідницького комбайна з індивідуальними динамічними властивостями. Методика заснована на поетапному виборі оптимальних параметрів ПД-регулятора для кожного функціонального режиму прохідницького комбайна на основі певних критеріїв, що виведені з урахуванням критеріїв якості функціонування проектованої системи автоматичного управління. Протягом досліджень виявлені нові закономірності залежності параметрів ПД-регулятора від чисельних критеріїв, що характеризують перехідний процес на виході системи автоматичного управління. Дані закономірності використані у запропонованій методиці настройки ПД-регулятора.

На основі створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна проведений обчислювальний експеримент, що підтвердив якість функціонування системи автоматичного керування за умови імітування реальних умов роботи комбайна.

Із використанням SCADA-програми Zenon створено програмне забезпечення системи автоматичного керування та людино-машинного інтерфейсу з перевіркою коректності його функціонування.

Ключові слова: *прохідницький комбайн, синтез системи автоматичного керування, імітаційна модель, SCADA-програма Zenon.*

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОУ – об'єкт управління

САК – система автоматичного керування

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

ПК – прохідницький комбайн

ПЛК – програмований логічний контролер

ПД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Стан питання та постановка завдання	6
1.1 Галузь промисловості	6
1.2 Технологічний процес	7
1.3 Об'єкт управління	10
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта управління	10
1.3.2 Структура об'єкту управління	12
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту управління	14
1.4 Формулювання задачі дослідження	15
1.5 Висновки по розділу	16
2. Обґрунтування функціональних режимів роботи прохідницького комбайна у контексті автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу	18
2.1 Імітаційна модель системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна	18
2.2 Модель імітації зміни у часі сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайна	22
2.3 Обґрунтування функціональних режимів роботи прохідницького комбайна	31
2.4 Висновки по розділу	33
3. Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна	35
3.1 Синтез та дослідження САК у функціональному режимі стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі	35
3.2 Синтез та дослідження САК у функціональному режимі стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі	40

3.3	Висновки по розділу	45
4.	Експериментальний розділ	47
4.1	Цифрова модель об'єкта управління	47
4.2	Розробка програмного забезпечення системи керування	50
4.3	Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	51
4.4	Висновки по розділу	54
5.	Економіка	55
6.	Охорона праці, промислова безпека та цивільний захист	68
	Висновки	75
	Перелік посилань	78
	Додаток А – Програмний модуль регулятора системи керування	80
	Додаток Б – Програмне забезпечення регулятора системи керування ...	82
	Додаток В – Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу ...	83

Вступ

Незважаючи на різке падіння видобутку вугілля через військові дії на Донбасі у порівнянні з періодом до війни (видобуток вугілля усіх груп крім антрацитової впав більш, ніж на 50 %, а видобуток антрацитової групи взагалі став неможливим), в Україні частка електроенергії, виробленої з використанням вугільної продукції, становить близько однієї треті. Крім того, слід врахувати значний потенціал вугільного ресурсу – загальні ресурси вугілля в Україні із заляганням до глибини 1500 м за різними оцінками складають від 100 до 117,5 млрд тон, близько половини з яких є підтвердженими (45-56 млрд тон). Тож, з урахуванням складної економічної ситуації України, протягом наступних декількох десятиріч видобуток вугілля, як стратегічно важливого ресурсу для паливно-енергетичної галузі України, є досить актуальним для економіки нашої держави.

Прохідницький комбайни стріловидного типу є основною гірничою машиною за умови проведення прохідницьких робіт на вугільній шахті. Від ефективності роботи прохідницького комбайна залежить продуктивність та енергоефективність прохідницьких робіт, які, наряду з видобувними роботами, визначають продуктивність й енергоефективність всього шахтного підприємства. Тож, впровадження рішень щодо автоматизації робочих режимів прохідницького комбайна з метою підвищення його ефективності роботи є актуальною задачею.

Метою проекту є підвищення якості автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна за рахунок визначення нових закономірностей зміни критеріїв якості роботи системи автоматичного керування за умови зміни параметрів ПІД-регулятора.

Об'єкт дослідження – система автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна.

Предмет дослідження – закони автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна.

Ідея роботи полягає у виділенні за умови роботи прохідницького комбайна різних функціональних режимів, що суттєво відрізняються один від одного за динамічними властивостями. Пропонується для кожного функціонального режиму роботи прохідницького комбайна за допомогою обчислювальних експериментів на імітаційній моделі системи автоматичного керування визначити оптимальні настройки ПД-регулятора, що також будуть суттєво різнитися один від одного. При цьому будуть використовуватись методи комп'ютерного моделювання, теорії автоматичного управління та математичної статистики.

У ході проведення досліджень сформовані наступні наукові положення.

У функціональних режимах розгону виконавчого органу прохідницького комбайна виявлена параболічна залежність часу перехідного процесу від загального коефіцієнту підсилення ПД-регулятора з мінімальним екстремумом, що відповідає максимальній швидкодії системи. Ця закономірність використовується для визначення оптимальних настройок ПД-регулятора для цих функціональних режимів роботи прохідницького комбайна.

У функціональному режимі стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна за умови присутності навантаження на штоці гідроциліндру виявлені параболічні залежності коефіцієнту варіації й максимальних відхилень керуючої величини від коефіцієнта підсилення диференційної складової ПД-регулятора з явно вираженими мінімальними екстремумами, що відповідають мінімальним відхиленням керованої величини від уставки у процесі її стабілізації. Ця закономірність використовується для визначення оптимальних настройок ПД-регулятора для цього функціонального режиму роботи прохідницького комбайна.

1. Стан питання та постановка завдання

1.1 Галузь промисловості

Технологічний процес проведення виробок за умови підземного видобутку вугілля, що розглядається у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною однієї з ключових галузей України – гірничої галузі.

Відносно нещодавно в Україні видобували вугілля 150 шахт [1], серед яких наразі більше 100 не працюють через бойові дії. Більшість вугледобувних підприємств приватного сектору входять до складу вертикально інтегрованих структур металургії або електроенергетики (ТОВ «Метінвест холдинг» – 7 шахт; Донбаська паливно-енергетична компанія (ДТЕК) – 28 шахт; ПрАТ «Донецький металургійний завод» – 1 шахта) та однієї горизонтально інтегрованої структури – НВО «Механік» (6 шахт). Також у приватному секторі функціонують понад 10 незалежних вугледобувних підприємств різних організаційно-правових форм, серед яких ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»; ПАТ «Шахта «Жданівська»; ТОВ «Краснолиманське»; «Шахтоуправління ім. В.І. Чапаєва»; ПАТ «Укрвуглебуд» та ін.

Серед 102 шахт державної власності на підконтрольній території знаходилися 33 шахти [2]. Більшість державних вугледобувних підприємств, частка яких у видобутку вугілля оцінюється на рівні 28 %, є малопотужними шахтами зі складними гірничо-геологічними умовами. До війни обсяг видобутку складав до 2 000,0 тисячі тон. Річний видобуток державних шахт був до 3,5 млн. тон енергетичного вугілля й до 1,0 тон коксівного. Приватні шахти видобували до 25,0 млн. тон енергетичного вугілля й до 5,0 тон коксівного [3]. На перетворення вугілля (брикетування, коксохімія) використовувалося близько 17 %, у чорній металургії – близько 16,0 % від загального видобутку.

Незважаючи на різке падіння видобутку вугілля через військові дії у порівнянні з довоєнним періодом (видобуток вугілля усіх груп крім антрацитової впав більш, ніж на 50 %, а видобуток антрацитової групи взагалі став неможливим), в Україні частка електроенергії, виробленої з

використанням вугільної продукції, становить близько однієї треті. Крім того, слід врахувати значний потенціал вугільного ресурсу – загальні ресурси вугілля в Україні із заляганням до глибини 1500 м за різними оцінками складають від 100 до 117,5 млрд тон, близько половини з яких є підтвердженими (45-56 млрд тон). Тож, з урахуванням складної економічної ситуації України, протягом наступних декількох десятиріч видобуток вугілля, як стратегічно важливого ресурсу для паливно-енергетичної галузі України, є досить актуальним для економіки нашої держави.

1.2 Технологічний процес

Гірничі виробки, які закінчуються вибіями, називаються тупиковими. У шахтах проведення тупикових виробок здійснюється технологічними процесами, які називають проходкою, а ділянки – прохідницькими. Такі ділянки забезпечують усі інші роботи в шахті – нарізання лав, видобування вугілля, його транспортування, доставку механізмів і матеріалів, провітрювання, організацію й устаткування водовідливу, забезпечення електроенергією і стисненим повітрям та ін. Виробки на прохідницьких ділянках залежно від призначення – квершлагги, штреки й ін., мають різні профілі перерізу й відповідно кріплення.

У прохідницькому технологічному процесі розрізняють основні й допоміжні виробничі процеси [4]. До основних відносять: руйнування, навантаження гірничої маси, кріплення проведеної виробки; до допоміжних – вентиляція, водовідлив, доставка встаткування, матеріалів і т. ін.

При комбайновому проведенні підготовчої тупикової виробки застосовується механічний спосіб руйнування гірничого масиву й навантаження гірничої маси прохідницькими комбайнами. При цьому застосовується потокова технологічна схема проведення виробок. Підготовча виробка є тупиковою і випереджає видобувну (лаву) на 150 – 200 м.

Схема технологічного процесу із демонстрацією розташування устаткування в підготовчому забої наведена на рис. 1.1.

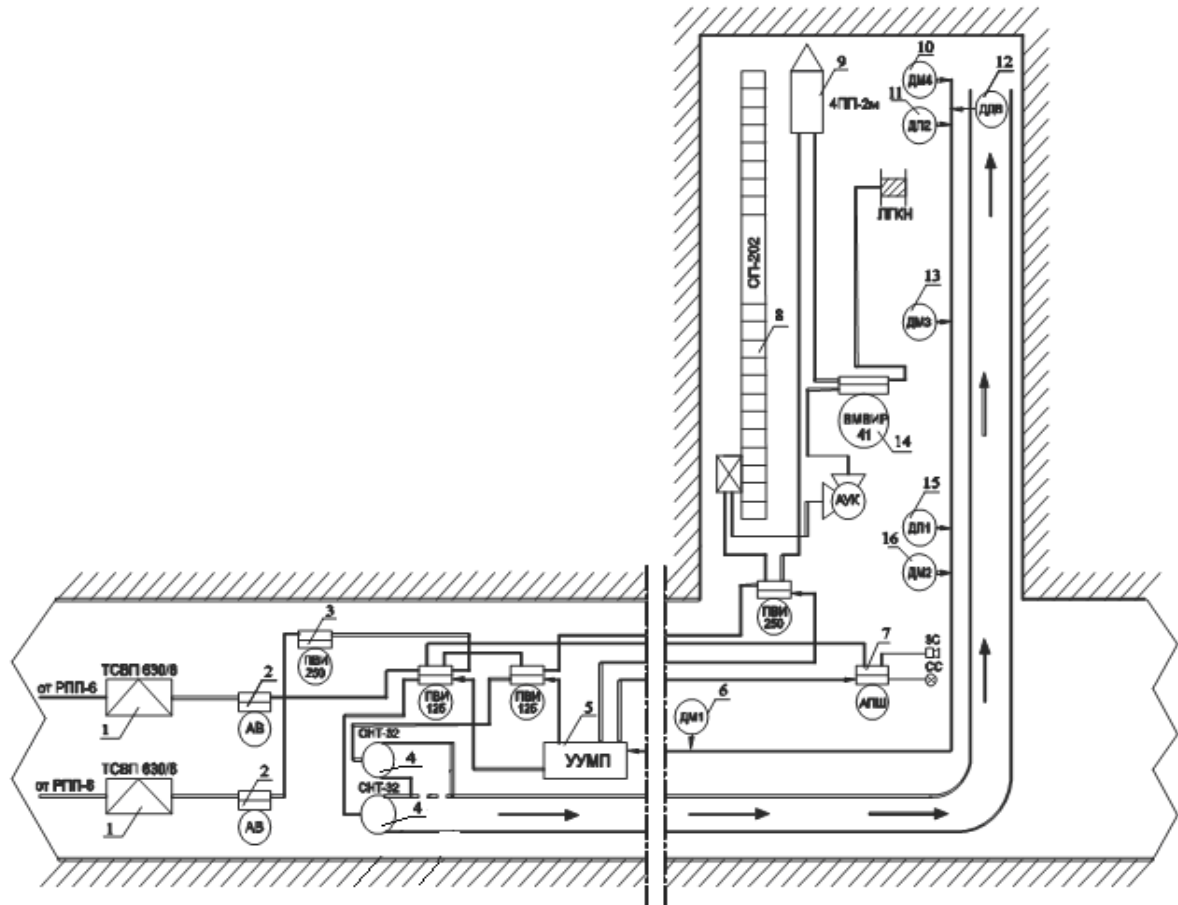


Рис. 1.1 – Схема технологічного процесу із демонстрацією розташування устаткування в підготовчому забої: 1 – трансформаторна підстанція; 2 – автоматичний вимикач; 3, 14 – магнітний пускач; 4 – вентилятор місцевого провітрювання (робочий і резервний); 5 – пристрій керування місцевим провітрюванням; 6, 10, 13, 16 – датчики метану; 7 – апарат пусковий шахтний для сигналізації; 8 – скребковий конвеєр; 9 – прохідницький комбайн; 11, 15 – датчики пилу; 12 – датчик тиску повітря

На свіжому струмені провітрювання розташовується підстанція 1, від якої одержує живлення все встаткування прохідницького забою. Під час проходки комбайн 9 виконує такі операції: руйнування гірничого масиву; пилоподавлення; підтримка заданого напрямку виробки; транспортування гірничої

маси на скребковий конвеєр 8; кріплення виробки й зачищення ґрунту. Далі гірничу масу транспортується за допомогою вагонеток або конвеєрами.

Відповідно до Правил безпеки проводиться обов'язкове провітрювання тупикових виробок (безперервна робота вентиляторів місцевого провітрювання (ВМП) і контроль вмісту метану. З рис. 1.1 видно, що комбайн 9 і вентилятори місцевого провітрювання 4 мають незалежне електропостачання. Трансформаторна підстанція 1 оснащена роз'єднувачами як високої напруги, так і низької. Усі споживачі одержують електроенергію через послідовно ввімкнені автоматичні вимикачі (АВ) 2 і магнітні пускачі (МП) 3, які у свою чергу містять послідовно з'єднані ручний і захисний роз'єднувачі.

Вміст метану контролюється чотирма датчиками 6, 10, 13, 16: вихідні – на виході з тупикової виробки в 10 – 20 м від сполучення з виробкою зі свіжим струменем; з протилежного боку від вентиляційного трубопроводу; забійний – в 3 – 5 м від забою вгору з протилежного боку від вентиляційного трубопроводу.

Показання датчика скупчення метану не повинне перевищувати 1% вмісту його у виробці, оскільки відразу відбувається вимкнення груповим пускачем живлення всіх механізмів тупикової виробки. Інформація про вміст метану записується автоматично в системі автоматичного газового контролю (АГК).

При потоковій технології видобуванні гірничої маси усі виробничі процеси сполучають у часі, що дозволяє практично безупинно видобувати гірничу масу з забою. Для збільшення продуктивності гірничо-прохідницьких робіт необхідна автоматизація основних і допоміжних процесів. У даному дипломному проекті відбувається автоматизація такого виробничого процесу, як руйнування гірничої маси стріловим виконавчим органом прохідницького комбайну.

1.3. Об'єкт управління

Об'єктом управління у цьому дипломному проєкті є прохідницький комбайн П110, що на рис.1.1 зображений позицією 9.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта управління

Прохідницькі комбайни стріловидного типу призначені для проведення горизонтальних та похилих виробок любої форми у вугільних шахтах, що є небезпечними за газом та пилом. Нижче наведений зовнішній вигляд об'єкта управління – прохідницького комбайна стріловидного типу П110 (рис.1.2).



Рис.1.2. – Зовнішній вигляд прохідницького комбайна П110

Основними конструктивними складовими прохідницького комбайна П110

є:

- фрезерний виконавчий орган (ВО);
- електромеханічна підсистема приводу ВО;
- гусенична підсистема переміщення комбайну;
- підсистема підвіски та переміщення ВО;
- передні опорні механізми у вигляді поворотного у вертикальному напрямі столу живильника з гідроприводом;

- задні опорні механізми, що виконані у вигляді двох однакових вертикально розташованих гідродомкратів;

- підсистема транспортування породи на основі скребкового конвеєра з електромеханічним приводом;

- корпусна підсистема.

Технічні характеристики прохідницького комбайну П110 наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики прохідницького комбайна П110

Параметри	Значення
Габаритні розміри, мм:	
- ширина за гусеницями	2100
- висота за корпусом	1800
Розмах стріли ВО, мм:	
- за шириною	7000
- за висотою	5200
- нижче рівня ґрунту	315
Межа міцності порід, що руйнуються за умови одноосьового стискування, Мпа	до 100
Швидкість переміщення комбайна, м/хв:	
- робоча	2,5
- маневрена	9
Тягове зусилля на одній гусениці, кН	150
Кут нахилу виробки, град.	± 12
Середній питомий тиск на ґрунт, Мпа	до 0,13
Потужність електродвигунів приводу ВО, кВт	250

Параметри	Значення
1	2
Сумарна енергоозброєність комбайна, кВт	190
Абразивність порід, що руйнуються, мг	до 15
Вага комбайна, т	36
Робочий тиск гідросистеми приводу переміщення ВО, МПа	14
Площа перерізу у проходці, м ²	7-25
Напруга у мережі живлення, В	660
Максимальний діаметр ВО, мм	900
Телескопічний рух стріли, мм	555
Передаточне число редуктора приводу ВО	28,4/63,9
Продуктивність насоса гідросистеми приводу переміщення ВО, л/хв	170

1.3.2 Структура об'єкту управління

Здійснимо аналіз основних функціональних елементів прохідницького комбайна П110 з точки зору автоматичного управління на основі рис. 1.3. На цьому рисунку прийняті наступні позначення: 1 – базова рама корпусної підсистеми; 2 – поворотна турель; 3 – рама стріли; 4, 5 – електродвигуни та редуктор підсистеми привода ВО; 6 – виконавчий орган; 7 – насосна установка; 8, 9, 10 – гідромотор, редуктор та приводна зірка підсистеми переміщення; 11, 12 – лінивець та гусеничний ланцюг підсистеми переміщення, 13 – стіл живильника; 14, 15, 16 – гідромотор, редуктор та навантажувальні лапи підсистеми навантаження породи; 17 – корпус скребкового конвеєра; 18, 19 – електродвигуни та редуктори підсистеми транспортування; 20, 21, 22 – гідродомкрати, що забезпечують переміщення ВО за допомогою його підсистеми підвіски, відповідно, у вертикальному та горизонтальному напрямках, а також телескопічне розсування; 23 – гідродомкрати для повороту опорного столу живильника у вертикальному напрямі; 24 – задні опорні

механізми; 25, 26 – гідродомкрати для підйому та повороту розвантажувальної консолі скребкового конвеєра.

