

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

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Косенко Ярослава Юрійовича  
(ПІБ)

академічної групи 151М-19-1  
(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 Дослідження та синтез системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі  
(назва за наказом ректора)

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

Дніпро  
2020

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

\_\_\_\_\_ Ткачов В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Косенко Я.Ю. академічної групи 151М-19-1  
(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 Дослідження та синтез системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.11.2020 № 965-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.10.20 – 07.10.20
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.20 – 15.10.20
Синтез системи	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.20 – 01.11.20
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.20 – 15.11.20
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та дослідження системи керування	15.11.20 – 25.11.20
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.20 – 07.12.20

Завдання видано \_\_\_\_\_ доц. Бублік А.В.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2020

Дата подання до атестаційної комісії 14.12.2020

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Косенко Я.Ю.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 90 с., 54 рис., 4 табл., 3 додатків, 13 джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

Мета роботи: підвищення якості процесу “оптимального ходу” доменної печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування забезпечується через визначення допустимих меж зміни параметрів передаточної функції об'єкта керування для синтезованої системи автоматичного керування на основі дослідження залежностей критеріїв якості роботи системи автоматичного керування від параметрів передаточної функції.

З урахуванням особливостей технологічного процесу, критеріями якості роботи системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є час наростання та перерегулювання перехідного процесу на виході системи, а також середньоквадратична похибка при компенсації збурюючого впливу системою автоматичного керування.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі;

- проведений синтез системи автоматичного керування з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості роботи системи, та визначена область раціональної роботи системи за умови змінних динамічних властивостей об'єкта керування;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

ДОМЕННА ПІЧ, ШАХТА, ПЕРЕПАД ТИСКУ, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень .....	6
Вступ .....	7
1 Стан питання та постановка завдання .....	9
1.1 Галузь промисловості .....	9
1.2 Технологічний процес .....	10
1.3 Об'єкт керування .....	12
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування .....	12
1.3.2 Структура об'єкту керування .....	14
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування .....	15
1.4 Структура системи керування .....	17
1.5 Формулювання задачі дослідження .....	22
1.6 Висновки до розділу .....	22
2 Теоретичний розділ .....	24
2.1 Модель об'єкта керування .....	24
2.2 Критерії якості функціонування системи керування .....	30
2.3 Висновки до розділу .....	36
3 Синтез та дослідження системи керування .....	38
3.1 Синтез та дослідження системи автоматичного керування .....	38
3.2 Оцінка якості функціонування системи автоматичного керування .....	51
3.3 Висновки до розділу .....	54
4 Експериментальний розділ .....	56
4.1 Цифрова модель об'єкта керування .....	56
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування .....	60
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	62
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення .....	65
4.5 Висновки до розділу .....	66
5 Економічна частина .....	67
5.1 Розрахунок капітальних витрат .....	67

	5
5.2 Експлуатаційні витрати .....	71
5.3 Оцінка економічної ефективності .....	74
5.4 Висновок .....	75
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях .....	76
6.1 Аналіз умов праці в оператору персонального комп'ютеру .....	76
6.2 Розрахунок системи кондиціонування повітря .....	81
6.3 Міри пожежної профілактики та безпека у надзвичайних ситуаціях .....	82
Висновки .....	86
Перелік посилань .....	89
Додаток А Програмні модулі системи керування .....	91
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування .....	96
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу .....	100

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

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
ОР	– Регулятор оптимальний за швидкодією
ПЗ	– Програмне забезпечення
ОУ	– Об'єкт управління
ОК	– Об'єкт керування

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Безперервне збільшення потужності доменних печей та впровадження нових методів інтенсифікації технологічного процесу суттєво підвищили продуктивність доменного виробництва і збільшили витрати сировини, енергії і продуктів плавки, що використовуються у виробничому процесі. Сучасний доменний цех щодоби споживає понад 50-60 тис. тон різних матеріалів, 100-120 млн. м<sup>3</sup> повітря, приблизно 2 млн. тон води, та витрачає більш ніж 20-25 тис. кВт·год електроенергії. Разом з цим значно ускладнилося керування доменним виробництвом, збільшилася кількість інформації, що необхідно обробляти і використовувати для керування процесом. Це призвело до ускладнення алгоритмів автоматичного керування технологічними параметрами печі, що вимагає високої кваліфікації операторів. У цих умовах **актуальною науково–технічною задачею** для України є вдосконалення та впровадження нових систем автоматичного керування, в яких враховуються складні характеристики сучасних доменних печей як об'єктів автоматизації.

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу “оптимального ходу” доменної печі за рахунок покращення критеріїв якості процесу автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є час наростання й перерегулювання перехідного процесу на виході системи за умови компенсації нею збурюючого впливу.

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

- аналіз процесу автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі, у ході якого визначені причини незадовільної якості автоматичного керування перепадом тиску з використанням класичних законів автоматичного керування;

- визначення діапазонів зміни значень параметрів регулятора перепаду тиску у верхній частині шахти доменної печі, при яких забезпечуються задані критерії якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування при змінних динамічних властивостях об'єкта керування.

**Об'єкт дослідження** – процес автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

**Предмет дослідження** – закони та алгоритми автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

**Методи дослідження.** Для дослідження системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі використані методи теорії автоматичного керування та системний аналіз. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

Встановлено, що за умови забезпечення заданих критеріїв якості роботи системи автоматичного керування, яка синтезована на основі комп'ютеризованого метода з подальшим коригуванням коефіцієнту фільтра диференційної складової ПІД-регулятора, як більша постійна часу передаточної функції об'єкта керування, що визначає динаміку процесу масообміну усередині доменної печі, так і коефіцієнт підсилення об'єкта керування, що характеризує вплив витрат гарячого дуття на тиск у верхній частині шахти печі, не повинні виходити за діапазон  $\pm 15\%$  відносно початкового значення.



## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь промисловості

Чорна металургія в Україні є одним з основних видів промислового виробництва й товарного експорту. У цій галузі діють великі корпорації, що визначають господарський розвиток держави: холдинги «Інтерпайп», «Метінвест» тощо. Характерною особливістю великих корпорацій є те, що в них створені вертикальні замкнені виробничі ланцюги. А на основі цих ланцюгів, у свою чергу, створено паралельні виробничо-територіальні системи, які розташовані переважно у східних та центральних областях України (Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг, Кам'янське, Горішні Плавні тощо).

Підприємства чорної металургії України орієнтовані передусім на збут своєї продукції за кордон. Наприклад, компанія «АрселорМіттал Кривий Ріг» експортує понад 80 % своєї продукції [1].

Виробничий ланцюг «вугілля → руда → чавун → сталь» зумовив до формування на обмеженій частині території України найбільших центрів чорної металургії на базі металургійних комбінатів повного циклу. На незначній за площею території поєднано процеси отримання одночасно декількох мінеральних ресурсів, які використовуються у виробництві чорних металів. Також ці площі характеризуються щільною розгалуженою залізничною мережею, що має вихід до морських портів і великих міст Східної Європи.

Наразі через складну економічну ситуацію протягом декількох останніх років виробництво чавуну і сталі металургійними підприємствами України скоротилося до показників 90-их років минулого сторіччя. Для порівняння – у 2013 році експорт металургійного сектору разом з суміжними секторами складав 40% валютної виручки та забезпечував 10-13% ВВП України. Але в останні роки експорт металургійного сектору (за результатами 2018 року) дає лише 30,7% валютної виручки.

Але, з оглядом на зазначені економічні показники, можна зробити висновок, що металургійна промисловість, незважаючи на суттєве падіння з

2013 року, продовжує бути одною з основних галузей промисловості України. Тому впровадження комп'ютерно-інтегрованих систем автоматизації на металургійних підприємствах з метою підвищення ефективності їх роботи є актуальним завданням для України.

## 1.2 Технологічний процес

Доменна піч є постійно діючим апаратом шахтного типу для відновлення багатой залізної руди [2].

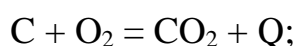
Завантаження шихти здійснюється зверху через типовий завантажувальний пристрій, який одночасно є газовим затвором печі.

Для ефективного плавлення чавуну в доменній печі повинні завжди дотримуватися основні технологічні правила.

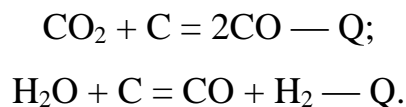
По-перше, температура по всьому об'єму печі повинна бути такою, щоб забезпечувати протікання необхідних реакцій у потрібному місці і в певний час. Це відбувається за рахунок руху назустріч один одному двох потоків. Газ від згоряння палива піднімається знизу догори, а шихта, що нагрівається теплом газу, спускається згори вниз.

По-друге, шлак повинен утворюватися тільки тоді, коли закінчиться відновлення заліза та необхідних домішок з руди. Це забезпечується правильним сполученням тугоплавкості шлаку та сорту чавуну. Завдяки цьому шлак передчасно не сплавляє руду, що може призвести до зміни складу чавуну і, як наслідок, до збою в процесі плавлення.

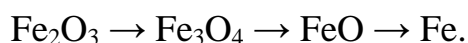
Початком технологічного процесу є горіння палива. При взаємодії з киснем природний газ і вуглець коксу згоряють, утворюючи значне виділення тепла:



Після цього відбувається взаємодія продуктів згоряння з коксом відповідно з наступними реакціями:



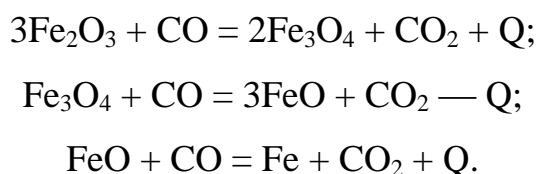
У цій суміші окис вуглецю – головний відновник заліза з оксидів заліза. Щоб збільшити продуктивність печі, повітря, що надходить в піч, зволожують, за рахунок чого збільшується кількість відновника. За умови підняття газу, температура яких досить висока, нагрівають шихту. Самі вони при цьому охолоджуються приблизно до 300-400 °С. Шихта рухається вниз назустріч газу. Коли температура досягає приблизно 570 °С, відбувається відновлення оксидів заліза. Цей процес складається з декількох послідовних етапів:



Ці хімічні реакції визначає температура. Відновлення оксиду заліза відбувається твердим вуглецем (пряме відновлення), воднем і оксидом вуглецю (непряме відновлення). У першому випадку процес здійснюється в зоні розпару при наявності високих температур:



У другому випадку (при непрямому відновленні) реакція відбувається при більш низькій температурі в верхній частині печі:



При необхідній температурі залізо, відновлене з руди, при певних реакціях розчиняє вуглець. За рахунок цього відбувається зниження

температури плавлення, і залізо розплавляється при температурі близько 1300 °С. Одержаний сплав, стикаючись з коксом, насичується такими елементами, як кремній, фосфор, вуглець, марганець, які відновлюються з руди. Насичення сіркою відбувається з коксу при температурі 1200 °С. Внизу печі за умови плавлення флюсів, порожньої породи руди і золи утворюється шлак, що містить у складі оксиди тих же елементів, що і сплав. Склад шлаку, як і чавуну, визначається складом вихідної шихти. Через те, що шлак має меншу щільність, він розташовується на поверхні чавуну.

### **1.3 Об'єкт керування**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – доменна піч. Цільовим продуктом є чавун з заданими показниками якості.

#### **1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування**

Доменна піч сконструйована таким чином, що шихта потрапляє в чашу через засипний пристрій 7 (рис.1.1), який виконаний як невеликий конус, розташований вгорі. З чаші шихта надходить в піч.

Далі шихта розплавляється і спускається вниз. Корисний об'єм домни повинен бути завжди повністю заповнений. Сучасна доменна піч має корисний об'єм від 2000 до 50000 м<sup>3</sup>. Її висота може досягати 35 м, що майже втричі більше її діаметра. Така конструкція забезпечує принцип роботи доменної печі, що заснований на русі матеріалів і газів назустріч один одному. Це дозволяє збільшити ефективність використання теплової енергії до 85%.

Верхня частина доменної печі (колошник 6 на рис.1.1) обладнана газовідводом, що необхідний для видалення колошникового газу.

Під колошником 6 розташовується шахта 5, що має вигляд усіченого конуса, який розширюється донизу. Така форма шахти дозволяє спростити процес надходження в неї сировини з колошника 6. У шахті спеціальним чином готується вихідна сировина з оксидів руди, відновлюється залізо.

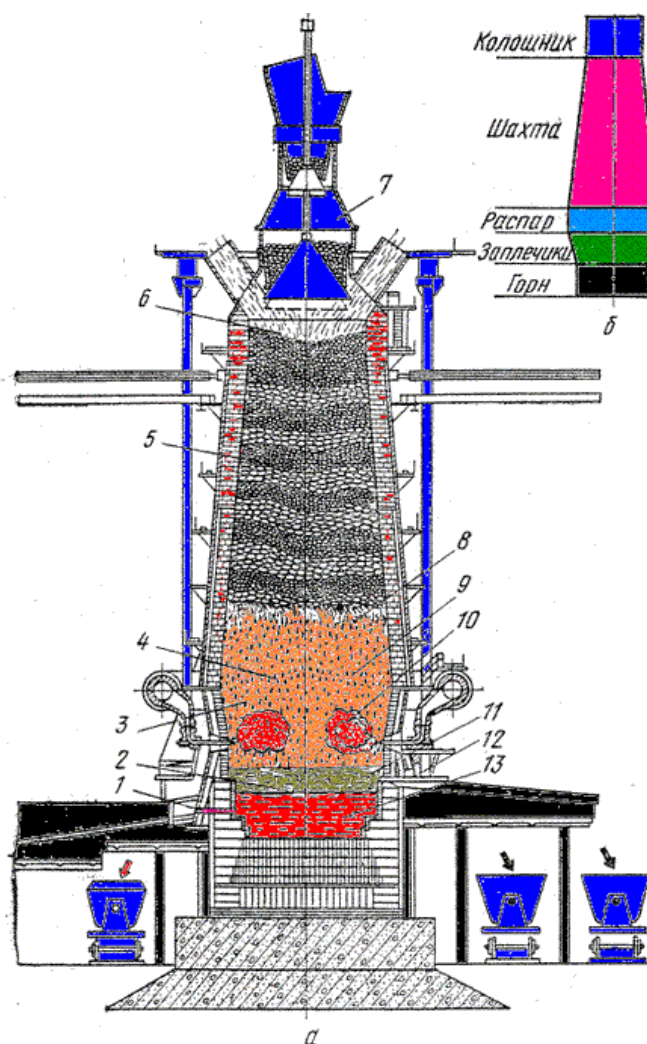


Рис. 1.1. Розріз (а) та профіль (б) робочого простору доменної печі: 1 – чавунна летка; 2 – горн; 3 – заплечики; 4 – розпар; 5 – шахта; 6 – колошник; 7 – засипний апарат; 8 – горизонт створення чавуну; 9 – горизонт створення шлаку; 10 – зона горіння коксу; 11 – шар шлаку; 12 – шлакова летка; 13 – розплавлений чавун

Найширша частина доменної печі носить назву розпар (поз.4 на рис.1.1). В цій частині плавиться порожня порода флюсу і руди, за рахунок чого з них виходить шлак.

Наступна частина печі являє собою усічений конус, що розширюється догори, та має назву заплечики (поз.3 на рис.1.1). У цій частині печі закінчується шлакоутворення, залишаючи в ньому деяку кількість флюсу і твердого палива.

Горіння палива, що надійшло зверху, відбувається в горні (поз.2 на рис.1.1). Він також служить для накопичення чавуну і шлаку, які знаходяться в рідкому стані.

Горн 2 і лещади розташовані всередині сталевого кожуха і постійно в процесі роботи охолоджуються водою, що надходить по двом водопровідним системам з холодильників особливої конструкції. Причому коли перша система працює, друга в цей час знаходиться в резерві.

Щоб відбувалося спалювання палива, необхідне гаряче повітря. Воно надходить в піч від нагрівачів повітря за допомогою кільцевого повітропроводу, проходячи через фурми. Дно горна, що носить найменування лещади, розташовується на масивному фундаменті із залізобетону. Тут відбувається накопичення шлаків і чавуну. Після закінчення процесу плавки чавун і шлак випускаються за допомогою спеціальних жолобів через льотки в ковші.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

Об'єкт керування є одномірним з одним керуючим входом (регулюючий дросель) та одним керованим виходом (верхній перепад тиску по шахті печі). Його структурна схема показана на рис.1.2.

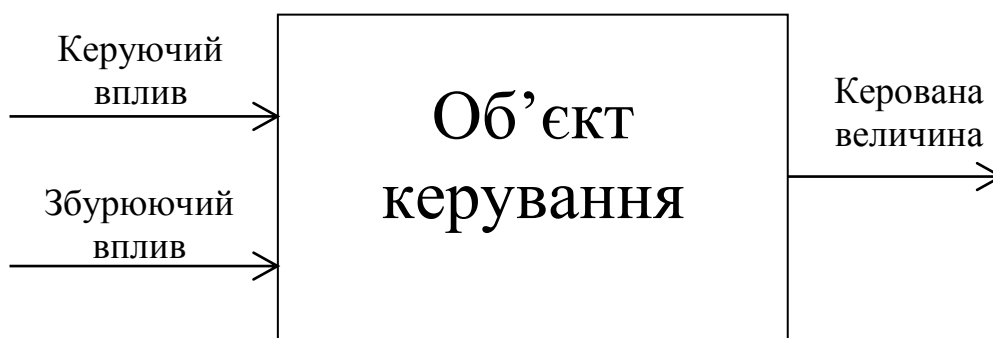


Рисунок 1.2 – Структурна схема об'єкта керування

На керуючий вхід, з урахуванням того, що виконавчим органом є дросель з нерегульованим приводом, подається дискретний електричний сигнал. Керованою величиною є верхній перепад тиску по шахті печі.

Доменні печі, як правило, тривалий час працюють в стаціонарних виробничих умовах, виплавляють чавун однієї і тієї ж марки. Вони працюють на ідентичній сировині, що дозволяє вибрати оптимальний для цих умов режим роботи. Таким чином, завдання локальних систем автоматичного керування технологічними параметрами печі полягає у підтримці цього режиму через компенсацію дії збурюючих впливів.

Збурюючим впливом для процесу автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є витрати гарячого дуття, які змінюються у часі різко (протягом декілька секунд) й випадковим чином в діапазоні  $\pm 12\%$  від номінального значення  $2300 \text{ м}^3/\text{хв}$  та з випадковим періодом. Експеримент показав, що зміні витрат гарячого дуття на  $1 \text{ м}^3/\text{хв}$  відповідає зміна верхнього перепаду тиску по шахті на  $0,037 \text{ кПа}$ .

### **1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування**

Виробництво чавуну є безперервним процесом, що протікає у всьому обсязі доменної печі [3]. Отримання робочої інформації про хід технологічного процесу з внутрішніх областей доменної печі практично неможливе. Тому для контролю над ходом процесу і управління використовуються непрямі показники, що певною мірою відображають стан окремих ділянок (зон) доменної печі. До таких показників відносяться, наприклад, склад колошникового газу, перепади статичного тиску по висоті шахти печі та ін. Отримана інформація є далеко не повною і не може відобразити впливу на процес безлічі факторів (число яких досягає 700). Тому багато явищ, що відбуваються в доменних печах, проявляються як випадкові функції часу. Частина робочої інформації надходить нерегулярно і зі значним запізненням (аналіз хімічного складу сировини і продуктів плавки), частина інформації

відображає минулий стан процесу (температура чавуну і шлаку, зміст кремнію в чавуні).

Недостатність і запізнювання інформації ускладнюють управління процесом плавки.

Слід зазначити ще одну особливість доменної печі як об'єкта автоматичного управління: технологічний процес проходить у всьому об'ємі печі, а управління зосереджене на кордонах шахти.

Управління «зверху» здійснюється на колошнику шляхом зміни умов завантаження, а «знизу» з фурменної зони зміною параметрів дуття.

При кожному збуренні необхідно вибрати такий керуючий вплив, який вплинув би на стан певної області печі, що є віддаленою від місця дії цього керуючого впливу. Природно, що це призводить до суттєвих запізнювання керуючих впливів; так, наприклад, зміна рудного навантаження на кокс позначається на тепловому стані горна доменної печі тільки через 5-6 годин.

Іншою особливістю доменної печі як об'єкта автоматизації є велика акумулююча здатність печі. Величезна маса матеріалів, що беруть участь в процесах масообміну та теплообміну, сприяє згладжуванню впливів, що збурюють. У цьому сенсі піч як би є фільтром для впливів, що збурюють. Інерційність процесу дозволяє мати певний резерв часу для вибору раціонального управління.

Складність доменної печі як об'єкта керування полягає в тому, що кожен з трьох основних процесів, що в ній протікають (газодинаміка, теплообмін і масообмін), має свій оптимальний рівень, при якому досягаються найкращі показники плавки. Раціональне керування доменною піччю полягає в тому, щоб вести газодинамічні, тепло і масообмінні процеси в ній на оптимальному рівні. У протилежному випадку спостерігаються перевитрата коксу, зниження продуктивності печі, погіршення якості чавуну і зниження стійкості вогнетривкої футеровки шахти печі.

Складність і випадковий характер явищ, що протікають в доменній печі, ускладнюють аналітичний детермінований опис процесу, тому для його



ідентифікації часто використовуються методи математичної статистики і статистичної динаміки. Рівняння множинної регресії дозволяють з відомою похибкою прогнозувати деякі явища, а методи планованого експерименту і статистичної динаміки дають можливість оцінити усереднені динамічні характеристики доменної печі по різних каналах. Оцінюючи труднощі отримання інформації, складність процесу, обмеженість можливостей управління, слід зазначити, що доменний процес є досить складним для керування.

#### **1.4 Структура системи керування**

В якості об'єкту управління, що розробляється, виступає контур регулювання верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі. Вхідним параметром об'єкта є електричний сигнал на нерегульований привод дроселя. Вихідним параметром об'єкта управління є верхній перепад тиску по шахті доменної печі. Основним завданням розроблюваної системи автоматичного керування є підтримка заданого оператором верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі.

Локальна система автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті печі містить датчик тиску, виконавчий пристрій, що регулює витрати колошникового газу, пристрій управління, що задає витрати газу на підставі виміряного значення верхнього перепаду тиску, і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.3) .

Комплекс керування технологічним обладнанням складається з пристроїв збору інформації (датчики перепадів тиску, а також витрат гарячого дуття), еталонів і станів обладнання (уставка верхнього перепаду тиску по шахті печі), системи контролю стану обладнання, програми керування, що реалізують формування керуючого впливу.

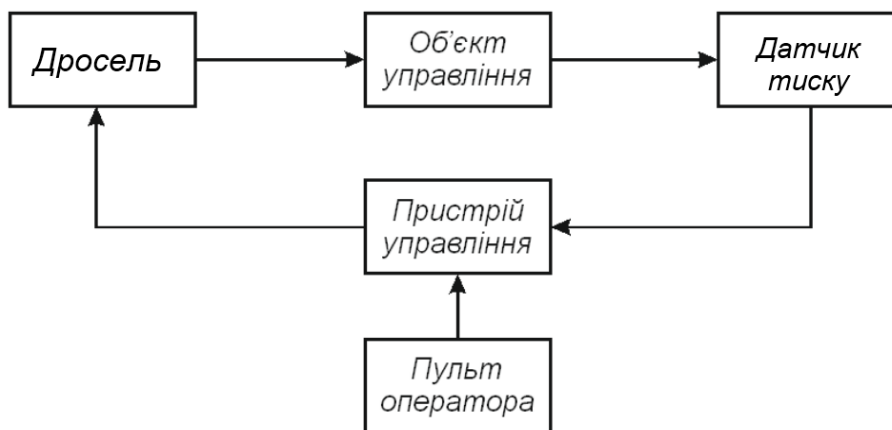


Рисунок 1.3 – Структурна схема системи автоматичного керування

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

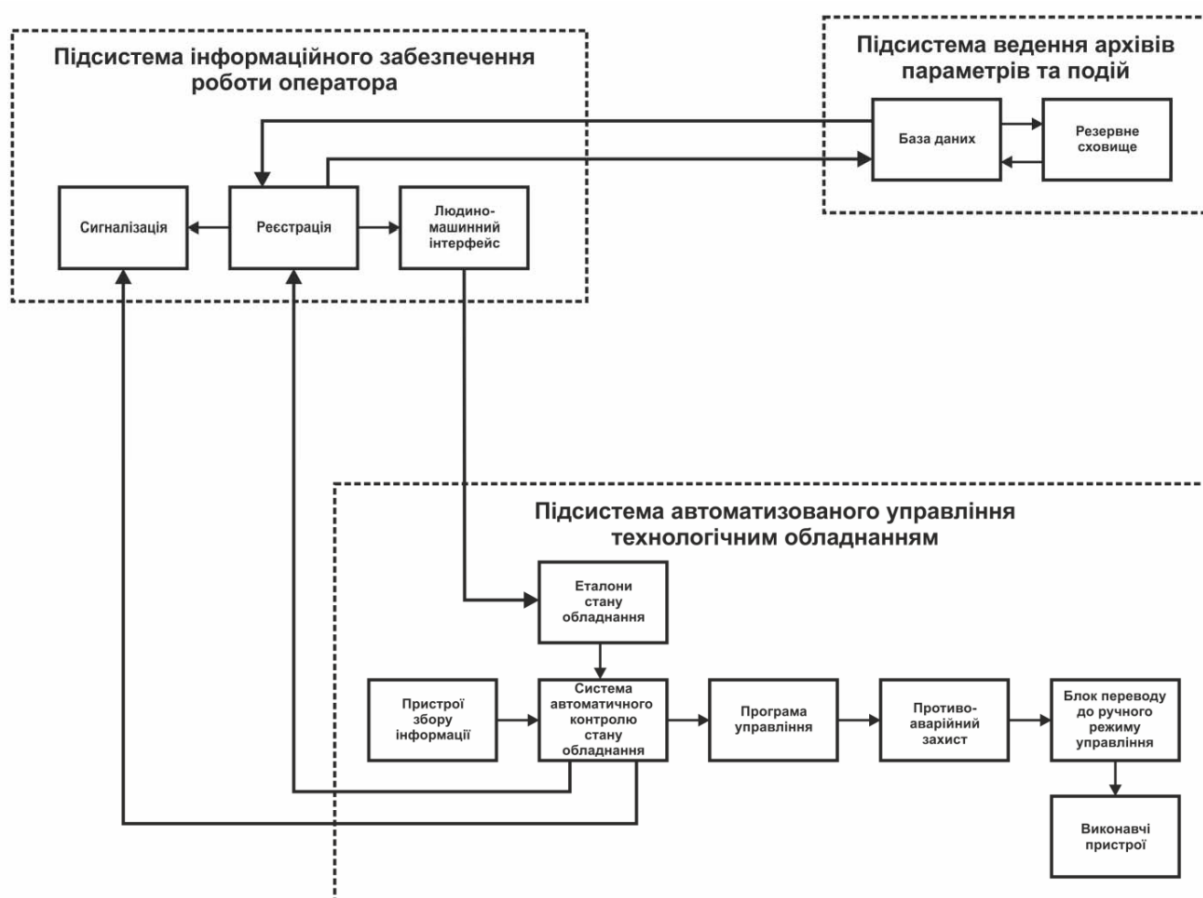


Рисунок 1.4 – Структурна схема інформаційних потоків

Крім того, система повинна забезпечуватися архівуванням параметрів технологічних процесів, що відбуваються. Тому в ній має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище. З урахуванням цього, розроблена структурна схема інформаційних потоків (рис. 1.4).

Структура на рис.1.4 забезпечує підтримку заданого верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі, збір інформації про перебіг технологічного процесу, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних і створення резервних копій. Крім того, використана структура забезпечує контроль за обладнанням і сигналізацію досягнення параметрами управління заданих значень.