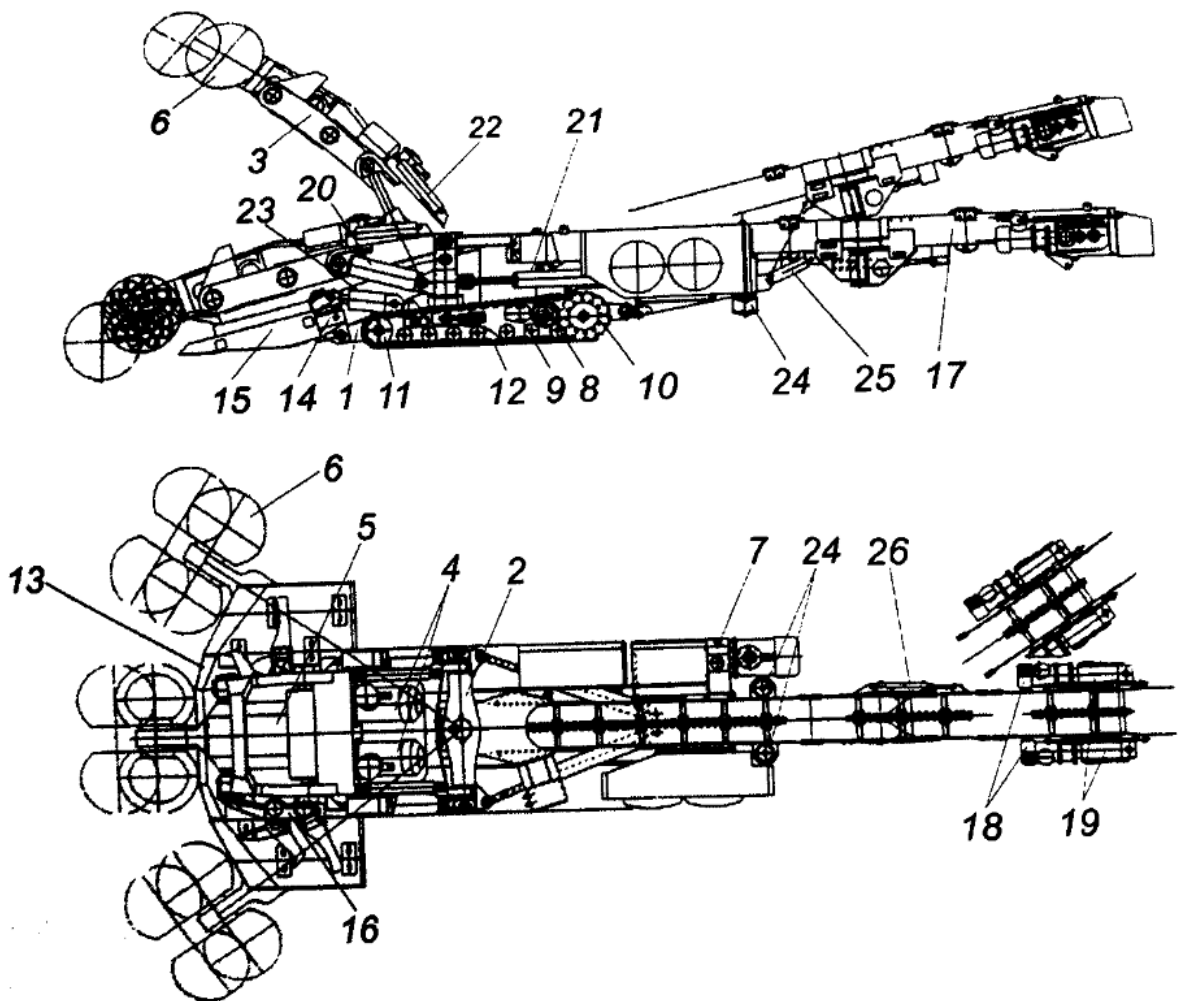


Рис. 1.3 – Схема об'єкта управління – прохідницького комбайна П110

Прохідницький комбайн П110 має такі особливості технічного виконання його конструктивних підсистем:

- виконавчий орган є поперечно-осевим;
- підсистема приводу ВО з двома електродвигунами з двома значеннями швидкості різання;
- підсистема переміщення ВО з рознесеними опорами;
- керування швидкістю переміщення ВО є дросельним з паралельним розташуванням дроселя відносно гідромотора;

- підсистеми переміщення комбайна та навантаження породи з індивідуальним гідромеханічним приводом;

- підсистема транспортування породи з електромеханічним приводом з двома електродвигунами.

Для системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу стрілового виконавчого органу прохідницького комбайна керованою величиною є потужність електродвигуна органу (30 – 110 кВт), а вихідною – керуючий сигнал на пілотний гідророзподільник (4 – 20 мА).

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту управління

Для системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу стрілового виконавчого органу прохідницького комбайна розглядається тільки один функціональний режим роботи прохідницького комбайна, коли після забурювання ВО виконується руйнування породи із забезпеченням необхідного контуру поперечного перерізу виробки за допомогою переміщення ВО вліво/вправо та вгору / вниз.

Серед рекомендованих автоматизованих режимів роботи прохідницького комбайну є режим стабілізації на заданому рівні потужності електродвигуна підсистеми приводу виконавчого органу шляхом регулювання основного режимного параметра – швидкості переміщення цього органу.

Навантаження на виконавчому органі залежить від швидкості його переміщення прямо пропорційно. Тому, щоб ефективно утримувати навантаження на ВО, необхідно з необхідною точністю забезпечувати переміщення ВО із заданою швидкістю.

Функціонування прохідницького комбайну у розглянутому функціональному режимі відбувається наступним чином. Оператор обирає тип управління переміщенням ВО – “автоматичне”, після чого натискає одну з чотирьох кнопок на пульті керування, що відповідають за напрям переміщення ВО. ВО починає переміщуватись із швидкістю, що визначає регулятор потужності електродвигуна підсистеми приводу виконавчого органу.

Визначена швидкість переміщення ВО визначає керовану величину для системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу стрілового виконавчого органу прохідницького комбайна. Задача даної системи – якомога швидше забезпечити повернення потужності у заданий діапазон шляхом керування швидкістю переміщення ВО. Коли оператор натискає кнопку “Стоп ВО”, виконавчий орган зупиняється.

Таким чином, об’єкт управління у дипломному проекті відноситься до класу неперервних об’єктів управління.

1.4 Формулювання задачі дослідження

Об’єктом дослідження у дипломному проекті є процес переміщення виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна П110.

Предметом дослідження у дипломному проекті є система автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна П110.

Наразі системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна створюються на базі промислових програмованих логічних контролерів з можливістю реалізації на їх основі ПД-регулятора простих форм. Налаштування ПД-регулятора здійснюється або під якийсь один функціональний режим роботи комбайна, або під декілька функціональних режимів з обґрунтуванням компромісного варіанта налаштувань. В останньому випадку маємо не погані, але й не найкращі критерії якості функціонування системи для декілька функціональних режимів роботи прохідницького комбайна.

Отже, у кваліфікаційній роботі пропонується виділити різні режими функціонування прохідницького комбайну для системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу й для кожного режиму функціонування отримати індивідуальні налаштування ПД-регулятора з обґрунтуванням умов переходу від одних налаштувань до інших.

З оглядом на об'єкт та предмет дослідження у кваліфікаційній роботі сформульовані наступні задачі дослідження:

- на основі аналізу обґрунтованих критеріїв якості роботи системи автоматичного керування виділити режими функціонування прохідницького комбайну, для кожного з яких маємо індивідуальні оптимальні настройки ПД-регулятора;

- для кожного режиму функціонування прохідницького комбайну отримати залежність критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від параметрів ПД-регулятора, й на основі цих залежностей визначити найкращі настройки ПД-регуляторів;

- сформулювати умови переходу між настройками ПД-регуляторів на основі аналізу зміни режимів функціонування прохідницького комбайну;

- дослідити роботу системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна з використанням комбінованого регулятора на основі декількох ПД-регуляторів.

1.5 Висновки по розділу

За результатами аналізу об'єкта управління як об'єкта автоматизації та об'єкта дослідження зробимо наступні висновки:

- об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є процес переміщення виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна П110;

- предметом дослідження у кваліфікаційній роботі є система автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна П110;

- об'єкт управління у кваліфікаційній роботі відноситься до класу неперервних об'єктів управління;

- для настройки ПД-регуляторів будуть використані методи теорії автоматичного управління та спеціалізоване програмне забезпечення для автоматизації процесу настройки ПД-регуляторів з використанням інженерних методик;

- для визначення імітаційної моделі системи автоматичного керування будуть використані методи статистичного аналізу та обробки сигналів;

- для отримання нових залежностей з метою визначення найкращих налаштувань ПД-регуляторів для різних функціональних режимів роботи прохідницького комбайна будуть застосовані емпіричний метод дослідження на основі обчислювальних експериментів;

- для створення програмного забезпечення системи будуть використані спеціалізовані комп'ютерні додатки для автоматизації даної процедури.

2 Обґрунтування функціональних режимів роботи прохідницького комбайна у контексті автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу

2.1 Імітаційна модель системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна

Імітаційна модель підсистеми виконавчого органу як об'єкта управління запропонована у кваліфікаційній роботі як інструмент для дослідження. Її структурна схема представлена на рис.2.1.

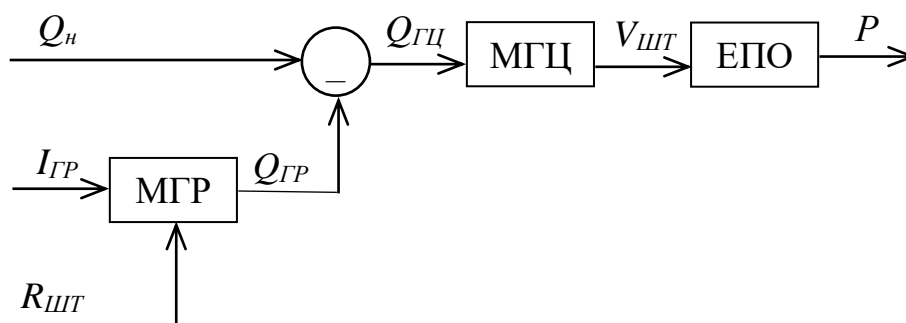


Рис. 2.1 – Структурна схема моделі об'єкта управління

На рис.2.1: МГР – модель пропорційного гідророзподільника (на вході – керуючий струм гідророзподільника $I_{ГР}$ та сила реакції на хід штока гідророзподільника $R_{ШТ}$, зведена до штоку, на виході – витрати рідини через гідророзподільник $Q_{ГР}$); МГЦ – модель гідроциліндра (на вході – витрати рідини на вході гідроциліндра $Q_{ГЦ}$, на виході – швидкість руху штока гідроциліндра $V_{ШТ}$); Q_n – витрати рідини, що подається насосом у гідросистему комбайна.

У дипломному проекті бакалавра у ході структурної та параметричної ідентифікації об'єкта управління були визначені:

- передаточна функція пропорційного гідророзподільника:

$$W_{ГР}(s) = \frac{Q_{ГР}(I_{ГР})}{(0,3 \cdot s + 1)},$$

де $Q_{ГР}(I_{ГР})$ – функція, що описує статичну залежність витрат рідини через гідророзподільник від керуючого струму гідророзподільника:

$$Q_{ГР}(I_{ГР}) = -0,00037 \cdot I_{ГР}^3 + 0,071 \cdot I_{ГР}^2 - 2,7 \cdot I_{ГР} + 26.$$

- передаточна функція гідроциліндра:

$$W_{ГД}(p) = \frac{176,7}{0,41^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,41 \cdot 0,49 \cdot p + 1} = \frac{V_{шт}}{Q_{ГД}}.$$

- передаточна функція приводу виконавчого органу:

$$W_{ПВО}(p) = \frac{16,0}{0,033 \cdot 0,0029 \cdot p^2 + 0,033 \cdot p + 1} = \frac{P}{V_{шт}}$$

Порівнюючи постійні часу передаточних функцій гідроциліндру та приводу виконавчого органу ми бачимо, що електропривод має більш ніж у десять разів менші постійні часу. Досвід показує, що за таких умов інерційність приводу органу практично не буде впливати на перехідні процеси в системі керування, тож цим елементом можна знехтувати.

З урахуванням результатів ідентифікації, імітаційна модель підсистеми виконавчого органу як об'єкта управління за умови її реалізації у додатку Simulink математичного пакету MATLAB буде виглядати так, як на рис.2.2.

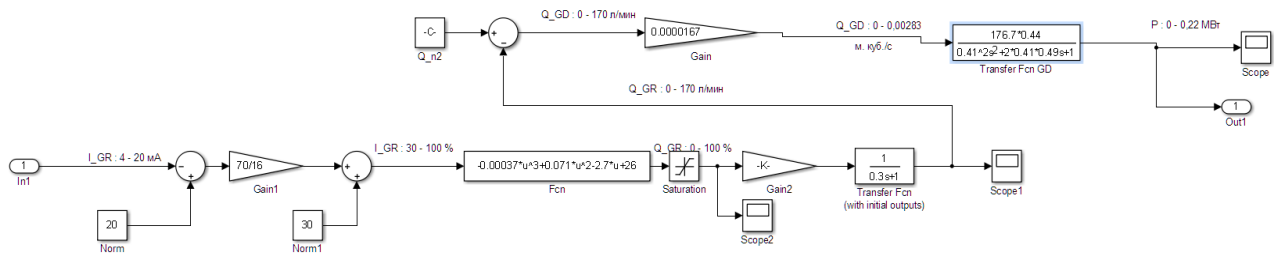


Рис. 2.2 – Схема імітаційної моделі об'єкта управління у додатку Simulink математичного пакету MATLAB

За умови створення імітаційної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна прийемо припущення, що інформація з пульта керування (уставка потужності) та інформація з датчика потужності передаються за допомогою комп'ютерної мережі. Тож, для сигналу уставки та сигналу з датчика потужності можна прийняти любий, зручний для дослідника діапазон зміни значень.

З урахуванням імітаційної моделі гідравлічного приводу виконавчого органу як об'єкта управління імітаційна модель системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна за умови її реалізації у додатку Simulink математичного пакету MATLAB буде виглядати так, як на рис.2.3.

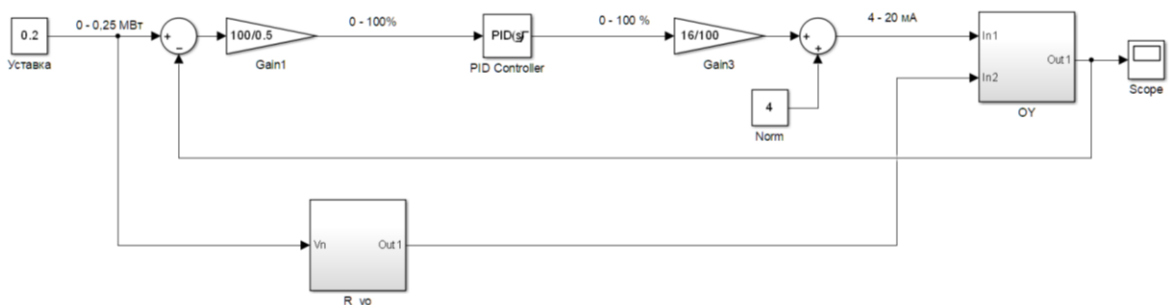


Рис. 2.3 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна у додатку Simulink математичного пакету MATLAB

На рис.2.3 за допомогою блоків “Gain1” та “Gain3” відбувається нормування, відповідно, вхідного та вихідного сигналів ПІД-регулятора (блок “PID Controller” на рис.2.3) таким чином, щоб обидва сигнали змінювались у діапазоні відносних одиниць від 0 до 100%, де 0% – відсутність відхилення від уставки та керуючого впливу на об’єкт управління, а 100% – максимальне відхилення та максимальний керуючий вплив на об’єкт управління.

За допомогою суматора та блоку “Norm” відбувається перехід від діапазону зміни керуючого впливу у відносних одиницях до струмового керуючого впливу, якому відповідає діапазон зміни значень від 4 до 20 мА.

Модель об’єкта управління, що представлена на рис.2.2, поміщена у підсистему “ОУ” на рис.2.3.

Підсистема “R_vo” містить у собі модель імітації зміни у часі сили реакції забою на дію виконавчого органу, що приведена до валу двигуна приводу виконавчого органу.

Досвід експлуатації прохідницького комбайну показує, що навантаження двигуна приводу виконавчого органу призводить до просадки обертань органу до 10%. На основі цієї емпіричної інформації до моделі об’єкта управління додана складова (блоки “Gain3”, “Switch” та “Product1”), що змінює коефіцієнт пропорційності в каналі керування в залежності від сили реакції забою на руйнування виконавчим органом (рис.2.4).

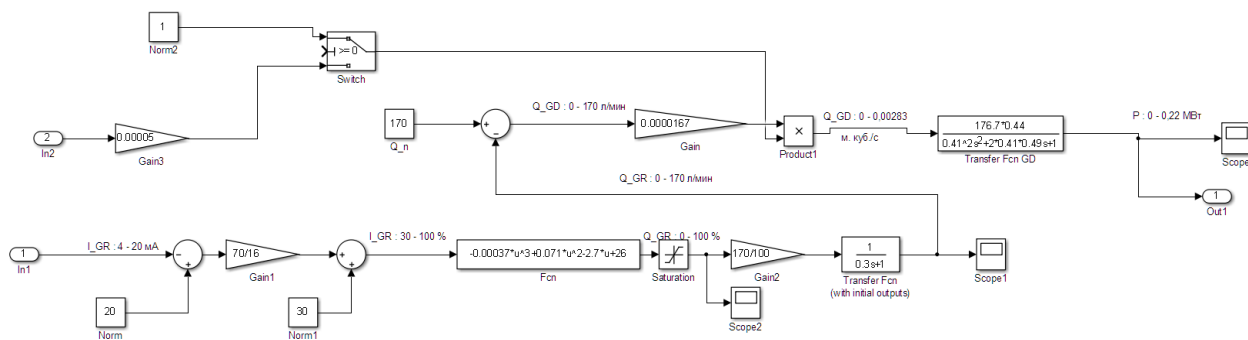


Рис. 2.4 – Схема імітаційної моделі об’єкта управління у додатку Simulink математичного пакету MATLAB з урахуванням дії у якості збурення навантаження на штоці гідродомкрата

Причому коефіцієнт підсилення у блоці “Gain3” визначений на основі обчислювальних експериментів з урахуванням вищенаведених величин просадки гідродомкрата в залежності від сили реакції забою.

У наступному розділі наведена процедура створення моделі імітації зміни у часі сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайна, що розташована у підсистемі “R_vo” на рис.2.3.

2.2 Модель імітації зміни у часі сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайна

Навантаження на стріловому виконавчому органі прохідницького комбайну у вигляді двох коронок з поперечною віссю обертання відносно стріли є комбінацією трьох складових:

- низькочастотна складова – виникає через нерівномірність розподілу міцності породи й вугілля у поперечному зрізі виробки;
- середньо-частотна складова – виникає через нерівномірне розташування різців на виконавчому органі;
- високочастотна складова – виникає через природу процесу руйнування різцями вугілля й породи.

Низькочастотна складова сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайна має нормальний закон розподілу випадкової величини та експоненціальну автокореляційну функцію виду [6]:

$$R_{H-q}(\tau) = e^{-\alpha \cdot \tau},$$

де α – коефіцієнт затухання автокореляційної функції:

$$\alpha = V_p \cdot \alpha_{прост} = 3,67 \cdot 0,112 = 0,41, \text{ с}^{-1},$$

де $\alpha_{прост}$ – коефіцієнт затухання автокореляційної функції за умови просторової зміни міцності вугілля й породи ($0,112 \text{ м}^{-1}$).

Параметри закону розподілу випадкової величини за умови зміни міцності вугілля й породи у поперечному зрізі виробки взяті з [6] для одного з вугільних пластів Донецького басейну та дорівнюють: математичне очікування – 207 Н/мм, дисперсія – 758,1 (Н/мм)².

Нижче наведена s-функція (програма 2.1) на мові математичного пакету MATLAB для генерування випадкових чисел, що описуються нормальним законом розподілу з математичним очікуванням 207 Н/мм та дисперсією 758,1 (Н/мм)². Крок генерування дорівнює часовому коефіцієнту затухання автокореляційної функції.

Програма 2.1 – Генератор випадкових чисел з нормальним законом розподілу

```
function [sys,x0,str,ts] = nizch_vp(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 2
    sys = mdlUpdate(t,x,u);
case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case 4
    sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);
case { 1, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 1;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 2;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [407];
str = [];
ts = [-2 0];
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
sys = u(1);
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys = normrnd(0,x(1)*0.139);
```

```
function sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)
sys = t + u(2);
```

Схема моделі імітації зміни у часі низькочастотної складової сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайну наведена на рис.2.5.

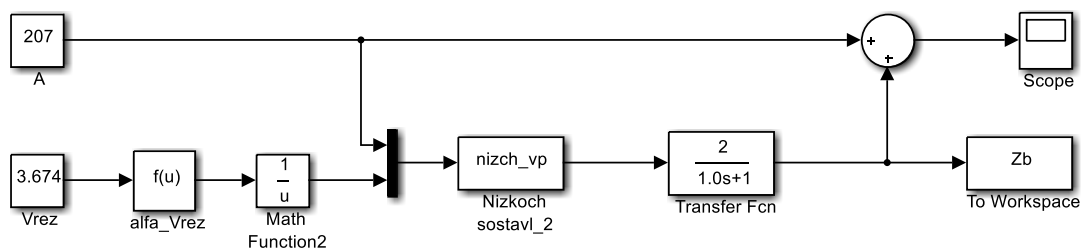


Рис. 2.5 – Схема моделі імітації зміни у часі низькочастотної складової сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайну у додатку Simulink математичного пакету MATLAB

На рис.2.5 у блоці “alfa_Vrez” обчислюється коефіцієнт затухання автокореляційної функції. А блок “Transfer Fcn” є фільтром нижніх частот, що дозволяє задати динаміку генерованого випадкового сигналу, що відповідає заданій автокореляційній функції. Постійна часу фільтра задає коефіцієнт затухання автокореляційної функції, а коефіцієнт підсилення компенсує викривлення дисперсії, якщо таке має місце.

Для визначення постійної часу фільтра нижніх частот шляхом обчислювального експерименту у математичному пакеті MATLAB проведено дослідження, результатом якого є залежність коефіцієнту затухання автокореляційної від постійної часу (рис.2.6).

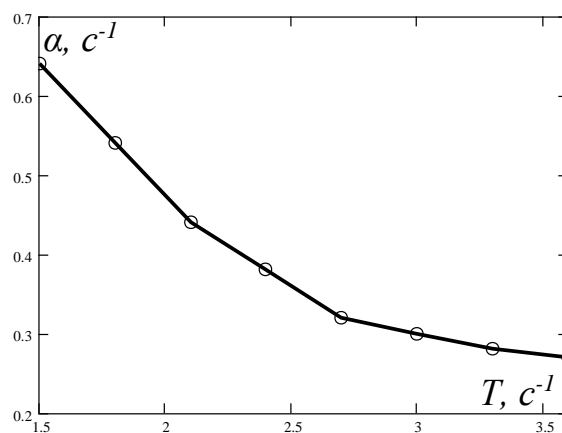
Дослідження передбачає отримання для декількох значень постійної часу експериментальної автокореляційної функції згенерованого випадкового сигналу. Далі проводиться апроксимація експериментальної автокореляційної

функції експоненціальною функцією методом найменших квадратів, у ході якої отримуємо коефіцієнт затухання експериментальної автокореляційної функції.

Для проведення описаних процедур написана програма на мові MATLAB (програма 2.2).

Програма 2.2 – Визначення коефіцієнту затухання для експериментальної автокореляційної функції

```
R=0;
k=1;
AF_Y(1)=0;
AF_X(1)=0;
Zb = transp(Zb);
L = length(Zb);
for i=0:L
    for j=1:L-i
        R =R + ((Zb(j)*Zb(j+i)))*0.1;
    end
    AF_Y(k)=R;
    AF_X(k)=i*0.1;
    R=0;
    k=k+1;
end
AF_Y_n = AF_Y/max(AF_Y);
%plot(AF_X,AF_Y_n),grid
tau=0:0.1:40;
Teor_Func=@(tau,alpha)exp(-(tau*alpha));
alpha=lsqcurvefit(Teor_Func,0,AF_X, AF_Y_n);
plot(tau,Teor_Func(tau,alpha),AF_X,AF_Y_n),grid
```



Як бачимо з рис.2.7, однією з вхідних змінних моделі імітації зміни у часі середньо-частотної складової є опірність вугілля й породи різанню, що є вихідною величиною моделі імітації зміни у часі низькочастотної складової. На рис.2.7 за допомогою блоків “*zad rez.i*” задані часові затримки для імітації кутового зміщення між різцями згідно зі схемою розміщення різців на виконавчому органі прохідницького комбайну.

В блоці “*Z zab resza_1*” на рис.2.7 реалізується методика розрахунку сили різання $Z_{o,i}$ на одиночному i -му зубці виконавчого органу [7], в основу якої закладена знайдена експериментальним шляхом залежність між силою різання на еталонному зубці, шириною ріжучої частини зубка b_p , крихкістю вугілля B , шириною t та товщиною h стружки, що знімається зубком:

$$Z_{o,i} = 10 \cdot A \cdot \frac{0,35 \cdot b_{p,i} + 0,3}{b_{p,i} + B \cdot \sqrt{h_i}} \cdot h_i \cdot t_i \cdot K_{vid,i} \cdot K_{z,i} \cdot K_{\gamma} \cdot K_{\phi} \cdot K_{np,i} \cdot \frac{1}{\cos(\phi)}, \text{ Н} .$$

Вплив параметрів, що відрізняються від еталонних, враховується за допомогою наступних коефіцієнтів: K_{vid} – коефіцієнта віджимання вугілля в зоні різця; K_z – коефіцієнта оголення забою для куткових і забійних різців; K_{γ} – коефіцієнта впливу кінематичного кута різання на питому енергію різання; K_{ϕ} – коефіцієнта форми передньої грані різця; K_{np} – коефіцієнта впливу поворотного різця на силу різання. Також враховується кут нахилу різця до напрямку подачі (ϕ). Поправочні коефіцієнти розраховані для тангенціальних різців РКС2, конструктивних параметрів виконавчого органу діаметром 0,9 м та гірничо-геологічних умов пласта c_{10} шахти «Павлоградська» Донецького басейну.

У блоці “*Fcp*” відбувається усереднення сили різання на різці за одне обертання виконавчого органу, а у блоці “*Gain*” – перехід від сили різання на різці до сили подачі (сили реакції забою на руйнування, що направлена проти руху виконавчого органу) за формулою:

$$Y_{o,i} = K_{n,i} \cdot Z_{o,i}, \text{ Н}, \quad (2.1)$$

де $K_{n,i}$ – коефіцієнт, що характеризує відношення сили подачі до сили різання на i -ому різці. Для прохідницьких комбайнів рекомендовані значення 0,5–0,7 [7].

З [7,8] відомо, що високочастотні зміни сили різання на різці є випадковими, та описуються гамма розподіленням. Таким чином, високочастотні коливання сили різання на виконавчому органі підкорені гамма розподіленню з функцією щільності [8]:

$$p_{\epsilon}(M_{\epsilon,i}) = \frac{\lambda(\bar{Z}_o)^{\eta(\bar{Z}_o)}}{\int_0^{\infty} t^{\eta(\bar{Z}_o)-1} \cdot e^{-t} dt} \cdot M_{\epsilon,i}^{\eta(\bar{Z}_o)-1} \cdot e^{-\lambda(\bar{Z}_o) \cdot M_{\epsilon,i}},$$

де $\lambda(\bar{Z}_o), \eta(\bar{Z}_o)$ – параметри, відповідно, масштабу та форми розподілення [9]:

$$\lambda(\bar{Z}_o) = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \bar{Z}_{o,i} \cdot 0,5 \cdot D}{D_{\epsilon}}, \quad \eta(\bar{Z}_o) = \sum_{i=1}^{n_p} \bar{Z}_{o,i} \cdot 0,5 \cdot D \cdot \lambda(\bar{Z}_o).$$

За динамічними властивостями високо-частотна складова сили різання на різці близька до “білого шуму”.

З урахуванням наведених статистичних характеристик, у додатку Simulink математичного пакету MATLAB розроблена схема моделі імітації високо-частотної складової сили різання на різці (рис.2.8).

У підсистемах “Subsystem_і” на рис.2.8 реалізована s-функція, за допомогою якої генерується випадковий сигнал з статистичними характеристиками, що відповідають характеристикам високо-частотної складової сили різання на різці (програма 2.3). Також у цих підсистемах за формулою (2.1) відбувається перехід від сили різання на різці до сили подачі, вектор якої направлений проти руху виконавчого органу прохідницького комбайну.

За допомогою блоків “zad rez.i” на рис.2.7, за аналогією з рис.2.8, задані часові затримки для імітації кутового зміщення між різцями згідно зі схемою розміщення різців на виконавчому органі прохідницького комбайну.

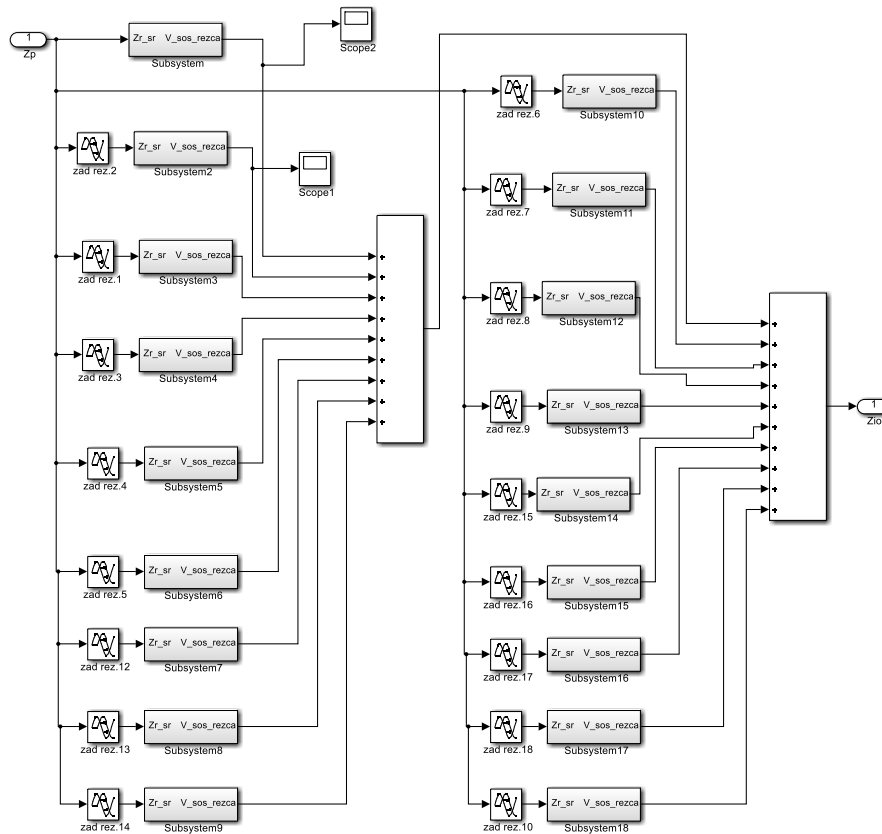


Рис. 2.8 – Схема моделі імітації зміни у часі високочастотної складової сили різання на різці

Програма 2.3 – Генератор випадкового сигналу з гамма розподіленням випадкової величини

```
function [sys,x0,str,ts] = visch(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case { 1, 2, 4, 9 }
```



```

sys = [];
otherwise
error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end;
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates= 0;
sizes.NumDiscStates= 0;
sizes.NumOutputs= 1;
sizes.NumInputs= 1;
sizes.DirFeedthrough=1;
sizes.NumSampleTimes=1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [0.01,0];
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
a=(u/(0.56*u+50)*1.05)^2;
b=a/u;
sys = gamrnd(a,b);

```

Поєднання усіх трьох частотних складових відбувається у моделі імітації зміни у часі сили реакції забою на руйнування виконавчим органом (рис.2.9).

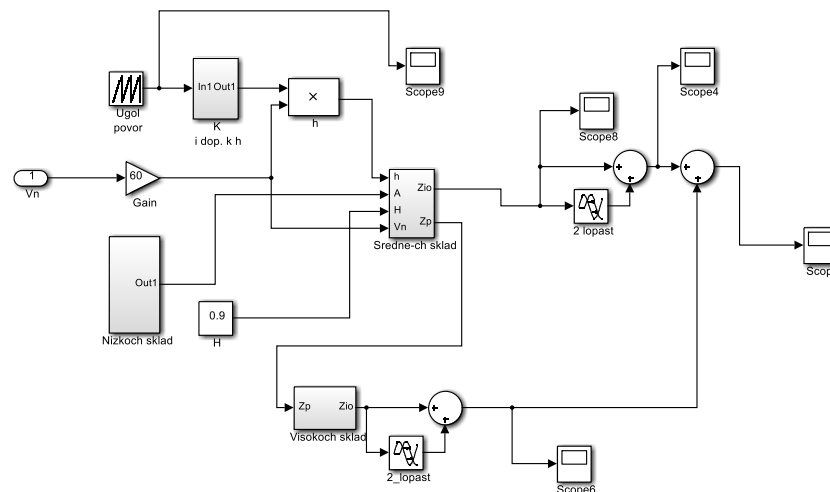


Рис. 2.9 – Схема моделі імітації зміни у часі сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайну

На рис.2.9 модель імітації низькочастотної складової (рис.2.5) міститься у підсистемі “Nizkoch sklad”, модель імітації середньо-частотної складової

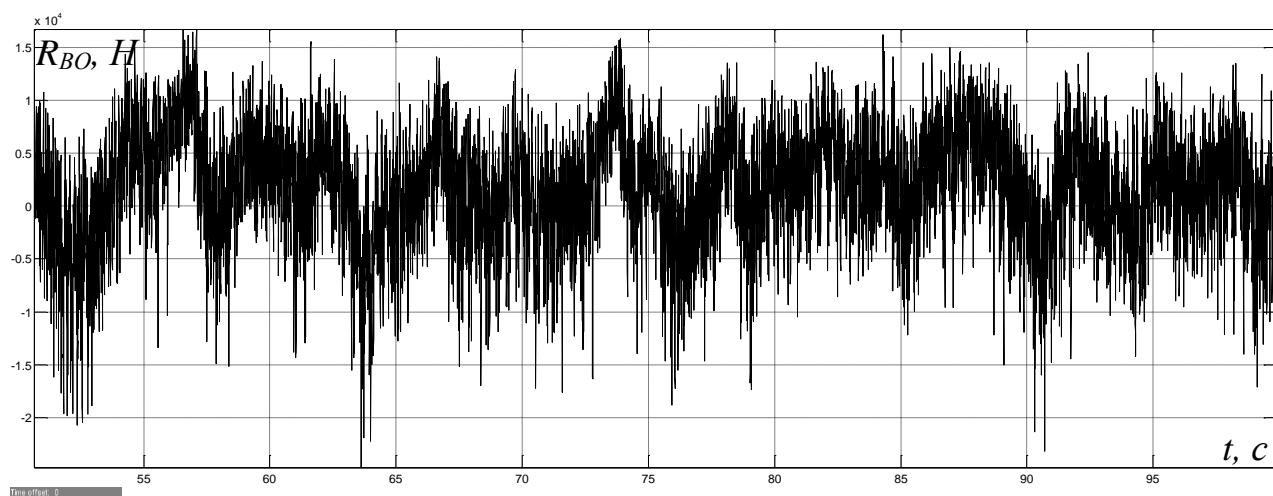
(рис.2.7) – у підсистемі “Sredne-ch sklad”, а модель імітації високочастотної складової (рис.2.8) – у підсистемі “Visokoch sklad”.

У блоці “k i dor. K h” розраховується коефіцієнт контакту першого різця з масивом вугілля й породи за формулою:

$$K = \begin{cases} 0,95 \cdot \sin(\varphi_p) + 0,05, & \text{якщо } \sin(\varphi_p) \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } \sin(\varphi_p) < 0, \end{cases}$$

де φ_p – поточний кут повороту різця відносно нерухомої системи координат (моделюється за допомогою блоку “Ugol povor” на рис.2.9).

Результат роботи моделі імітації зміни у часі сили реакції забою на руйнування виконавчим органом прохідницького комбайну представлений на рис.2.10.



2.3 Обґрунтування функціональних режимів роботи прохідницького комбайна

Під окремим функціональним режимом роботи прохідницького комбайна з точки зору автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу будемо мати на увазі такий режим, для якого спостерігаються певні унікальні динамічні властивості системи автоматичного

керування, через що для цього режиму потрібно створювати окремий ПД-регулятор з унікальними настройками. Причому цей ПД-регулятор може давати, а може не давати хороші результати для інших функціональних режимів роботи комбайна. Таким чином, матимемо бібліотеку настройок ПД-регулятора, серед яких буде обиратися та чи інша настройка ПД-регулятора в залежності від того, який наразі функціональний режим роботи комбайна має місце.

З оглядом на структурну схему імітаційної моделі системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу можна виділити наступні функціональні режими роботи прохідницького комбайна:

- стабілізація навантаження двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі;

- стабілізація навантаження двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі.

Таким чином, для кожного функціонального режиму роботи комбайна необхідно визначити найкращі настройки ПД-регулятора з обґрунтуванням умов зміни функціональних режимів. Вибір найкращих настройок ПД-регулятора будемо здійснювати на основі аналізу основних критеріїв якості роботи системи автоматичного управління.

Головними показниками якості роботи системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна є швидкодія, оскільки це впливає на продуктивність комбайна, та точність підтримки заданої потужності, оскільки це впливає на якість роботи системи стабілізації навантаження двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна. З урахуванням цих головних показників запропонуємо наступні критерії якості роботи системи автоматичного управління:

- коефіцієнт варіації (відносне стандартне відхилення – повинно бути не більше 0,1):

$$K = \frac{\sigma}{\bar{x}},$$

де σ – стандартне (середньоквадратичне) відхилення випадкової величини; \bar{x} – математичне очікування випадкової величини;

- відносне математичне очікування усталеної похибки (повинне бути не більше 1%);

- відносні максимальні відхилення від заданої уставки у сторону зменшення та збільшення (повинні бути не більше 20%).

2.4 Висновки по розділу

1. Об'єкт управління є статичним та має третій порядок. На нього діють два збурення, перше з яких відхиляє діапазон зміни внутрішньої змінної об'єкта управління, а друге змінює його коефіцієнт підсилення. Отже, через складні динамічні властивості об'єкта управління класичні методи синтезу системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна є неприйнятними.