Таким чином, підсистема автоматизованого управління технологічним обладнанням представлена у вигляді апаратно-програмного комплексу керування масообмінними процесами у шахті доменної печі, який містить датчики:

- витрат гарячого дуття;
- верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі.
- положення заслінки у каналі повітродувки;
- ходу регулюючого дроселя.

Для вимірювання технологічних параметрів використовується комплекс польових засобів вимірювання Rosemount. Для контролю тиску по зонам доменної печі використовуються перетворювачі Rosemount моделі 3051C Sorplanar™ , які призначені для вимірювань диференційного тиску, надлишкового тиску та абсолютного тиску. Параметри сигналів засобів вимірювань представлені у табл.1.1. У якості пристрою керування регулюючим дроселем використаний електропривод ЕП-2500.

Таблиця 1.1 – Класифікація входів та виходів системи керування

№	Наймен. Інформації (сигнали, дані)	Ідент	Напр. вх./вих.	Функція	Вид	Джерело/отримувач	Форма представлення (разрядність, точність)		Період вв./вив. сек
							Зовн.	Внутр.	
1	Тиск колошникового газу	1	Вхід.	Контр.	Аналог.	Rosemount 3051C / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1

2	Тиск зона 1	2	Вхід.	Контр.	Аналог.	Rosemount 3051C / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1
3	Тиск зона 2	3	Вхід.	Контр.	Аналог.	Rosemount 3051C / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1
4	Тиск зона 3	4	Вход.	Контр.	Аналог.	Rosemount 3051C / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1
5	Тиск зона 1	5	Вхід.	Контр.	Аналог.	Rosemount 3051C / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1
6	Тиск дуття	6	Вхід.	Контр.	Аналог.	Rosemount 3051C / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1
7	Контроль положення заслонки на каналі дуття	7	Вход.	Контр.	Аналог.	ЕП-2500 / ПЛК	4-20мА	12 біт	0,1
8	Дросель у колошнику відкритий	8	Вхід.	Контр.	Дискрет.	КР L2 S11 / ПЛК	24 В	2 біт	0,1
9	Дросель у колошнику закритий	8	Вхід.	Контр.	Дискрет.	КР L2 S11 / ПЛК	24 В	2 біт	0,1
10	Положення заслонки у каналі дуття	10	Вихід.	Кер.	Дискрет.	ПЛК / RR2A48D220	24 В	2 біт	0,1
11	Дросель на колошнику	11	Вихід.	Кер.	Дискрет.	ПЛК / RR2A48D220	24 В	2 біт	0,1

Підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора представлена як апаратно-програмний комплекс на базі персонального комп'ютера з операційною системою сімейства Microsoft Windows і SCADA системою Zenon, що виконує функції пульта оператора.

Підсистемою ведення архівів параметрів і подій є окремі програмні модулі SCADA системи Zenon.

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

Для системи автоматичного керування масообмінними процесами у шахті доменної печі була розроблена функціональна схема автоматизації (рис. 1.5) та електрична принципова схема (рис. 1.6).

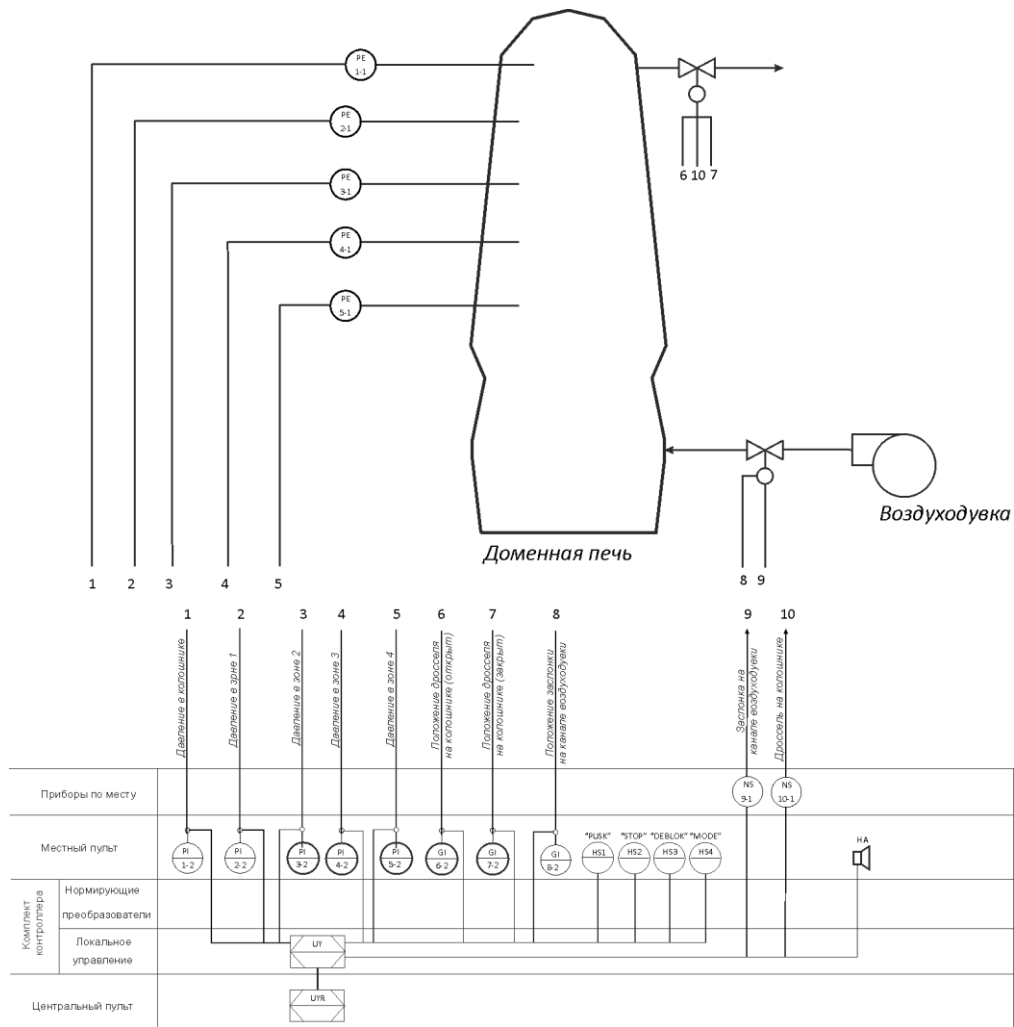


Рисунок 1.5 – Функціональна схема автоматизації

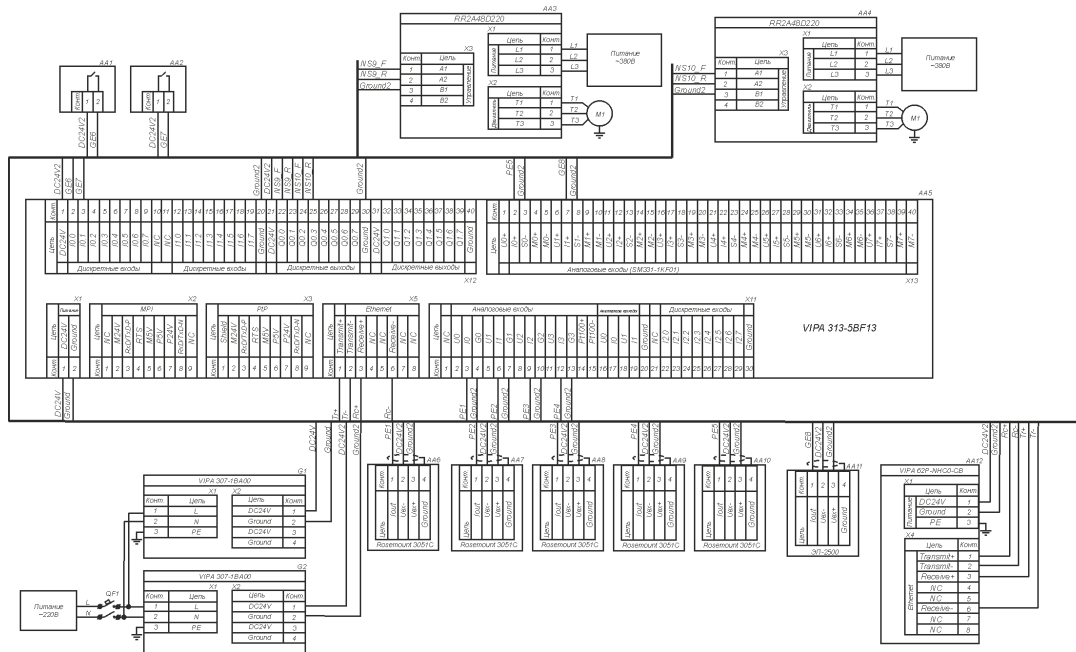


Рисунок 1.6 – Схема електрична принципова системи автоматичного керування

### **1.5 Формулювання завдань дослідження**

Для досягнення основної мети – забезпечення оптимальних значень критеріїв якості роботи системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі при змінних динамічних властивостях об'єкта керування необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи, та згідно з ним провести розрахунок регулятора верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі;

- провести дослідження залежності критеріїв якості роботи скоригованої системи автоматичного керування від параметрів об'єкта керування для режиму відпрацювання системою уставки та режиму компенсації дії збурення.

### **1.6 Висновки по розділу**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – доменна піч. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі згідно уставці. Предметом дослідження є закони автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

Особливість доменної печі як об'єкта автоматизації полягає в тому, що кожен з трьох основних процесів, що в ній протікають (газодинаміка, теплообмін та масообмін), має свій оптимальний рівень, при якому досягаються найкращі показники плавки. Мистецтво управління доменною піччю полягає в тому, щоб вести газодинамічні, тепло і масообмінні процеси в ній на оптимальному рівні.

Задачі підтримки газодинамічних, тепло і масообмінних процесів на оптимальному рівні вирішують інтелектуальні системи підтримки прийняття

рішень операторами печі. Ці системи формують уставки для регуляторів основних робочих параметрів печі, що знаходяться на нижньому рівні (рівні ПЛК) автоматизованої системи управління технологічним процесом, та входять до складу локальних систем автоматичного керування.

Система автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є одною з локальних систем керування, що виконують завдання інтелектуальної системи управління масообмінними процесами у шахті доменної печі. Отже, основною задачею для системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є якомога точне відтворення зміни реального перепаду тиску за зміною уставки даного технологічного параметру печі.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (регулюючий дросель у колошниковому газопроводі) та одним керованим виходом (верхній перепад тиску по шахті доменної печі), але складний характер газодинамічних, тепло і масообмінних процесів у робочому просторі печі призводить до “плавання” параметрів передаточної функції об'єкта керування, що робить його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження впливу зміни параметрів передаточної функції об'єкта керування на критерії якості роботи скоригованої системи автоматичного керування, й визначити діапазони змін значень параметрів передаточної функції, при яких критерії якості не виходять за допустимі межі. Це дозволить визначити область раціональної роботи скоригованої системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі, та використати цю інформацію для подальшого вдосконалення процесу керування.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Модель об'єкта керування

Проведемо структурну та параметричну ідентифікацію моделі об'єкта керування при автоматичному керуванні верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі за вихідними даними, що отримані у ході експерименту (рис.2.1 та рис.2.2). У ході цього експерименту відбувалося керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі через зміну витрат колошникового газу за умови присутності збурення у вигляді зміни оператором гарячого дуття. Вихідні дані при цьому є нормованими, оскільки отримані з використанням інформаційно-вимірювальної системи з попередньою обробкою даних.

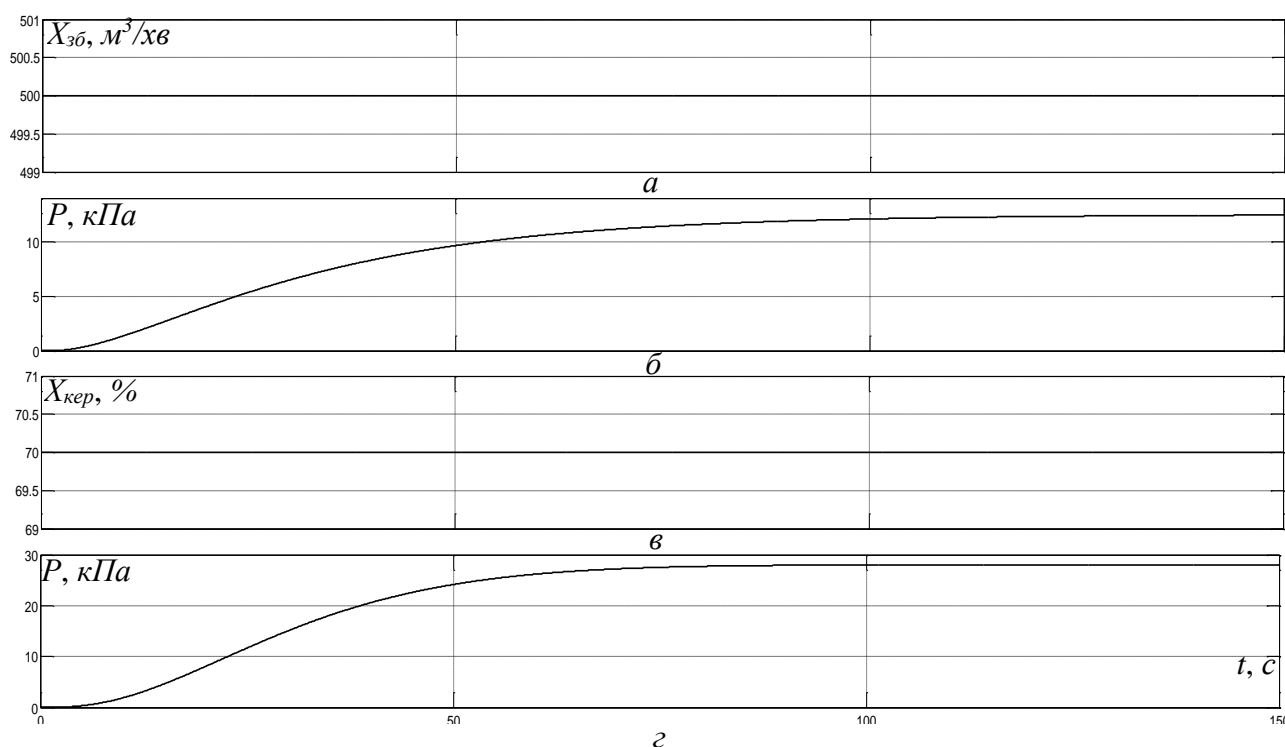


Рисунок 2.1 – Нормовані експериментальні графіки зміни у часі: *a* – керуючого впливу; *б* – верхнього перепаду тиску по шахті печі при зміні керуючого впливу; *в* – збурюючого впливу; *г* – верхнього перепаду тиску по шахті печі при зміні збурюючого впливу



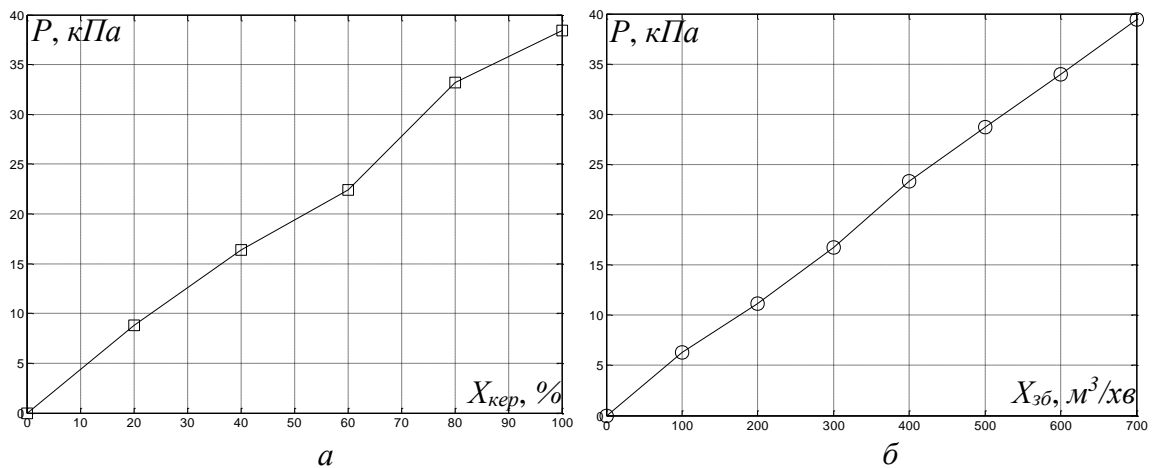


Рисунок 2.2 – Нормовані експериментальні статичні характеристики:  $a$  – за керуючим впливом;  $b$  – за збурюючим впливом

Проведемо ідентифікацію моделі об'єкта керування окремо для каналу «керуючий сигнал – керована величина», та для каналу «збурюючий сигнал – керована величина».

Результат параметричної ідентифікації об'єкта керування за кривою розгону з різною структурою моделі за каналом «керуючий сигнал – керована величина» з використанням додатку програми MATLAB «System Identification Tool» показаний на рис.2.3.

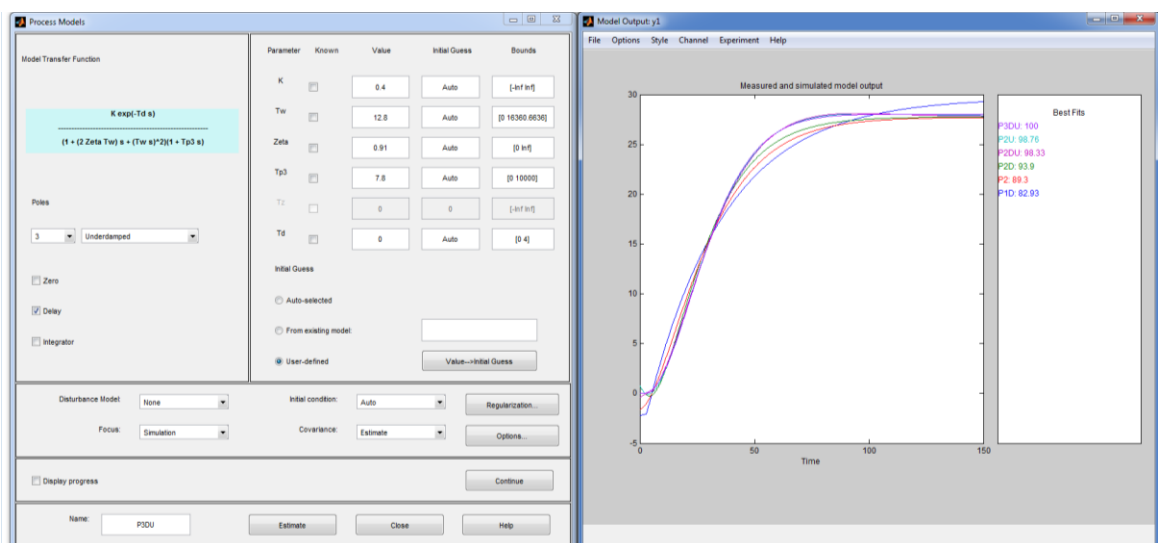


Рисунок 2.3 – Результати параметричної ідентифікації об'єкта керування за каналом «керуючий сигнал – керована величина»

На рис.2.3 для описання структури моделі об'єкта керування використані наступні позначення: P1D – один дійсний від'ємний корінь характеристичного рівняння та наявність транспортного запізнення; P2 – два дійсні від'ємні корені характеристичного рівняння; P2D – два дійсні від'ємні корені характеристичного рівняння та наявність транспортного запізнення; P2DU – два комплексні корені характеристичного рівняння та наявність транспортного запізнення; P2U – два комплексні корені характеристичного рівняння; P3DU – два комплексні та один дійсний корені характеристичного рівняння та наявність транспортного запізнення.

За аналізом результатів ідентифікації на рис.2.3 можна зробити висновок, що передаточна функція об'єкта керування за каналом «керуючий вплив – керована величина» складається з двох послідовно з'єднаних ланок – коливальної (коефіцієнт підсилення 0,4, постійна часу 12,8 с, коефіцієнт демпфування 0,91) та аперіодичної (коефіцієнт підсилення 1,0 та постійна часу 7,8 с):

$$W_{кер}(p) = \frac{0,4}{12,8^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 12,8 \cdot 0,91 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{7,8 \cdot p + 1}.$$

Як видно з передаточної функції об'єкта керування за каналом «керуючий сигнал – керована величина», не враховується транспортне запізнення, оскільки за результатами параметричної ідентифікації за відповідною структурою моделі об'єкта керування P3DU воно дорівнює нулю (Td на рис.2.3).

Далі проведена ідентифікація об'єкта керування за каналом «керуючий сигнал – керована величина» на основі експериментальної статичної характеристики (рис.2.2,а). Для цього використаний спеціальний додаток програми MATLAB “Basic Fitting”, який дозволяє проводити апроксимацію експериментальних даних поліномами різних ступенів за допомогою методу найменших квадратів. Результат даної ідентифікації показаний на рис.2.4.

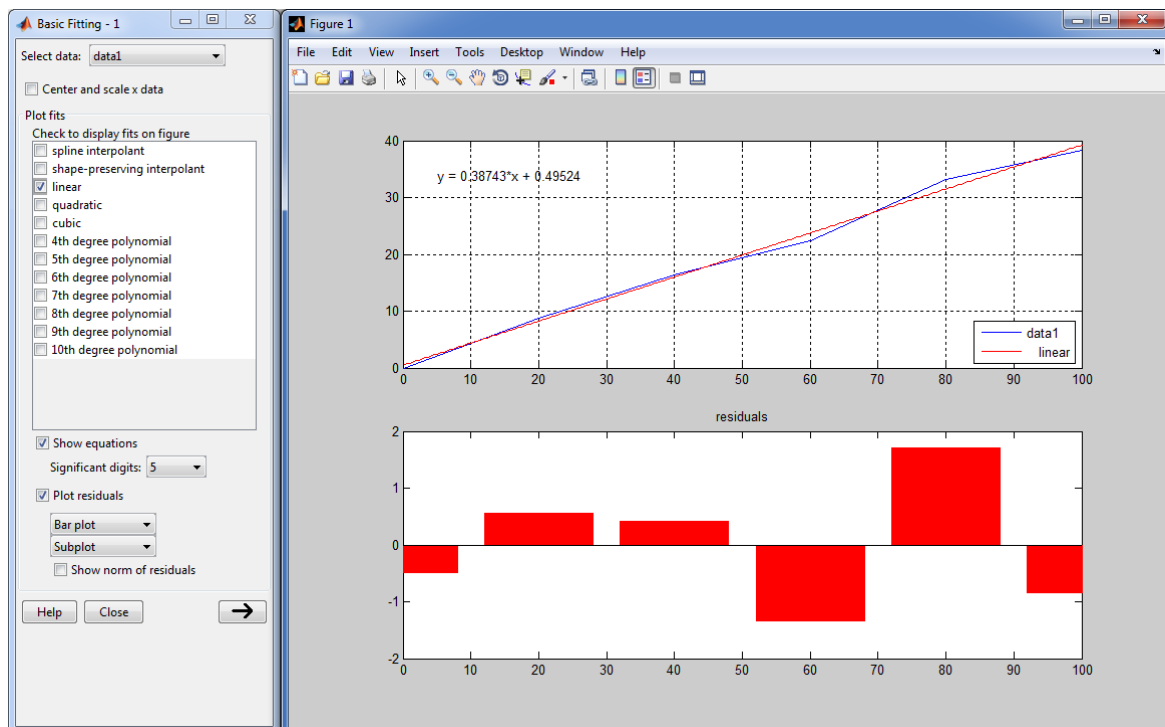


Рисунок 2.4 – Результат параметричної ідентифікації об’єкта керування за каналом «керуючий вплив → керована величина» на основі його експериментальної статичної характеристики

Апроксимація статичної характеристики об’єкта керування за каналом «керуючий вплив – керована величина» (рис.2.4) лінійним рівнянням показала, що статичну характеристику можна прийняти лінійною з допустимою точністю апроксимації (абсолютні відхилення координат експериментальної характеристики від апроксимуючого рівняння не перевищують 2, що у відносних одиницях менше 5%).

Далі проведена параметрична ідентифікація об’єкта керування за експериментальною кривою розгону з застосуванням різної структури моделі за каналом «збудуючий сигнал – керована величина». При цьому також використаний додаток програми MATLAB «System Identification Tool». Результат ідентифікації показаний на рис.2.5. Позначення структури моделі об’єкта керування на рис.2.5 такі самі, як на рис.2.3.

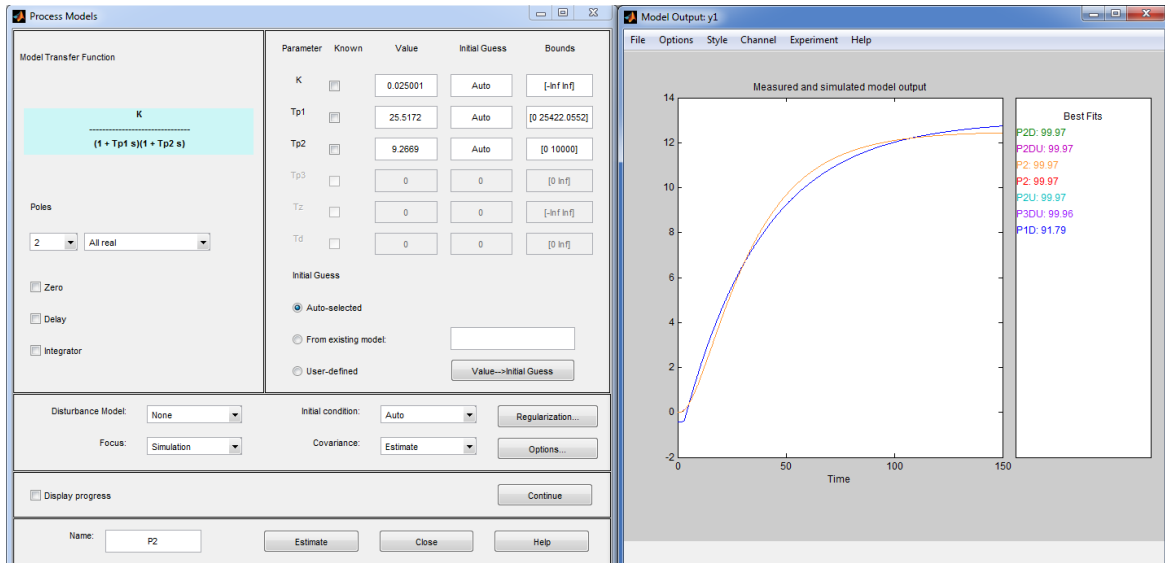


Рисунок 2.5 – Вікно налаштувань процесу ідентифікації “Process Models” додатку “Ident” (зліва) та вікно результату параметричної ідентифікації (справа) для ідентифікації об’єкта керування за каналом «збурення → керована величина»

На основі аналізу результату ідентифікації на рис.2.5 можна зробити висновок, що передаточна функція об’єкта управління за каналом «збурюючий сигнал – керована величина» складається з двох послідовно з’єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 25,5 та 9,3 с та загальним коефіцієнтом підсилення 0,025, оскільки більш складні структури моделі об’єкта керування забезпечили такий самий показник точності ідентифікації – 99,97%, а нові параметри у більш складних моделях за результатами ідентифікації прагнули до нуля. Таким чином, передаточна функція об’єкта керування за каналом «збурення → керована величина»:

$$W_{зб}(p) = \frac{0,025}{25,5 \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{9,3 \cdot p + 1}$$

Апроксимація статичної характеристики об’єкта керування за каналом «збурюючий вплив – керована величина» (рис.2.6) дозволила зробити

висновок, що ця характеристика також є лінійною з допустимою точністю апроксимації (абсолютні відхилення координат експериментальної характеристики від апроксимуючого рівняння не перевищили 0,001, що у відносних одиницях менше 0,5%).