2. Перше збурення на об'єкт управління – це перепад тиску у гідравлічній системі системи подачі виконавчого органу прохідницького комбайна. Має східчастий характер зміни у часі через підключення та відключення інших гідроциліндрів в гідросистемі. Навантаження на валу двигуна приводу органу та на шток гідроциліндру системи переміщення виконавчого органу – це друге збурення на систему. Воно має дуже складну динаміку й містить три складові – низькочастотну (випадкову за своїм характером з нормальним законом розподілу та експоненціальною автокореляційною функцією), середньочастотну (має практично гармонічний характер) та високочастотну (за характером “білий шум” з гамма законом розподілу випадкової величини). Отже, через суттєво різний характер зміни у часі збурень можна припустити, що регулятори навантаження двигуна приводу виконавчого органу за умови дії цих збурень також будуть мати суттєво різні оптимальні настройки.

3. Аналіз структури створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу показав, що можна виділити два основних функціональних режимів роботи прохідницького комбайна з позиції синтезу системи автоматичного управління:

- стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі;

- стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі.

3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна

3.1 Синтез та дослідження САК у функціональному режимі стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі

Синтез системи автоматичного керування навантаженням двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна будемо проводити на основі спеціального додатку математичного пакету MATLAB “PID Tune”, що дозволяє автоматизувати процедуру настройки ПІД-регулятора. Вікно даного додатку представлено на рис.3.1.

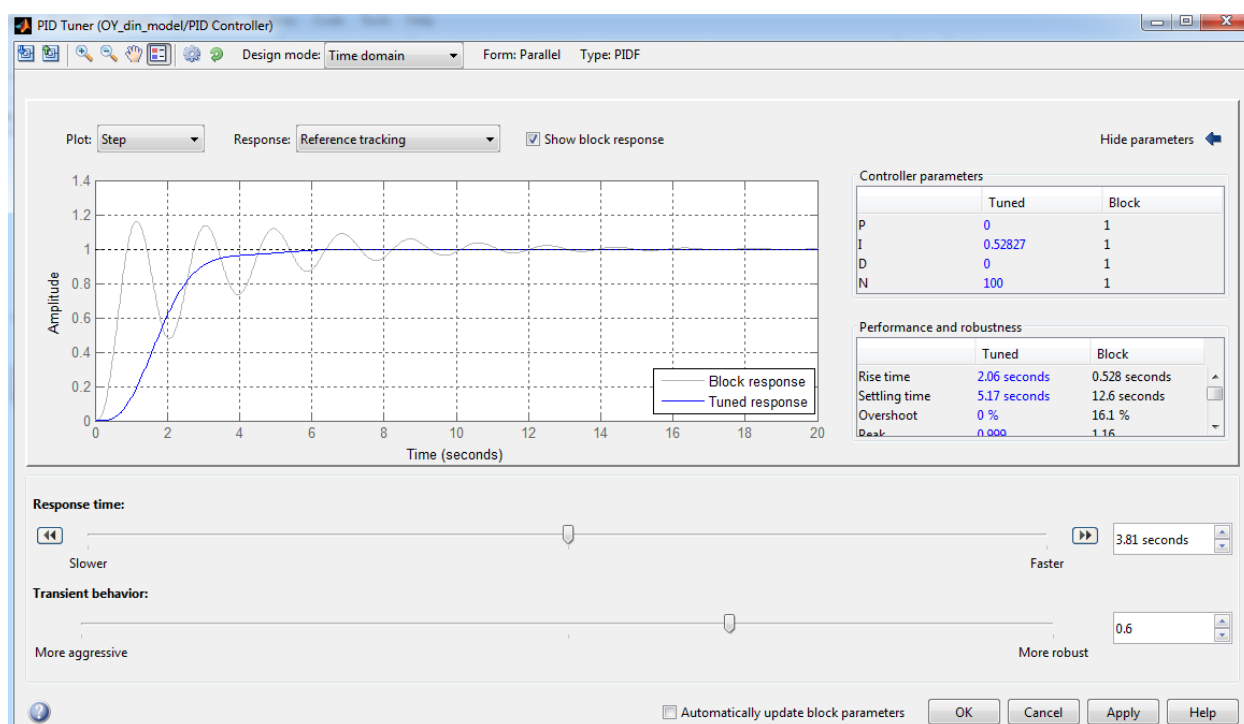


Рис. 3.1 – Вікно настройок додатку “PID Tune” математичного пакету MATLAB

Настройка ПІД-регулятора здійснюється за допомогою двох відносних параметрів ПІД-регулятора, значення яких задаються повзунками на нижній

частині вікна налаштувань на рис.3.1. Перший з відносних параметрів ПІД-регулятора (повзунок “Slower”) задає швидкодію системи автоматичного управління через зміну загального коефіцієнта підсилення регулятора. Другий відносний параметр задає рівень стійкості системи через зміну відношення параметрів складових ПІД-регулятора, й не так сильно впливає на швидкодію системи, як перший відносний параметр. При цьому у нашому випадку обрана форма ПІД-регулятора, що наведена у правій верхній частині вікна налаштувань ПІД-регулятора (рис.3.2).

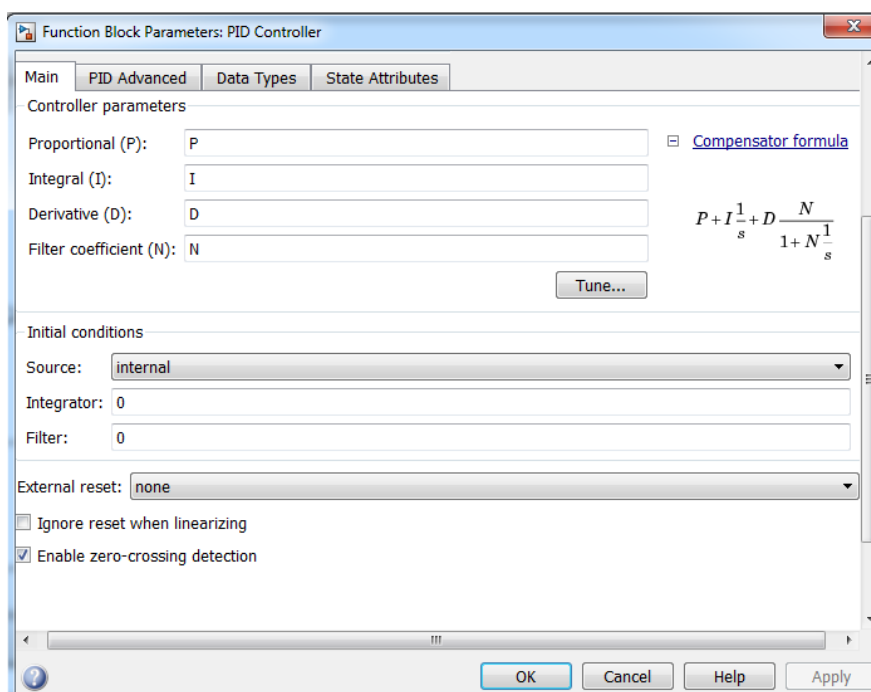


Рис. 3.2 – Вікно налаштувань блоку “PID controller” додатку Simulink математичного пакету MATLAB

Визначимо залежність обґрунтованих у розділі 2 критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від відносних параметрів ПІД-регулятора за умови налаштування його через додаток “PID Tune”. Для цього з кроком 10% від усього діапазону зміни значень будемо змінювати перший відносний параметр, виставляючи другий відносний параметр таким чином, щоб запас стійкості системи за амплітудою не був нижче за 10 Дб, а за фазою – не нижче 40

градусів. Тобто, ми будемо мати десять варіантів настройок ПІД-регулятора для різних рівнів швидкодії системи автоматичного управління, й для кожної настройки ми визначимо критерії якості роботи системи.

За алгоритмом, описаним вище, за допомогою імітаційної моделі системи автоматичного управління, що розроблена у розділі 2 кваліфікаційної роботи, та додатку “PID Tune” математичного пакету MATLAB проведемо дослідження залежності обґрунтованих у розділі 2 критеріїв якості роботи системи від варіантів настройок ПІД-регулятора за умови наявності навантаження на штоці гідроциліндру гідроприводу подачі виконавчого органу та валу двигуна його приводу. З урахуванням випадкового характеру навантаження, у перехідному процесі відсутній явно виражений статичний режим. Тому оцінювати будемо тільки перерегулювання. Результати дослідження представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від варіантів настройок ПІД-регулятора

Номер настройки регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Перерегулювання, %
1	0,18	0,075	13,2
2	0,257	0,014	14,6
3	0,31	0,015	15,3
4	0,37	0,014	19,6
5	0,42	0,013	22,5
6	0,52	0,015	28,3
7	0,65	0,011	33,2
8	0,73	0,01	40,5
9	0,85	0,01	55,1
10	1,02	0,01	60,8

У графічному вигляді залежність перерегулювання p від варіантів настройок ПІД-регулятора наведені на рис.3.3.

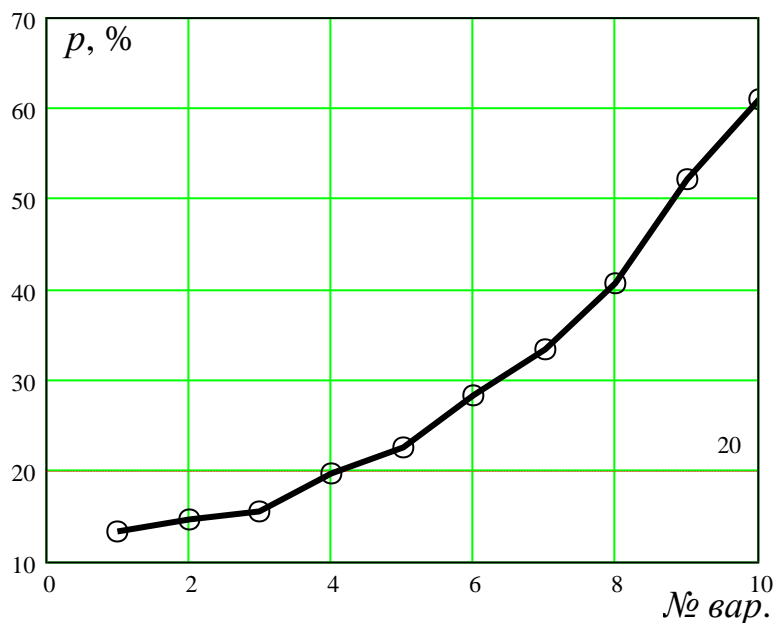


Рис. 3.3 – Залежність перегулювання від варіантів налаштувань ПІД-регулятора

Наявність випадкового навантаження само по собі є причиною можливого стрибка швидкості вверх наприкінці перехідного процесу. Крім того, інерційність гідроприводу за умови перевищення коефіцієнту підсилення ПІД-регулятора певного рівня також викликає перегулювання. Іноді ці дві причини співпадають, що призводить до значного відхилення керованої величини від уставки наприкінці перехідного процесу. Дослідження показали, що наприкінці перехідного процесу при переміщенні виконавчого органу під навантаженням перегулювання потужності більше 20% можна уникнути лише за умови відсутності перевищення загального коефіцієнту підсилення ПІД-регулятора значення 0,37 (четверта настройка ПІД-регулятора на рис.3.3).

Отже, робимо висновок, що у функціональному режимі “стабілізація навантаження двигуна приводу органу без перепаду тиску у гідросистемі” залежність між перегулюванням та загальним коефіцієнтом підсилення ПІД-регулятора є прямою та має експоненціальний характер. Забезпечити відсутність перевищення перегулювання потужності допустимого рівня 20% можна лише тоді, коли буде нівельований вплив інерційності гідроприводу виконавчого органу на перегулювання. Ця умова виконується, якщо

загальний коефіцієнт підсилення ПІД-регулятора не перевищує значення 0,37. З оглядом на умову забезпечення мінімального часу перехідного процесу, для цього функціонального режиму роботи прохідницького комбайна настройки ПІД-регулятора, що близькі до оптимальних, наступні: коефіцієнт підсилення інтегруючої складової дорівнює 0,37, а коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 0,014.

Перехідний процес для оптимальних настройок ПІД-регулятора для функціонального режиму “стабілізація навантаження двигуна приводу органу без перепаду тиску у гідросистемі” показаний на рис.3.4.

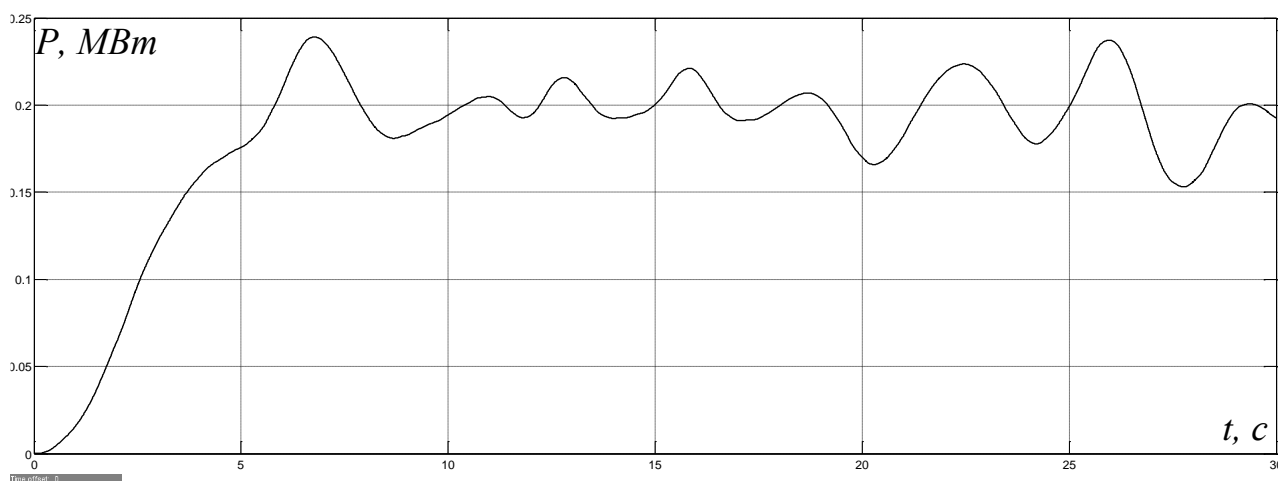


Рис.3.4 – Перехідний процес на виході скоригованої САК з оптимальними настройками ПІД-регулятора за умови функціонального режиму “стабілізація навантаження двигуна приводу органу без перепаду тиску у гідросистемі”

3.2 Синтез та дослідження САК у функціональному режимі стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі

За алгоритмом, описаним у підрозділі 3.1, за допомогою імітаційної моделі системи автоматичного управління, що розроблена у розділі 2 дипломного проекту, та додатку “PID Tune” математичного пакету MATLAB проведемо дослідження залежності обґрунтованих у розділі 2 критеріїв якості роботи системи від варіантів настройок ПІД-регулятора при стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу за умови присутності перепаду тиску в гідросистемі. У підрозділі 2.2 було показано, що навантаження є випадковим збуренням зі складним характером зміни у часі. Тож для оцінки якості роботи системи автоматичного управління у режимі стабілізації потужності двигуна приводу виконавчого органу за умови такого збурення у підрозділі 2.3 запропоновані відповідні критерії. Розглянемо особливості визначення даних критеріїв у додатку Simulink математичного пакету MATLAB (рис.3.5).

Коефіцієнт варіації K протягом роботи моделі системи автоматичного керування визначається, з урахуванням його формули, за допомогою блоків суматора, “RMS”, “Mean”, “Product4”, “Gain5” на рис.3.5.

Відносне математичне очікування M усталеної похибки визначається за допомогою блоків “Mean”, суматора, “Abs2”, “Product3”, “Gain5”, та “Mean1” на рис.3.5.

Відносне максимальне відхилення σ_{min} від заданої уставки у сторону зменшення визначається за допомогою блоків “Minimum”, “Mean”, суматора, “Abs1”, “Product2”, “Gain2” на рис.3.5.

Відносне максимальне відхилення σ_{max} від заданої уставки у сторону збільшення визначається за допомогою блоків “Maximum”, “Mean”, суматора, “Abs”, “Product” та “Gain” на рис.3.5.

часу – 0,41 та 0,3 с^{-1} відповідно. Тож, коефіцієнт фільтру регулятора не має сенсу задавати більше значення 2,5, що відповідає постійній часу 0,4 с^{-1} . Об'єкт управління все одно не зможе зреагувати на більш швидкий керуючий вплив – це лише призведе до негативних мікро-пульсацій з високою частотою заслінки без поліпшення стабілізації швидкості переміщення виконавчого органу. Меншим за значення 2,5 коефіцієнт фільтру регулятора потужності теж задавати сенсу не має, оскільки у такому разі регулятор не буде швидко реагувати на збурення з низькою частотою, яке може бути компенсоване системою. Таким чином, коефіцієнт фільтру ПІД-регулятора визначається найбільшою постійною часу об'єкта управління й дорівнює їй у мінус першому ступеню, тобто – 2,5 для нашого випадку.

Коефіцієнти підсилення пропорційної та інтегруючої складових прийемо рівними відповідно до оптимальних налаштувань ПІ-регулятора у підрозділі 3.3 – 0,014 та 0,37 відповідно. Тож, залишається провести дослідження залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного керування від коефіцієнта підсилення диференційної складової ПІД-регулятора. Результати дослідження наведені у табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від варіантів налаштувань ПІД-регулятора

Номер налаштування регулятора	Коефіцієнт підсилення диференційної складової	Коефіцієнт варіації	Відносне математичне очікування усталеної похибки, %	Відносне максимальне відхилення від заданої уставки у сторону зменшення, %	Відносне максимальне відхилення від заданої уставки у сторону збільшення, %
1	0,5	0,068	0,18	22,4	19,2
2	0,8	0,064	0,23	21,0	19,1
3	1,1	0,056	0,15	19,9	16,6
4	1,4	0,054	0,1	22,4	17,0
5	1,7	0,048	0,14	16,0	14,9
6	2,0	0,043	0,11	13,3	12,4
7	2,3	0,045	0,1	15,5	15,6
8	2,6	0,05	0,27	19,4	17,3

9	2,9	0,082	0,19	22,1	22,8
10	3,2	0,11	1,83	24,1	30,6

У графічному вигляді залежності від варіантів настройок ПІД-регулятора коефіцієнту варіації K , відносного математичного очікування M усталеної похибки, відносного максимального відхилення σ_{min} у сторону зменшення та відносного максимального відхилення σ_{max} у сторону збільшення наведені на рис.3.6 та рис.3.7.

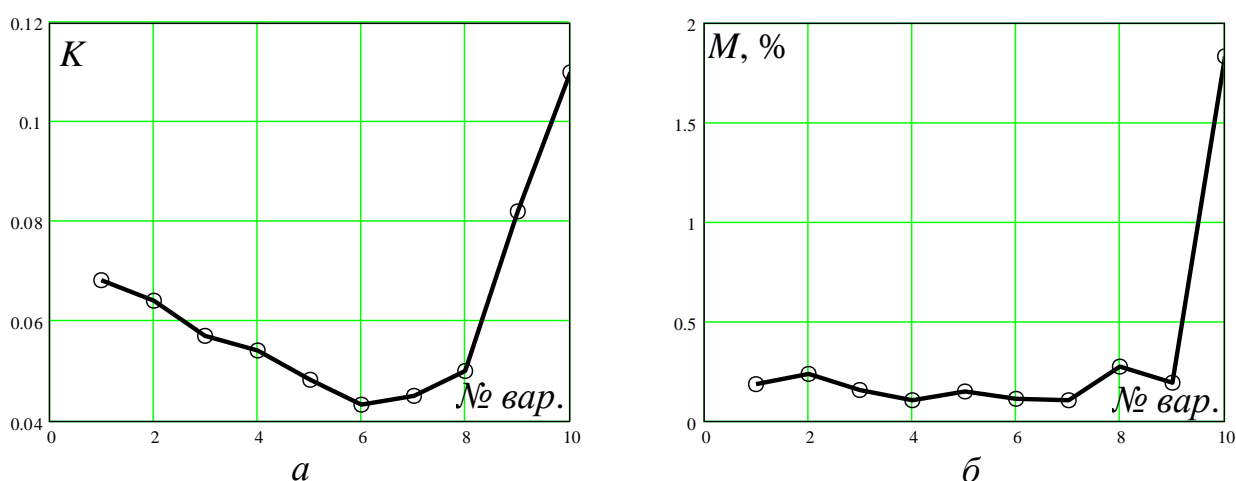


Рис. 3.6 – Залежності від варіантів настройок ПІД-регулятора: a – коефіцієнту варіації; b – відносного математичного очікування усталеної похибки

З рис.3.6,а ми бачимо, що залежність коефіцієнту варіації від коефіцієнту підсилення диференційної складової ПІД-регулятора (фактично змінюється цей параметр у різних настройках регулятора на рис.3.6) носить непропорційний параболічний характер з мінімальним екстремумом, що відповідає шостому варіанту настройок ПІД-регулятора. Також з рис.3.6,б ми бачимо, що для усіх варіантів настройок ПІД-регулятора, крім останнього, маємо допустиме відносне математичне очікування усталеної похибки до 1%.

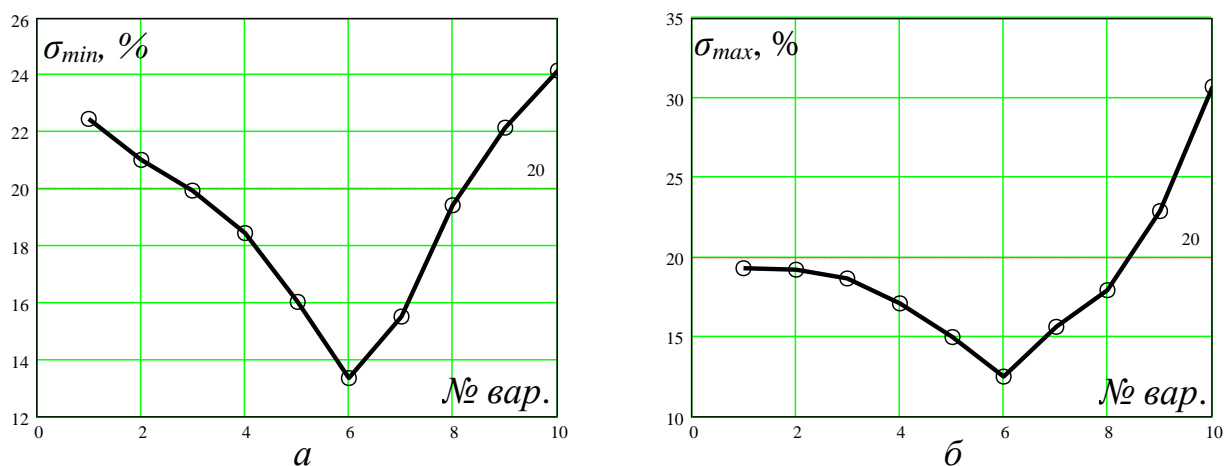


Рис. 3.7 – Залежності від варіантів настройок ПІД-регулятора: *a* – відносного максимального відхилення керованої величини у сторону зменшення; *b* – відносного максимального відхилення керованої величини у сторону збільшення

Залежності максимальних відносних відхилень керованої величини від уставки в обидві сторони (рис.3.7,а та рис.3.7,б), як і у випадку коефіцієнта варіації, мають параболічний характер з явно вираженим мінімальним екстремумом, що відповідає шостому варіанту настройок ПІД-регулятора.

Отже, робимо висновок, що у функціональному режимі “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі” оптимальним є шостий варіант настройки ПІД-регулятора, за умови якого маємо мінімальні значення критеріїв якості роботи системи автоматичного управління, що характеризують інтенсивність коливань фактичної керованої величини навколо уставки під дією збурення. Шостому варіанту настройок ПІД-регулятора відповідає коефіцієнт підсилення інтегруючої складової 0,37, коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 0,014, коефіцієнт фільтру 2,5 та коефіцієнт підсилення диференційної складової 2,0 (див. табл.3.3).

Перехідний процес для оптимальних настройок ПІД-регулятора для функціонального режиму “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі” показаний на рис.3.8.

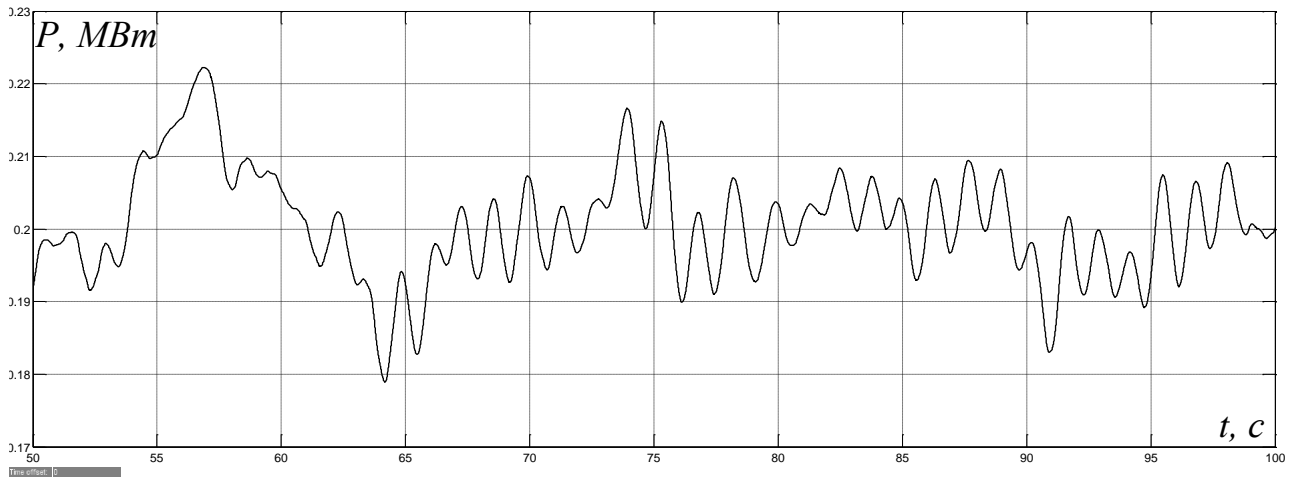


Рис.3.8 – Перехідний процес на виході скоригованої САК з оптимальними настройками ПІД-регулятора за умови функціонального режиму “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі”

3.3 Висновки по розділу

У ході обчислювальних експериментів на основі розробленої імітаційної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна встановлено, що для кожного функціонального режиму роботи комбайна існують індивідуальні оптимальні настройки ПІД-регулятора.

Для функціонального режиму “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі” оптимальні настройки ПІД-регулятора відповідають граничному значенню загального коефіцієнту підсилення ПІД-регулятора, при якому маємо найшвидший перехідний процес за умови відсутності перерегулювання через інерційність об’єкта управління.

Дослідження показали, що тільки за умови усунення впливу інерційності гідроприводу виконавчого органу на перерегулювання можна забезпечити перерегулювання нижче допустимого рівня 20% за умови наявності навантаження на шток гідроциліндра та вал двигуна приводу органу. При цьому коефіцієнт підсилення інтегруючої складової дорівнює 0,37, а коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 0,014.

У функціональному режимі “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі”, на відміну від попереднього режиму, вводиться диференційна складова з метою подавлення тих високочастотних коливань керованої величини, котрі система не може компенсувати. При цьому коефіцієнт фільтру ПІД-регулятора визначається найбільшою постійною часу об’єкта управління й дорівнює їй у мінус першому ступеню, тобто – 2,5 для нашого випадку.

Для цього функціонального режиму оптимальні настройки ПІД-регулятора відповідають мінімальним екстремумам параболічних залежностей критеріїв якості роботи системи, що характеризують інтенсивність коливань фактичної керованої величини навколо уставки під дією збурення, від коефіцієнта підсилення диференційної складової. При цьому коефіцієнт підсилення інтегруючої складової дорівнює 0,37, коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 0,014, коефіцієнт фільтру 2,5 та коефіцієнт підсилення диференційної складової дорівнює 2,0.

В результаті заміни безперервних елементів регулятора моделі на цифрові, було отримано:

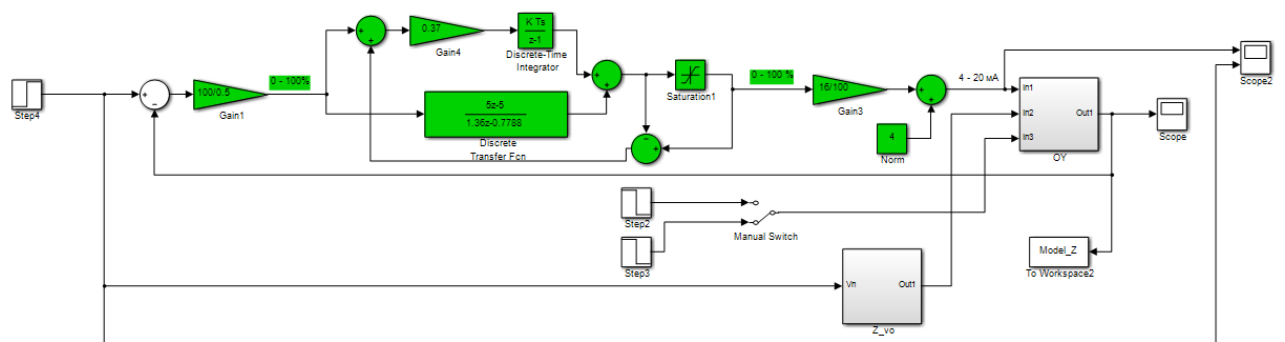


Рисунок 4.3– Цифрова модель ПІД-регулятора

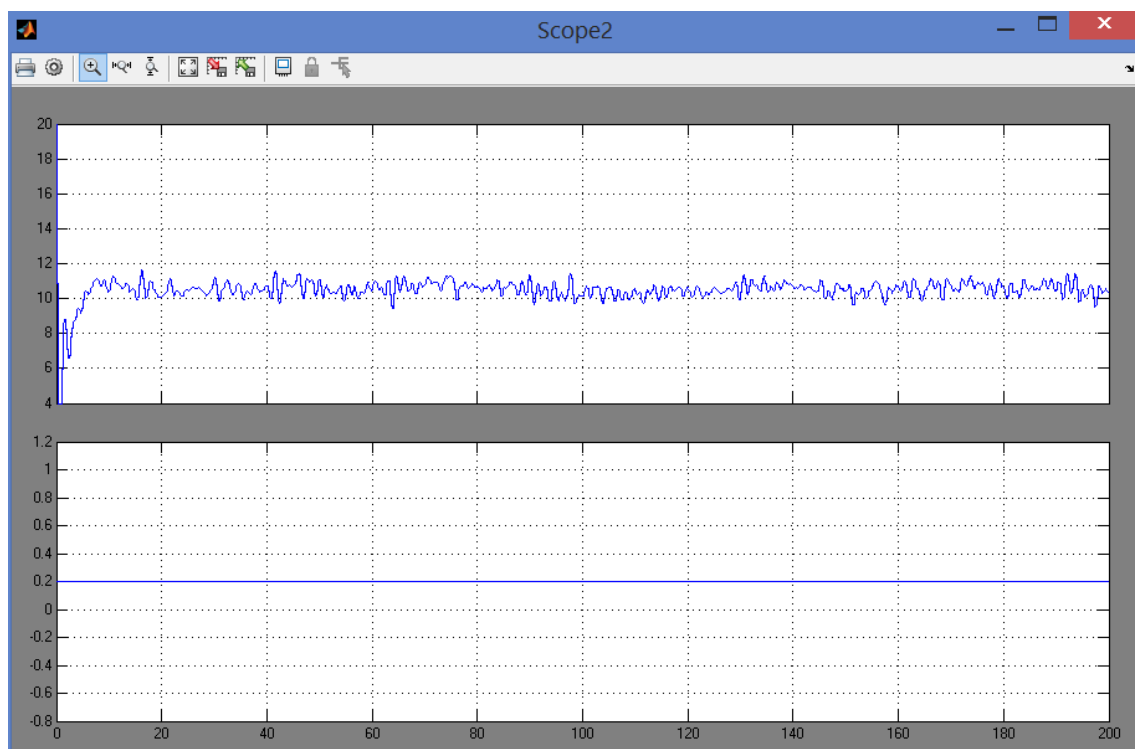


Рисунок 4.4– Результати моделювання

За нормованим середньо-квадратичним відхиленням оцінимо відповідність цифрової моделі системи управління безперервній моделі.

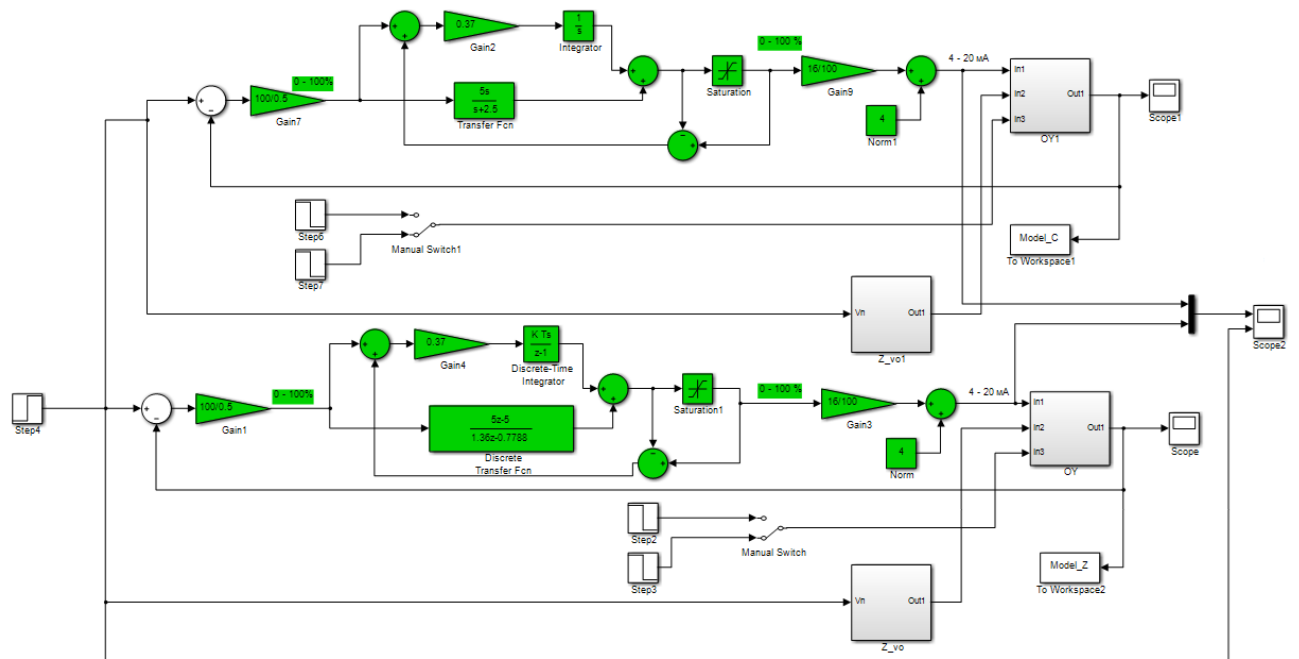


Рисунок 4.5– Перевірка відповідності

```
>> goodnessOfFit(Model_Z, Model_C, 'NRMSE')*100
ans = 62.6103
```

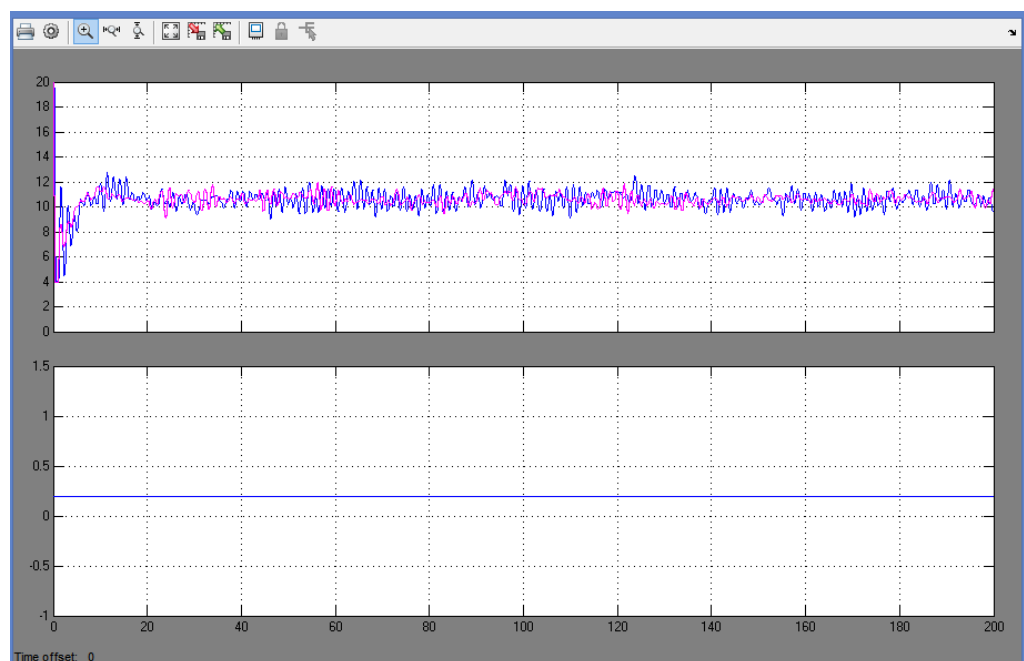


Рисунок 4.6– Результати моделювання

Як видно за результатами перевірки, маємо високий відсоток відповідності цифрової моделі регулятора безперервній, більш точне співпадіння важко досягти через складність моделі об'єкта управління.

Далі, перетворимо регулятор системи управління шляхом створення блоку підсистеми. Та для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середи розробки zenon Logic перейменуємо вхідні\вихідні порти підсистем, згідно правил.