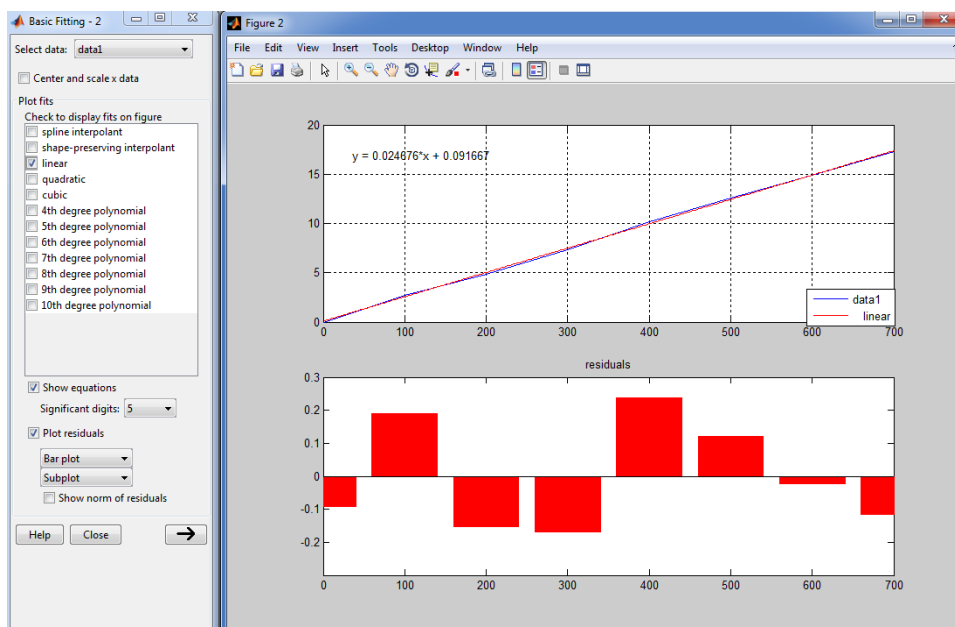


Рисунок 2.6 – Результат параметричної ідентифікації на основі експериментальної статичної характеристики за каналом «збурюючий вплив – керована величина» за допомогою додатку “Basic Fitting”

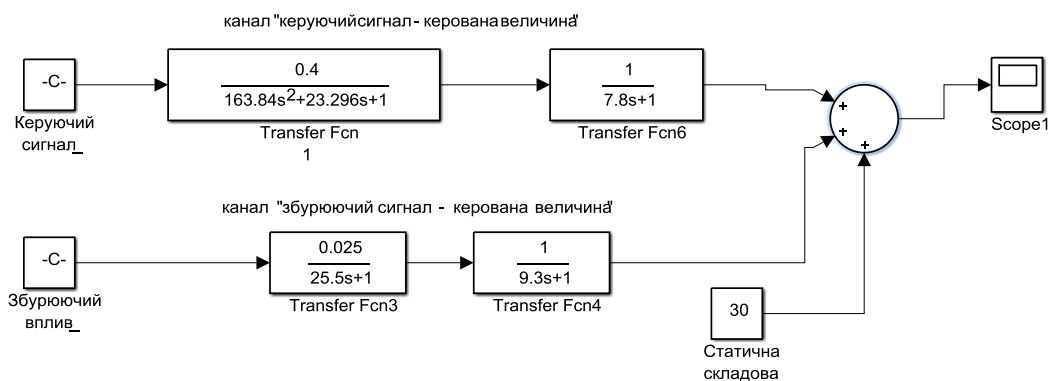


Рисунок 2.7 – Схема імітаційної моделі об’єкта керування у додатку Simulink програми MATLAB

З урахуванням результатів параметричної ідентифікації на рис.2.3-2.6 у додатку математичного пакету MATLAB «Simulink» розроблена модель об'єкта керування (рис.2.7).

Аналіз експериментальних статичних характеристик об'єкта керування показав, що за умови дії збурюючого впливу кут нахилу статичної характеристики за каналом керування «керуючий вплив → керована величина» не змінюється. Тож, на рис.2.7 збурюючий сигнал впливає на керовану величину через суматор. При цьому з аналізу технологічного процесу у першому розділі враховується пряма залежність між керованою величиною (верхній перепад тиску по шахті печі) та збуренням (гаряче дуття).

Оскільки верхній перепад тиску по шахті доменної печі змінюється у діапазоні значень від 30 до 70 кПа, на вихід моделі об'єкта керування подається статична складова 30 кПа. Але звернемо увагу, що діапазон зміни значень величин у каналах «керуючий вплив – керована величина» та «збурюючий вплив – керована величина» починається з нуля, оскільки при автоматичному керуванні за відхиленням керованої величини від уставки з використанням від'ємного зворотного зв'язку завжди береться відносний діапазон зміни значень.

## **2.2 Критерії якості функціонування системи керування**

Перехідний процес на виході системи автоматичного керування за умови відпрацювання нею зміни уставки відрізняється від перехідного процесу при компенсації системою збурення. З урахуванням цього, приймемо критерії якості роботи системи автоматичного керування окремо для відпрацювання зміни уставки та компенсації впливу збурення.

На основі рис. 2.8 розглянемо основні та другорядні показники якості перехідного процесу:

– час перехідного процесу  $t_0$  (це час, протягом якого керована величина стає рівною або меншою за величину деякого значення  $\Delta$ );

- величина максимального перерегулювання  $\delta_m$  (для технічних систем приймають  $\delta_m = 5 \div 30\%$ );
- час максимального перерегулювання  $t_m$  (це час, за який керована величина досягає першого максимуму);
- час наростання перехідного процесу  $t_n$  (це час, за який керована величина досягає усталеного значення);
- кількість перерегулювань  $n$  на інтервалі часу  $0 < t < t_0$  (звичайно прийнятним є  $n = 1 \div 2$ );
- усталена (статична) похибка системи  $x_{уст}$  (це різниця між заданим та дійсним значеннями керованої величини в усталеному режимі).

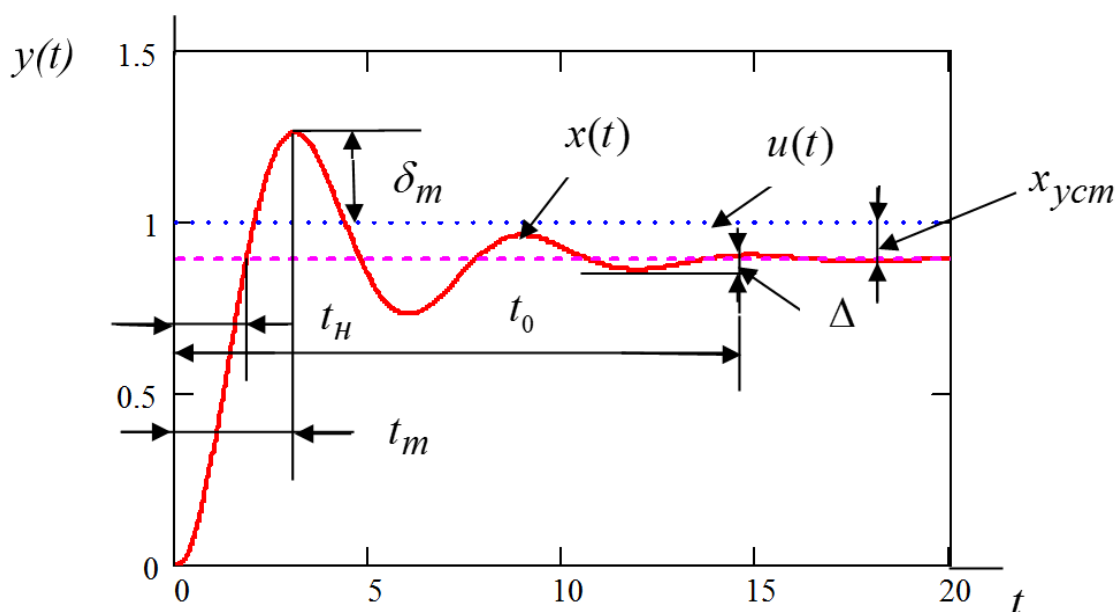


Рисунок 2.8 – Перехідний процес на виході САК за умови східчастої зміни керуючого сигналу

З оглядом на завдання керування проектованої системи автоматичного керування та на результати аналізу доменної печі як об'єкта автоматизації запропоновано серед вище описаних критеріїв якості перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни керуючого сигналу прийняти наступні критерії:

- час перехідного процесу  $t_0$  (рис.2.8) повинний бути якомога менше;
- величина перерегулювання  $\delta_m$  не повинна перевищувати 5%;
- усталена (статична) похибка системи  $x_{уст}$  повинна дорівнювати нулю.

Перехідний процес на виході системи автоматичного керування при компенсації нею збурення у загальному вигляді можна представити так, як на рис.2.9.

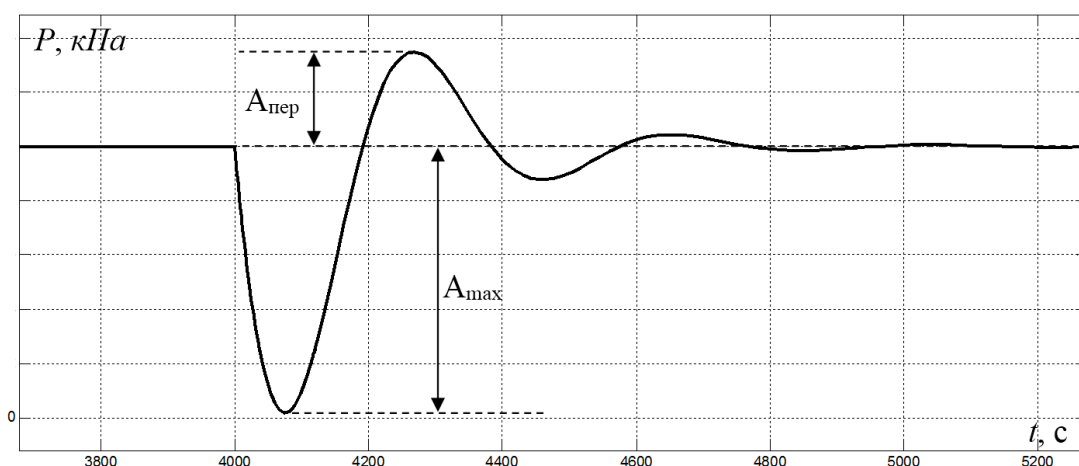


Рисунок 2.9 – Перехідний процес на виході скоригованої системи автоматичного керування за умови відпрацювання східчастого збурюючого впливу

З оглядом на завдання керування проектованої системи автоматичного керування та на результати аналізу доменної печі як об'єкта автоматизації, при компенсації системою збурення прийняті наступні критерії якості перехідного процесу:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки  $A_{max}$  (рис.2.9) не повинно перевищувати рівень 5%;
- величина максимального перерегулювання  $A_{пер}$  з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 3,5%.

Перший обраний критерій якості роботи системи автоматичного керування за умови відпрацювання системою зміни уставки потребує



попереднє знання мінімального часу перехідного процесу для оцінювання швидкодії скоригованої системи. Отже, розрахуємо оптимальний за швидкістю регулятор методом максимуму Понтрягіна. Для спрощення розрахунку будемо використовувати спрощену модель об'єкта керування з двома дійсними від'ємними коренями характеристичного рівняння, яка також досить точно імітує перехідний процес на виході системи (точність ідентифікації об'єкта керування за цією моделлю склала 89,3% (рис.2.3)).

З урахуванням результатів апроксимації на рис.2.3, у математичному пакеті MathCad написана програма для розрахунку оптимального за швидкістю регулятора методом максимуму Понтрягіна (програма 2.1)

### Програма 2.1 – Розрахунок оптимального за швидкістю регулятора

Параметри об'єкту управління:

$$T1 := 16.0 \quad T2 := 15.7 \quad K := 1$$

Обчислимо корні характеристичного рівняння об'єкту управління:

$$p2 := \frac{-1}{T1} \quad p1 := \frac{-1}{T2}$$

Початкові значення моментів переключення регулятора:

$$t1 := 1 \quad t2 := 1$$

Задамо кінцеве значення керованої величини:

$$yk := 0.7$$

Задамо мінімальне та максимальне значення керуючого сигналу:

$$Umin := 0 \quad Umax := 1$$

Обчислимо постійні інтегрування для різних інтервалів керування:

$$A21(t2) := \frac{-p2 \cdot (yk + K \cdot Umin)}{(p1 - p2) \cdot e^{p1 \cdot t2}}$$

$$A22(t2) := \frac{p1 \cdot (yk + K \cdot Umin)}{(p1 - p2) \cdot e^{p2 \cdot t2}}$$

$$A11 := 1 \quad A12 := 1$$

Given

$$K \cdot U_{\max} + A11 + A12 = C$$

$$p1 \cdot A11 + p2 \cdot A12 = 0$$

$$A1 := \text{Find}(A11, A12)$$

end

$$\underline{A11} := A1_0 \quad \underline{A12} := A1_1$$

$$A11 = 65.667 \quad A12 = -66.667$$

Виразимо стиковані для різних інтервалів керування рівняння для керованого сигналу та його похідної відносно першого моменту переключення:

$$F1(t2) := \frac{\ln \left[ \frac{K \cdot (U_{\max} - U_{\min}) \cdot p2}{(A11 - A21(t2)) \cdot (p1 - p2)} \right]}{p1}$$

$$F2(t2) := \frac{\ln \left[ \frac{-K \cdot (U_{\max} - U_{\min}) \cdot p1}{(A12 - A22(t2)) \cdot (p1 - p2)} \right]}{p2}$$

Розрахуємо другий момент переключення, при якому  $F1 = F2$ :

Given

$$\frac{\ln \left[ \frac{K \cdot (U_{\max} - U_{\min}) \cdot p2}{(A11 - A21(t2)) \cdot (p1 - p2)} \right]}{p1} = \frac{\ln \left[ \frac{-K \cdot (U_{\max} - U_{\min}) \cdot p1}{(A12 - A22(t2)) \cdot (p1 - p2)} \right]}{p2}$$

$$\underline{t2} := \text{Find}(t2)$$

$$t2 = 40.838$$

Перший момент переключення:

$$F1(t2) = 36.82 \quad \underline{t1} := F1(t2)$$

Для більш наглядної перевірки правильності роботи оптимального за швидкодією регулятора у додатку Simulink створена схема для випадку представлення об'єкта керування з коефіцієнтом підсилення одиниця (рис.2.10).

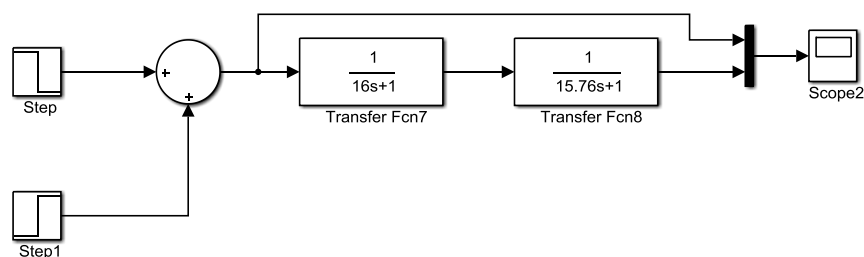


Рисунок 2.10 – Схема системи автоматичного керування з оптимальним за швидкодією регулятором за умови представлення об'єкта керування передаточною функцією з двома дійсними коренями

Результат роботи оптимального за швидкодією регулятора для випадку передаточної функції об'єкта керування другого порядку наведений на рис.2.11 (керована величина змінюється у нормованому діапазоні від 0 до 1).

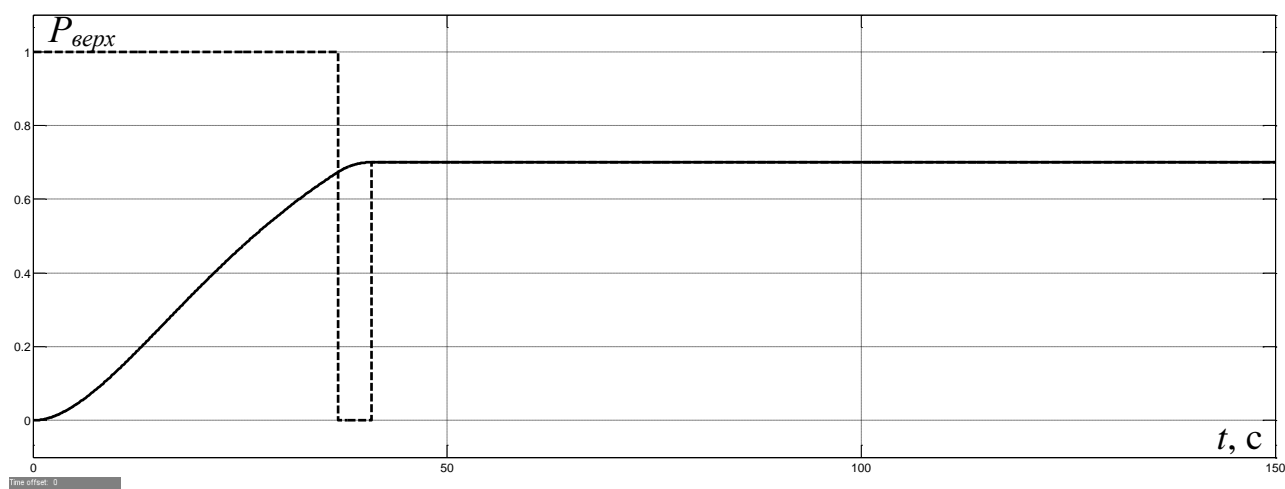


Рисунок 2.11 – Перевірка роботи оптимального за швидкодією регулятора за умови представлення об'єкта передаточною функцією з двома дійсними коренями

Рисунок 2.11 підтверджує правильність роботи оптимального за швидкодією регулятора – ми бачимо, що після другого переключення регулятора на 40,8 с керована величина виходить на заданий рівень 0,7 (70% від максимального значення уставки).

### 2.3 Висновки по розділу

1. За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначені динамічні моделі за каналами “керуючий сигнал – керована величина” та “збурюючий сигнал – керована величина”. Модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина” складається з послідовно з'єднаних двох ланок – коливальної (коефіцієнт підсилення 0,4, постійна часу 12,8 с, коефіцієнт демпфування 0,91) та аперіодичної (коефіцієнт підсилення 1,0 та постійна часу 7,8 с). Модель за каналом “збурюючий сигнал – керована величина” складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 25,5 та 9,3 с та загальним коефіцієнтом підсилення 0,025. За обома каналами статична характеристика є лінійною.

2. З оглядом на завдання керування проектованої системи автоматичного керування та на результати аналізу доменної печі як об'єкта автоматизації при відпрацюванні системою зміни уставки прийняті наступні критерії якості її роботи:

- час перехідного процесу повинний бути якомога менше;
- величина перерегулювання не повинна перевищувати 5%;
- усталена (статична) похибка системи повинна дорівнювати нулю.

При цьому мінімальна тривалість перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни уставки з 0 до 70% дорівнює 40,8 с.

3. З оглядом на завдання керування проектованої системи автоматичного керування та на результати аналізу доменної печі як об'єкта автоматизації, при компенсації системою збурення прийняті наступні критерії якості її роботи:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки не повинно перевищувати рівень 5%;

– величина максимального перерегулювання з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 3,5%.

4. Аналіз доменної печі як об'єкта керування показав, що на процеси усередині печі впливають багато непередбачуваних факторів, через що динамічні властивості печі є змінними. З урахуванням цього, як за умови відпрацювання уставки, так і за умови відпрацювання збурення до системи пред'являються додаткові вимоги щодо рівня робастності:

- запас стійкості за амплітудою повинен бути не менше 12 Дб;
- запас стійкості за фазою повинен бути не менше 45 град.



Імітацію роботи ПІД-регулятора верхнього перепаду тиску по шахті печі здійснює блок “PID Controller” (рис.3.1), що має вбудований інструмент для автоматичного налаштування регулятора «PID Tuner». Відносна вихідна величина регулятора також змінюється у діапазоні від 0 до 100%, тож з урахуванням цього в налаштуваннях блоку “PID Controller” введено відповідне обмеження вихідного сигналу з активацією захисту від насичення інтегральної складової (Anti-windup method: clamping на рис.3.2).

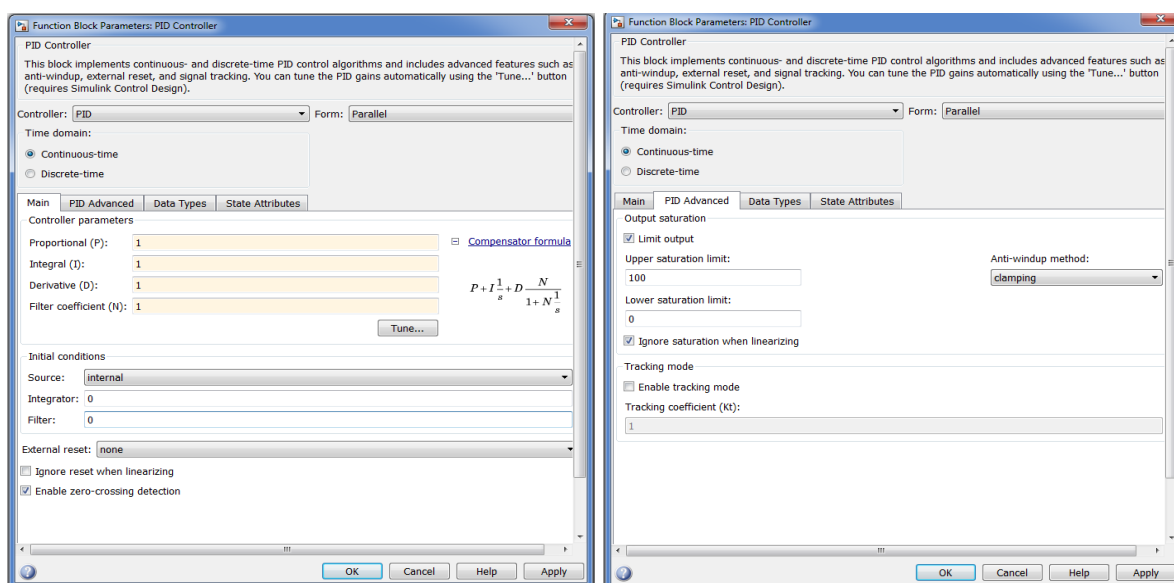


Рисунок 3.2 – Головне та допоміжне меню налаштувань блоку “PID Controller”

Далі проведемо синтез системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі за допомогою інструменту програми MATLAB “PID Tuner”. В цьому інструменті відбувається лінеаризація об’єкта керування та автоматично визначаються настройки ПІД-регулятора з оптимальною комбінацією швидкодії системи автоматичного керування, її стійкості та ширини діапазону робочих частот. Також цей інструмент надає користувачеві можливість здійснювати додаткове налаштування ПІД-регулятора, коригуючи швидкодію системи (повзунок “Response time” на рис.3.3), або характеристики її стійкості (повзунок “Transient behavior”).

Як приклад, на рис.3.3 показаний варіант автоматичного налаштування ПІД-регулятора без додаткового ручної настройки.

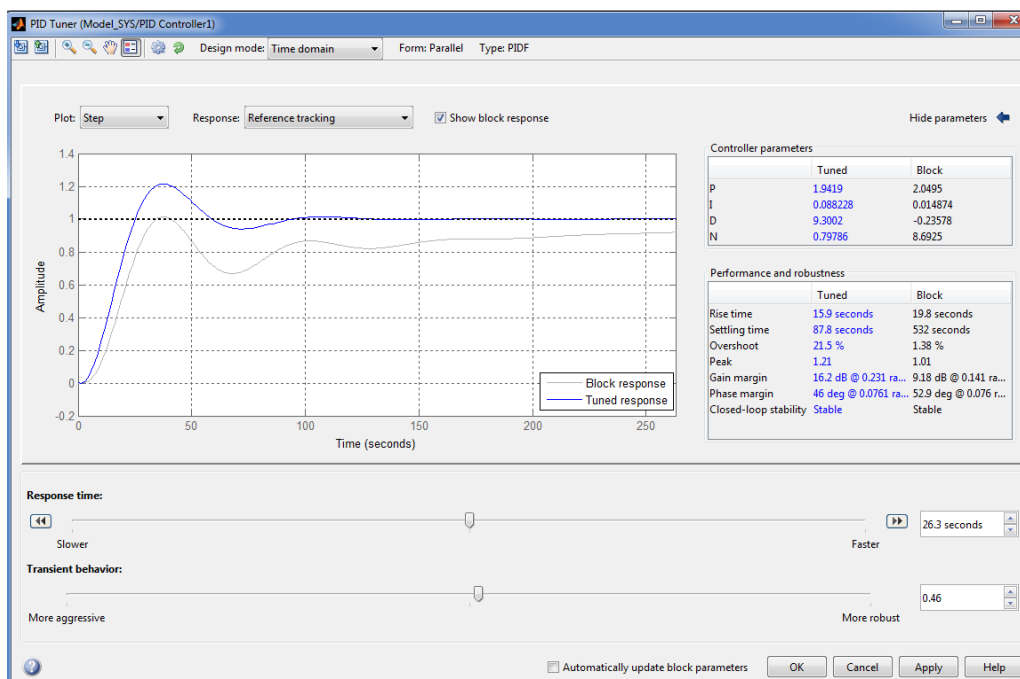


Рисунок 3.3 – Меню налаштувань додатку “PID Tuner” програми Simulink математичного пакету MATLAB за умови переважання диференційної складової (вага – 82,1%)

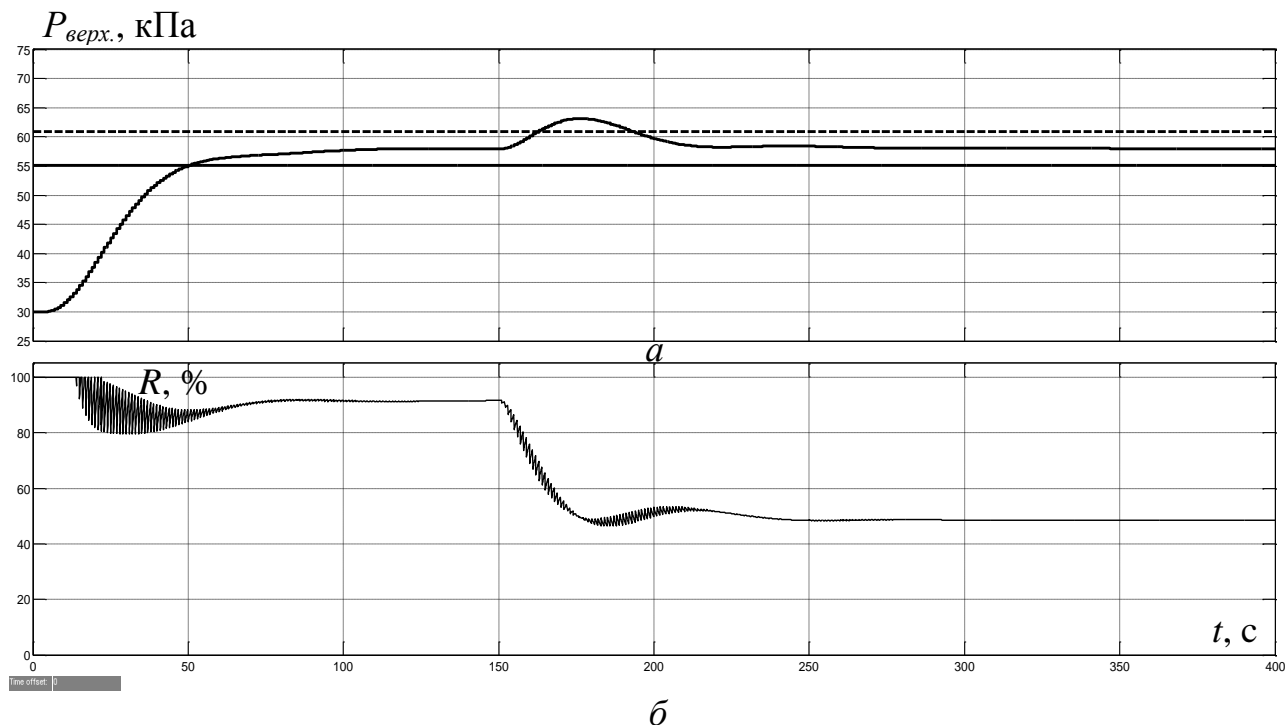


Рисунок 3.4 – Зміна у часі верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі (*a*), керуючого сигналу на виході регулятора (*б*) за умови переважання диференційної складової регулятора (вага – 82,1%)



З рисунку 3.3 можна бачити, що за умовчанням інструмент “PID Tuner” визначає параметри ПІД-регулятора зі значною вагою його диференційної складової (82,1%).