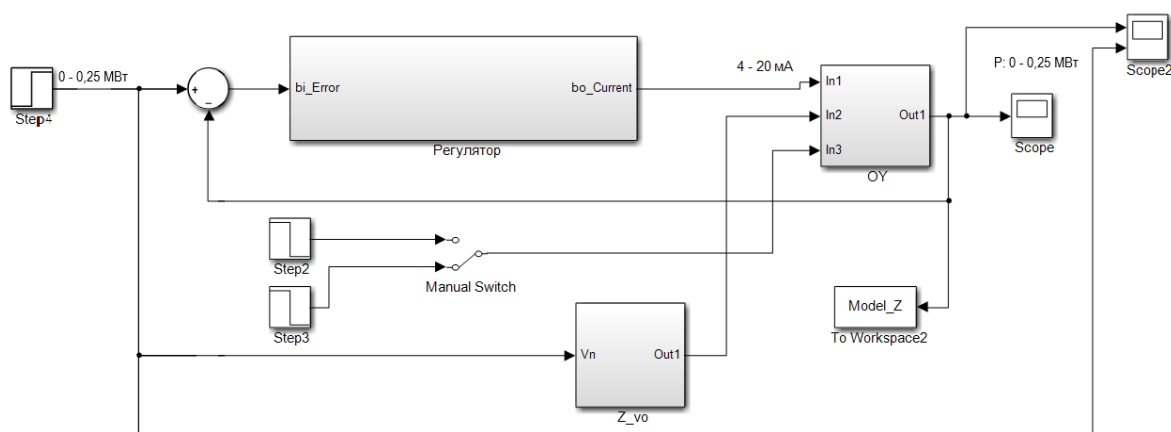


Рисунок 4.7– Підсистема регулятора

Далі було згенеровано програмний модуль регулятора, що наведений у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи управління

Програмне забезпечення регулятора системи управління виділено в окремий програмний блок.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку було створено проект регулятора (рис. 4.8).

State	Project name	Target host	Targ...	Start type	Start place	Host	Startup
F... ▾	Filter text ▾	Filter text ▾	Filt... ▾	Filter text ▾	Filter text ▾	Filter text ▾	Filter text ▾
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start

Рисунок 4.8 – Проект регулятора

Також було створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки, дійсному значенню та керуючому впливу (додаток Б).

В процесі розробки програмного забезпечення регулятора також було виконано нормалізацію значень уставки потужності, діючого значення потужності та величини струму на виконавчий пристрій, а також розрахунок значення помилки управління.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід’ємною частиною розробки системи управління є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності комп’ютеризованої системи управління, необхідно розробити ЛМІ, що буде забезпечувати:

- можливість спостерігати за перебігом перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об’єкта;
- можливість слідкувати за станом протікання технологічного процесу та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

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



Рисунок 4.9 – Зображення кнопок

На рис. 4.9 показано зображення кнопок що було реалізовано для ЛМІ. Кожна з них має свою функцію. «Process»: при натискання цієї кнопки

відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.10), де можна спостерігати технологічну схему системи, розташування датчиків, та основну інформацію про об'єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення. Наступні кнопки : «Trend», «AML», «CEL», було реалізовано аналогічно та дозволяють перейти на зображення – рис. 4.11, рис. 4.12, рис. 4.13 відповідно. Кнопки «Exit», «Reload» реалізовано за допомогою функцій «Exit runtime» та «Reload project» відповідно.

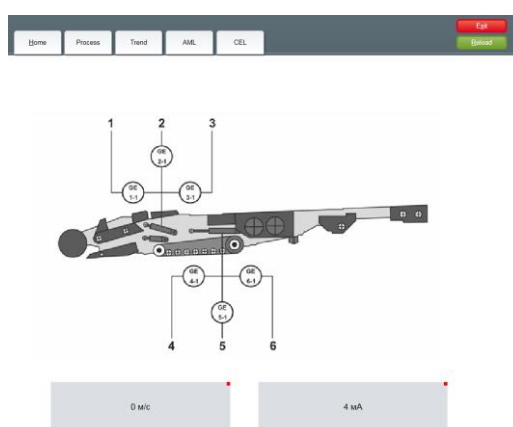


Рисунок 4.10 – Зображення технологічної схеми



Рисунок 4.11 – Зображення графіку перехідного процесу

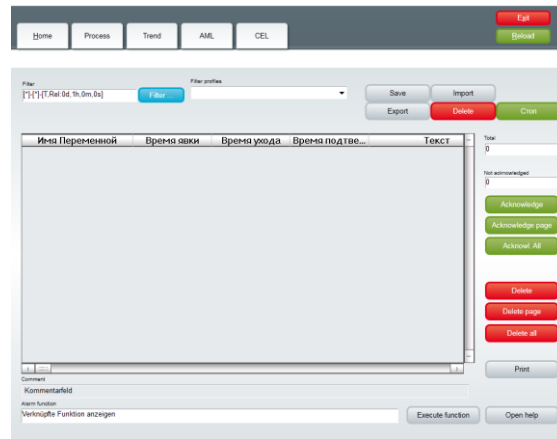


Рисунок 4.12 – Зображення списку тривог

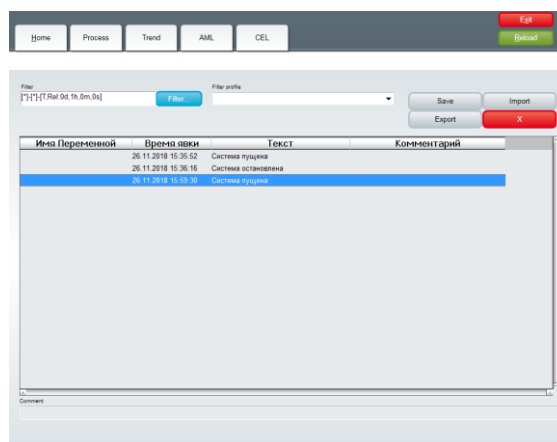


Рисунок 4.13 – Зображення списку подій

Усі зображення розташовано згідно шаблону, рисунок 4.14.

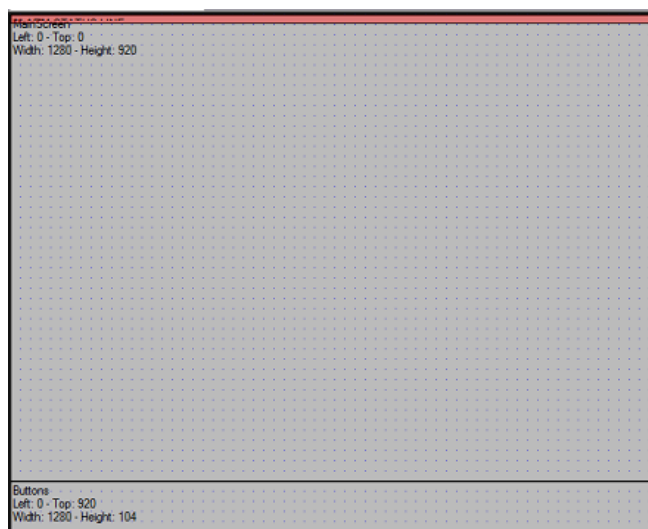


Рисунок 4.14 – Шаблон

Основні зображення розташовано в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, проте є статичним та відображається постійно. Для розробки таких зображень, як «Список подій» та «Список тривоги» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення наводиться в додатку В.

4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення регулятора, та людино-машинний інтерфейс оператора.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1. Розрахунок капітальних витрат

У даному розділі кваліфікаційної роботи розглядається економічна доцільність створення й дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу стрілового виконавчого органу прохідницького комбайна П110.

Проектована система має такі переваги:

- підвищує точність процесу стабілізації навантаження двигуна виконавчого органу;
- підвищує продуктивність лави;
- за рахунок поліпшення контролю параметрів роботи зменшуються енерговитрати.

Впровадження системи з урахуванням переваг допоможе підприємству вийти на новий технологічний рівень виробництва.

Капітальні витрати, необхідні для реалізації проекрованої системи, розраховуємо по формулі:

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн} + K_{по}, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де $K_{об}$ – вартість устаткування;

$K_{тр}$ – транспортно - заготівельні й складські витрати;

$K_{мн}$ – витрати на монтаж і налагодження встаткування;

$K_{по}$ – витрати на програмне забезпечення.

Капітальні витрати на устаткування приведені в таблиці 5.1.

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт визначаються на рівні 10% від вартості устаткування й по варіантах складе:

для проектного варіанта – 1478,7 грн,

для базового варіанта – 2416,2 грн.

Таблиця 5.1 – Зведення капітальних витрат, грн.

Найменування розділів	Проектний варіант		Базовий варіант	
	Вартість устаткування	Монтажно-налагод. роботи	Вартість устаткування	Монтажно-налагоджувальні роботи
Електроконструкції:	17205	1710	23820	2382
- 2 датчика положення	1140	114	1140	114
- 3 датчика навантаження	1890	189	1890	189
- 3 модуля введення дискретних сигналів	6615	660	9900	990
- 1 модуль виводу дискретних сигналів	3360	336	4950	495
- керуючий модуль	4200	420	6000	600
Матеріали не враховані цінником:	282	28,2	282	28,2
- кабель силовий	192	19,2	192	19,2
- кабель інформаційний	90	9	90	9
Всього	17487	1748,7	24162	2416,2

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат становить 7% від капітальних витрат і по варіантах:

для проектного варіанта – 1224,09 грн,

для базового варіанта – 1691,34 грн.

5.2 Визначення капітальних витрат на програмне забезпечення

5.2.1 Визначення трудомісткості створення програмного забезпечення

Нормування праці в процесі створення ПЗ суттєво ускладнене через творчий характер праці програмістів, тому трудомісткість розробки ПЗ може бути розрахована на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

$$t = t_o + t_{и} + t_a + t_{п} + t_{отл} + t_{д, \text{ люд.-година}} \quad (5.2)$$

де t_o – витрати на підготовку й опис поставленого завдання;

$t_{и}$ – витрати праці на дослідження алгоритму розв'язку завдання;

t_a – витрати праці на розробку графа станів системи керування;

t_n – витрати праці на програмування по готовому графі станів системи керування;

$t_{отл}$ – витрати праці на налагодження програми на ЕОМ;

t_d – витрати праці на підготовку документації за завданням.

Витрати праці на підготовку й опис поставленого завдання $t_o=30$;

Складові частини витрат праці визначаються на основі умовної кількості оброблюваних операторів у ПЗ. До їх числа входять ті оператори, які необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень у постановці завдання й удосконалення програм.

Умовна кількість операторів у програмі:

$$Q = q * c * (1 + p), \text{ люд.-година.} \quad (5.3)$$

де q – кількість операторів, що допускаються;

c – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її відпрацьовування.

Коефіцієнт складності c визначає відносну складність програми стосовно типового завдання, складність якого рівна 1. У нашому випадку прийmemo c рівним 1.5.

Коефіцієнт корекції програми p визначає збільшення обсягу робіт за рахунок внесення змін у програму внаслідок уточнення постановки завдання. Величина p перебуває в межах 0,05 – 0,1, що відповідає внесенню 3 – 5 корекцій, що тягнуть за собою переробку 5 – 10% готової програми. Для нашого випадку p буде рівно 0,06.

Кількість операторів q рівно 80. Звідси умовна кількість операторів у програмі:

$$Q = 80 * 1,3 * (1 + 0,06) = 110$$

Витрати праці на дослідження роботи системи керування визначаються з урахуванням уточнення опису й кваліфікації програміста:

$$t_{и} = \frac{Q \cdot B}{(75...85) \cdot k}, \text{ люд.-година.} \quad (5.4)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису завдання $B = 1,3$;

k – коефіцієнт кваліфікації програміста, який визначається залежно від стажу роботи зі спеціальності. Він становить при стажі роботи до 5 років, $k=1,1$:

Витрати праці на вивчення опису завдання:

$$t_{и} = \frac{110 \cdot 1,3}{75 \cdot 1,1} = 1,7, \text{ люд.-година.}$$

Витрати праці на розробку графа станів системи керування:

$$t_{а} = \frac{Q}{(20...25) \cdot k}, \quad (5.5)$$

$$t_{а} = \frac{110}{20 \cdot 1,1} = 5, \text{ люд.-година.}$$

Витрати праці на створення програми:

$$t_{n} = \frac{Q}{(20..25) \cdot k} \quad (5.6)$$

$$t_{n} = \frac{110}{20 \cdot 1,1} = 5, \text{ люд.-година.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ:

$$t_{отл} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k} \quad (5.7)$$

$$t_{отл} = \frac{110}{5 \cdot 1,1} = 20, \text{ люд.-година.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначається:

$$t_{д} = t_{др} + t_{до}, \quad (5.8)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів по рукопису;

$$t_{\text{др}} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k} \quad (5.9)$$

$$t_{\text{др}} = \frac{110}{15 \cdot 1,1} = 6,67, \text{ люд.-година.}$$

$t_{\text{до}}$ – трудомісткість редагування, і оформлення документації:

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot t_{\text{др}} \quad (5.10)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot 6,67 = 5, \text{ люд.-година.}$$

$$t_{\text{д}} = 6,67 + 5 = 11,67 \text{ люд.-година.}$$

Трудомісткість створення програмного продукту складе:

$$t = 30 + 1,7 + 5 + 5 + 20 + 11,67 = 73,37 \text{ люд.-година.}$$

5.2.2 Розрахунки витрат на створення програмного продукту

Витрати на створення програмного продукту $K_{\text{по}}$ включають витрати на заробітну плату програміста $Z_{\text{зп}}$ і вартість машинного часу, необхідного на налагодження програми на ЕОМ $Z_{\text{мв}}$.

$$K_{\text{по}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мв}} \quad (5.11)$$

Очікувана тривалість відпрацьовування ПЗ:

$$T = \frac{t}{V_{\text{к}} * F_{\text{р}}}, \text{ місяців,} \quad (5.12)$$

де $V_{\text{к}}$ – число виконавців ($V_{\text{к}}=1$);

$F_{\text{р}}$ – місячний фонд робочого часу програміста при 8 годинному робочому дні, $F_{\text{р}}=176$.

$$T = \frac{73,37}{1 * 176} = 0,42, \text{ місяців.}$$

Зарплата розроблювача програми:

$$Z_{\text{зп}} = C_{\text{пр}} \cdot t \quad (5.13)$$

де t – загальна трудомісткість відпрацьовування ПЗ,

$C_{\text{ПР}}$ – середня годинна зарплата програміста, грн/год ($C_{\text{ПР}}=250$ грн/г).

$$Z_{\text{ЗП}} = 73,37 \cdot 250 = 18342,5 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налагодження програми:

$$Z_{\text{МВ}} = t_{\text{отл}} * C_{\text{МЧ}} \quad (5.14)$$

де $t_{\text{отл}}$ – трудомісткість налагодження програми на ЕОМ;

$C_{\text{МЧ}}$ – вартість машино-години ЕОМ, грн/год (50 грн/ч).

$$Z_{\text{МВ}} = 20 \cdot 50 = 1000 \text{ грн/люд.}$$

Величина витрат на створення ПЗ:

$$K_{\text{ПО}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МВ}} \text{ грн.} \quad (5.15)$$

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МВ}} = 18342,5 + 1000 = 19342,5 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення та дослідження системи керування в цілому становлять 11802,75 грн. і однакові для базового й проектного варіантів.

Капітальні витрати на розробку системи керування й програмного забезпечення до неї по варіантах складуть:

$$K_{\text{ПР}} = 17487 + 1748,7 + 1224,09 + 19342,5 = 39802,29 \text{ грн.},$$

$$K_{\text{баз}} = 24162 + 2417,7 + 1691,34 + 19342,5 = 47613,54 \text{ грн.}$$

Скорочення капітальних витрат по варіантах:

$$\Delta K = K_{\text{ПР}} - K_{\text{баз}} \quad (5.16)$$

$$\Delta K = 39802,29 - 47613,54 = -7811,25 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунки експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{\text{ПР}}, \text{ грн} \quad (5.17)$$

де C_a – амортизаційні відрахування;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати;

C_t – витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт;

C_e – вартість споживаної електроенергії;

$C_{пр}$ – інші витрати.

5.3.1 Розрахунки амортизаційних відрахувань

Устаткування системи керування відноситься до 4 групи по нормах нарахування амортизації основних фондів. Передбачуваний строк експлуатації системи становить 5 років.

Норма амортизації визначається по формулі:

$$H_a = (2/T) * 100\% \quad (5.18)$$

T – строк корисного використання об'єкта;

H_a – норма амортизації;

При цьому річна сума амортизації визначається як добуток залишкової вартості об'єкта на початок звітнього року або первісної вартості на дату початку нарахування амортизації й річної норми амортизації, обчислювальної згідно зі строком корисного використання об'єкта.

$$C_a = \frac{\Phi_{ост} * H_a}{100\%} \quad (5.19)$$

C_a – амортизація основних фондів (річна);

$\Phi_{ост}$ – залишкова вартість, рівна:

$$\Phi_{ост} = П - Л \quad (5.20)$$

$П$ – первісна вартість розроблювальної системи керування;

$Л$ – ліквідаційна вартість системи керування. Для систем програмувальних контролерів ліквідаційна вартість становить близько 20% від первісної вартості.

$$\Phi_{ост.пр} = 39802,29 - 0,2 * 39802,29 = 31841,83 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{ост.баз} = 47613,54 - 0,2 * 47613,54 = 38090,83 \text{ грн.}$$

Норма амортизації для проектової системи керування складе:

$$H_a = (2/5) * 100\% = 40\% \quad (5.21)$$

Сума амортизації для проектової й базової системи складе:

$$C_{a.пр} = 0,4 * 31841,83 = 12736,73 \text{ грн.}$$

$$C_{a.баз} = 0,4 * 9086,34 = 3634,54 \text{ грн.}$$

5.3.2 Розрахунки річного фонду заробітної плати

Впровадження системи керування на підприємстві не відіб'ється на зарплаті обслуговуючого персоналу. Результати розрахунків річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу представлено в таблиці 5.3. Річний фонд робочого часу розраховується в такий спосіб:

$$F_r = T_{cm} * P_d, \quad (5.22)$$

де T_{cm} – тривалість зміни;

P_d – кількість робочих днів, определяемый по формулі:

$$P_d = T_r - T_v - T_p - T_{vid}, \text{ днів}; P_d = 365 - 104 - 8 - 21 = 232 \text{ днів}$$

T_r – число днів у році, 365 днів;

T_v – число вихідних днів, 104 днів;

T_p – число святкових днів у році, 8 днів;

T_{vid} – відпустка, 21 день.

Таким чином, річний фонд робочого часу складе:

$$F_r = 8 \cdot 232 = 1856 \text{ година/рік}$$

Таблиця 5.3 - Річний фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу

Найменування професій працівників	Спис. штат, чіл	Явоч штат люд.	Годинн а тариф. ставка, грн.	Ном. річний фонд роб. часу., год	Разом, пряма зарплата по тарифу, грн.	Доплати, грн. 10%	Премія, грн 5%	Разом, основна зарплата , грн
Оператор	2	2	60	1856	222720	22272	11136	256128
Разом								256128

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 8 % від основної зарплати й складе 20490 грн.

Річний фонд заробітної плати:

$$C_z = Z_{ocn} + Z_{доп}, \quad (5.23)$$

де Z_{ocn} , $Z_{доп}$ – основна й додаткова заробітна плата відповідно, грн.

$$C_{z.in} = 256128 + 20490 = 276618 \text{ грн.}$$

Штат обслуговуючого персоналу й відповідно фонд заробітної плати для проектного й базового варіантів однакові, отже:

$$C_{з.баз} = C_{з.ін} = 276618 \text{ грн.}$$

5.3.3 Розрахунки відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються на підставі відсотка (36%) від суми основної й додаткової заробітної плати:

$$C_c = C_z \cdot 0,22 \quad (5.24)$$

$$C_{с.пр} = 276618 \cdot 0,22 = 99582,48 \text{ грн.}$$

Тому що фонд заробітної плати для проектного й базового варіантів однаковий, то й відрахування на соціальні заходи так само рівні.

$$C_{с.баз} = C_{с.пр} = 99582,48 \text{ грн.}$$

5.3.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування й поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт використовуваного встаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтником і визначаються за фактичним даними підприємства або укрупнене у відсотках від капітальних витрат. У нашому випадку річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт використовуваного встаткування становлять 3 % від капітальних витрат, тобто для проектного варіанта вони складуть 1194 грн., а для базового – 1428 грн.

5.3.5 Розрахунки вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної протягом року:

$$C_e = W_r \cdot C_e, \text{ грн.} \quad (5.25)$$

де W_r – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт*ч.

C_e – тариф на електроенергію, грн./кВт*ч. (для споживачів 2 класу – 5,8 грн./кВт*ч. з урахуванням ПДВ)

Оскільки розроблена система керування повністю реалізується на базовому електроустаткуванні (за даними підприємства середня споживана потужність 9 кВт протягом дня; робочих днів у році 250), то вартість електроенергії по обом варіантам складе:

$$Z_{e\text{ін}} = C_{e\text{баз}} = 9 * 250 * 5,8 = 13050 \text{ грн.}$$

5.3.6 Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування згідно із практикою визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. Таким чином, інші витрати для проектного й базового варіантів розраховуються в такий спосіб:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{баз}} = C_z * 0,04 = 276618 * 0,04 = 11064,72 \text{ грн} \quad (5.26)$$

Річні експлуатаційні витрати для системи керування:

$$C_{\text{пр}} = 12736,73 + 276618 + 99582,48 + 1194 + 13050 + 11064,72 = 414245,93 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{баз}} = 15236,33 + 276618 + 99582,48 + 1428 + 13050 + 11064,72 = 416979,53 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні витрати по варіантах

Найменування показника	Базовий варіант	Проектний варіант
Амортизація	15236.33	12736.73
Фонд заробітної плати	276618	276618
Відрахування на соц. виплати	99582,48	99582,48
Ремонт і тех.обслуговування	1428	1194
Електроенергія	13050	13050
Інші	11064,72	11064,72
Разом	416979.53	414245.93

Отже, різниця в експлуатаційних витратах по проектному й базовому варіантах складе:

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}} = 416979,53 - 414245,93 = 2733,6 \text{ грн.}$$

5.4 Додатковий прибуток від впровадження об'єкта проектування

Річне збільшення прибутки досягається за рахунок підвищення продуктивності роботи комбайна, а саме за рахунок підвищення точності стабілізації навантаження двигуна приводу виконавчого органу комбайна.

По даним підприємства собівартість продукції становить 1060 грн/м³. Підприємство реалізує готову продукцію за ціною – 1860 грн/м³

Визначимо додатковий прибуток від впровадження АСУ:

$$\Delta\Pi = (\text{Ц}_{\text{П}} - \text{S}_{\text{П}}) * \text{Q}_{\text{П}} - (\text{Ц}_{\text{А}} - \text{S}_{\text{А}}) * \text{Q}_{\text{А}}, \quad (5.27)$$

де $\text{Ц}_{\text{П}}$, $\text{Ц}_{\text{А}}$ – ціна за одиницю продукції по проектному й базовому варіантах, грн. /м³;

$\text{S}_{\text{П}}$, $\text{S}_{\text{А}}$ – собівартість одиниці продукції до й після впровадження системи керування, грн./м³;

$\text{Q}_{\text{П}}$, $\text{Q}_{\text{А}}$ – обсяг виробництва продукції, м³.

$$\text{Q}_{\text{А}} = 10 \text{ м}^3/\text{доба} * 250 = 2500 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

$$\text{Q}_{\text{П}} = 10,3 \text{ м}^3/\text{доба} * 250 = 2575 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$\Delta\Pi = (1860 - 1060) * 2575 - (1860 - 1060) * 2500 = 60000 \text{ грн.}$$

5.5 Визначення економічної ефективності проекту

Визначимо показники економічної ефективності проектного об'єкта:

річний економічний ефект:

$$E = \Delta\Pi + \Delta C - E_{\text{П}} * \Delta K_{\text{П}} > 0$$

і строк окупності розробки:

$$\text{Ток} = K_{\text{П}} / E$$

$$E_{\text{П}} = (\text{N}_{\text{кр}} - \text{N}_{\text{инф}}) / 100 \quad (5.28)$$

де, $\text{N}_{\text{кр}}$ – річна процентна ставка, %;

$\text{N}_{\text{инф}}$ – річний рівень інфляції, %.

У якості нормативного значення приймемо величину банківської кредитної ставки $\text{N}_{\text{кр}}$ (25%) з урахуванням інфляції $\text{N}_{\text{инф}}$ (9%), тобто:

$$E_{\text{П}} = (25 - 9) / 100 = 0,16$$

$$E = 60000 + 2733,6 - 0,16 * (-7811,25) = 63983,4 \text{ грн.}$$

$$T_{ок} = 39802,29/63983,4 = 0,622 \text{ роки}$$

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат ϵ показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$\epsilon = E/Kп \quad (5.29)$$

Коефіцієнт ефективності становить:

$$\epsilon = 63983,4/39802,29 = 1,61.$$

Отже, при впровадженні системи керування одна гривня капітальних витрат приносить 1,61 грн. прибутку.

Висновок.

Розрахунки капітальних і експлуатаційних витрат, а також аналіз показників економічної ефективності проекту показав, що річний економічний ефект від впровадження даної системи становить 63983,4 грн. Строк окупності даної системи складе 0,622 роки.

Проаналізувавши отримані результати можна сказати, що впровадження автоматизованої системи керування є економічно вигідним і доцільним у рамках виконання поставленого завдання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів на вугільних шахтах.

Вугільна шахта - це гірниче підприємство підвищеної небезпеки, у ході виробничої діяльності в підземних виробках, якої присутні різні шкідливі фактори (вибухонебезпечність, пожежонебезпека, небезпека викидів, небезпека по обвалах і проривам води й газів), від впливу яких працівники повинні бути захищені. У метеорологічних умовах шахти максимальна температура повітря в літню пору становить 25 градусів при відносній вологості повітря 60-75 %. Мінімальна температура повітря в шахті в зимовий час 18 градусів. Шкідливі й отруйні гази, що надходять у рудничну атмосферу, представлені вуглекислим газом, що виділяються при видобутку вугілля, а також газами, що утворюються при веденні буровибухових робіт (оксиди вуглецю й азоту). Основними джерелами утворення пилу є процеси видобутку вугілля, ведення буровибухових робіт, транспортування вугілля, перевантаження. Джерелами шуму є: робота машин і встаткування, робота вентиляторів.

Експлуатація електроустаткування й електромереж у шахті має специфічні особливості, що підвищують небезпеку їх використання, а саме: переміщення електроустаткування й нарощування мереж, ушкодження електромашин і електромереж. Мінімальний приплив води по шахті становить 63 м³/г. Можливими аваріями на шахті можуть бути пожежі в очисних і підготовчих виробках. Причинами пожеж можуть бути: недбале поводження з відкритим вогнем; неправильна експлуатація електроустаткування; недотримання правил ведення буровибухових робіт і погана якість вибухових матеріалів; загоряння метану у вибоях і виробках. Частина, що рухаються, устаткування, що є джерелом небезпеки для працівників, повинні бути обгороджені. Категорично забороняється ремонт, змашення й очищення встаткування поки воно перебуває в роботі.

6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці

6.2.1 Заходи щодо виробничої санітарії

У холодну пору року повітря, що подавалася в шахту, підігрівається для поліпшення температурних умов і для запобігання від зледеніння повітреподаючого шахтного стовбура. Підігрів повітря здійснюється електрокалорифером, розташованим на допоміжному стовбурі. З метою попередження охолодження, крім підігрівання повітря, що подається в шахту, здійснюється перевезення людей по виробках, що скорочує період охолодження. Так само, у шахтного стовбура, улаштовані камери очікування.

Заходом боротьби з вуглекислим газом, що виділяються при видобутку вугілля й газами, що утворюються при веденні буровибухових робіт (оксиди вуглецю й азоту) служить вентиляція, інтенсивне провітрювання, як робочих ділянок, так і тупиків. Для зниження запиленості повітря на робочих місцях передбачається комплексне знепилення шахтного повітря при всіх виробничих процесах. Попередження підняття пилу в повітря здійснюється зрошенням. Для пилеприборкання використовується вода від виробничо-протипожежного трубопроводу, що прокладається в гірничих виробках. Попереднє зволоження вугілля в масиві, як засіб боротьби з пилом не проводиться у зв'язку з тим, що породи ґрунту схильні до обдимання. При виконанні наступних робіт: керування комбайном; пересувка конвеєра й кріплення; зачищення вугілля за комбайном, робітники повинні користуватися респіраторами типу Ф-62М. Для визначення запиленості повітря застосовується пиломір ФЕП-1В.

З метою зниження шуму в гірничих виробках слід робити своєчасний і якісний ремонт устаткування. Для зниження механічного шуму рекомендується застосовувати деталі з не шумливих матеріалів. Для зниження аеродинамічного шуму, створюваного роботою ВМП, застосовують глушители шуму ГШ-6. Також передбачається застосування індивідуальних засобів захисту - навушників. Для боротьби з вібрацією застосовуються рукавиці з вібропоглинаючих матеріалів.

Також для забезпечення вібробезпечних умов праці передбачаються наступні заходи:

- застосування вібробезпечних машин;
- застосування засобів віброзахисту, що знижують вібрацію на шляхах її поширення;
- застосування організаційно-технічних рішень, спрямованих на підтримку машин на рівні, передбаченому нормативно-технічною документацією на них;
- поліпшення режимів праці, що регулюють тривалість впливу вібрацій на працюючі.

6.2.2 Освітлення гірничих виробок

Світильники в нормальному виконанні встановлюють у виробках шахт, не небезпечних по газу або пилу, і в шахтах, небезпечних по газу або пилу, на свіжому струмені повітря.

Світильники у виконанні підвищеної надійності застосовують у шахтах, небезпечних по газу або пилу. На відміну від світильників у нормальному виконанні вони мають блокування, що автоматично відключає лампу при руйнуванні колби або захисного ковпака й спеціальний вибухобезпечний патрон.

Вибой очисних і підготовчих виробітків у шахтах, небезпечних але газу або пили, як правило, не обладнаються мережним стаціонарним освітленням через небезпеку вибуху метановоздушної суміші при ушкодженні електричної мережі або при руйнуванні колби лампи. Крім того, у зв'язку з тим, що кабельна освітлювальна арматури у вибухобезпечному виконанні громіздка й має значну масу, перенесення її слідом за просуванням вибою натрапляє на певні труднощі.

Освітлення гірничих виробітків здійснюється:

- для капітальних гірничих виробітків, світильниками розсіяного світла типу РВП-30, з установкою через 15-20 м по осі виробітку;

- у якості індивідуальних світильників служать головні акумуляторні світильники з герметичними батареями СГГ-3.

Робочим шахти виділяються по встановлених галузевих нормах спецодяг, спецвзуття й індивідуальне засоби захисту.

6.2.3 Електробезпека

Двигун корпусу та блок управління прохідницького комбайна П110 мають такі технічні характеристики:

- Двигун корпусу:
 - Напруга живлення: 600 В
 - Сила струму: 100 А
- Блок управління:
 - Напруга живлення: 220 В
 - Сила струму: 10 А

Розрахунок ураження електричним струмом від двигуна корпусу

Для розрахунку ураження електричним струмом від двигуна корпусу можна використовувати наступну формулу:

$$I_p = U_d * R_t$$

де:

- I_p - сила струму в тілі людини, А;
- U_d - напруга дотику, В;
- R_t - опір тіла людини, Ом.

Опір тіла людини залежить від багатьох факторів, таких як вологість шкіри, наявність одягу, а також від інших умов навколишнього середовища. Для розрахунку можна використовувати середнє значення опору тіла людини, яке становить 1000 Ом.

Напруга дотику - це різниця потенціалів між двома точками, до яких торкається людина. У нашому випадку, напруга дотику буде дорівнювати напрузі живлення двигуна корпусу, тобто 600 В.

Тоді сила струму в тілі людини при торканні двигуна корпусу буде таким:

$$I_p = 600 \text{ В} * 1000 \text{ Ом} = 600 \text{ А}$$

Це означає, що при торканні двигуна корпусу людина отримає удар струмом силою 600 А. Така сила струму може призвести до серйозних травм, аж до летального результату.

Розрахунок ураження електричним струмом від блоку управління

Для розрахунку ураження електричним струмом від блоку управління можна використовувати ту ж саму формулу.

Напруга дотику в цьому випадку буде дорівнювати напрузі живлення блоку управління, тобто 220 В.

Тоді сила струму в тілі людини при торканні блоку управління буде таким:

$$I_p = 220 \text{ В} * 1000 \text{ Ом} = 220 \text{ А}$$

Ця сила струму також є небезпечною для людини і може призвести до ураження.

Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом

Для захисту працівників від ураження електричним струмом необхідно вжити таких заходів:

- Заземлення. Заземлення є найефективнішим способом захисту від ураження електричним струмом. Воно забезпечує відведення струму в землю в разі ураження людини.
- Ізоляція. Ізоляція забезпечує захист від прямого контакту людини з струмоведучими частинами обладнання.
- Захисні засоби. Захисні засоби, такі як діелектричні рукавички, чоботи та каски, забезпечують додатковий захист від ураження електричним струмом.

Для комбайна П110 необхідно забезпечити заземлення всіх струмопровідних частин обладнання. Крім того, необхідно ізолювати струмопровідні частини обладнання, які можуть перебувати в зоні дотику

людини. Для захисту працівників від ураження електричним струмом також необхідно використовувати захисні засоби.

Застосування засобів індивідуального захисту

Для захисту працівників від ураження електричним струмом від двигуна корпусу та блоку управління прохідницького комбайна П110 необхідно використовувати такі засоби індивідуального захисту:

- Диелектричні рукавички. Диелектричні рукавички забезпечують захист рук працівника від ураження електричним струмом.
- Диелектричні чоботи. Диелектричні чоботи забезпечують захист ніг працівника від ураження електричним струмом.

Захисна каска. Захисна каска забезпечує захист голови працівника від ураження електричним струмом, а також від інших небезпек.

6.2.4 Заходи щодо техніки безпеки

Заходи газового режиму. Періодичний контроль, за вмістом метану й вуглекислого газу в рудничній атмосфері, здійснюється приладом ШИ-11.

Місця й періодичність вимірів встановлюється начальником ділянки ВТБ і затверджується головним інженером шахти.

Безперервний контроль, за змістом метану, здійснюється переносними ("Сигнал- 2") і стаціонарними автоматичними приладами (АТЗ-1).

Заходи пилового режиму. Пиловий режим передбачає виконання наступних заходів боротьби з пилом:

- заходи, спрямовані на зниження або усунення пилоутворення;
- заходи, спрямовані на нейтралізацію підривної здатності осілому пилу у виробках;
- заходи, що передбачають локалізацію вже виниклих вибухів пили;
- заходи, що запобігають появу джерел запалення вугільному пилу.

Заходи безпеки при експлуатації гірничо-транспортних машин і установок. При роботі очисних і прохідницьких комбайнів необхідно строго виконувати правила техніки безпеки, стежити за станом електроустаткування,

не допускати людей до частин, що рухаються, механізмів. При включенні конвеєра, комбайна й перевантажувача подається попереджувальний сигнал. Пересування людей по горизонтальних виробках забезпечується пристроєм проходів по одній стороні виробітку.

У похилих виробках, під час відкочування вантажів пересування людей забороняється. Для перевезення людей застосовуються пасажирські вагонетки типу ВП. Швидкість руху пасажирських составів не більш 20 км/ч. Спуск і підйом людей проводиться в клітках. Клітки двоповерхові й розраховані на 25 людей на кожному поверсі.

Безпека підричних робіт. Підричні роботи проводяться тільки в ремонтну зміну й тільки майстрами-підричниками, при дотриманні всіх правил безпеки при веденні БВР.

6.3 Пожежна безпека

Для протипожежного захисту проммайданчика й шахтних стовбурів на поверхні передбачається пристрій протипожежної водоми.

Зовнішній пожежний водопровід повинен мати діаметр не менш 100мм і закладатися в траншеї на глибину до 2м. Устя вертикальних стовбурів обладнаються кільцевим трубопроводом для протипожежної завіси.

Підземні протипожежні склади влаштовуються в біляствольному дворі й у депо протипожежного поїзда. Кожний склад повинен бути укомплектований устаткуванням, засобами пожежогасіння й матеріалами в необхідних кількостях.

Забороняється в підземних виробках зберігати легкозаймисті матеріали. У підземних камерах і надшахтних будинках мастильні й обтиральні матеріали повинні зберігатися в закритих посудинах у кількостях, що не перевершують добову потребу в кожному виді матеріалу.

Конвеєрні стрічки й вентиляційні труби, застосовувані в гірничих виробках і надшахтних будинках, повинні бути виготовлені з неспалених або пожежобезпечних матеріалів.

Для пожежної безпеки очисні виробки, вибої підготовчих виробок, крила шахтного поля в кожному шарі, конвеєрні виробки ізольовані водяними заслонами.

Заслони розташовані на вхідній і на вихідній струменях. Для ізоляції крил заслони встановлені у відкаточних і вентиляційних штреках у виробках, що примикають до них.

Заслони встановлюються на відстані від 75м до 25 м від вибоїв очисних і підготовчих виробок, сполучень відкаточних і вентиляційних штреків зі збірними й бортовими штреками.

Установка заслонів на відкаточних і вентиляційних штреках, у сполучень із іншими виробками, не потрібно, якщо водяні заслони, що ізолюють вибої очисних і підготовчих виробок, перебувають на відстані 250м і менш від цих сполучень. У конвеєрних виробках водяні заслони встановлюються на відстані 250 м друг від друга.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу об'єкта управління як об'єкта автоматизації та об'єкта дослідження зробимо наступні висновки:

- об'єктом дослідження у дипломному проекті є процес переміщення виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна П110;

- предметом дослідження у дипломному проекті є система автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна П110;

- об'єкт управління у дипломному проекті відноситься до класу неперервних об'єктів управління.

2. Об'єкт управління є статичним та має третій порядок. На нього діють два збурення, перше з яких відхиляє діапазон зміни внутрішньої змінної об'єкта управління, а друге змінює його коефіцієнт підсилення. Отже, через складні динамічні властивості об'єкта управління класичні методи синтезу системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна є неприйнятними.

3. Перше збурення на об'єкт управління – це перепад тиску у гідравлічній системі системи подачі виконавчого органу прохідницького комбайна. Має східчастий характер зміни у часі через підключення та відключення інших гідроциліндрів в гідросистемі. Навантаження на шток гідроциліндру системи переміщення та на вал двигуна приводу виконавчого органу – це друге збурення на систему. Воно має дуже складну динаміку й містить три складові – низькочастотну (випадкову за своїм характером з нормальним законом розподілу та експоненціальною автокореляційною функцією), середньочастотну (має практично гармонічний характер) та високочастотну (за характером “білий шум” з гамма законом розподілу випадкової величини). Отже, через суттєво різний характер зміни у часі збурень можна припустити, що регулятори потужності двигуна приводу виконавчого органу за умови дії цих збурень також будуть мати суттєво різні оптимальні настройки.