Як наслідок, у перехідному процесі на виході ПІД-регулятора присутні значні коливання керуючого сигналу з відносно високою частотою (рис.3.4,б), що є наслідком невдалої настройки ПІД-регулятора. Це є неприпустимим через нераціональний режим роботи приводу заслінки у колошниковому газопроводі, коли заслінка постійно та з відносно високою частотою обертається навколо свого оптимального положення.

З урахуванням цього, у вікні настройок інструменту “PID Tuner” здійснене додаткове налаштування ПІД-регулятора таким чином, щоб усунути диференційну складову (рис.3.5).

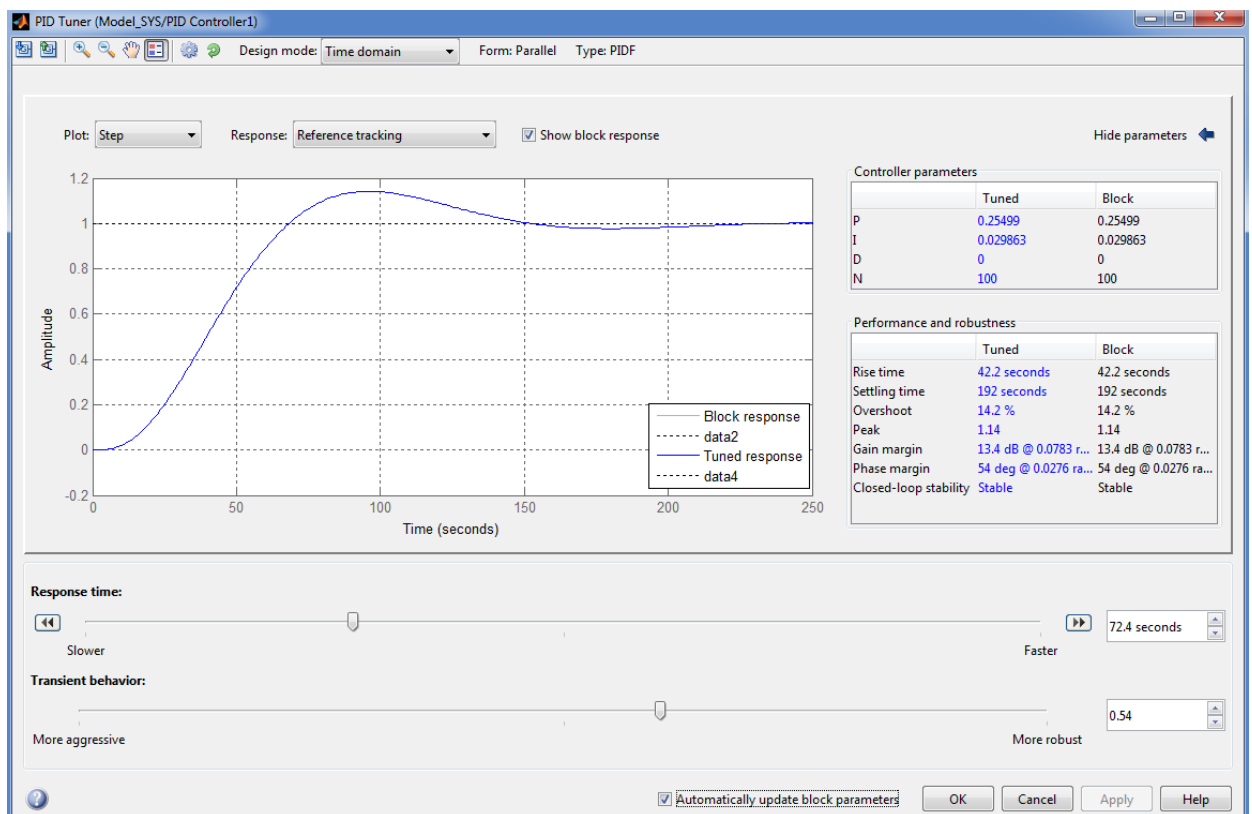


Рисунок 3.5 – Меню настройок додатку “PID Tuner” програми Simulink математичного пакету MATLAB за умови загального коефіцієнту 0,285 та ваги пропорціональної складової 89,5%

На рис.3.5 представлений варіант настройки ПД-регулятора без диференційної складової з загальним коефіцієнтом підсилення 0,285 та вагою пропорціональної складової 89,5%. З рис.3.5 видно що вимоги щодо рівня робастності системи автоматичного керування виконуються, але швидкодія системи знаходиться на низькому рівні як за умови відпрацювання уставки (час перехідного процесу – 70,9 с (рис.3.6,а), що на 73,8% повільніше у порівнянні з оптимальним за швидкодією регулятором), так і за умови відпрацювання збурення (час відпрацювання найбільш складного збурення у вигляді різкої східчастої зміни у часі гарячого дуття на 30% – 78,4 с (рис.3.6,а)). При цьому при відпрацюванні збурення максимальне відносне відхилення керованої величини від заданого значення складає 17,2%, що не задовольняє пред'явленим до системи керування вимогам.

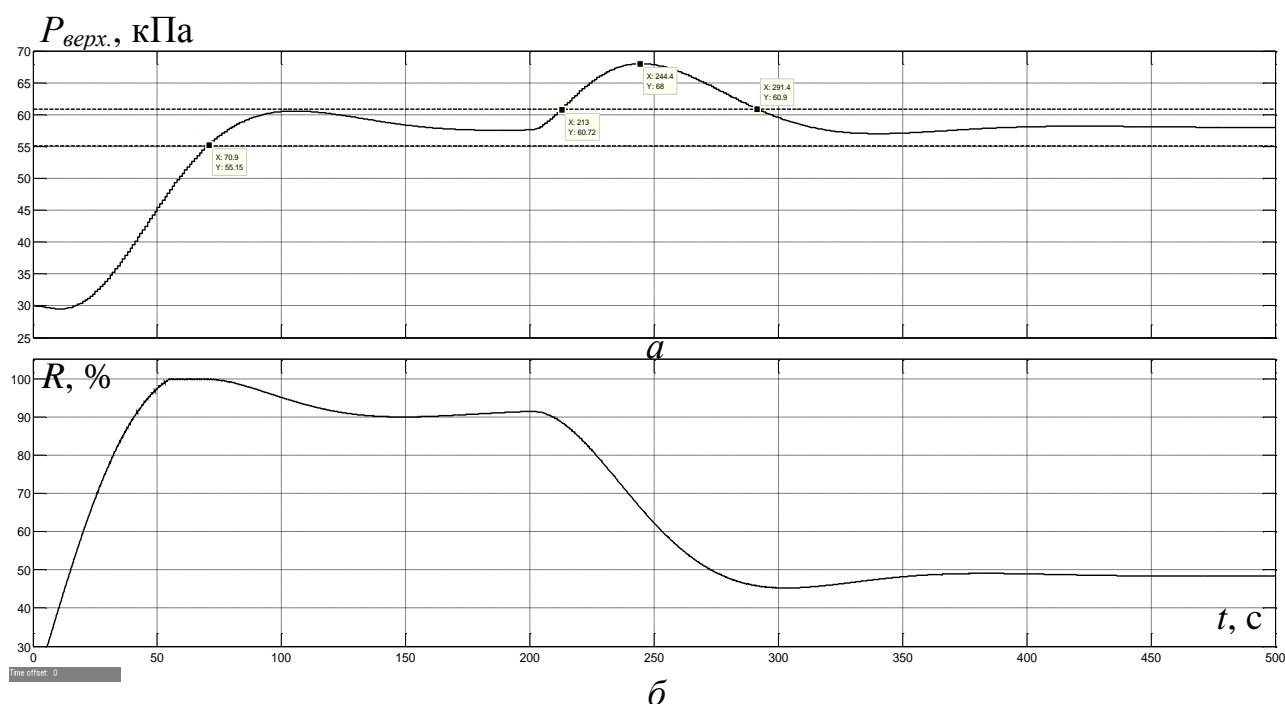


Рисунок 3.8 – Зміна у часі перепаду тиску у нижній частині шахти доменної печі (а), керуючого сигналу на виході регулятора (б) за умови загального коефіцієнту 0,285 та ваги пропорціональної складової 89,5%

Також з рис.3.6,б видно, що усунення диференційної складової ПД-регулятора дозволило усунути значні коливання керуючого сигналу з відносно високою частотою.

З метою підвищення швидкодії системи автоматичного керування для виконання пред'явлених до системи вимог проведено дослідження залежності критеріїв якості роботи системи від таких характеристик ПД-регулятора, як загальний коефіцієнт підсилення та відносна вага пропорційної складової регулятора за умови забезпечення встановлених раніше вимог щодо запасу стійкості системи по амплітуді та фазі. Для цього проведена сукупність обчислювальних експериментів на основі розробленої імітаційної моделі системи автоматичного керування (рис.3.1), у ході яких відбувалося поступове збільшення загального коефіцієнта підсилення та відносної ваги пропорційної складової регулятора з подальшим аналізом для кожного випадку окремо критеріїв якості роботи системи керування.

На рис.3.9 показаний результат настройки ПД-регулятора для загального коефіцієнта підсилення 0,4. Відносна вага пропорційної складової регулятора при цьому склала 91,8%.

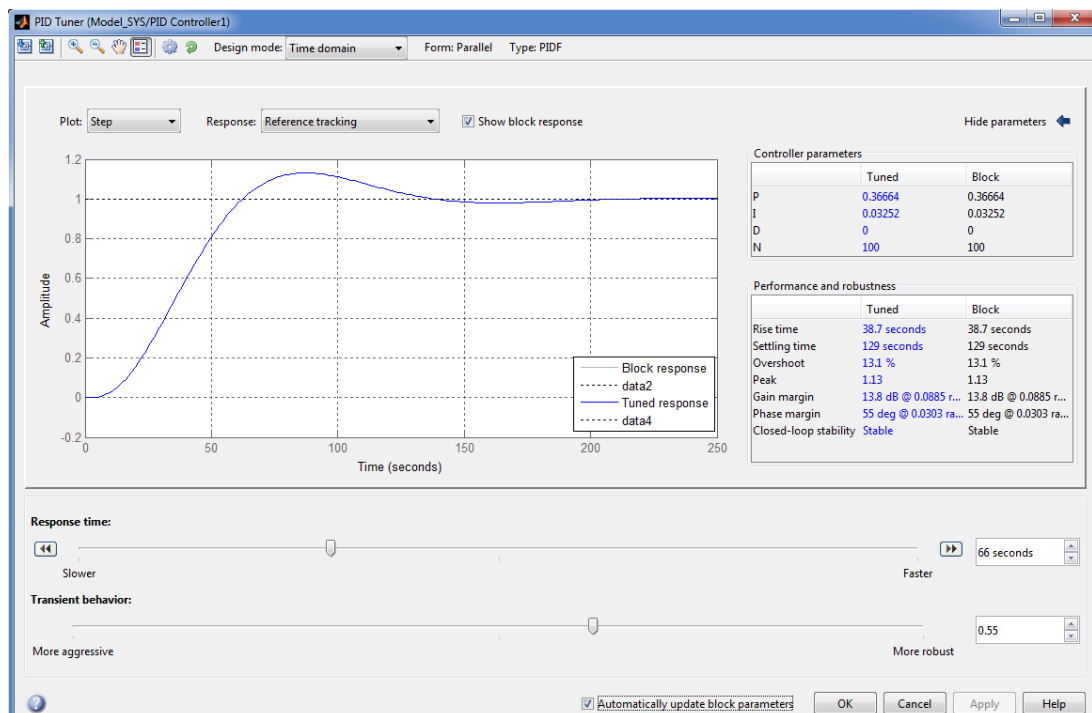


Рисунок 3.9 – Меню настройок додатку “PID Tuner” програми Simulink математичного пакету MATLAB за умови загального коефіцієнту 0,4 та ваги пропорційної складової 91,8%

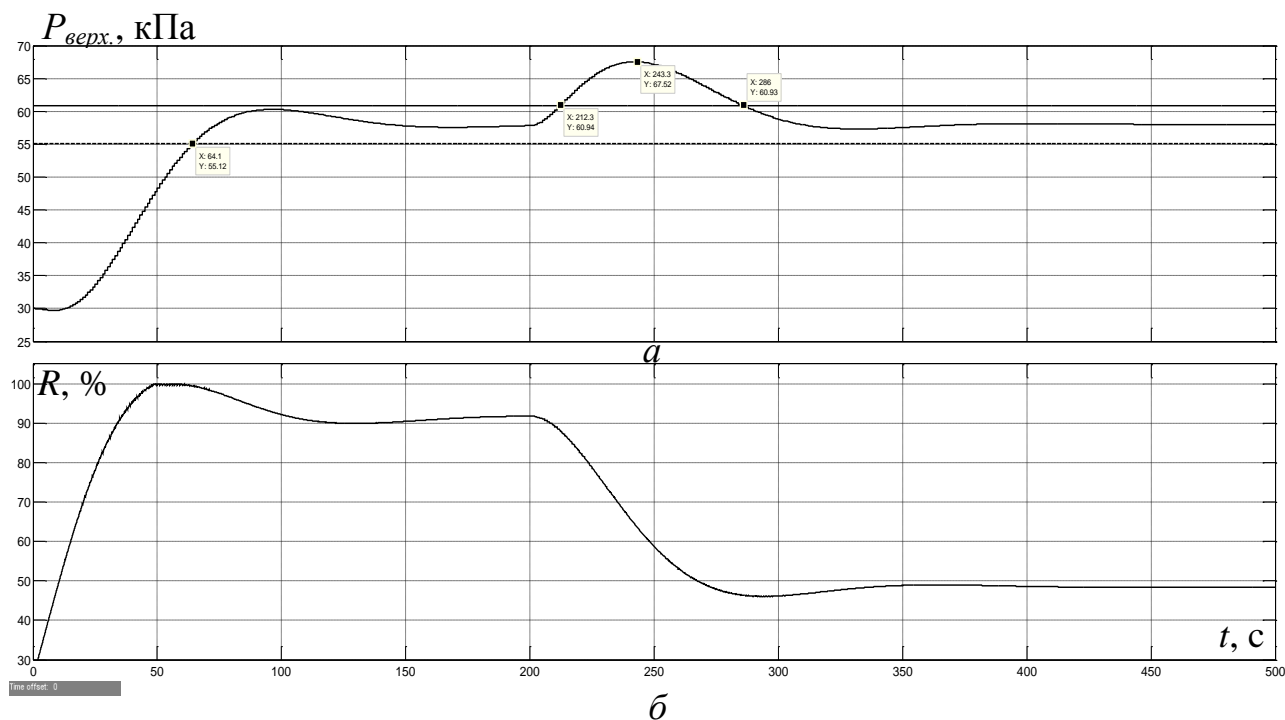


Рисунок 3.10 – Зміна у часі перепаду тиску у нижній частині шахти доменної печі (а), керуючого сигналу на виході регулятора (б) за умови загального коефіцієнту 0,4 та ваги пропорційної складової 91,8%

Аналіз рис.3.10,а показує, що характеристики швидкодії системи автоматичного керування дещо покращились за рахунок появи незначного часового інтервалу, на якому керуючий сигнал дорівнює своєму максимальному значенню 100% (рис.3.10,б), але вони все одно є не дуже хорошими – час перехідного процесу за умови відпрацювання зміни уставки дорівнює 64,1 с (на 57,1% повільніше у порівнянні з оптимальним за швидкодією регулятором), час відпрацювання збурення – 74 с. При цьому при відпрацюванні збурення максимальне відносне відхилення керованої величини від заданого значення все ще значне – 16,4%.

Таким чином, можна зробити висновок щодо доцільності подальшого збільшення загального коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора та відносної ваги його пропорційної складової. На рис.3.11 показаний результат настройки ПІД-регулятора для загального коефіцієнта підсилення 0,56. Відносна вага пропорційної складової регулятора при цьому склала 93,4%.

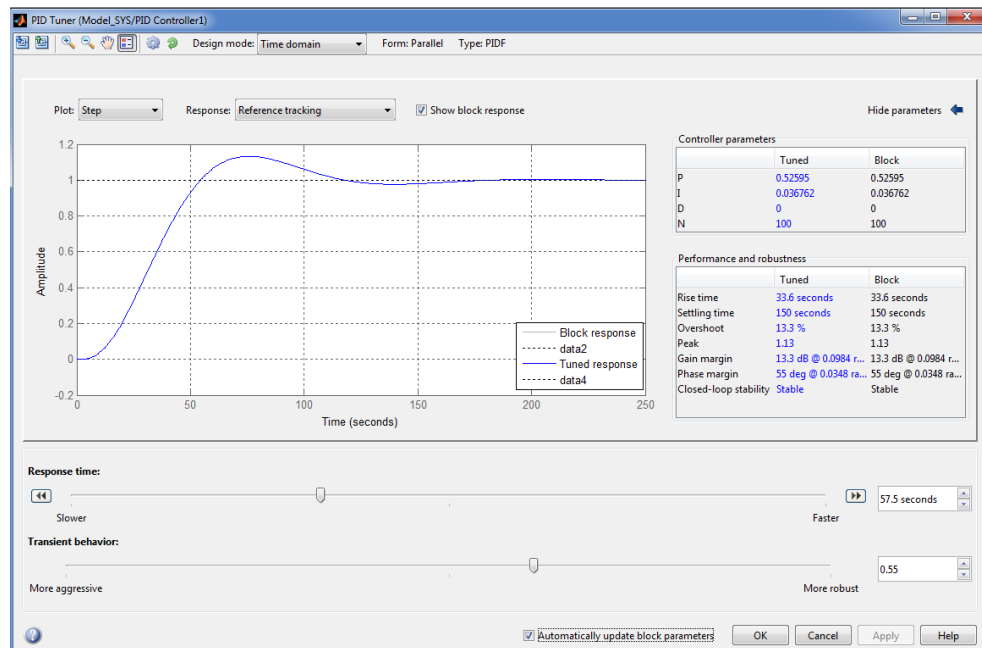


Рисунок 3.11 – Меню налаштувань додатку “PID Tuner” програми Simulink математичного пакету MATLAB за умови загального коефіцієнту 0,56 та ваги пропорційної складової 93,4%

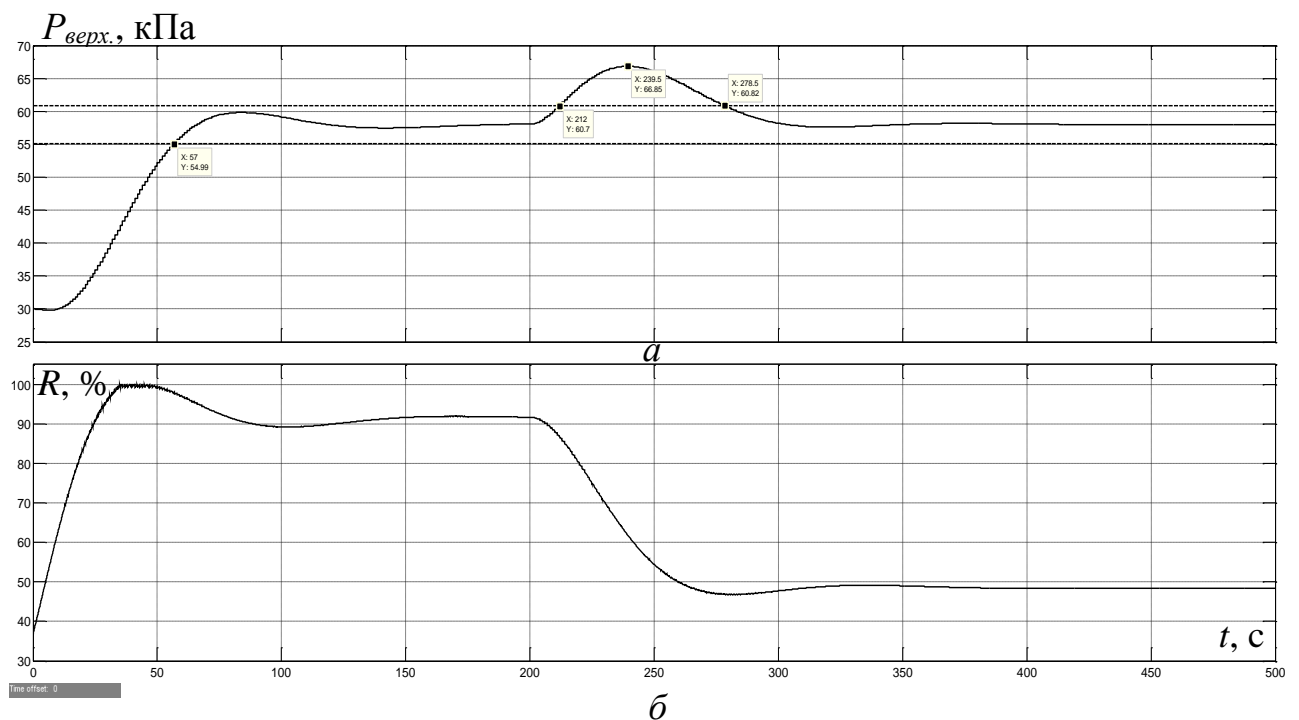


Рисунок 3.12 – Зміна у часі перепаду тиску у нижній частині шахти доменної печі (а), керуючого сигналу на виході регулятора (б) за умови загального коефіцієнту 0,56 та ваги пропорційної складової 93,4%

З рис.3.12,б видно, що інтервал часу, на якому керуючий сигнал становить 100%, ще збільшився, за рахунок чого ще більше покращилися показники швидкодії системи керування (рис.3.12,а) – час перехідного процесу за умови відпрацювання зміни уставки дорівнює 57 с (на 39,7% повільніше у порівнянні з оптимальним за швидкодією регулятором), час відпрацювання збурення – 66,5 с. Але максимальне відносне відхилення керованої величини від заданого значення при відпрацюванні збурення все ще залишається значним та дорівнює 15,3%.

На рис.3.13 показаний результат настройки ПД-регулятора для загального коефіцієнта підсилення 0,77. Відносна вага пропорційної складової регулятора при цьому склала 95,2%.

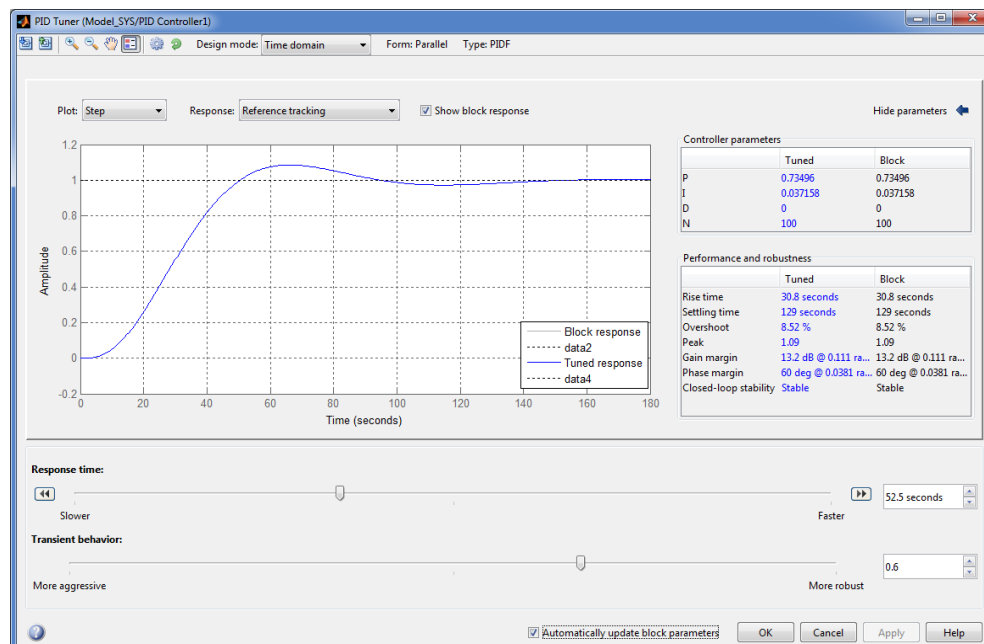


Рисунок 3.13 – Меню настройок додатку “PID Tuner” програми Simulink математичного пакету MATLAB за умови загального коефіцієнту 0,772 та ваги пропорційної складової 95,2%

З аналізу рис.3.14 можна зробити висновок щодо продовження тенденції покращення критеріїв якості роботи системи автоматичного керування при збільшенні загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора та відносної ваги

його пропорційної складової – час перехідного процесу за умови відпрацювання зміни уставки дорівнює 52 с (на 27,5% повільніше у порівнянні з оптимальним за швидкодією регулятором), час відпрацювання збурення – 61,9 с. Максимальне відносне відхилення керованої величини від заданого значення при відпрацюванні збурення все ще залишається значним та дорівнює 14,2%.

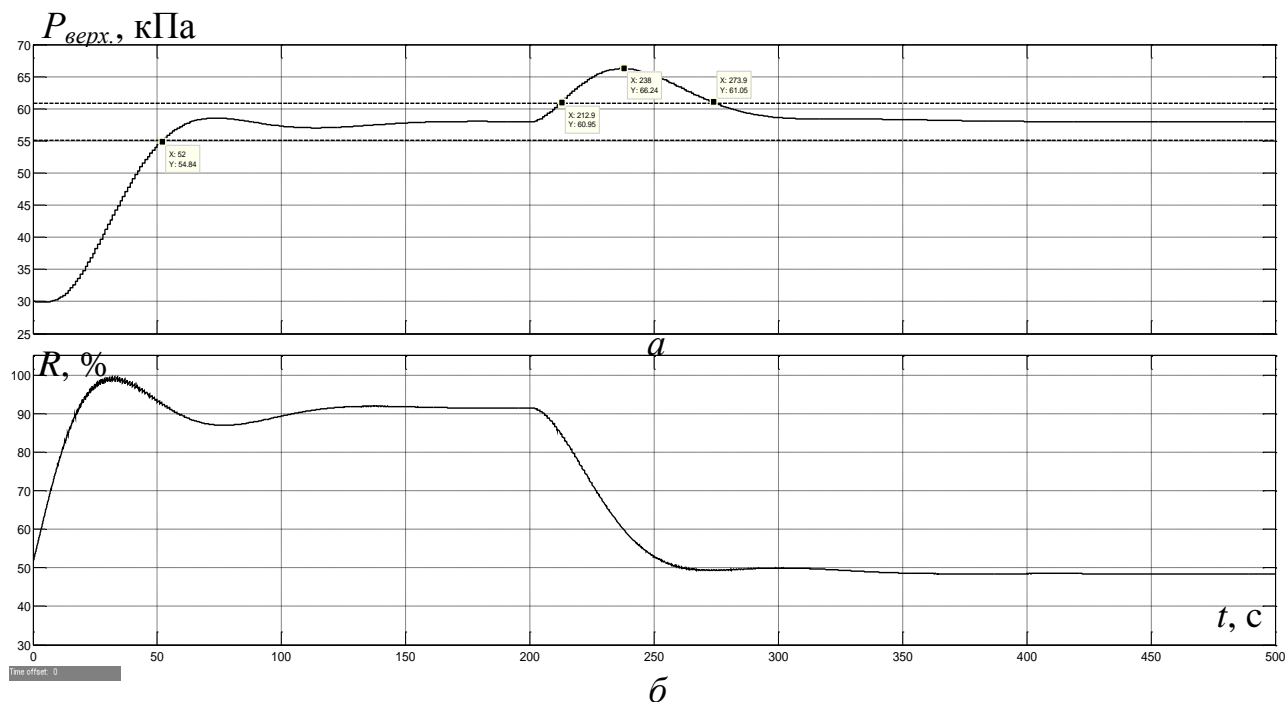


Рисунок 3.14 – Зміна у часі перепаду тиску у нижній частині шахти доменної печі (а), керуючого сигналу на виході регулятора (б) за умови загального коефіцієнту 0,772 та ваги пропорційної складової 95,2%

Таким чином, з рахуванням результатів останнього обчислювального експерименту, продовжуємо далі збільшувати загальний коефіцієнт підсилення ПД-регулятора та відносну вагу його пропорційної складової.