4. Аналіз структури створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу органу показав, що можна виділити два основні функціональні режими роботи прохідницького комбайна з позиції синтезу системи автоматичного керування:

- стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі;

- стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі.

5. У ході обчислювальних експериментів на основі розробленої імітаційної моделі системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна встановлено, що для кожного функціонального режиму роботи комбайна існують індивідуальні оптимальні настройки ПД-регулятора.

Для функціонального режиму “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу без перепаду тиску у гідросистемі” оптимальні настройки ПД-регулятора відповідають граничному значенню загального коефіцієнту підсилення ПД-регулятора, при якому маємо найшвидший перехідний процес за умови відсутності перерегулювання через інерційність об’єкта управління. Дослідження показали, що тільки за умови усунення впливу інерційності гідроприводу виконавчого органу на перерегулювання можна забезпечити перерегулювання нижче допустимого рівня 20% за умови наявності навантаження на шток гідроциліндра та вал двигуна приводу органу. При цьому коефіцієнт підсилення інтегруючої складової дорівнює 0,37, а коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 0,014.

У функціональному режимі “стабілізація потужності двигуна приводу виконавчого органу з перепадом тиску у гідросистемі”, на відміну від попереднього режиму, вводиться диференційна складова з метою подавлення тих високочастотних коливань керованої величини, котрі система не може компенсувати. При цьому коефіцієнт фільтру ПД-регулятора визначається

найбільшою постійною часу об'єкта управління й дорівнює їй у мінус першому ступеню, тобто – 2,5 для нашого випадку.

Для цього функціонального режиму оптимальні настройки ПД-регулятора відповідають мінімальним екстремумам параболічних залежностей критеріїв якості роботи системи, що характеризують інтенсивність коливань фактичної керованої величини навколо уставки під дією збурення, від коефіцієнта підсилення диференційної складової. При цьому коефіцієнт підсилення інтегруючої складової дорівнює 0,37, коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 0,014, коефіцієнт фільтру 2,5 та коефіцієнт підсилення диференційної складової дорівнює 2,0.

Таким чином, **науковою новизною** проведених в кваліфікаційній роботі досліджень є уперше встановлені для автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу стрілового прохідницького комбайна закономірності, що описують залежності критеріїв якості роботи системи від параметрів закону керування. Ці закономірності використовуються у запропонованій методиці розрахунку комбінованого регулятора з обґрунтуванням оптимальних настройок ПД-регулятора для кожного функціонального режиму роботи прохідницького комбайна.

Перелік посилань

1. Вугільна промисловість України в умовах гібридної війни: Аналітична записка: електронні ресурси Національного інституту стратегічних досліджень [Електронний ресурс] / Д. Г. Бобро // Відділ енергетичної та техногенної безпеки: серія “Національна безпека” — 2017. — № 24. — Режим доступу до журн. : <http://www.niss.gov.ua/articles/1890/>

2. Що чекає на українські шахти: електронні ресурси інформаційного агентства «Радіо свобода» [Електронний ресурс] / М. Немчинов // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України — 2018. — Режим доступу до ресурсу : <https://www.radiosvoboda.org/a/svoboda-v-detalyah/29458040.html>

3. Стан розвитку паливно-енергетичного комплексу України за 11 місяців 2017 року (за фактичними даними) [Електронний ресурс] // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України — 2018. — Режим доступу до ресурсу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245265701>

4. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт: підручник /А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко та ін.; під заг. ред. В.В. Ткачова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 304 с.

5. Нойбергер Н., Півняк Г., Ткачов В. Сенсори і сенсорні системи : Підручник в двох томах; МОН України. – НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 308 с.

6. Технічні засоби автоматизації: підручник у 2 ч. Ч.1 Сенсорна техніка /В.В.Ткачов, М.І.Стаднік, В.І.Шевченко, М.В.Козар, О.В.Карпенко; М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид., доповн. та переробл. – Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 144 с.

7. Bublikov, A.V., Tkachov, V.V., Kolosov, D.L., Gruhler, G., Stadnik, M.I. (2021) Automation of the control process by the shearer drum in terms of coal seam hypsometry. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 3. 5-13. (Входить до н.-м. бази «Scopus») <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-3/005>

8. Бубликов А. В., Прядко Н. С., & Папаїка Ю. А. (2021) Система нечіткого автоматичного керування режимом руйнування вугільного масиву виконавчим органом очисного комбайна. Технічна механіка. 3. 99 – 110. <https://doi.org/10.15407/itm2021.03.099>

9. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.

10. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.

11. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

12. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги

13. ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

14. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

15. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

16. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с

17. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.

18. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

19. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

Додаток А

Програмний модуль регулятора системи управління

Модуль регулятора

```
(*
* File: OY_din_model6.exp
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "OY_din_model6/Регулятор"
*
* Model name           : OY_din_model6
* Model version        : 1.40
* Model creator        : WORK
* Model last modified by   : Comper
* Model last modified on   : Mon Nov 20 14:02:21 2023
* Model sample time      : 0s
* Subsystem name        : OY_din_model6/Регулятор
* Subsystem sample time   : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on    : Mon Nov 20 14:02:44 2023
*
* 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_Current: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Gain1: LREAL;
    rtb_Sum6: LREAL;
    rtb_Saturation1: LREAL;
    DiscreteTransferFcn_tmp: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
    SS_STEP:
```

```

(* Gain: '<S1>/Gain1' incorporates:
 * Inport: '<Root>/bi_Error' *)
rtb_Gain1 := 200.0 * bi_Error;

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_tmp := (rtb_Gain1 - (-0.7788 * DiscreteTransferFcn_states)) / 1.36;

(* Sum: '<S1>/Sum6' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
rtb_Sum6 := ((5.0 * DiscreteTransferFcn_tmp) + (-5.0 * DiscreteTransferFcn_states)) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

(* Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
IF rtb_Sum6 >= 100.0 THEN
  rtb_Saturation1 := 100.0;
ELSIF rtb_Sum6 > 0.0 THEN
  rtb_Saturation1 := rtb_Sum6;
ELSE
  rtb_Saturation1 := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
(* Output: '<Root>/bo_Current' incorporates:
 * Constant: '<S1>/Norm'
 * Gain: '<S1>/Gain3'
 * Sum: '<S1>/Sum3' *)
bo_Current := (0.16 * rtb_Saturation1) + 4.0;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_states := DiscreteTransferFcn_tmp;
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Gain4'
 * Sum: '<S1>/Sum10'
 * Sum: '<S1>/Sum8' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_Saturation1 - rtb_Sum6) + rtb_Gain1) * 0.37) *
0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
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 регулятора системи управління

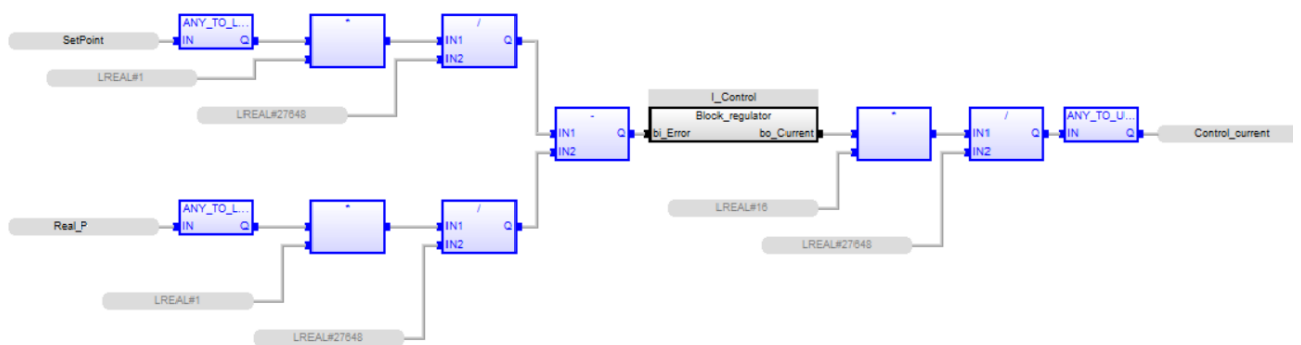
Б.1 Програмне забезпечення регулятора

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main_regulator (*Основна програма*)

[ST] Block_regulator (*Програмний код*)

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Перелік змінних

Name	Type	Properties	Dim.	Attrib.	Syb.	Init va
Block_regulator (*Ἰδιόμορφο κώδικας*)						
bi_Error	LREAL			IN	<input type="checkbox"/>	
bo_Current	LREAL			OUT	<input type="checkbox"/>	
DiscreteTime..	LREAL				<input type="checkbox"/>	
DiscreteTran...	LREAL				<input type="checkbox"/>	
rtb_Gain1	LREAL				<input type="checkbox"/>	
rtb_Sum6	LREAL				<input type="checkbox"/>	
rtb_Saturati...	LREAL				<input type="checkbox"/>	
DiscreteTran...	LREAL				<input type="checkbox"/>	
Global variables						
SetPoint	UINT				<input type="checkbox"/>	
Real_P	UINT				<input type="checkbox"/>	
Control_curr...	UINT				<input type="checkbox"/>	
RETAIN variables						

Name	Type	Properties	Dim.	Attrib.	Syb.	Init value	User Grou
Main_regulator (*Ἰδιόμορφο κώδικας*)							
I_Control	Block_regu..				<input type="checkbox"/>		
Global variables							
SetPoint	UINT	STRATON <syb>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Real_P	UINT	STRATON <syb>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Control_curr...	UINT	STRATON <syb>			<input checked="" type="checkbox"/>		
RETAIN variables							

Додаток В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

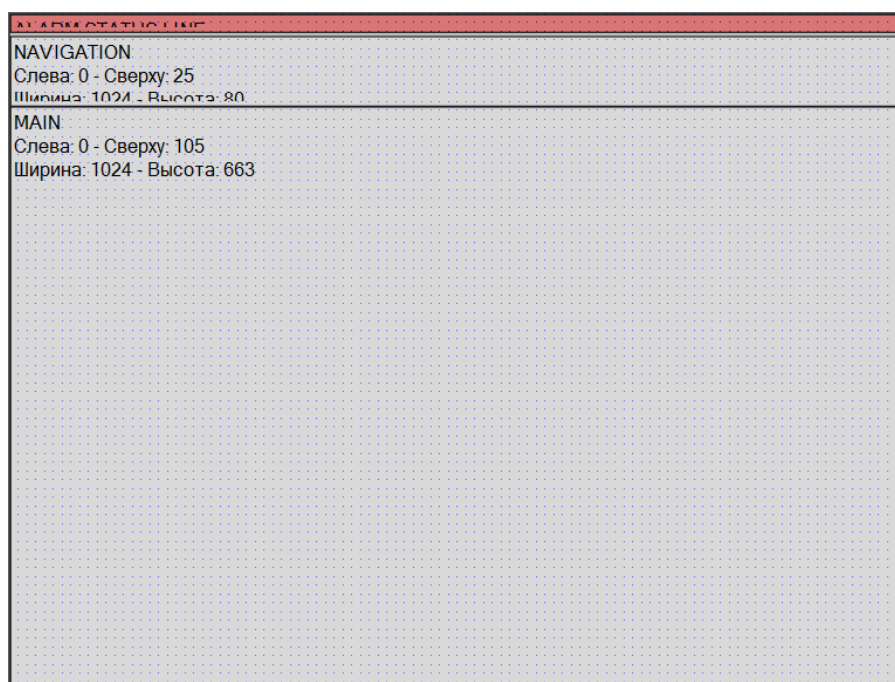
В.1 Драйвера

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

В.2 Перелік змінних

Текст фильт...	Текст фильтра	Тек...	Текст фильтра	Текст ф...	Текст фильт...	Текст ф...	Текст фильт...	Текст фильтра
	Regulator/Global/Control_current	mA	STRATONNG - zenon Logi...	UINT	27648	0	20	4
	Regulator/Global/Real_P	m/c	STRATONNG - zenon Logi...	UINT	27648	0	1	0
	Regulator/Global/SetPoint	m/c	STRATONNG - zenon Logi...	UINT	27648	0	1	0

В.3 Шаблони зображень

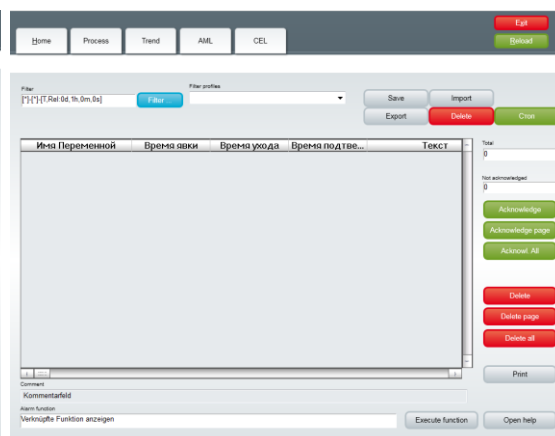
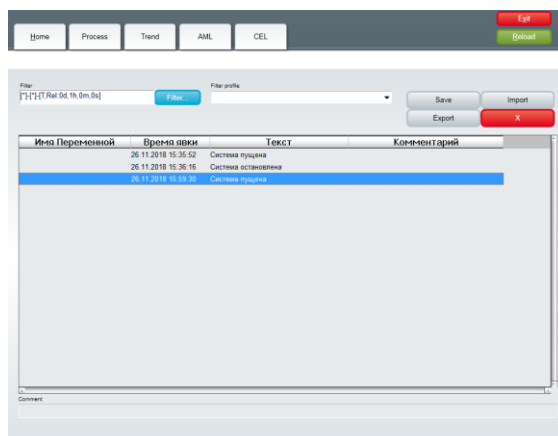
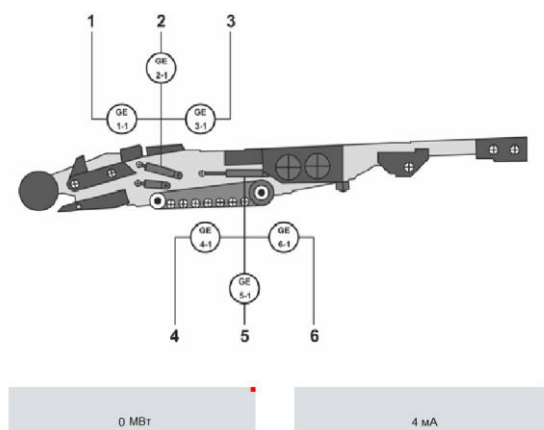
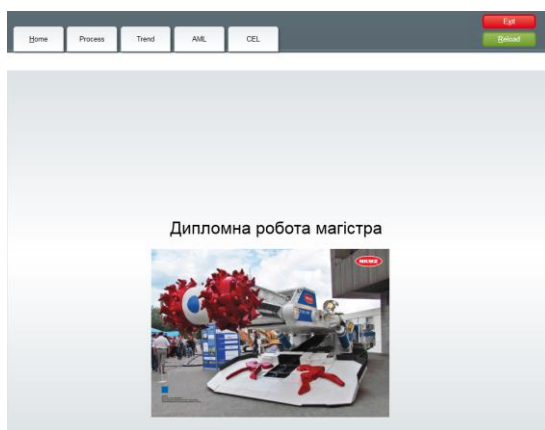


V.4 Функції

State	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project onli...	changed objects
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Trend (Extended Trend) - PROCESS[...
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Tech_shem (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event Lis...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [...
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)

V.5 Зображення

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	#7D9EC0	< no function l...	< no function l...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#A3BDC7	< no function l...	< no function l...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#009300	< no function l...	< no function l...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#7D9EC0	< no function l...	< no function l...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#7D9EC0	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	#7D9EC0	SwitchButtonS...	< no function l...





Відгук керівника кваліфікаційної роботи магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна” здобувача вищої освіти групи 151м-22-1 Суся Олександра В'ячеславовича

Кваліфікаційна робота виконана у вигляді пояснювальної записки на 85 стор.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення якості процесу автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна за рахунок вдосконалення закону автоматичного керування.

Актуальність розробки пояснюється рішенням актуальної проблеми низької точності відпрацювання заданого рівня потужності двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна через складні динамічні властивості підсистеми переміщення виконавчого органу.

Оригінальність рішень полягає у застосуванні комбінованого способу керування з обґрунтуванням функціональних режимів роботи комбайна та визначенням для кожного режиму оптимальних налаштувань ПД-регулятора на основі емпіричного методу й обчислювальних експериментів на імітаційній моделі системи автоматичного керування.

Істотних зауважень щодо кваліфікаційної роботи немає. Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідно до завдання та з достатнім рівнем самостійності.

Всі розділи виконані на оцінку «_____». Кваліфікаційна робота у цілому заслуговує на оцінку «_____».

Керівник роботи

проф. А.В. Бубліков

Рецензія на кваліфікаційну роботу магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна” здобувача вищої освіти групи 151м-22-1 Суся Олександра В'ячеславовича

Застосування системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна є необхідною умовою вирішення завдання збільшення продуктивності роботи комбайна при руйнуванні нового прошарку вугілля органом за рахунок отримання більш точної стабілізації потужності, що споживає двигун привода органу. Однак цей позитивний ефект досягається тільки за умов правильно налагодженої системи автоматичного керування та, відповідно, коректного закону автоматичного керування з урахуванням динамічних властивостей підсистеми переміщення виконавчого органу прохідницького комбайна. Тому актуальним є проведення досліджень перехідних процесів в системі автоматичного керування, оскільки від них безпосередньо залежить якість відпрацювання заданого оператором режиму роботи комбайна.

У кваліфікаційній роботі магістра на основі запропонованих критеріїв якості функціонування системи за допомогою інструментів комп'ютерного моделювання встановлені нові залежності параметрів регулятора швидкості виконавчого органу від функціональних режимів роботи комбайна. Також на основі SCADA-програми Zenon створене програмне забезпечення для системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна, що реалізує запропонований комбінований закон автоматичного управління.

Рішення дослідницьких завдань в кваліфікаційній роботі магістра виконано на хорошому рівні. Робота заслуговує на оцінку _____.

Рецензент

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
_____ Бубліковим А.В.
(підпис)
« _____ » _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у пояснювальній записці кваліфікаційної роботи магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування потужністю двигуна приводу виконавчого органу прохідницького комбайна”, здобувача вищої освіти, групи 151м-22-1, Суся Олександра В'ячеславовича.

Загальний обсяг пояснювальної записки кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 85 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки пояснювальної записки кваліфікаційної роботи Unischek. Рівень запозичень у пояснювальній записці кваліфікаційної роботи з одного джерела складає 7,98 %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам «Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Керівник кваліфікаційної роботи,
зав. каф. КФІВС, д.т.н.

_____ Бубліков А. В.
(підпис)



Ім'я користувача:
Андрій Бубліков

Дата перевірки:
13.12.2023 21:54:25 EET

Дата звіту:
14.12.2023 10:18:05 EET

ID перевірки:
1016003345

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100008974

Назва документа: 151м-22_Сусой_ОВ_ПЗ

Кількість сторінок: 80 Кількість слів: 12695 Кількість символів: 98527 Розмір файлу: 2.30 MB ID файлу: 1015686774

26.7% Схожість

Найбільша схожість: 7.98% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015686779)

22.9% Джерела з Інтернету 675 Сторінка 82

12.3% Джерела з Бібліотеки 205 Сторінка 90

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 91

Відповідальна особа,
Доцент каф. КФІВС, к.т.н.

(підпис)

Бойко О. О.