На рис.3.15 показаний результат настройки ПД-регулятора для загального коефіцієнта підсилення 0,854. Відносна вага пропорційної складової регулятора при цьому склала 96%.

Результати обчислювального експерименту при моделюванні роботи системи автоматичного керування з загальним коефіцієнтом підсилення ПД-регулятора 0,854 показані на рис.3.16.

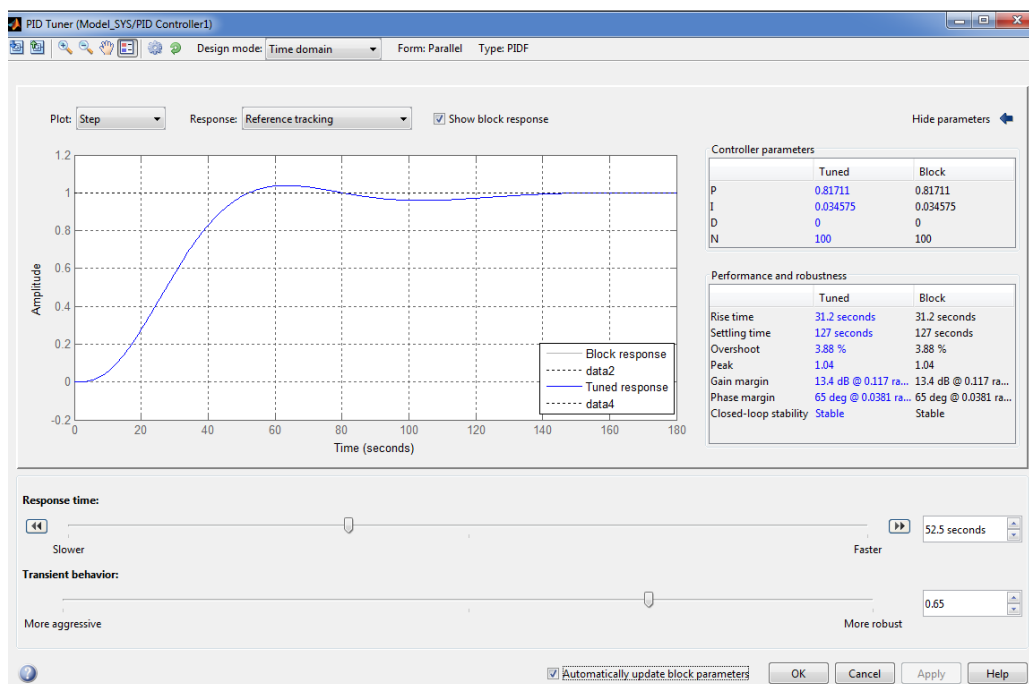


Рисунок 3.15 – Меню налаштувань додатку “PID Tuner” програми Simulink математичного пакету MATLAB за умови загального коефіцієнту 0,854 та ваги пропорційної складової 96%

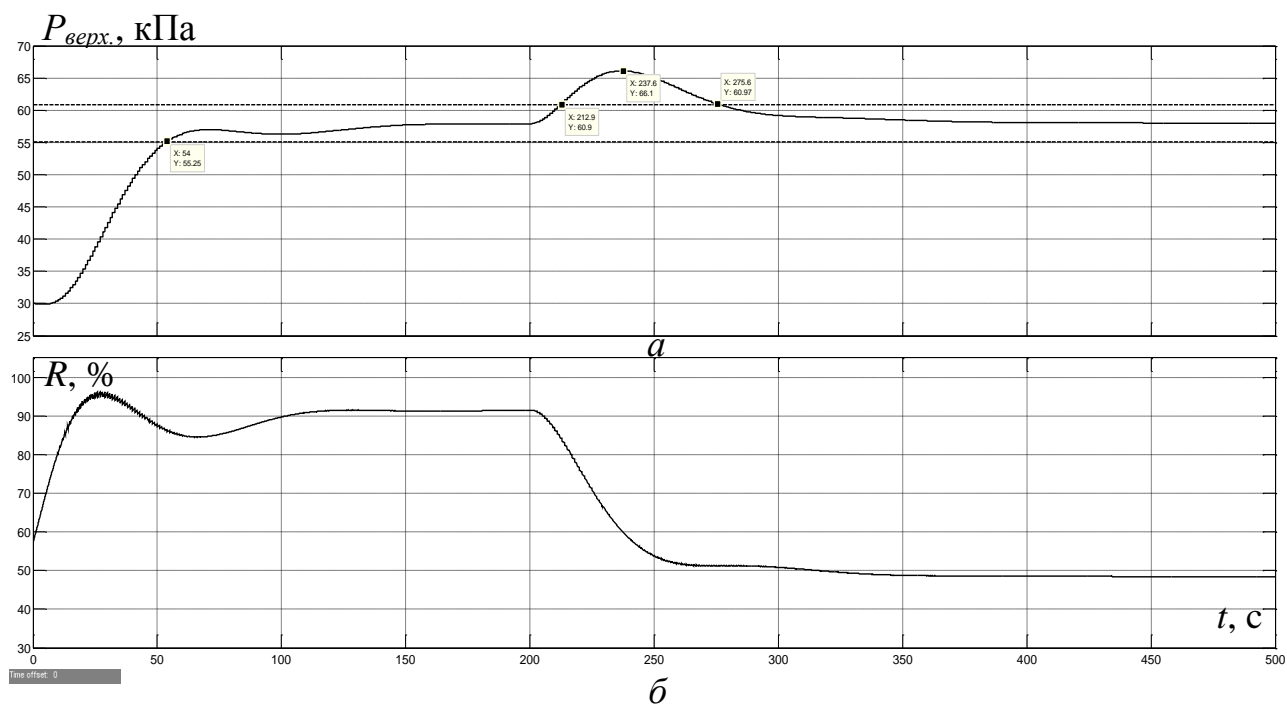


Рисунок 3.15 – Зміна у часі перепаду тиску у нижній частині шахти доменної печі (а), керуючого сигналу на виході регулятора (б) за умови загального коефіцієнту 0,854 та ваги пропорційної складової 96%



За результатами експерименту на рис.3.15 час перехідного процесу за умови відпрацювання зміни уставки дорівнює 54 с (на 32,4% повільніше у порівнянні з оптимальним за швидкодією регулятором), час відпрацювання збурення – 63,6 с. Максимальне відносне відхилення керованої величини від заданого значення при відпрацюванні збурення дорівнює 14 %. Тож, ми бачимо, що на відміну від попередніх випадків, на цей раз збільшення загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора та відносної ваги його пропорційної складової призвело до погіршення критеріїв якості роботи системи автоматичного керування.

Для аналізу результатів усіх обчислювальних експериментів представимо результати досліджень у вигляді встановлених нових залежностей критеріїв якості роботи системи від параметрів регулятора у графічному вигляді (рис.3.16-3.18).

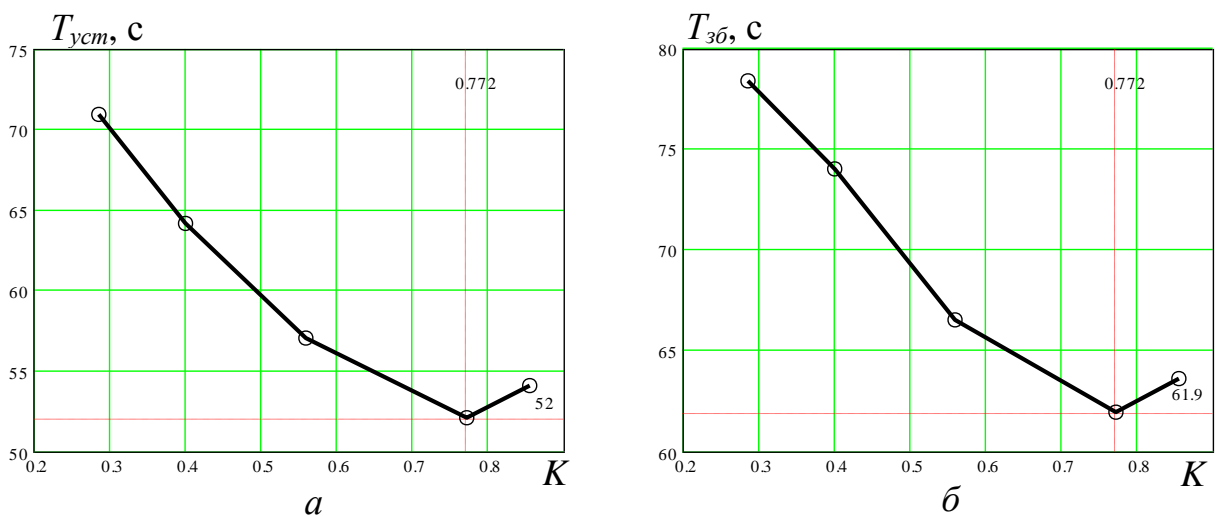


Рисунок 3.16 – Залежність часу відпрацювання зміни уставки (а) та збурення (б) від загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора

З рис.3.16 можна зробити висновок, що залежності часу відпрацювання зміни уставки та збурення від загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора мають параболічний характер з точкою мінімального екстремуму, що відповідає загальному коефіцієнтові підсилення 0,772. Отже за означеними критеріями якості роботи системи керування оптимальна настройка регулятора має місце при загальному коефіцієнтові підсилення 0,772.

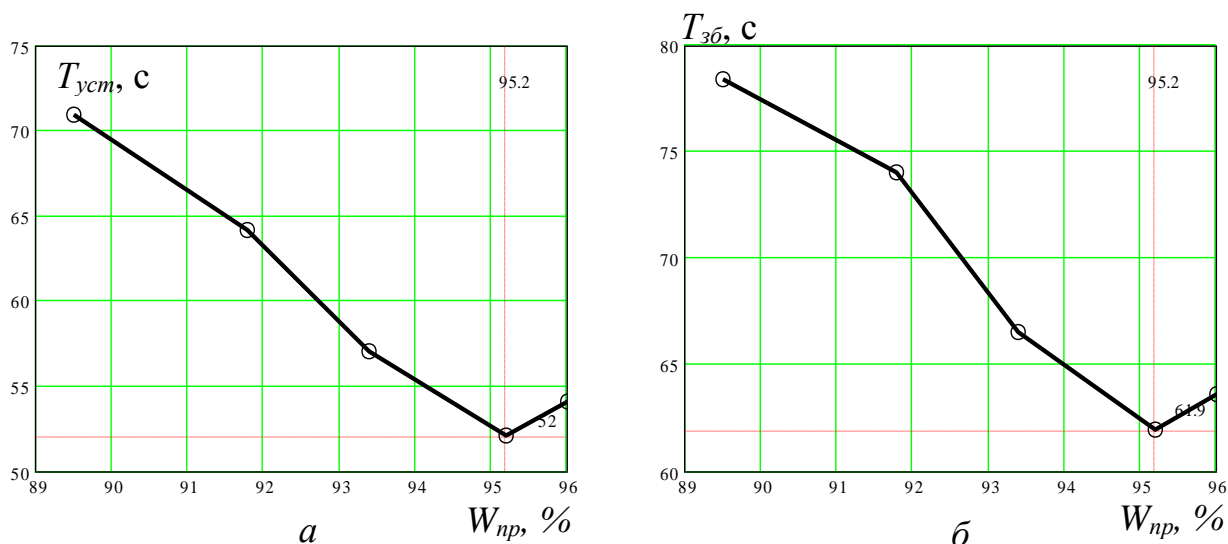


Рисунок 3.17 – Залежність часу відпрацювання зміни уставки (а) та збурення (б) від відносної ваги пропорційної складової ПІД-регулятора

Рисунок 3.17 дозволяє зробити висновок, що по відношенню до залежностей часу відпрацювання зміни уставки та збурення від відносної ваги пропорційної складової ПІД-регулятора можна зробити аналогічний висновок – ці залежності є параболічними з точкою мінімального екстремуму, що відповідає вазі пропорційної складової 95,2 %.

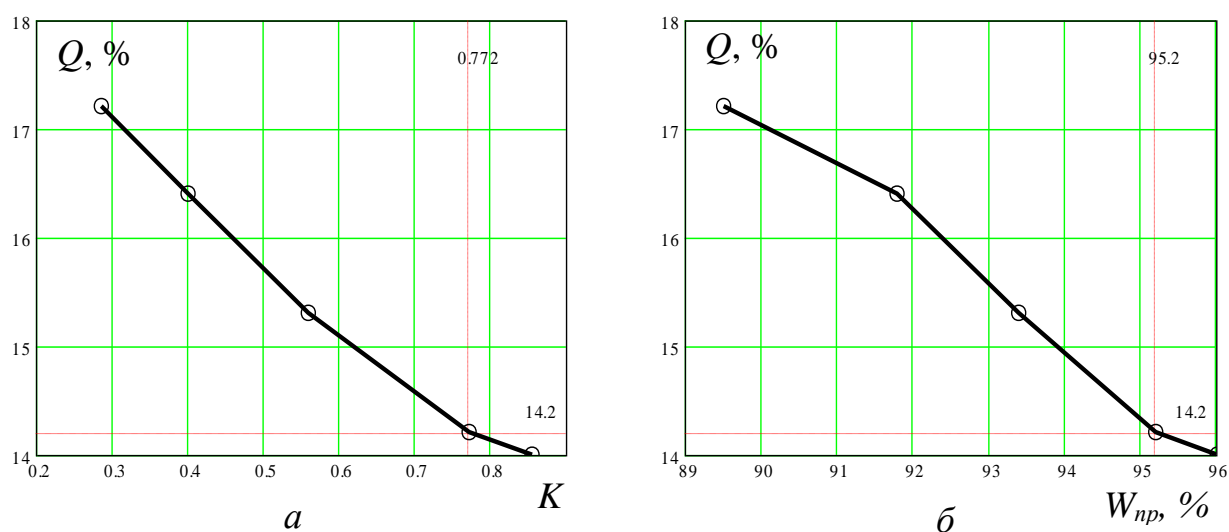


Рисунок 3.18 – Залежність максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення від загального коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора (а) та відносної ваги його пропорційної складової (б)

З рис.3.18 можна зробити висновок, що залежності максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення від загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора та відносної ваги його пропорційної складової є зворотними та майже лінійними. При цьому зауважимо, що збільшення загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора з 0,772 до 0,854 призводить до несуттєвого зменшення максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення – на 0,2%. Тож, настройку ПД-регулятора за даним критерієм якості роботи системи керування можна вважати оптимальною для обох зазначених коефіцієнтів підсилення регулятора.

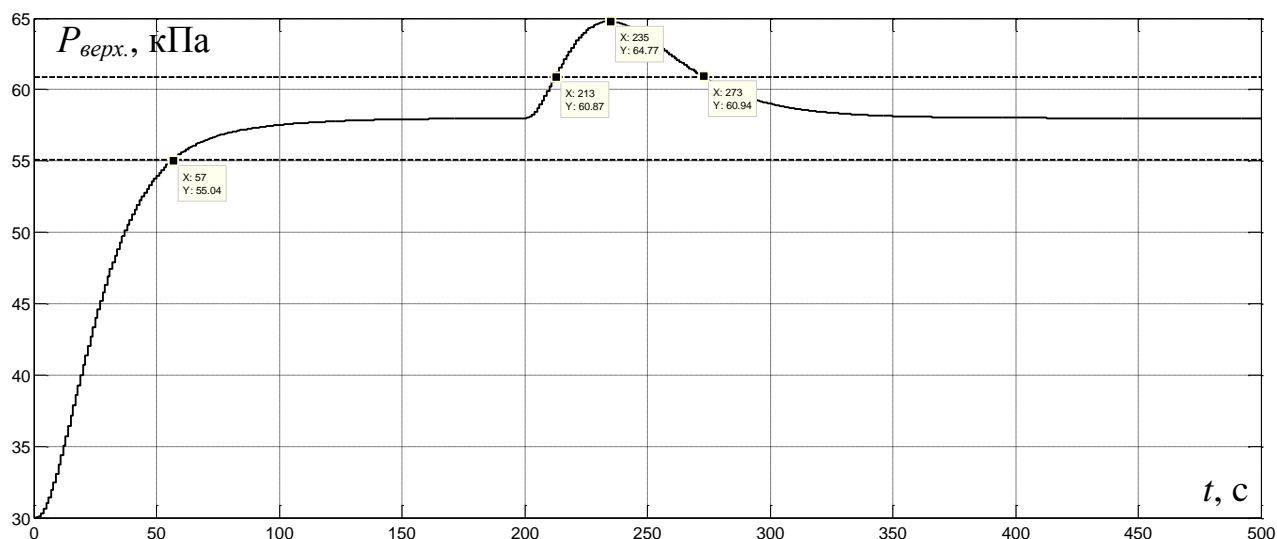
Таким чином, можна зробити висновок, що за виділеними критеріями якості роботи системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі оптимальною настройкою ПД-регулятора є наступна: диференційна складова відсутня, загальний коефіцієнт підсилення становить 0,77, відносна вага пропорційної складової регулятора – 95,2 %.

### **3.2 Оцінка якості функціонування системи автоматичного керування**

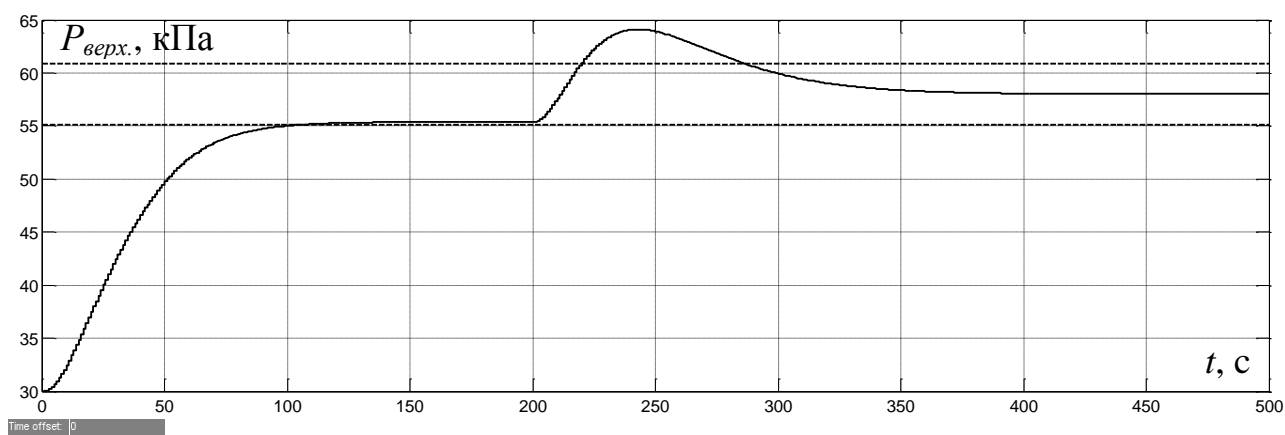
У цьому підрозділі на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі проведемо дослідження якості функціонування системи при змінних динамічних властивостях печі.

Прийнято, що внаслідок дії сукупності непередбачуваних факторів параметри передаточної функції об'єкта керування змінюються у діапазоні  $\pm 15\%$  від своїх початкових значень. За основу взятий ПД-регулятор з оптимальними настройками щодо описаних у підрозділі 2.2 критеріїв якості роботи системи керування, який синтезований у підрозділі 3.1.

На рис.3.19 представлений результат моделювання роботи системи автоматичного керування при збільшеному та зменшеному коефіцієнтові підсилення у каналі керування на 15%.



a



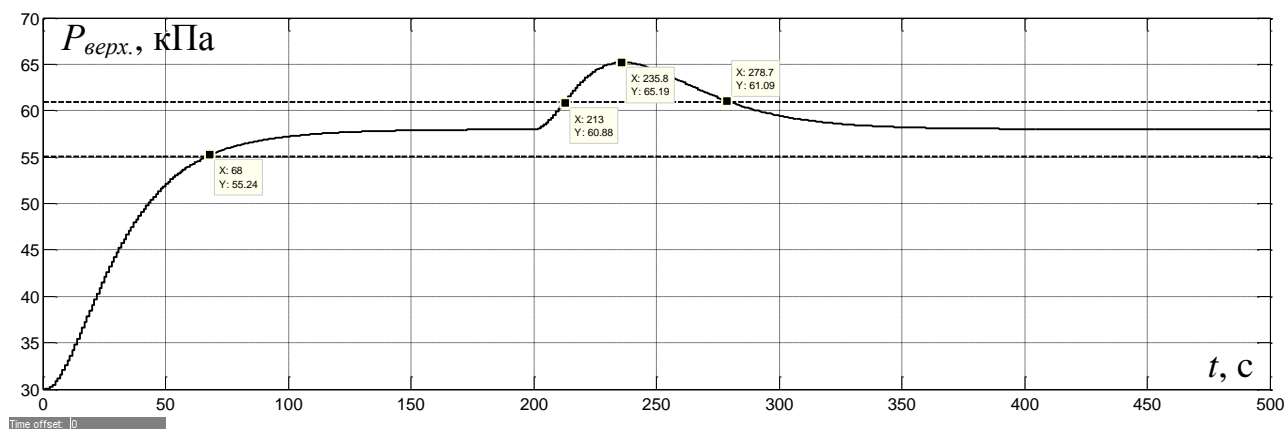
б

Рисунок 3.19 – Перехідний процес на виході скоригованої системи керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі при збільшеному (а) та зменшеному (б) коефіцієнтові підсилення у каналі керування на 15%

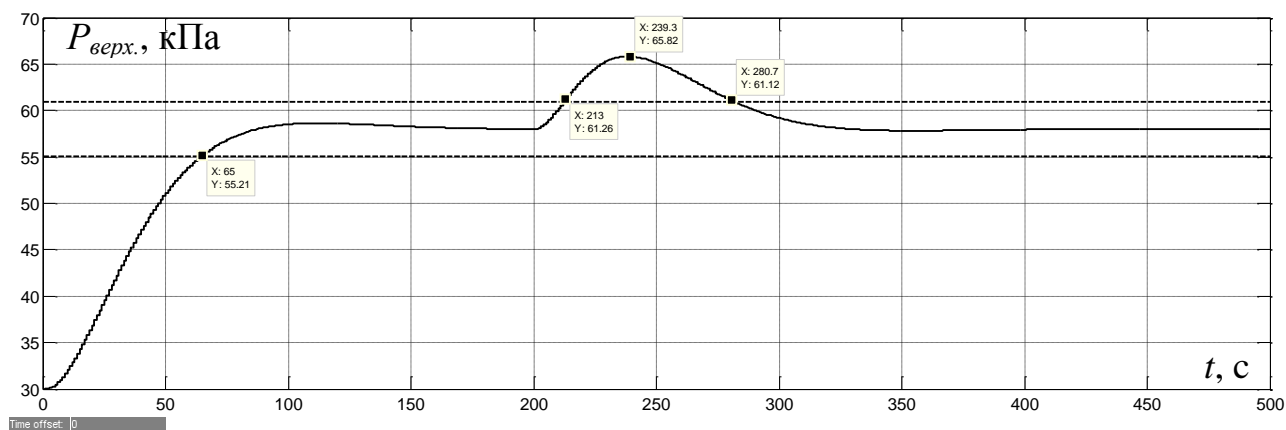
З рис.3.19 можна зробити висновок, що при коливаннях коефіцієнта підсилення у каналі керування у діапазоні  $\pm 15\%$  відносно початкового значення критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування залишаються прийнятними: час перехідного процесу при відпрацюванні уставки за умови збільшення коефіцієнта підсилення на 15% збільшується з 52 до 57 с; відносне максимальне відхилення керованої величини від уставки при відпрацюванні збурення зменшується з 14,2 до 11,7%, а час відпрацювання збурення зменшується з 61,9 до 61 с.

При зменшенні коефіцієнта підсилення на 15 % висновок зробити важко, оскільки при уставці 58 кПа не вистачає запасу за керуючим сигналом, щоб повністю компенсувати збурення.

Проведемо аналогічні дослідження при зміні більшої постійної часу передаточної функції об'єкта керування на  $\pm 15\%$  (рис.3.20).



*a*



*б*

Рисунок 3.20 – Перехідний процес на виході скоригованої системи керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі при зменшеній (*a*) та збільшеній (*б*) на 15% постійній часу передаточної функції об'єкта керування

З рис.3.20 можна зробити висновок, що при коливаннях більшої постійної часу передаточної функції об'єкта керування у діапазоні  $\pm 15\%$  відносно початкового значення критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування залишаються прийнятними. При зменшенні постійної

часу на 15% час перехідного процесу при відпрацюванні уставки збільшується з 52 до 68 с; відносне максимальне відхилення керованої величини від уставки при відпрацюванні збурення зменшується з 14,2 до 12,4 %, а час відпрацювання збурення збільшується з 61,9 до 66,7 с. При збільшенні постійної часу на 15% час перехідного процесу при відпрацюванні уставки збільшується з 52 до 65 с; відносне максимальне відхилення керованої величини від уставки при відпрацюванні збурення зменшується з 14,2 до 13,5 %, а час відпрацювання збурення збільшується з 61,9 до 68,7 с.

### 3.3 Висновок по розділу

1. За умови присутності у ПДД-регуляторі диференційної складової значної ваги у перехідному процесі на виході регулятора з'являються значні коливання керуючого сигналу з відносно високою частотою. Це є неприпустимим через нераціональний режим роботи приводу заслінки у колошниковому газопроводі, коли заслінка постійно та з відносно високою частотою обертається навколо свого оптимального положення.

2. Залежності часу відпрацювання зміни уставки та збурення від загального коефіцієнта підсилення ПДД-регулятора мають параболічний характер з точкою мінімального екстремуму, що відповідає загальному коефіцієнтові підсилення 0,772. Отже за означеними критеріями якості роботи системи керування оптимальна настройка регулятора має місце при загальному коефіцієнтові підсилення 0,772. По відношенню до залежностей часу відпрацювання зміни уставки та збурення від відносної ваги пропорційної складової ПДД-регулятора можна зробити аналогічний висновок – ці залежності є параболічними з точкою мінімального екстремуму, що відповідає вазі пропорційної складової 95,2 %.

3. Залежності максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення від загального коефіцієнта підсилення ПДД-регулятора та відносної ваги його пропорційної складової є зворотними та майже лінійними. При цьому зауважимо, що збільшення загального коефіцієнта

підсилення ПД-регулятора з 0,772 до 0,854 призводить до несуттєвого зменшення максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення – на 0,2%. Тож, настройку ПД-регулятора за даним критерієм якості роботи системи керування можна вважати оптимальною для обох зазначених коефіцієнтів підсилення регулятора.

4. Як при коливаннях коефіцієнта підсилення у каналі керування, так і при коливаннях більшої постійної часу передаточної функції об'єкта керування у діапазоні  $\pm 15\%$  відносно початкового значення критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування (час відпрацювання зміни уставки і збурення, та максимальне відносне відхилення керованої величини від уставки при відпрацюванні збурення) залишаються прийнятними. Отже, синтезована система автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі залишається ефективною за умови суттєвих змін динамічних властивостей печі.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Цифрова модель об'єкта керування

В результаті синтезу системи автоматичного керування у третьому розділі було отримано неперервну модель системи, що відповідає сформульованим критеріям якості (рис.4.1).



Рисунок 4.1 – Модель системи автоматичного керування

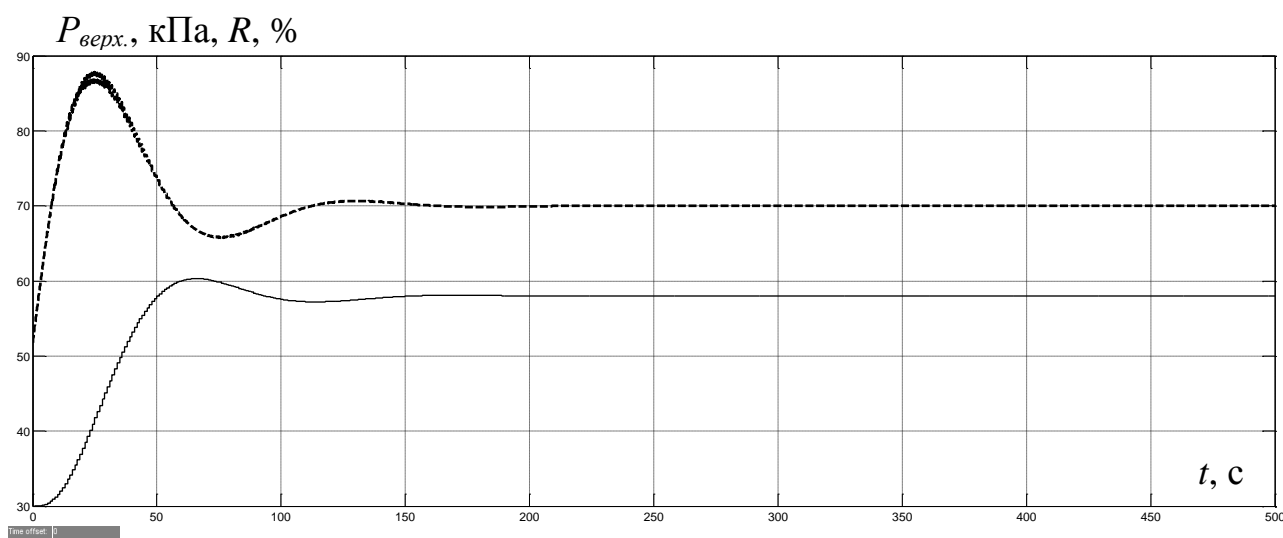


Рисунок 4.2 – Результати моделювання системи автоматичного керування (суцільна лінія – керована величина, пунктирна - керуюча)

Для подальшої роботи виконаємо заміну неперервних елементів системи автоматичного керування цифровими. Для перетворення неперервних аперіодичної та коливальної ланок скористаємося функцією MATLAB “c2d” (програма 4.1).



## Програма 4.1 Перетворення неперервних моделей елементів САК на цифрові

```
w1=tf([0.4],[12.8^2 2*0.91*12.8 1]);
w2=tf([1],[7.8 1]);
w1z=c2d(w1,0.1);
w2z=c2d(w2,0.1);
```

```
[num1 denum1] = tfdata(w1z);
A1 = cell2mat(num1);
B1 = cell2mat(denum1);
```

```
[num2 denum2] = tfdata(w2z);
A2 = cell2mat(num2);
B2 = cell2mat(denum2);
```

Результати роботи програми:

```
A1 =
    1.0e-04 *
    Columns 1 through 2
         0    0.121493183493614
    Column 3
    0.120918718555173
B1 =
    Columns 1 through 2
    1.0000000000000000 -1.985821256040976
    Column 3
    0.985881859016488
A2 =
         0    0.012738680131672
B2 =
    1.0000000000000000 -0.987261319868328
```

В результаті заміни неперервних елементів моделі на цифрові, було отримано цифрову модель об'єкта керування (рис.4.3) та САК (рис.4.4).

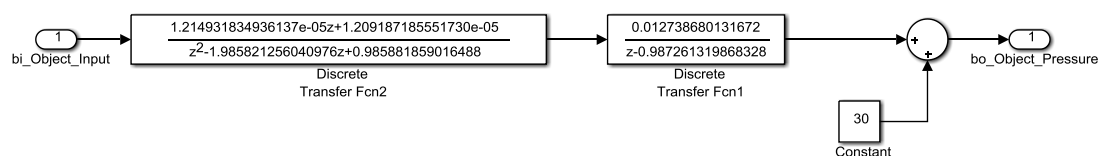


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

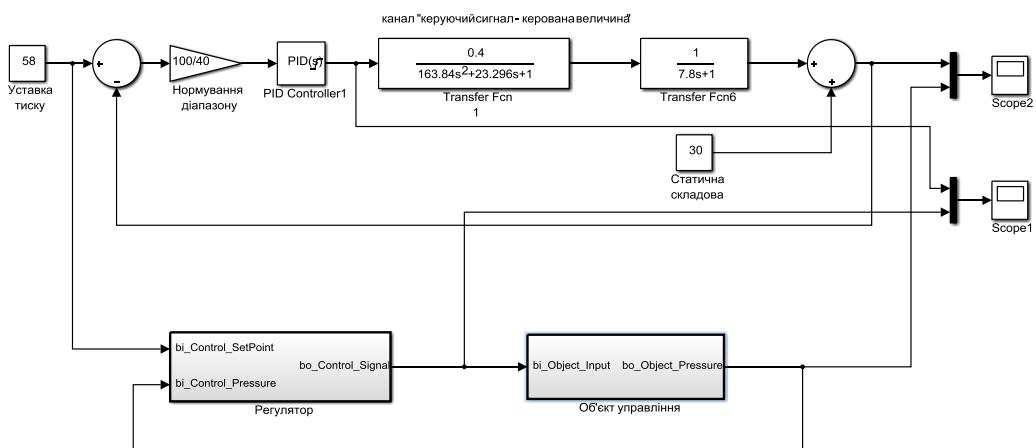


Рисунок 4.3 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування

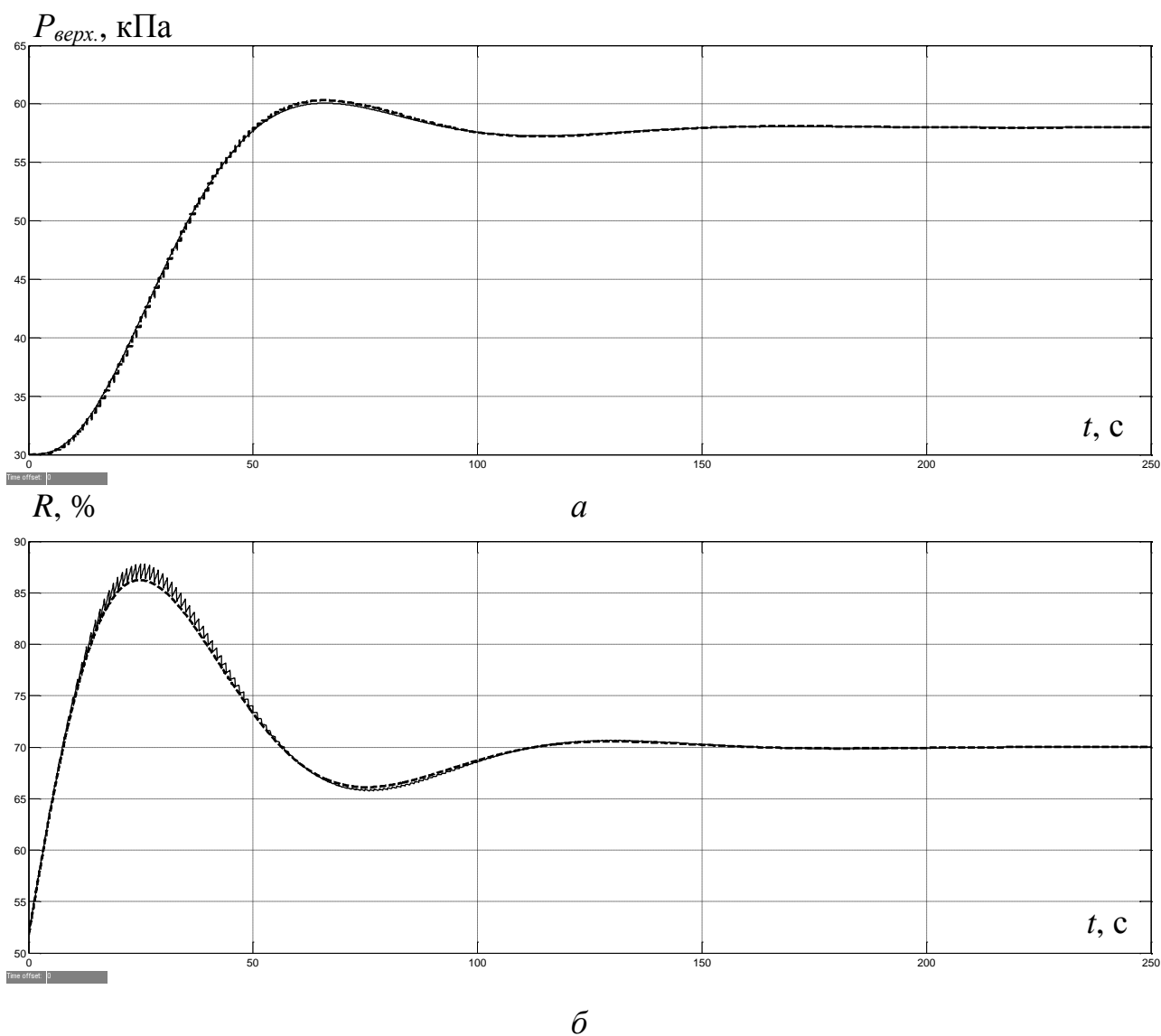


Рисунок 4.4 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (суцільна лінія – неперервна модель; пунктирна – цифрова)

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням.

```
>> goodnessOfFit(ModelC, ModelD, 'NRMSE')*100
ans = 97.7843
```

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

На рис.4.4 представлена модель цифрової САК вже з поділом системи керування на об'єкт керування та регулятор шляхом створення блоків підсистем. Вміст підсистеми об'єкт керування представлений на рис.3.3, а вміст підсистеми регулятор – на рис.4.5.

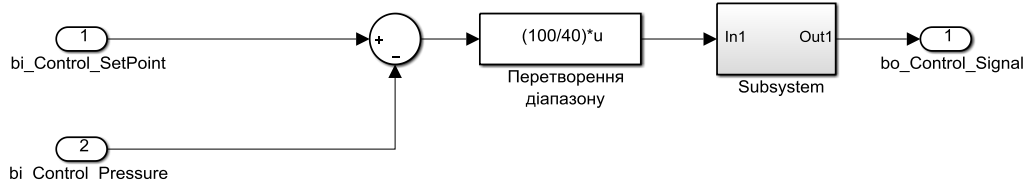


Рисунок 4.5 – Цифрова модель регулятора

На рис.4.5 у блоці Subsystem представлена цифрова модель ПІД-регулятора з обмеженням керуючого сигналу за діапазоном від 0 до 100% та захистом від перенасичення інтегруючої складової.

Для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середовища розробки zenon Logic перейменовані вхідні\вихідні порти підсистем, згідно з правилами.

Далі було згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи керування поділено на два окремих програмних блоки: регулятор та об'єкт керування.

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

Для розробки ПЗ об'єкта керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.6.

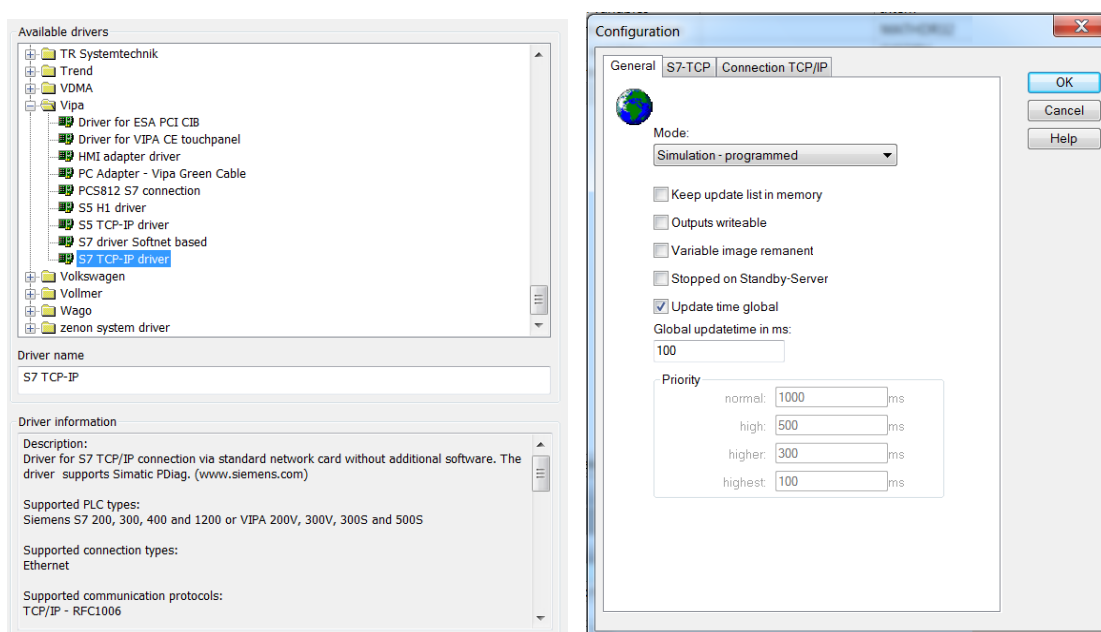


Рисунок 4.6 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.7).

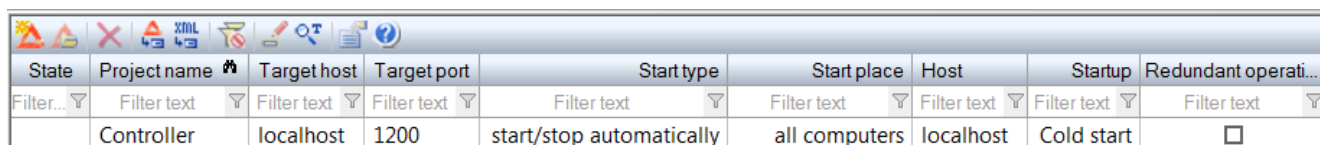
State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max	Signal area min	Measuring ra...	Measuring range ...	Start offset
	Pressure		S7TCP32 - VIPA	REAL	1.000000	0.000000	1.0	0.0	0
	Valve		S7TCP32 - VIPA	REAL	100.000000	0.000000	100.0	0.0	0

Рисунок 4.7 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування було реалізовано модель об'єкту керування на базі раніше отриманого програмного модуля. Далі, на основі отриманого користувацького функціонального блоку, було розроблено програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення ОК наведено у додатку Б1.

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



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

Рисунок 4.8 – Проект регулятора

Також було створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки, фактичному значенню керованої величини та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування було реалізовано через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.9).



Name	Source variable	Target variable	Trigger ...	Trigger type
Filter text	Filter text	Filter text	Filter t...	Filter text
zenon_to_PLC	Pressure	Controller/Global/Control_Pressure	< no v...	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_Valve	Valve	< no v...	Edge

Рисунок 4.9 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, було створено два розподіли – перший, що копіює значення тиску з об'єкту керування до регулятора, та другий – для передачі значення положення заслінки виконавчого пристрою з регулятора до об'єкту

керування. Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід'ємною частиною розробки системи автоматичного керування є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності системи керування необхідно розробити ЛМІ, що буде забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта керування;
- 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.

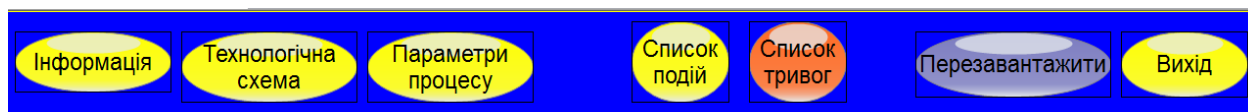


Рисунок 4.10 – Зображення кнопок

На рис. 4.10 показано зображення кнопок що було реалізовано для ЛМІ. Кожна з них має свою функцію. «Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.11), де представлена технологічна схема, розташування датчиків, та основна інформація про об'єкт керування. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана

за допомогою функції `switch screen`, що дозволяє перейти на наступне зображення. Наступні кнопки : «Параметри процесу», «Список тривог», «Список подій», було реалізовано аналогічно та дозволяють перейти на зображення – рис. 4.12, рис. 4.13, рис. 4.14 відповідно. Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» реалізовано за допомогою функцій «`exit runtime`» та «`reload project`» відповідно.



Рисунок 4.11 – Зображення технологічної схеми

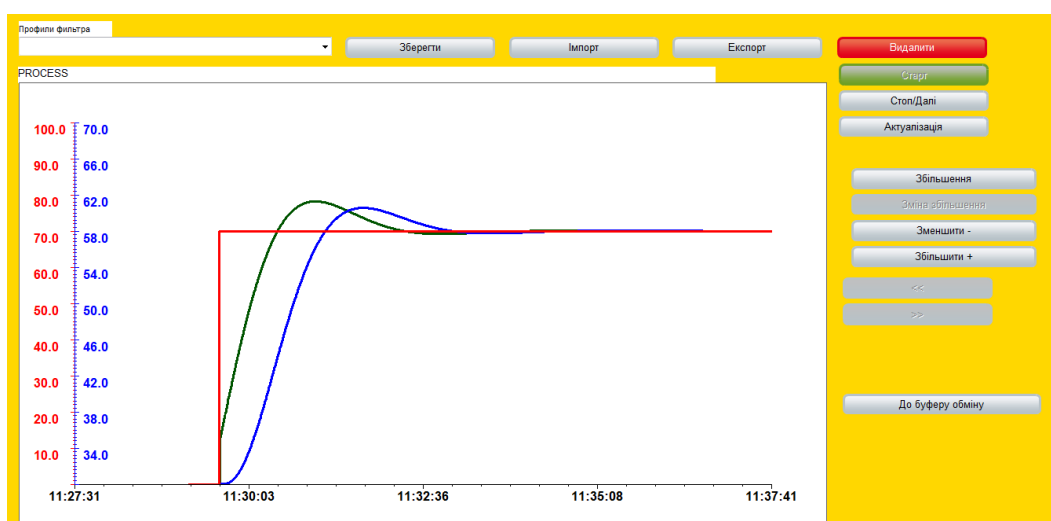


Рисунок 4.12 – Зображення графіку перехідного процесу

Фільтр  
["\*"](\*.Rel.0d.1h.0m.0s)

Кількість  
13

Профілі фільтрів

Зберегти Імпорт Експорт

Час отримання	Текст	Ім'я зміни	Знач...	Оди...	Користувач - п...
03.11.2020 10:51:59	System was started				SYSTEM
03.11.2020 10:52:06	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM
03.11.2020 10:59:56	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:09:12	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:09:19	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:11:14	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:11:21	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM
03.11.2020 11:19:32	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:24:59	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:25:04	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM
03.11.2020 11:27:29	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:29:11	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:29:37	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM

Коментар

Відправити Друкувати

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Рисунок 4.13 – Зображення списку подій

Профілі фільтрів

Зберегти Імпорт Експорт Відправити

Стоп

Фільтр  
["\*"](\*.Rel.0d.1h.0m.0s)

Кількість  
0

Alar...	Time received	Time cleared	Time acknowledged	Variable name	Value	Mea...	Text

Обробка  
Обробити сторінку  
Обробити все

Відправити  
Відправити сторінку  
Відправити все

Друкувати

Коментар  
Поле для коментарів

Функції тривог  
Показати підключені функції

Виконати функцію Відкрити допомогу

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Рисунок 4.14 – Зображення списку тривог



Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.15.

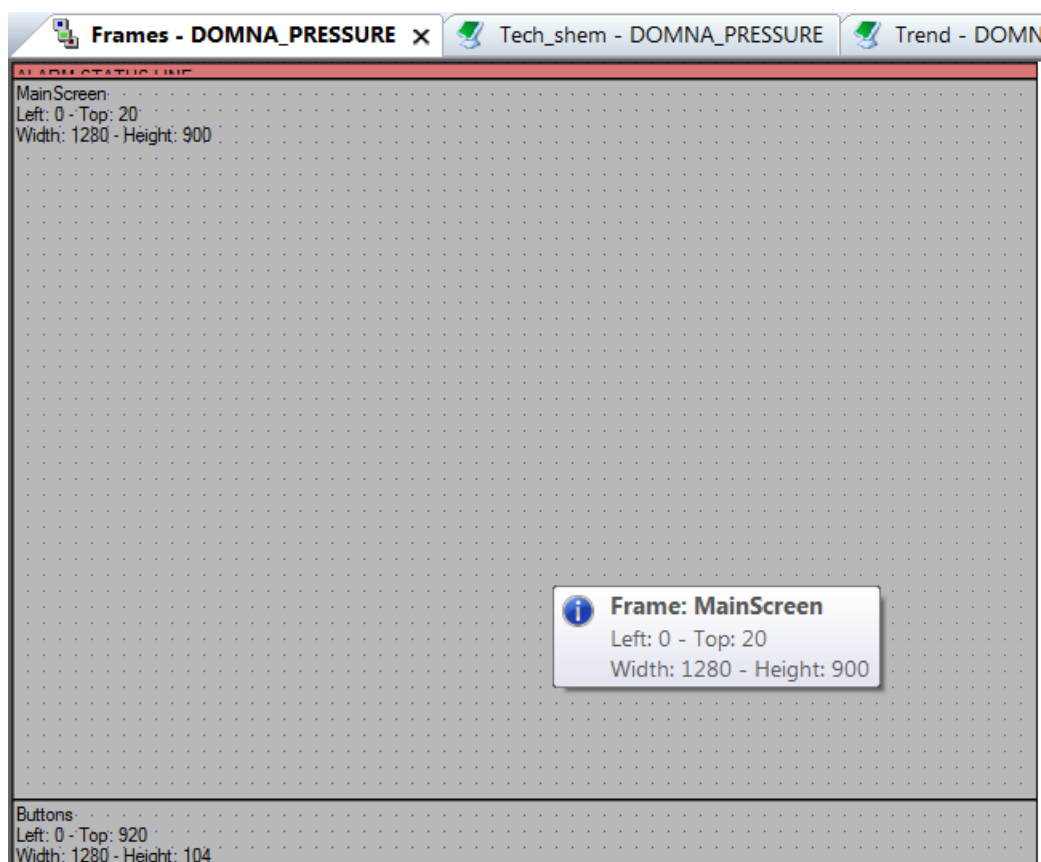


Рисунок 4.15 – Шаблон зображень

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 ЛМІ наводиться в додатку В.

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки верхнього перепаду тиску 58 кПа на вхід об'єкта. З рисунка 4.16 видно, що об'єкт та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи керування (перерегулювання не перевищує 5%).

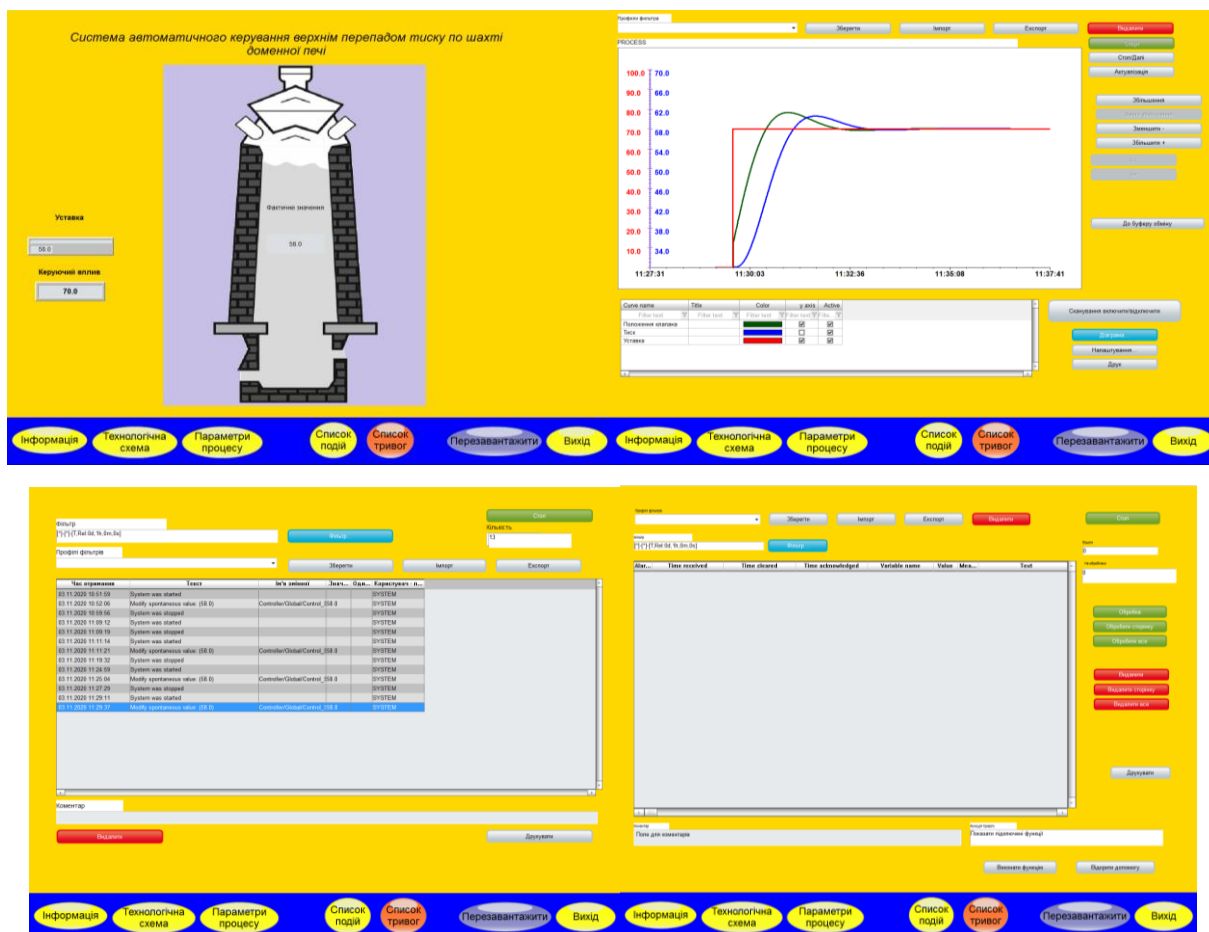


Рисунок 4.16 – Проверка функционирования ПЗ системы управления

Усі кнопки виконують свої функції, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система керування працює згідно з вимогами, список тривог порожній.

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

#### 4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування та ЛМІ.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розвиток інформаційних технологій – це один зі способів для підприємств зменшити витрати, підвищити якість продукції та збільшити продуктивність за рахунок автоматизації технологічних процесів.

У цьому розділі кваліфікаційної роботи приведено економічне обґрунтування доцільності синтезу системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі.

В якості об'єкта керування виступає шахта доменної печі, для якої виконується розробка системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску. Вхідною величиною об'єкта керування є кількість колошникового газу, що видаляється з шахти. Вихідним параметром об'єкта управління є перепад тиску між середнім і верхнім рівнями шахти доменної печі, а витрати гарячого дуття є збуренням.

Виходячи з цього, система автоматичного керування повинна включати датчики тиску на середньому та верхньому рівнях доменної печі, привод заслінки у колошниковому газопроводі, пристрій керування та пульт оператора.

Економічний ефект досягається шляхом економії коксу та газу за рахунок поліпшення масообмінних процесів усередині шахти доменної печі.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

#### 5.1.1 Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення

Нормування праці у процесі створення програмного забезпечення ускладнене через творчий характер праці програмістів. Тому трудомісткість обробки програмного забезпечення розраховується на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість обробки праці програмного забезпечення розраховується за формулою:

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_n + t_{\text{опл}} + t_d, \text{ ЛЮДИНО-ГОДИН} \quad (5.1)$$

де  $t_0$  – витрати праці на підготовку й опис поставленого завдання;

- $t_d$  – витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;
- $t_a$  – витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;
- $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;
- $t_{онл}$  – витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;
- $t_d$  – витрати праці на підготовку документації за завданням.

Складові частини витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні. До них відносять ті оператори, яких необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів в програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.2)$$

- де  $q$  – кількість операторів, що використані в програмі;
- $z$  – коефіцієнт складності програми;
- $p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

За узгодженням з керівником проекту, значення коефіцієнтів  $z$  і  $p$  були узяті, відповідно, рівними 1,25 і 0,2. Кількість операторів у програмному забезпеченні – 391 (Додатки А та Б).

Таким чином, для програми:

$$Q = 391 \cdot 1,25 \cdot (1 + 0,2) = 586 \text{ операторів}$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання складають  $t_0 = 15$ .

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з уточненням опису і кваліфікації програміста по формулі:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.3)$$

- де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці  $B = 1,2 - 1,5$ ;
- $k$  – коефіцієнт програміста, який визначається залежно від стажу роботи за фахом.

В даному випадку коефіцієнт  $k = 0,8$ , оскільки стаж роботи до 2 років.

Таким чином, витрати праці на вивчення опису завдання :

$$t_{\partial} = \frac{586 \cdot 1,35}{80 \cdot 0,8} = 12,37 \text{ , людино-годин}$$

Витрати праці на обробку алгоритму рішення задачі:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ , людино-годин} \quad (5.4)$$

$$t_a = \frac{586}{25 \cdot 0,8} = 29,32 \text{ , людино-годин.}$$

Витрати праці на складання програми за готовою блок-схемою:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ , людино-годин} \quad (5.5)$$

$$t_n = \frac{586}{25 \cdot 0,8} = 29,32 \text{ , людино-годин.}$$

Витрати праці на налаштування програм ЕОМ розраховуються по формулі (за умови автономного налаштування одного завдання):

$$t_{\text{нал}} = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k} \text{ , людино-годин.} \quad (5.6)$$

$$t_{\text{нал}} = \frac{586}{5 \cdot 0,8} = 146,62 \text{ , людино-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o} \text{ , людино-годин.} \quad (5.7)$$

де  $t_{\partial p}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до рукопису;

$t_{\partial o}$  – трудомісткість редагування, друку і оформлення документації.

$$t_{\partial p} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}; \quad (5.8)$$

$$t_{\partial p} = 586 / (20 \cdot 0,8) = 36,66 \text{ , людино-годин.}$$

$$t_{\partial o} = 0,75 \cdot t_{\partial p} \quad (5.9)$$

$$t_{\partial} = 36,66 + 36,66 \cdot 0,75 = 64,15 \text{ людино-годин.}$$

$$t = 15 + 12,37 + 29,32 + 29,32 + 146,62 + 64,15 = 296,8 \text{ людино-годин.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки програмного забезпечення складає 296,8 людино-годин.

### 5.1.2 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення

Витрати на створення програмного забезпечення ( $K_{пз}$ ) включають витрати на заробітну плату розробника програми і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ ( $Z_{мч}$ ):

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мч}, \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Заробітну плату розробника програми визначають за формулою:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки програмного забезпечення;

$C_{пр}$  – середньо-годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова) з нарахуваннями, грн./годину.  $C_{пр}=250$  грн/годину.

$$Z_{зп} = 296,8 \cdot 250 = 74198,73 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{мч} = t_{нал} \cdot C_{мч}, \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де  $t_{нал}$  – трудомісткість налагоджування програм на ЕОМ;

$C_{мч}$  – вартість машино-години ЕОМ, грн/годину.

$$C_{мч}=50 \text{ грн/годину.}$$

$$Z_{мч} = 146,62 \cdot 50 = 7331,25 \text{ грн.}$$

$$K_{пз} = 74198,73 + 7331,25 = 81529,98 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на створення програмного забезпечення складають 81 529,98 грн.

### 5.1.3 Розрахунок додаткових капітальних витрат

Капітальні витрати – це засоби, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати на розробку створюваної системи автоматичного керування наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Розрахунок капітальних витрат при розробці

№	Устаткування	Кількість, шт.	Ціна, грн	Монтажно- налагоджувальні роботи, грн	Всього
1	Вимірювальний струмовий трансформатор ТСА21-100/5А	1	496,8	50,0	569,16
2	Датчик QBM 81-20	2	1969,09	205,0	8019,00
3	Трифазний твердотільний контактор Carlo Gavazzi RJ3A60	2	1928,36	211,0	4455,00
4	Пристрій управління ОВЕН ПКП1	1	1363,00	160,0	22491,00
5	Модуль комунікаційного процесора VIPA 240-1CA20	1	5528,40	560,0	550,80
6	Програмований логічний контролер VIPA 214	1	11500,0	1500,0	10584,00
7	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	1	2400,00	250,0	4374,00
8	Функціональний модуль 250-1BS00	1	8360,00	850,0	2700,00
9	Електропривод СЛЭМЗ АИР160М8	1	11100,0	1150,0	10584,00
10	Модуль дискретного виводу 222-1BF00	1	6110,00	600,00	2700,00
11	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD243	1	1500,00	150,00	2700,00
	<b>Всього</b>	<b>-</b>	<b>52256</b>	<b>5686,00</b>	<b>57942,00</b>

## 5.2 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (наприклад, рік), що виражені в грошовій формі:

$$Z_{тек} = C_a + C_з + C_c + C_m + C_э, \quad (5.13)$$

де  $C_a$  – амортизаційні відрахування;

$C_з$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$C_c$  – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (22% від  $C_з$ );

$C_m$  – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування;

$C_e$  – вартість електроенергії, споживаної об'єктом.

Устаткування, розробленої системи, відноситься до 4 групи за мінімальними термінами корисного використання. Передбачуваний термін експлуатації системи керування складає 5 років.

Розрахунок амортизаційних відрахувань здійснимо по методу прискореного зменшення залишкової вартості, де використовується подвоєна норма амортизації :

$$H_A = \frac{2}{r} \cdot 100, \% \quad (5.14)$$

де  $H_A$  – коефіцієнт амортизації, долі одиниць.

Перевагою цього методу є те, що впродовж перших років експлуатації об'єкту проектування накопичується значна сума коштів, необхідних для його відновлення.

З оглядом на це, норма амортизації для проекрованої та альтернативної системи автоматичного керування становить:

$$H_{a a} = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% , H_{a np} = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% .$$

$$C_a = \frac{PC \cdot H_a}{100\%} \text{ грн} \quad (5.15)$$

де  $C_a$  - річна сума амортизації, грн;

PC - первинна вартість (капітальні витрати – K), грн.

$$C_a = C_3 \cdot 0,4 = 57942,00 \cdot 0,4 = 23\ 176,8 \text{ грн.}$$

Розрахуємо заробітну плату обслуговуючого персоналу :

$$C_3 = ((T_k - T_{np} - T_{вих} - T_{отп}) \cdot t_{cm}) \cdot T_ч , \text{грн}, \quad (5.16)$$

де  $T_k$  – кількість календарних днів у році;

$T_{np}$  – кількість днів празників у році;

$T_{отп}$  – кількість днів відпустки у році;

$T_{вих}$  – кількість вихідних днів у році;

$t_m$  – термін зміни;

$T_ч$  – середньо-годинна заробітна плата.

$$C_3 = (((366 - 12 - 115 - 20) \cdot 8) \cdot 29,2 = 51\ 159 \text{ грн.}$$



Розрахуємо відрахування на соціальні заходи від заробітної плати:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3 = 0,22 \cdot 51\,159 = 11\,254,98 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування:

$$C_m = 0,01 \cdot K = 0,01 \cdot 57942,0 = 579,42 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної об'єктом:

$$C_e = K_e \cdot ds \cdot K_d \cdot K_m \cdot T, \text{ грн.} \quad (5,17)$$

де  $K_e$  - кількість електроенергії, споживаної на робочому місці за годину;

$K_d$  - кількість місяців у році;

$K_m$  - кількість робочих днів за місяць;

$ds$  - тривалість зміни;

$T$  - тариф на електроенергію для підприємств (для підприємств 2 класу 0,905 грн за кВт·год. з ПДВ).

$$C_e = 0,25 \cdot 12 \cdot 21 \cdot 24 \cdot 0,905 = 1\,368,36 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати складуть:

$$Z_{nom} = 23\,176,8 + 51\,159,0 + 11\,254,98 + 579,42 + 1\,368,36 = 87\,538,56 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, що розробляється, складатимуть 87 538,56 грн.

Річна економія на поточних витратах ( $P_{ек}$ ) визначається по формулі:

$$P_{ек} = Z_p - (Z_{nom} + Z_e) \quad (5.18)$$

де  $Z_{nom}$  - річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи

$Z_p$  - витрати без застосування системи;

$Z_e$  - витрати після застосування системи.

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи керування.

За джерельними даними та результатами досліджень, собівартість випуску продукції у середньому зменшиться на 0,1% (річний випуск продукції однієї доменної печі – 4,94 млрд. грн.).

Витрати на рішення задачі після застосування системи керування:

$$Z_e = 4940000000 \cdot (1 - 0,01) = 4\,935\,000\,000 \text{ грн.}$$

Визначимо річну економію на поточних витратах:

$$P_{ек} = 4\,940\,000\,000 - (87\,538,56 + 4\,935\,000\,000) = 4\,852\,461,4 \text{ грн.}$$

Таким чином, річна економія на експлуатаційних витратах складає 4,852 млн. грн.

### 5.3 Оцінка економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників:

- 1) розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат  $E_p$ ;
- 2) терміну окупності капітальних витрат  $T_{ек}$ .

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат показує, скільки гривень додаткової економії приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = P_{ек} / K \quad (5.19)$$

де  $K$  - капітальні витрати на придбання і впровадження системи автоматичного керування;

$P_{ек}$  - річна економія.

$$E_p = 4\,852\,461,4 / 57942,0 = 83,75 \text{ (долі одиниць).}$$

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат складе 83,75.

Термін окупності капітальних витрат на придбання і впровадження проекту за рахунок загальної економії розраховується по формулі:

$$T_{ек} = K / P_{ек} \quad (5.20)$$

$$T_{ек} = 57942,0 / 4\,852\,461,4 = 0,012.$$

Таким чином, термін окупності капітальних витрат складе 0,012 року.

Фінансово-економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання розробленого проекту, відображені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Фінансово-економічні показники використання системи автоматичного керування, що розробляється

Найменування	Одиниця виміру	Значення показника
Капітальні витрати на придбання і впровадження системи	грн	57942,0
Річні поточні витрати, пов'язані з використанням системи	грн	87 538,56
Річна економія від впровадження системи	грн	4 852 000
Коефіцієнт ефективності	долі од.	83,75
Розрахунковий термін окупності капітальних витрат	років	0,012

#### 5.4 Висновок

У цьому розділі роботи були розраховані економічні показники, які показують економічну доцільність впровадження системи автоматичного керування, що розробляється.

При впровадженні проектованої системи керування капітальні витрати складуть 57,9 тис. грн. Річні поточні витрати складають 87,54 тис. грн. Річна економія на поточних витратах складає 4,852 млн. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 0,012 років. Коефіцієнт ефективності 83,75, тобто кожна гривня капітальних витрат принесе 83,75 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проектованої системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є економічно доцільним.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 6.1 Аналіз умов праці в оператору персонального комп'ютеру

Даний розділ відображає стан та аналіз охорони праці оператора персонального комп'ютеру.

Загальна будівля представляє собою двоповерхову споруду, зведену по технології каркасного будівництва. Площа будівлі становить 210 м<sup>2</sup>, висота кожного поверху становить 3000 мм. Площа заскління будівлі становить 35%, що робить будівлю зсередини доволі світлою. Кімната операторської знаходиться на другому поверсі.

Особливістю будівлі є те, що утеплювачем стін є матеріал на основі кам'яної вати (розробник – фірма RockWool). Саме цей матеріал обрано для утеплення більшості конструкцій, що можна пояснити вдалим поєднанням в кам'яній ваті таких якостей, як екологічність, пожежна безпека, довговічність, а також високі теплоізоляційні властивості. В якості несучого каркасу будівлі використовується брус перетином 50x200 мм, для внутрішніх перегородок – брус 100x50 мм. З внутрішньої сторони стіни мають шар пароізоляції, два шари незаймистого гіпсокартону та шар чистової відділки. Пароізоляція встановлюється також на зовнішній стороні стін. Оскільки кам'яна вата є волокнистим матеріалом, вона також ефективно поглинає звукові хвилі. Тому для ізоляції повітряного шуму у внутрішніх перегородках і перекритті також використані матеріали з кам'яної вати.

Для перекриття між поверхами використовується брус перетином 50x200 мм, прокладений з урахуванням навантажень з певним кроком. В стелі першого поверху гіпсокартон закріплено на металевому каркасі. На підлозі другого поверху вкрито дошки чорнової підлоги, на які встановлено звукоізоляційну жорстку плиту з кам'яної вати товщиною 20 мм для створення акустичної «плаваючої» підлоги, що захищає від ударного шуму, далі укладена OSB-плита 18 мм, та паркетна дошка. Така конструкція забезпечує надійну звукоізоляцію в

комплексі - як від повітряного, так і від ударного шуму.

Сходи на другий поверх будівлі виконані з металу, та обкладені керамічною плиткою.

Відділення операторської займає декілька кімнат. В найбільшій з них, що має площу 21 м<sup>2</sup>, розташовується відділ із загальних питань. В ньому обладнано 4 робочих місця. Згідно норм, на одного працюючого повинно припадати не менше 6,00 м<sup>2</sup> площі. Отже, показники питомої площі на кожного працівника відділу із загальних питань не відповідають вимогам.

На усіх вікнах встановлено горизонтальні жалюзі кремового кольору. Вікна – пластикові із двома позиціями відкривання склопакетів. Стеля виконана підвісним монтажом піноблоків сірого кольору, що дає змогу прокладання електро- та телекомунікацій безпосередньо над піноблоками. В кожній кімнаті встановлено сучасні офісні меблі світло-, темнокоричневого та сірого кольорів. Комп'ютерні столи мають багатоярусну конструкцію, з обох боків від місця працівника розташовано по кілька шухляд, для клавіатури є рухома підставка. На підвіконниках розташовано кімнатні рослини, на стінах – необхідні для роботи плакати та таблиці, а також картини для тимчасового відволікання уваги працівників під час великих навантажень. Кожен працівник має свій окремий комп'ютер та облаштоване офісною технікою робоче місце. В кожній кімнаті встановлено по одному принтеру Kyocera TD-400, а також паралельну телефонну лінію. Кожне робоче місце обладнано інтернетом із відповідною розеткою під столом, а також трьома розетками напругою 220 В для підключення офісної техніки. Електрична мережа будівлі виконана трипровідним мідним кабелем із можливістю приєднання заземлюючих контактів електроприймачів до розеток, що забезпечує безпеку персоналу при виході з ладу електроніки.

Кожен працівник має сучасне офісне крісло, а також стілець біля стола – для відвідувачів. Крісло має комфортні підлокітники, можливість регуляції власноруч нахилу та висоти під'йому спинки, а також круглі колеса.

Робоча поверхня столу має стандартну висоту від підлоги 700 мм. Столи

виконані округлої форми, внутрішнім кутом обернені до працюючого. На висувній панелі розташовується клавіатура та мишь. Останні працюють по технології BlueTooth та є бездротовими, що дозволяє не прив'язувати їх до конкретних місць на столі, а розташовувати там, де найбільш зручно. Глибина шухляд 300 мм, довжина столу в обидва боки від прямого кута становить по 1300 мм.

На відстані приблизно 650 – 700 мм від очей працівника розташовано LCD-монітор комп'ютера із захисною плівкою Rubbera товщиною 0,5 мм. Як відомо, монітор, принцип дії якого засновано на роботі рідких кристалів, є джерелом незначних електромагнітних полів, оскільки рідкі кристали в кожному пікселі монітора керуються саме дією на них електричного поля відповідної полярності та величини. Тому для збереження здоров'я працівників, зменшення негативного впливу монітора на органи зору, та зняття робочого напруження – біля кожного монітора встановлено світло- та темнозелені кактуси довільної форми із середньою кількістю гілок 12500 – 13000 шт. у кожному та довжиною гілок від 5 до 12 мм. Також, однією з причин встановлення перед моніторами саме кактусів, а не, наприклад, плацевоподібної нутріофоброгенної амізопалії, є той факт, що ці рослини практично не потребують до себе уваги, оскільки поливати їх можна один раз на місяць(!) Тобто завдяки цьому рішення працівник може в більшій мірі сконцентруватись саме на роботі.

Отже, підводячи підсумки по оснащенню офісного приміщення, бачимо, що усі показники робочого місця знаходяться у відповідності до основних норм, встановлених для офісних приміщень, а ергономічні параметри забезпечують підтримання оптимальної робочої пози працівника та сконцентрованість уваги під час роботи.

Візуально проаналізувавши приміщення відділу оператора ПК, можна сказати, що небезпечних поверхонь кімнати не мають; стелажі розташовані доволі зручно та вимагають мінімум рухів під час роботи; високих місць, де могли б розміщуватись необхідні для роботи документи, в наявності немає.

Простеживши за робочим процесом впродовж однієї години, слід зазначити, що, скоріш за все, найнезручнішим фізичним рухом під час роботи є спроба дістатися до нижчих шухляд стола, де можуть знаходитись необхідні канцелярські приладдя. Тривале ж сидіння за комп'ютером викликає спочатку незначний біль в органах зору, який зі збільшенням тривалості роботи, тільки зростає. В кінці робочого дня очі можуть бути просто нездатними фокусуватися на певних предметах. Враховуючи цю обставину, слід зробити рекомендацію для усіх працівників відділу – регулярно робити відпочинок для очей тривалістю 10 хвилин на кожну годину роботи.

Мікроклімат. Як відомо, до мікрокліматичних умов будь-якого приміщення відноситься температура, відносна вологість повітря та швидкість руху повітря в приміщенні. Існують оптимальні мікрокліматичні умови та їх допустимі межі. Оптимальними умовами слід називати такі, при яких певні сполучення складових мікроклімату утворюють стан середовища, де працівнику було б комфортно знаходитись тривалий час. Такі умови передбачають та забезпечують перш за все високий рівень працездатності людини, і безпосередньо впливають на настрій та самопочуття.

У кожному окремому блоці оператора ПК температура повітря в теплий період складає 21 – 26 °С, в холодний період 17 – 19 °С, у перехідний 15 – 18 °С. Ці показники відповідають нормам, оскільки згідно СНіП 2.04.05-91, для адміністративно-побутових приміщень (яким є операторська) в теплий період максимально припустимою межею температури встановлено 28 °С, а в холодний і перехідний – 18 – 22 °С. Однак, оптимальною (середньою) температурою в будь-який період вважається температура 20 – 22 °С.

Швидкість руху повітря у кожному блоці операторської будівлі становить не більше 0,1 м/с. При цьому нормою вважається значення до 0,2 м/с. Тут слід зауважити, що на швидкість руху повітря в блоках працівники можуть впливати самотійно шляхом, наприклад, відкривання вікна або дверей. Ввімкнення кондиціонера в теплу пору року також викликає збільшення швидкості вітру, тому при цьому слід стежити за документами на робочих

столах.

Відносна вологість повітря складає 40–50%. У СНіП 2.04.05-91 зазначено, що припустиме значення відносної вологості повітря повинно складати 65%, при цьому найбільш комфортним буде значення в межах 30 – 60% в теплий період і 35 – 45% – в холодний. Отже, відносна вологість повітря також знаходиться в заданих межах. При вмиканні кондиціонера вологість повітря змінюється як влітку, так і взимку, оскільки, окрім водяного опалення в приміщеннях, кондиціонери також оснащено системами опалення. Але треба мати на увазі, що при температурі зовні нижче  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  вмикати кондиціонер на режим опалення заборонено, оскільки конденсат, що виходить із зовнішнього блоку кондиціонера, може застигнути, і деформувати (пошкодити) внутрішні з'єднувальні канали обладнання. Слід також пам'ятати, що кондиціонер відноситься до шкідливих для здоров'я людини пристроїв, оскільки принцип його роботи засновано на циркуляції небезпечного хладагенту, і оперувати з ним слід тільки за допомогою пульта дистанційного керування, а при виникненні пошкодження – викликати спеціалістів обслуговуючого персоналу.

Тому з метою створення й автоматичної підтримки в операторській оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря, незалежно від зовнішніх погодних умов, пропонується в холодну пору року застосовувати водяне опалення, а в перехідні періоди, коли робота водяного опалення вже є недоцільним, залучати до роботи кондиціонери індивідуально у кожній кімнаті.

Рівні шуму. У відділі операторської головними джерелами шуму є, перш за все, комп'ютери (системні блоки мають кілька вентиляторів) та принтери. До другорядних джерел можна віднести клавіатуру та мишь, іноді телефон. Рівень шуму на робочих місцях становить 48 дБА, що відповідає нормам Держстандарту (50 дБА). Однак, тривалий вплив цих шумів все одно негативно відображається на психологічному та емоційному стані працюючих.

Слід зазначити також, що норми по рівням шуму виконуються завдяки тому, що між функціональними бюро встановлено пластикові перегородки із



склопакетами на повну висоту кімнат. Вони захищають окремі кімнати від джерел шуму суміжних, а тому – сприяють більшій сконцентрованості працівників на роботі.

### **Розрахунок системи кондиціонування повітря**

Вихідні дані: розмір приміщення  $3 \times 7$  м, висота – 3,5 м, у якому розміщено 4 комп'ютери. Максимальна кількість осіб  $n_{oc} = 4$ .

Тепловиділення від людей. У розрахунку використаємо явне тепло, тобто тепло, що впливає на зміну температури повітря в приміщенні. Для нормальних умов ( $20^\circ\text{C}$ ) явні тепловиділення однієї людини становить близько  $q_{oc} = 55$  Вт. Тоді сумарне тепловиділення від людей буде:

$$Q_1 = q_{oc} \cdot n_{oc} = 55 \cdot 4 = 220 \text{ Вт}$$

Тепловиділення від сонячної радіації. Розрахунок тепла, що надходить у приміщення від сонячної радіації, робимо по наступних формулах:

- для зашкленних поверхонь:

$$Q_{оск} = F_{оск} \cdot q_{оск} \cdot A_{оск}, \text{ Вт}$$

- для перекриттів:

$$Q_n = F_n \cdot q_n, \text{ Вт}$$

У приміщенні є 1 вікно розміром  $1,5 \times 1,5$  м. Тоді  $F_{оск} = 2,25$  м<sup>2</sup>. Характер віконних рам – з подвійним склінням і дерев'яними плетіннями. Тоді  $q_{ост} = 72,5$  Вт/м<sup>2</sup> – теплонадходження від сонячної радіації на 1 м<sup>2</sup> поверхні скління;

$A_{ост} = 1,15$  – коефіцієнт обліку урахування скління.

Тоді:  $Q_{ост} = 2,25 \cdot 72,5 \cdot 1,15 = 187,6$  Вт.

Площа перекриття  $F_n = 21$  м<sup>2</sup>;  $q_n = 6$  Вт/м<sup>2</sup> – теплонадходження від сонячної радіації через 1 м<sup>2</sup> поверхні покриття;

Тоді:  $Q_n = 21 \cdot 6 = 126$  Вт.

Сумарне теплонадходження від сонячної радіації:

$$Q_2 = Q_{\text{оск}} + Q_{\text{п}} = 187,6 + 126 = 313,6 \text{ Вт}$$

Тепловиділення від джерел штучного висвітлення.

В приміщенні встановлено 8 світильників 4x18 Вт кожний. Спосіб монтажу – вмонтовані у підвісну стелю. Тоді теплонадходження від них визначаються як:

$$Q_3 = N \cdot n = (8 \cdot 4 \cdot 18) \cdot 0,55 = 316,8 \text{ Вт}$$

де  $N$  – сумарна потужність джерел висвітлення, Вт;

$n$  – коефіцієнт теплових втрат.

Тепловиділення від радіотехнічних установок і пристроїв обчислювальної техніки.

У приміщенні розміщено 4 комп'ютери електричною потужністю 300 Вт кожний, 2 принтери – 65 Вт, сканер – 40 Вт, факс – 25 Вт. Тоді:

$$Q_4 = 4 \cdot 300 + 2 \cdot 65 + 40 + 25 = 1395 \text{ Вт}$$

Сумарні теплонадходження складуть:

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 220 + 313,6 + 316,8 + 1395 = 2245,4 \text{ Вт}$$

Надлишкова теплота в приміщенні визначається як різниця між теплом, виділюваному в приміщенні й теплом, що видаляють із приміщення.

$$Q_{\text{надл}} = Q_c - Q_{\text{витр}}$$

$$Q_{\text{витр}} = 0,1 \cdot Q_c = 0,1 \cdot 2245,4 = 224,54$$

$$Q_{\text{надл}} = 2245,4 - 224,54 = 2020,86 \text{ Вт.}$$

### **Міри пожежної профілактики та безпека у надзвичайних ситуаціях**

Пожежі в операторській можуть виникнути в результаті загорання електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях.

Горючими компонентами в офісному приміщенні є: будівельні матеріали для акустичної й естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів та ін.

Небезпека виникнення пожежі в офісному приміщенні через загоряння електроустаткування зменшена шляхом оснащення системою запобігання пожежі й системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у випадку виникнення вогнища загоряння та позначені місця розташування пожежної техніки.

Джерелами запалювання в приміщенні можуть бути електронні схеми від комп'ютера, прилади для технічного обслуговування, пристрої електроживлення кондиціонерів повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри й дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних комп'ютерах дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні проводи та кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від системного блоку служать системи вентиляції й кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

У приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного встаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

У будівлі, де розміщена операторська, пожежні крани встановлюються в коридорах, на площадках сходових кліток і входів. Вода використовується для гасіння пожеж у приміщеннях програмістів, допоміжних і службових приміщеннях. Застосування води в машинних залах ЕОМ, приміщеннях

контрольно-вимірювальних приладів через небезпеку ушкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води повинна бути мінімальною, а пристрої ЕОМ необхідно захистити від влучення води, накриваючи їх брезентом або полотном.

Для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід, об'єднаний з виробничим. Зовні будинку по його периметру в підземних колодязях розміщені гідранти. Для доступу на дах будинку використовуються встановлені на стінах пожежні сходи.

До первинних засобів гасіння пожеж відносяться: вода, пісок, різні брезентові накидки, вогнегасники. Принцип гасіння цими засобами заснований на перекритті доступу повітря в осередок пожежі. У таблиці 6.1 наведені дані деяких вогнегасників.

Таблиця 6.1 – Перелік вогнегасників

<b>Тип вогнегасника</b>	<b>Марка</b>	<b>Час роботи, хв</b>	<b>Види матеріалів що підлягають гасінню</b>
1. Повітрянопінний	ОВП	0,7	Різні матеріали, крім лужних металів і електроустановок.
2. Вуглекисло-брометиловий	ОУБ-3 ОУБ-7	-	Невеликі осередки пожежі при займанні горючих речовин.
3. Вуглекислотний	ОУ-2 ОУ-5 ОУ-8	0,5 0,55 0,66	Різні речовини і матеріали, а також електроустановки
4. Порошковий	ОП-1	-	Легкозаймісті рідини, тверді речовини, електроустановки

В цілях профілактики на досліджуваному підприємстві регулярно проводиться інструктаж працівників про правила пожежної безпеки і правила поводження у випадку виникнення пожежі.

У будівлі наявні схеми евакуації, що знаходяться в коридорних приміщеннях у місцях, доступних для огляду. Двері на шляхах евакуації відкриваються вільно і в напрямі виходу з будівлі, ширина евакуаційних виходів становить 1,35 м, що забезпечує безпечну ліквідацію людей у випадку пожежі.

## ВИСНОВКИ

За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначені динамічні моделі за каналами “керуючий сигнал – керована величина” та “збурюючий сигнал – керована величина”. Модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина” складається з послідовно з'єднаних двох ланок – коливальної (коефіцієнт підсилення 0,4, постійна часу 12,8 с, коефіцієнт демпфування 0,91) та аперіодичної (коефіцієнт підсилення 1,0 та постійна часу 7,8 с). Модель за каналом “збурюючий сигнал – керована величина” складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 25,5 та 9,3 с та загальним коефіцієнтом підсилення 0,025. За обома каналами статична характеристика є лінійною.

З оглядом на завдання керування проекрованої системи автоматичного керування та на результати аналізу доменної печі як об'єкта автоматизації при відпрацюванні системою зміни уставки прийняті наступні критерії якості її роботи:

- час перехідного процесу повинний бути якомога менше;
- величина перерегулювання не повинна перевищувати 5%;
- усталена (статична) похибка системи повинна дорівнювати нулю.

При цьому мінімальна тривалість перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни уставки з 0 до 70% дорівнює 40,8 с.

З урахуванням завдання керування проекрованої системи автоматичного керування та на результати аналізу доменної печі як об'єкта автоматизації, при компенсації системою збурення прийняті наступні критерії якості її роботи:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки не повинно перевищувати рівень 5%;
- величина максимального перерегулювання з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 3,5%.

Аналіз доменної печі як об'єкта керування показав, що на процеси усередині печі впливають багато непередбачуваних факторів, через що динамічні властивості печі є змінними. З урахуванням цього, як за умови

відпрацювання уставки, так і за умови відпрацювання збурення до системи пред'являються додаткові вимоги щодо рівня робастності:

- запас стійкості за амплітудою повинен бути не менше 12 Дб;
- запас стійкості за фазою повинен бути не менше 45 град.

Встановлено, що за умови присутності у ПІД-регуляторі диференційної складової значної ваги у перехідному процесі на виході регулятора з'являються значні коливання керуючого сигналу з відносно високою частотою. Це є неприпустимим через нераціональний режим роботи приводу заслінки у колошниковому газопроводі, коли заслінка постійно та з відносно високою частотою обертається навколо свого оптимального положення.

Визначено, що залежності часу відпрацювання зміни уставки та збурення від загального коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора мають параболічний характер з точкою мінімального екстремуму, що відповідає загальному коефіцієнтові підсилення 0,772. Отже за означеними критеріями якості роботи системи керування оптимальна настройка регулятора має місце при загальному коефіцієнтові підсилення 0,772. По відношенню до залежностей часу відпрацювання зміни уставки та збурення від відносної ваги пропорційної складової ПІД-регулятора можна зробити аналогічний висновок – ці залежності є параболічними з точкою мінімального екстремуму, що відповідає вазі пропорційної складової 95,2 %.

Також встановлено, що залежності максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення від загального коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора та відносної ваги його пропорційної складової є зворотними та майже лінійними. При цьому зауважимо, що збільшення загального коефіцієнта підсилення ПІД-регулятора з 0,772 до 0,854 призводить до несуттєвого зменшення максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення – на 0,2%. Тож, настройку ПІД-регулятора за даним критерієм якості роботи системи керування можна вважати оптимальною для обох зазначених коефіцієнтів підсилення регулятора.

Крім того, виявлено, що як при коливаннях коефіцієнта підсилення у каналі керування, так і при коливаннях більшої постійної часу передаточної функції об'єкта керування у діапазоні  $\pm 15\%$  відносно початкового значення критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування (час відпрацювання зміни уставки і збурення, та максимальне відносне відхилення керованої величини від уставки при відпрацюванні збурення) залишаються прийнятними. Отже, синтезована система автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі залишається ефективною за умови суттєвих змін динамічних властивостей печі.

На базі безперервної моделі системи керування розроблена цифрова модель системи керування. З моделі відокремлені модель об'єкта керування та модель регулятора. За допомогою стандартних засобів математичного пакета MATLAB отримані програмні модулі, які реалізують об'єкт керування та регулятор на мові програмування Structured Text.

На базі програмних модулів, що реалізують модель об'єкта керування та модель регулятора, розроблено програмне забезпечення системи керування для програмного програмованого логічного контролера zenon Logic який входить до складу SCADA системи zenon.

В SCADA системі zenon розроблено людино машинний інтерфейс, який містить відображення інформації про технологічний процес, зміну верхнього перепаду тиску по шахті доменної печі, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Виконано перевірку функціонування програмного забезпечення.

Також було визначено економічні показники ефективності впровадження системи, розглянуті шкідливі та небезпечні фактори при експлуатації системи керування та розроблено ряд заходів з охорони праці.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Українська промисловість та енергетика – тренди 2018-го / Людмила Кліщук // Матеріал підготовлено в рамках реалізації грантового конкурсу від ГО «Інтерньюз-Україна» за фінансової підтримки Швеції та Internews (проект Audience understanding and digital support). електронний ресурс <https://nachasi.com/2018/12/03/industry-ukraine/>
2. Инновационные технологии внепечной металлургии чугуна и стали: Сборник научных трудов. Донецк: ДонНТУ, 2011. – 300 с.
3. Г.М. Глинков, В.А. Маковский. АСУ ТП в черной металлургии” Учебник для ВУЗов / 1999. – 458 с.
4. Методичні рекомендації до виконання атестаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, М.М. Трипутень, С.М. Проценко, О.О. Бойко, В.І. Шевченко – МОН України. – Дніпро: НТУ «ДП», 2018. – 35 с.
5. А. Н. Трусов Автоматизация технологических процессов. Учеб. пособие: Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово. – 2010. – 200 с.
6. Федоров. Ю. Справочник инженера по АСУТП. Проектирование и разработка. Инфора-Инженерия. – Москва 2010. – 914 с.
7. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов. 5-е изд. / 2010. – 320. С
8. Баптизманский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. Теория, технология, конструкции агрегатов. – 410 с.
9. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации. – 2010. – 423 с.
10. Федоров Ю. Справочник инженера по АСУТП / Проектирование и разработка. – 2010. – 324 с.
11. Аверьянов О.И. Технологическое оборудование: Учебник для СПО – М: Инфра-М., 2011. – 306 с.

12. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины, и определения. – М.: Госстандарт, 1992. – 54 с.

13. Панько М. А. Расчет и моделирование автоматических систем регулирования в среде Mathcad: Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 112 с.

## Додаток А

### Програмні модулі системи керування

#### A.1 Модуль об'єкта керування

```
( *
 *
 * File: Object.exp
 *
 * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_SYS_PO/Об'єкт управління"
 *
 * Model name           : Model_SYS_PO
 * Model version        : 1.48
 * Model creator        : WORK
 * Model last modified by : WORK
 * Model last modified on  : Mon Nov 02 09:29:20 2020
 * Model sample time    : 0s
 * Subsystem name       : Model_SYS_PO/Об'єкт
управління
 * Subsystem sample time : 0.1s
 * Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
 * ST code generated on    : Mon Nov 02 09:39:05 2020
 *
 * Target IDE selection   : 3S CoDeSys 2.3
 * Test Bench included    : No
 *
 *)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Object_Input: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Object_Pressure: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2_states: ARRAY [0..1] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_DiscreteTransferFcn1: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

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

```

      (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
      DiscreteTransferFcn2_states[0] := 0.0;
      DiscreteTransferFcn2_states[1] := 0.0;
      SS_STEP:

      (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
      DiscreteTransferFcn2 := (1.214931834936137E-5 *
DiscreteTransferFcn2_states[0]) + (1.20918718555173E-5 *
DiscreteTransferFcn2_states[1]);

      (* Outport: '<Root>/bo_Object_Pressure' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant'
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
* Sum: '<S1>/Sum' *)
      bo_Object_Pressure := (0.012738680131672 *
DiscreteTransferFcn1_states) + 30.0;

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
      DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn2 - (-
0.987261319868328 * DiscreteTransferFcn1_states);

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn2' incorporates:
* Update for Inport: '<Root>/bi_Object_Input' *)
      rtb_DiscreteTransferFcn1 := (bi_Object_Input - (-
1.985821256040976 * DiscreteTransferFcn2_states[0])) -
(0.985881859016488 * DiscreteTransferFcn2_states[1]);
      DiscreteTransferFcn2_states[1] :=
DiscreteTransferFcn2_states[0];
      DiscreteTransferFcn2_states[0] :=
rtb_DiscreteTransferFcn1;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
      SS_INITIALIZE: SINT := 0;
      SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Reguljator.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_SYS_PO/Регулятор"
*

```

```

* Model name                : Model_SYS_PO
* Model version              : 1.48
* Model creator              : WORK
* Model last modified by    : WORK
* Model last modified on    : Mon Nov 02 09:29:20 2020
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : Model_SYS_PO/Регулятор
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on      : Mon Nov 02 09:36:48 2020
*
* Target IDE selection       : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Control_SetPoint: LREAL;
    bi_Control_Pressure: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Control_Signal: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_u: LREAL;
    rtb_Gain6: LREAL;
    rtb_Sum_b: LREAL;
    rtb_Compare_p: BOOL;
    rtb_Compare_kj: BOOL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Atomic SubSystem:
        '<S1>/Subsystem' *)

            (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
            '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)
            DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;

            (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
            '<S2>/Discrete-Time Integrator1' *)
            DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;
            (* End of InitializeConditions for SubSystem:
            '<S1>/Subsystem' *)
        SS_STEP:

            (* Fcn: '<S1>/Перетворення діапазону' incorporates:
            * Inport: '<Root>/bi_Control_Pressure'

```

```

* Inport: '<Root>/bi_Control_SetPoint'
* Sum: '<S1>/Sum' *)
rtb_u := (bi_Control_SetPoint - bi_Control_Pressure) *
2.5;

(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
(* Gain: '<S2>/Gain6' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1'
* Gain: '<S2>/Gain5'
* Sum: '<S2>/Sum1' *)
rtb_Gain6 := (0.0 - DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE) *
1.71638597788458;

(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
* Gain: '<S2>/Gain1' *)
rtb_Sum_b := ((0.74 * rtb_u) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) + rtb_Gain6;

(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
(* RelationalOperator: '<S4>/Compare' incorporates:
* Constant: '<S4>/Constant' *)
rtb_Compare_p := rtb_Sum_b >= 100.0;

(* RelationalOperator: '<S5>/Compare' incorporates:
* Constant: '<S5>/Constant' *)
rtb_Compare_kj := rtb_Sum_b <= 0.0;

(* Switch: '<S3>/Switch1' incorporates:
* Constant: '<S3>/Constant'
* Constant: '<S6>/Constant'
* Constant: '<S7>/Constant'
* Logic: '<S3>/Logical Operator'
* Logic: '<S3>/Logical Operator1'
* Logic: '<S3>/Logical Operator2'
* Logic: '<S3>/Logical Operator3'
* Logic: '<S3>/Logical Operator4'
* Logic: '<S3>/Logical Operator5'
* RelationalOperator: '<S6>/Compare'
* RelationalOperator: '<S7>/Compare' *)
IF NOT (((rtb_Compare_p AND (rtb_u < 0.0)) OR
(rtb_Compare_kj AND (rtb_u > 0.0))) OR ((NOT rtb_Compare_p) AND (
NOT rtb_Compare_kj))) THEN
    rtb_u := 0.0;
END_IF;
(* End of Switch: '<S3>/Switch1' *)
(* End of Outputs for SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF rtb_Sum_b >= 100.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
    bo_Control_Signal := 100.0;
ELSIF rtb_Sum_b > 0.0 THEN

```

```

        (* Outport: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
        bo_Control_Signal := rtb_Sum_b;
ELSE
        (* Outport: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
        bo_Control_Signal := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)

        (* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
        * Gain: '<S2>/Gain3' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := ((0.037 * rtb_u) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

        (* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time
Integrator1' *)
        DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (0.1 * rtb_Gain6) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
        (* End of Outputs for SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
        SS_INITIALIZE: SINT := 0;
        SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## Додаток Б

### Програмне забезпечення системи керування

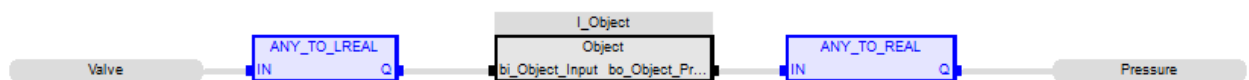
#### Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

##### Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (\* Основна програма \*)

[ST] Main\_object (\* Об'єкт керування \*)

##### Б.1.2 Основна програма



##### Б.1.3 Користувацький функціональний блок

```

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
    DiscreteTransferFcn2 := (LREAL#1.214931834936137E-5 *
DiscreteTransferFcn2_states[0]) + (LREAL#1.20918718555173E-5 *
DiscreteTransferFcn2_states[1]);

    (* Output: '<Root>/bo_Object_Pressure' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Constant'
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
    * Sum: '<S1>/Sum' *)
    bo_Object_Pressure := (LREAL#0.012738680131672 *
DiscreteTransferFcn1_states) + LREAL#30.0;

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn2 -
(LREAL#-0.987261319868328 * DiscreteTransferFcn1_states);

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn2' incorporates:
    * Update for Inport: '<Root>/bi_Object_Input' *)
    rtb_DiscreteTransferFcn1 := (bi_Object_Input - (LREAL#-
1.985821256040976 * DiscreteTransferFcn2_states[0])) -
(LREAL#0.985881859016488 * DiscreteTransferFcn2_states[1]);
    DiscreteTransferFcn2_states[1] :=
DiscreteTransferFcn2_states[0];
    DiscreteTransferFcn2_states[0] :=
rtb_DiscreteTransferFcn1;
  
```



### Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  bi_Object_Input : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_Object_Pressure : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn2_states : ARRAY [0 .. 1] OF LREAL ;
  rtb_DiscreteTransferFcn1 : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn2 : LREAL ;
END_VAR

```

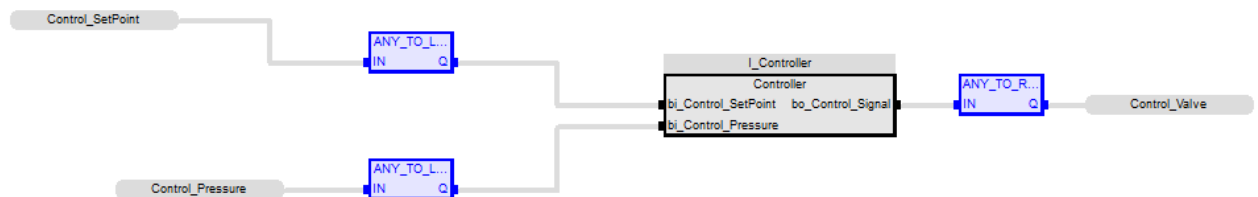
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main (\* Основна програма \*)

[ST] Controller (\* Контролер \*)

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Користувачький функціональний блок

```

(* Fcn: '<S1>/Перетворення діапазону' incorporates:
  * Inport: '<Root>/bi_Control_Pressure'
  * Inport: '<Root>/bi_Control_SetPoint'
  * Sum: '<S1>/Sum' *)
rtb_u := (bi_Control_SetPoint - bi_Control_Pressure) *
LREAL#2.5;

(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
(* Gain: '<S2>/Gain6' incorporates:
  * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1'
  * Gain: '<S2>/Gain5'
  * Sum: '<S2>/Sum1' *)
rtb_Gain6 := (LREAL#0.0 - DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE)
* LREAL#0.71638597788458;

(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
  * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
  * Gain: '<S2>/Gain1' *)

```

```

    rtb_Sum_b      :=      ((LREAL#0.74      *      rtb_u)      +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) + rtb_Gain6;

(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
(* RelationalOperator: '<S4>/Compare' incorporates:
 * Constant: '<S4>/Constant' *)
rtb_Compare_p := rtb_Sum_b >= 100.0;

(* RelationalOperator: '<S5>/Compare' incorporates:
 * Constant: '<S5>/Constant' *)
rtb_Compare_kj := rtb_Sum_b <= 0.0;

(* Switch: '<S3>/Switch1' incorporates:
 * Constant: '<S3>/Constant'
 * Constant: '<S6>/Constant'
 * Constant: '<S7>/Constant'
 * Logic: '<S3>/Logical Operator'
 * Logic: '<S3>/Logical Operator1'
 * Logic: '<S3>/Logical Operator2'
 * Logic: '<S3>/Logical Operator3'
 * Logic: '<S3>/Logical Operator4'
 * Logic: '<S3>/Logical Operator5'
 * RelationalOperator: '<S6>/Compare'
 * RelationalOperator: '<S7>/Compare' *)
IF      NOT      ((rtb_Compare_p      AND      (rtb_u      <      0.0))      OR
(rtb_Compare_kj      AND      (rtb_u      >      0.0)))      OR      ((      NOT      rtb_Compare_p)      AND      (
NOT      rtb_Compare_kj)))      THEN
    rtb_u := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Switch: '<S3>/Switch1' *)
(* End of Outputs for SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF rtb_Sum_b >= 100.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
    bo_Control_Signal := LREAL#100.0;
ELSIF rtb_Sum_b > 0.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
    bo_Control_Signal := rtb_Sum_b;
ELSE
    (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
    bo_Control_Signal := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S2>/Gain3' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := ((LREAL#0.037 * rtb_u) *
LREAL#0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time
Integrator1' *)

```

```
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_Gain6)
+ DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
(* End of Outputs for SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
```

## Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
    bi_Control_SetPoint : LREAL ;
    bi_Control_Pressure : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Control_Signal : LREAL ;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE : LREAL ;
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE : LREAL ;
    rtb_u : LREAL ;
    rtb_Gain6 : LREAL ;
    rtb_Sum_b : LREAL ;
    rtb_Compare_p : BOOL ;
    rtb_Compare_kj : BOOL ;
END_VAR
```

## Додаток В

### Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

#### В.1 Драйвера

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

#### В.2 Перелік змінних

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max.	Signal area min.	Measuring ra...	Measuring range ...
Fi...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller/Global/Control_Pressure		STRATONNG - zenon Logic: Contr...	REAL	1.000000	0.000000	1.000	0.000
	Controller/Global/Control_SetPoint		STRATONNG - zenon Logic: Contr...	REAL	1.000000	0.000000	1.000	0.000
	Controller/Global/Control_Valve		STRATONNG - zenon Logic: Contr...	REAL	100.000000	0.000000	100.0	0.0
	Pressure		S7TCP32 - VIPA	REAL	1.000000	0.000000	1.000	0.000
	Valve		S7TCP32 - VIPA	REAL	100.000000	0.000000	100.0	0.0

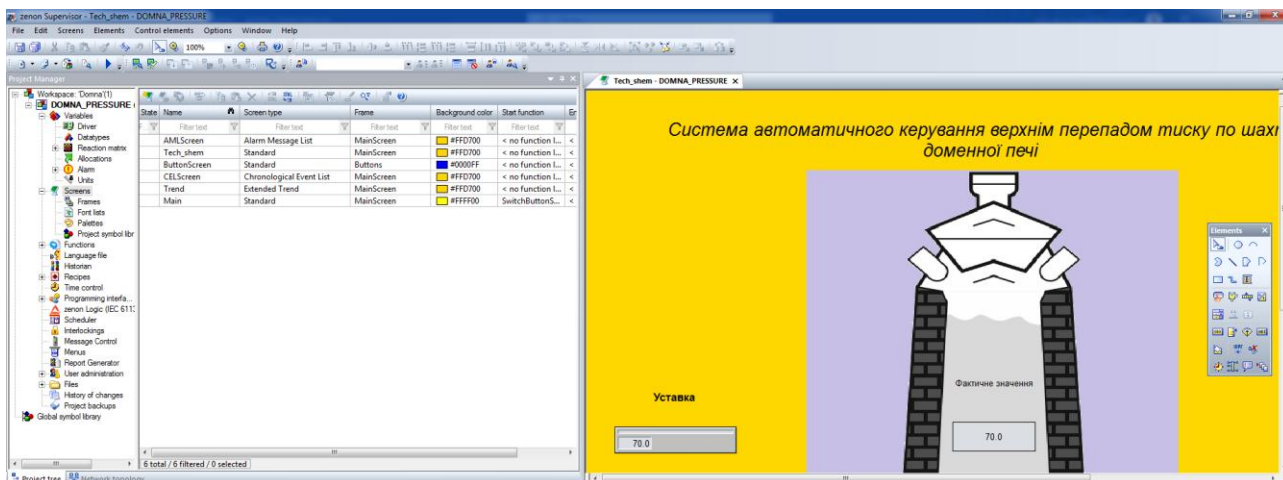
#### В.3 Шаблони зображень

Sta...	Always in L...	Display in Fra...	Name	Background co...	Freely defin...	Left [pixe...	Top [pixels]	Right [pixe...	Bottom [pi...
Fi...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS LINE	#FF0000	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	1280	20
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreen	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>	0	20	1280	920
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buttons	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>	0	920	1280	1024

#### В.4 Функції

Sta...	Name	Type	Parameter
Fi...	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,0m,...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,...
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Tech_shem (Standard)
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Trend (Extended Trend) - PROCESS[HD]

## В.5 Зображення



Міністерство освіти та науки України  
 Національний технічний університет  
 «Дніпровська політехніка»  
 Інститут електроенергетики  
 Електротехнічний факультет  
 Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

### Людино-машинний інтерфейс до кваліфікаційної роботи ступеню магістра

Дослідження та синтез системи автоматичного керування верхнім перепадом  
 тиску по шахті доменної печі

студента групи 151м-19-1  
 Косенко Ярослава Юрійовича

Дніпро  
 2020

Інформація

Технологічна  
 схема

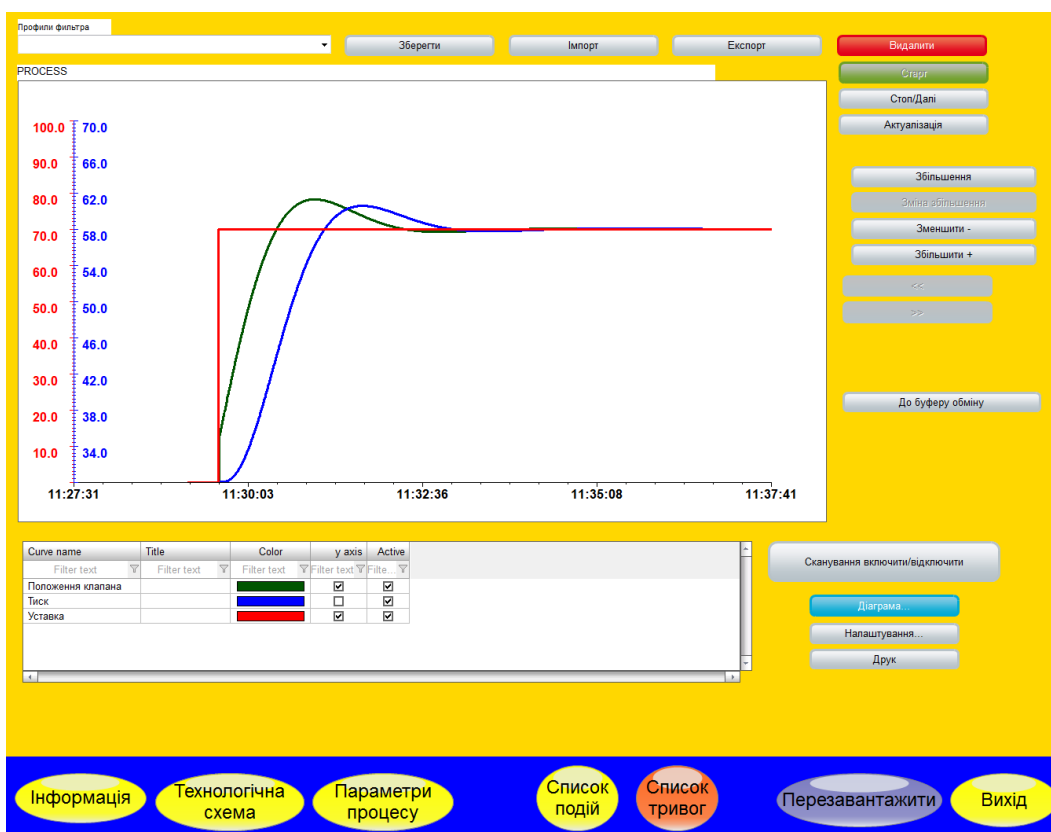
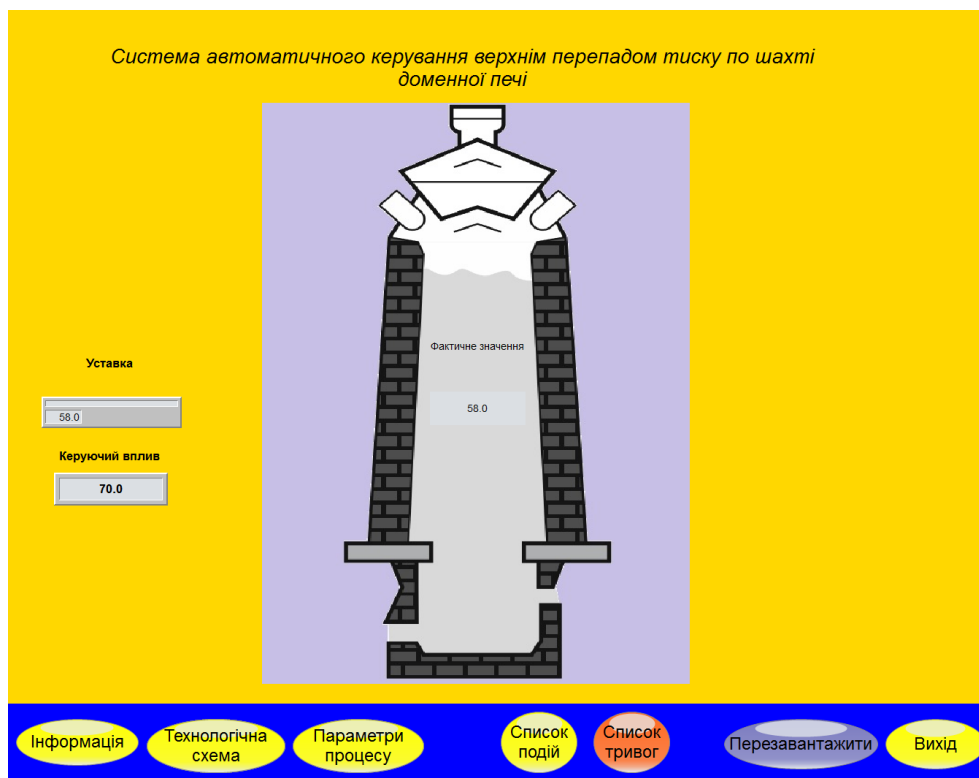
Параметри  
 процесу

Список  
 подій

Список  
 тривог

Перезавантажити

Вихід



Фільтр  
["\*"]("Rel 0d,1h,0m,0s")

Кількість  
13

Профілі фільтрів

Зберегти Імпорту Експорту

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Одн...	Користувач - п...
03.11.2020 10:51:59	System was started				SYSTEM
03.11.2020 10:52:06	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM
03.11.2020 10:59:56	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:09:12	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:09:19	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:11:14	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:11:21	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM
03.11.2020 11:19:32	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:24:59	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:25:04	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM
03.11.2020 11:27:29	System was stopped				SYSTEM
03.11.2020 11:29:11	System was started				SYSTEM
03.11.2020 11:29:37	Modify spontaneous value: (58.0)	Controller/Global/Control_558.0			SYSTEM

Коментар

Відправити Друкувати

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Профілі фільтрів

Зберегти Імпорту Експорту Відправити

Стоп

Всього  
0

Не оброблено  
0

Обробити  
Обробити сторінку  
Обробити все

Відправити  
Відправити сторінку  
Відправити все

Друкувати

Alar...	Time received	Time cleared	Time acknowledged	Variable name	Value	Mea...	Text
---------	---------------	--------------	-------------------	---------------	-------	--------	------

Коментар  
Поле для коментаря

Функції тривоги  
Показати підключені функції

Виконати функцію Відкрити допомогу

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід