

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 Продан Богдан Шихахмедович
(ПІБ)

академічної групи 151М-21-1
(шифр)

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

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

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування тиском в тунельній печі в процесі випалювання керамічних виробів
(назва за наказом ректора)

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

Дніпро
2022

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

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

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Продан Б. Ш. академічної групи 151М-21-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування тиском в тунельній печі в процесі випалювання керамічних виробів,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» №918-с від 13.09.2022 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.09.22 – 14.09.22
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	15.09.22 – 30.09.22
Синтез та дослідження системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	01.10.22 – 31.10.22
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.22 – 14.11.22
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	15.11.22 – 24.11.22
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.22 – 05.12.22

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

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

Дата видачі

01.09.2022

Дата подання до атестаційної комісії

10.12.2022

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Продан Б.Ш.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 93 с., 64 рис., 4 табл., 3 додатки, 30 джерел.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі для випалювання керамічної цегли.

Предмет дослідження – закономірності процесу автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі для випалювання керамічної цегли.

Зроблений аналіз тунельної печі для випалювання керамічних виробів як об'єкта автоматизації, та за його результатами сформовані вимоги до системи автоматичного керування, а також завдання щодо її дослідження.

Проведено синтез системи автоматичного керування на базі ПІ-регулятора з використанням спеціалізованих комп'ютерних інструментів, та за допомогою обчислювальних експериментів на основі створеної імітаційної моделі системи керування показані недоліки використання цього способу синтезу системи.

Запропоновано вдосконалений спосіб синтезу системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі за допомогою спеціалізованих комп'ютерних інструментів, який передбачає подальше дослідження критеріїв якості роботи системи керуванні від параметрів налаштування регулятора. В результаті досліджень встановлені нові закономірності процесу керування, на основі яких визначені оптимальні налаштування ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування.

На основі SCADA-програми Zenon створене програмне забезпечення системи автоматичного керування та людино-машинний інтерфейс з перевіркою коректності його функціонування.

Ключові слова: *СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ТИСК ГАЗО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ, ТУНЕЛЬНА ПІЧ, SCADA-ПРОГРАМА* *ZENON.*

SUMMARY

Qualification paper: 93 p., 64 pic, 4 t., 3 add., 30 sources.

The object of the research is the regularities of the process of automatic pressure of the gas-air mixture in the tunnel kiln for firing ceramic bricks.

The subject of the research is the regularities of the process of automatic pressure control of the gas-air mixture in the tunnel kiln for firing ceramic bricks.

An analysis of the tunnel kiln for firing products as an object of ceramics automation was made, and based on its results, requirements for the automatic control system were formed, as well as tasks related to its research.

The synthesis of the automatic control system based on the PI controller was carried out using specialized computer tools, and with the help of computational experiments based on the created ionic model of the control system, the shortcomings using this method of system synthesis were shown.

An improved method of synthesizing the system of automatic pressure control of the gas-air mixture in the tunnel furnace with the help of specialized computer tools is proposed, which involves further research of the quality criteria of the control system from the parameters of the regulator settings. As a result of the study, new regularities of the driving process were established, on the basis of which the optimal settings of the PI controller were determined according to the criterion of the maximum speed of the control system.

On the basis of the SCADA-program Zenon, provision of an automatic control system and a human-machine interface with verification of the correctness of its functioning was created.

Key words: *SYNTHESIS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, SIMULATION MODEL, PRESSURE OF GAS-AIR MIXTURE, TUNNEL FURNACE, SCADA-PROGRAM ZENON.*

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	11
1.1 Галузь промисловості	11
1.2 Технологічний процес	13
1.3. Об'єкт керування	16
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта управління	16
1.3.2 Структурна об'єкту управління	18
1.3.3. Принцип функціонування об'єкту керування	18
1.4 Функціональна та принципова схема системи керування	21
1.5 Формулювання задачі дослідження	23
1.6 Висновки до розділу	24
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ	25
2.1 Розробка імітаційної моделі системи автоматичного керування	25
2.2 Обґрунтування методу синтезу та критеріїв ефективності роботи системи автоматичного керування	27
2.3 Висновки за розділом	34
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	36
3.1 Синтез системи автоматичного керування	36
3.2 Дослідження відпрацювання системою автоматичного керування збурень	39
3.3 Висновки за розділом	52
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	53
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	53
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	58
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	60
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	64

	6
4.5 Висновки до розділу	66
5 Економіка	67
5.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи автоматичного керування тиском в тунельній печі в процесі випалювання керамічних виробів	67
5.2 Розрахунок капітальних витрат	68
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат	71
5.3.1 Амортизація основних фондів	72
5.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати	73
5.3.3 Відрахування на соціальні заходи	74
5.3.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	74
5.3.5 Витрати на електроенергію	74
5.3.6 Інші витрати	75
5.4 Оцінка економічної ефективності проекту	75
5.5 Висновки по розділу	78
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	79
6.1 Ризики виникнення захворювань опорно-рухового апарату	79
6.1.2 Виявляй потенційні небезпеки і ергономічні ризики	79
6.1.2 Встановлюй шляхи усунення небезпек	83
6.1.3 Вмотивуй заходи спрямовані на усунення потенційної небезпеки і ергономічного ризику	84
6.1.4 Впроваджуй і контролюй запропоновану стратегію	86
ВИСНОВОК	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	91
Додаток А Програмні модулі системи керування	94
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	98
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	101

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

САК	Система автоматичного керування;
ЛМІ	Людино-машинний інтерфейс;
ПІД	Пропорційно-інтегрально-диференційний;
ГПС	Газоповітряна суміш
ПЗ	Програмне забезпечення
ТП	Тунельна піч
ОК	Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. На обсяг випуску в Україні певних керамічних виробів (керамічні плитки, цегли тощо) значний вплив здійснює будівельна галузь – саме від темпів її розвитку залежить обсяг виготовлення будівельних матеріалів. А будівельна галузь є одна з найбільш перспективних в Україні, для її розвитку є усе необхідне – багато природних ресурсів для виготовлення будівельних матеріалів, та досить застарілий житловий фонд країни, що потребує масштабної модернізації. Крім того, після війни в Україні потрібно буде масово відновлювати житловий фонд.

Виробничі підприємства термічної обробки керамічної цегли мають високу енергоємність, що обумовлює значні економічні витрати на випал (наприклад, в тунельній печі витрати газоповітряної суміші становлять близько 30000 м³/добу на 138 тис. од./добу цегли). Тому зниження енерговитрат за рахунок вдосконалення алгоритмів автоматичного керування технологічними процесами є однією з важливих задач при виробництві будівельних матеріалів.

Мета і задачі дослідження. В магістерській кваліфікаційній роботі поставлено за мету визначити закономірності процесу автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі, що дозволять адаптувати процес керування тиском під змінні умови роботи печі, зокрема, під зміну тиску газоповітряної суміші у газопроводі її подачі в піч перед регулюючим клапаном.

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

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі;

- проведено дослідження ефективності використання для синтезу системи автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі класичних регуляторів та спеціалізованих комп'ютерних інструментів для їх налаштування;

- проведено дослідження системи автоматичного керування на робастність;

- запропонований новий спосіб синтезу системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі за допомогою спеціалізованих комп'ютерних інструментів, який передбачає подальше додаткове налаштування регулятора на основі дослідження залежності критеріїв якості роботи системи керуванні від параметрів налаштування регулятора;

- встановлені нові закономірності процесу керування, на основі яких визначені оптимальні налаштування ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі для випалювання керамічної цегли.

Предмет дослідження – закономірності процесу автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі для випалювання керамічної цегли.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі використані методи сучасної теорії автоматичного керування. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів апроксимації даних та синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Проведене дослідження системи автоматичного керування на робастність дозволило зробити висновок про прийнятність використання ПІ-регулятора для автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші у тунельній печі для випалювання керамічної цегли навіть за суттєво несприятливих умов, коли відбуваються значні зміни збурення (тиску суміші у газопроводі її подачі в піч перед регулюючим клапаном).

Але, подальші дослідження показали, що результат синтезу системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі у застосунку “PID

Tuner” є неефективним через неврахування при роботі застосунку обмеження за швидкістю зміни у часі керуючого впливу на об’єкт автоматизації. Тож, далі проведено дослідження системи автоматичного керування з метою пошуку оптимальних параметрів регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування, але за умови забезпечення відсутності перевищення максимального припустимого рівня диференціалу за часом керуючого впливу. У ході дослідження отримані наступні наукові результати:

- для кожного режиму роботи системи автоматичного керування (відпрацювання уставки або компенсація збурення) є свої оптимальні налаштування ПІ-регулятора, що забезпечують максимальну швидкодію системи без перевищення максимального допустимого диференціалу за часом керуючого впливу;

- для кожної величини збурення є свої оптимальні параметри ПІ-регулятора, при яких максимальне значення фактичного диференціалу керуючого впливу дорівнює своєму максимальному допустимому рівню. При цьому встановлено, що оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової, так і інтегральної складової регулятора залежать від величини збурення зворотно та експоненційно;

- встановлено, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежності оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

На обсяг випуску в Україні певних керамічних виробів (керамічні плитки, цегли тощо) значний вплив здійснює будівельна галузь – саме від темпів її розвитку залежить обсяг виготовлення будівельних матеріалів.

Для усіх керамічних виробів за останні роки простежувався загальний тренд, який розглянемо на прикладі вироблення керамічної плитки [1] (рис.1.1).

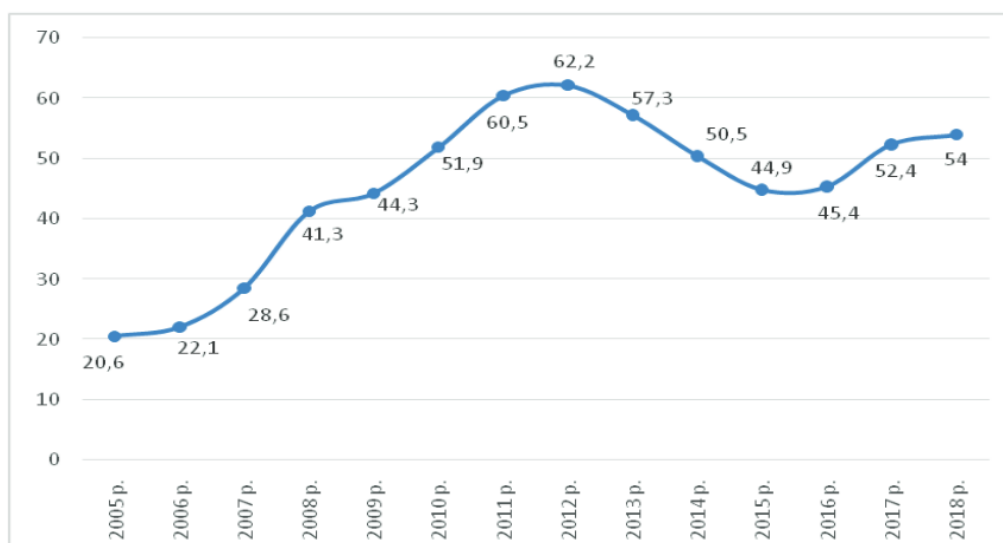


Рисунок 1.1 – Статистика виробництва керамічної плитки в Україні [2]

З рис.1.1 можна побачити, що починаючи з 2012 р. виробництво керамічної плитки в Україні характеризується негативною динамікою. У 2014 році обсяг виробництва плитки керамічної знизився на 11,9 % порівняно з показниками 2013 р., і становив 50,5 млн. м². У 2015 році ця тенденція продовжилася, і виробництво керамічної плитки в Україні знову знизилося на 11 % порівняно з 2014 роком. Таким чином, за період 2012-2015 років виробництво керамічної плитки скоротилося на 27,8 % або на 17,3 млн. м². Це, передусім, пов'язано зі значною політичною та економічною кризою, що сталася у ці роки, а також з кардинальним перерозподілом ринку експорту. За ці роки спостерігалось суттєве зменшення економічної активності населення, й відповідно, попиту у будівельній галузі.

Починаючи з 2015 року, з'явилася незначна тенденція у сторону збільшення об'ємів виробництва керамічних виробів (рис.1.1). Це було пов'язано з відкладеним очікуванням бізнесу щодо початку нових проектів у будівельній галузі. Будівельна галузь є одна з найбільш перспективних в Україні, для її розвитку є усе необхідне – багато природних ресурсів для виготовлення будівельних матеріалів, та досить застарілий житловий фонд країни, що потребує масштабної модернізації.

Але, тенденція щодо зростання будівельної галузі та обсягів виробництва будівельних матеріалів (як і керамічних виробів) за останні декілька років практично зникла. Так, за три місяці 2020 року було вироблено 226,2 тис. кубометрів цегли керамічної (на 12,2% менше, ніж за січень-березень 2019 року) [3]. А взагалі за 2020 рік було вироблено 1,43 млн кубометрів цегли керамічної (на 19,2% менше, ніж за 2019 рік) [4]. Це пов'язано зі значним сповільненням темпів реформ в Україні та розчаруванням бізнесу щодо сподівання появи прозорого й чесного ринку та правил гри в країні. Ситуація ще більше погіршилася після вторгнення росії до України.

Але, будівельна галузь, як і галузь виробництва будівельних матеріалів (у тому числі керамічних виробів), з урахуванням вищенаведених факторів, надовго будуть залишатися одним з найбільш перспективних напрямів розвитку економіки України у післявоєнний період.

Як там не було, до війни Україна мала досить потужну галузь виробництва керамічних виробів. Наприклад, найбільшими виробниками цегли в Україні є ТзОВ «КерамБуд» (Львівська обл.), ТОВ «Кузьминецький цегляний завод» (Київська обл.), ТОВ «Керамейя» (Суми), ЗАТ з П «СБК» (Сумська, Київська обл.). ТОВ «Білоцерківські Будматеріали» (Київська область, м. Біла Церква — Білоцерківська цегла). І є надія, що в післявоєнний період відбудеться її швидке відновлення.

Отже, з оглядом на це, автоматизація процесів виготовлення керамічних виробів в Україні з метою підвищення продуктивності підприємств та якості виготовленої ними продукції є актуальним питанням у майбутньому.

1.2 Технологічний процес

Розглянемо технологію випарювання керамічних виробів на прикладі керамічної цегли.

Процес випарювання – це лише один з багатьох етапів технології виготовлення керамічної цегли (див. рис.1.2). Цей процес має місце після спресовування та сушки штучних виробів у формах (поз. 17 та 25 на рис.1.2), а після нього виріб поступає на пакування та складування (29 на рис.1.2) [5].

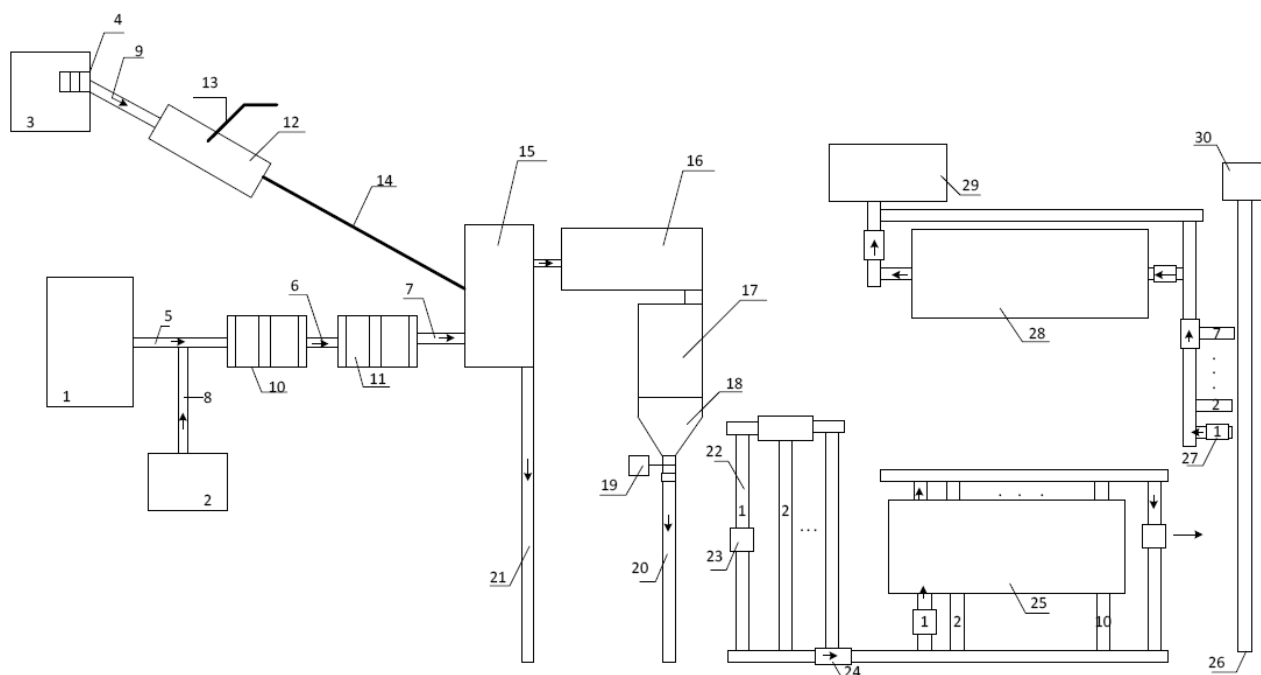


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виготовлення керамічної цегли: сировинні склади – 1, 2, 3; дробарка – 4; стрічкові транспортери – 5-9, 20, 21, 26; вальці грубого і тонкого помелу – 10, 11; млин – 12; вода – 13; труба – 14; змішувачі глини – 15, 16; вакуумний прес – 17; мундштук – 18; однострунний різальний напівавтомат – 19; рейки – 22; вагонетка – 23; електролафети – 24; сушильна камера – 25; обпалювальна платформа – 27; тунельна піч – 28; склад готової продукції – 29; бункер відходів – 30

Тепловий процес випалювання (випалу) керамічної цегли в тунельній печі за температурним режимом розділений на три періоди: підготовку, випал та охолодження. Кожен період в тунельній печі описується певним фізико-хімічним процесом, який відбувається в керамічному виробі. Необхідно

дотримуватися чітких вимог до температурного режиму і тривалості випалу на кожній позиції печі, оскільки якість отриманих виробів залежить від правильності протікання цих процесів. Основною характеристикою випалу керамічної цегли є температурний режим, тобто залежність між температурою випалу і його часом (тривалістю), а графічно він представляє собою температурну криву або криву випалу (рис.1.3).

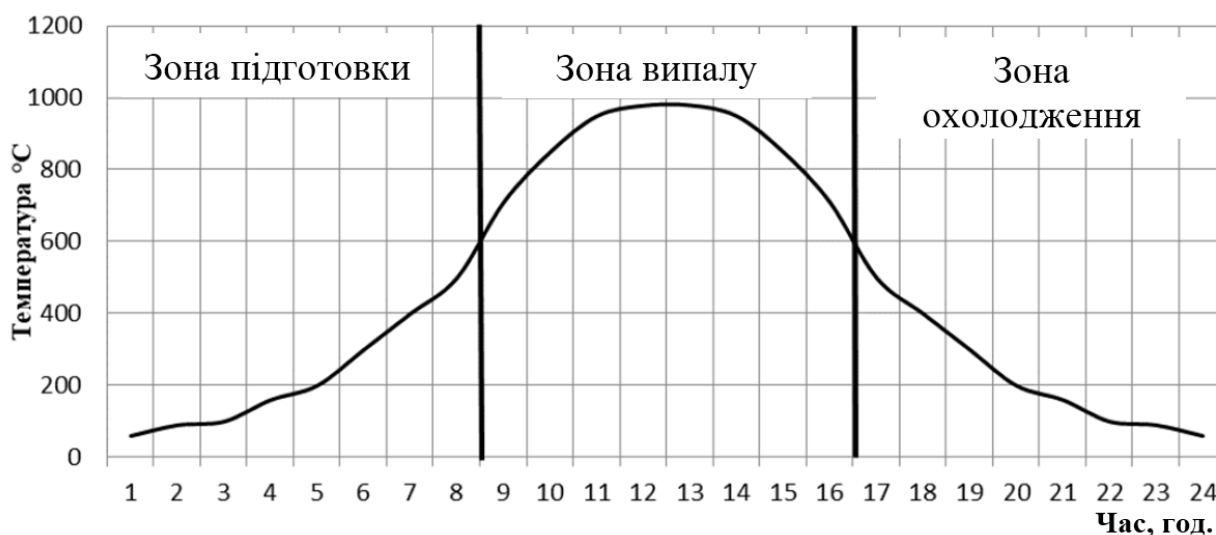


Рисунок 1.3 – Температурний графік процесу виробництва керамічної цегли в тунельних печах

Процес нагріву, випалу і охолодження керамічних виробів вимагає певного часу, оскільки протікають декілька фізико-хімічних процесів, від яких безпосередньо залежить якість виробу. Також важливо враховувати значення температури маси самих керамічних виробів. У практичних умовах визначити ці температури не представляється можливим і доводиться застосовувати температуру середовища, в якій відбуваються процеси нагрівання, випалювання та охолодження. Режим термічної обробки виробів залежить від температури середовища (пічного простору), де відбуваються теплові процеси в печі. У зоні охолодження температура керамічного виробу буде більш гарячою, ніж продукти горіння, а в зоні нагріву – холодніше. Температурою печі в зоні випалу є не температура власного полум'я газових пальників, розташованих по зоні випалу, а середня температура продуктів згоряння видимого палива.

Тунельна піч працює на газоподібному паливі (природний газ). Повітря подається і регулюється вентиляторами, розташованими в зоні випалу. У зоні підготовки температура підвищується до 600 °С. Температура в зоні випалу підтримується в межах від 950 °С до 1000 °С. У зоні охолодження температура становить від 60 °С до 80 °С. Технологічний цикл виробництва цегли в тунельній печі становить до 36 годин.

По завершенні процесу випалу електролафетом платформа з цеглою подається на майданчик, або до складу. Готова цегла зберігається на складі від 3 до 7 діб, а потім здійснюється її відвантаження. На складі цеглу укладають на піддони (металеві площадки), і завантажують автокраном на автотранспорт перед продажем до споживача.

Слід відзначити, що випалювання є найбільш енергоємним і трудомістким процесом при виробництві цегли, оскільки при цьому формуються властивості цегли, які регламентують якість одержуваного продукту. На процес випалювання припадає найбільша кількість браку (три і більше відсотків від загальної кількості випущених виробів). Для підприємства при обсязі випуску цегли 50 - 51 млн од./рік втрати становлять близько 1,5 - 1,75 млн од./рік. Виробничі дільниці термічної обробки керамічної цегли володіють високою енергоємністю, що обумовлює значні економічні витрати на випал (наприклад, в тунельній печі витрата газоповітряної суміші становить близько 30000 м³/добу на 138 тис. од./добу цегли). Тому зниження енерговитрат за рахунок автоматизації цього процесу є дійсно актуальним завданням.

1.3. Об'єкт керування

Об'єктом керування у цій кваліфікаційній роботі є процес випалювання у тунельній печі.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Розглянемо тунельну піч випалу керамічної цегли. У печі температура для окремих зон або ділянок робочого простору різна, а теплове навантаження не змінюється у часі. Нагрівання керамічних виробів відбувається при різних теплових режимах і по заданому температурному графіку. Тепловий режим печі може змінюватися в залежності від:

- показника теплового навантаження тунельної печі, який змінюється в залежності від часу;
- заданого графіка, який змінює температуру в окремих зонах печі або в робочому просторі;
- стадії процесів нагріву, випалу і охолодження, на яких газове середовище у печі має суттєво різні характеристики.

Тунельна піч представляє собою прямий канал (тунель), по рейковому шляху якого назустріч теплоносію переміщаються вагонетки з керамічними виробами, що випалюються. Розглянемо загальну схему тунельної печі (рисунок 1.4) [5].

Тунельна піч містить: робочий канал 1, умовно розділений на зони підготовки, випалу і охолодження; вентилятор відбору теплоносія 2, встановлений в кінці зони охолодження; вентилятор 3 подачі атмосферного повітря в зону охолодження; опалювальну систему 4; вентилятор відбору димових газів 5, розміщений перед зоною підготовки; вентилятор відбору гарячого повітря із зони охолодження 6; вентиляційну систему 7, що включає певну кількість блоків, послідовно розподілених по зоні підготовки; вентилятор 11 для відсмоктування теплоносія, встановлений на початку зони підготовки.

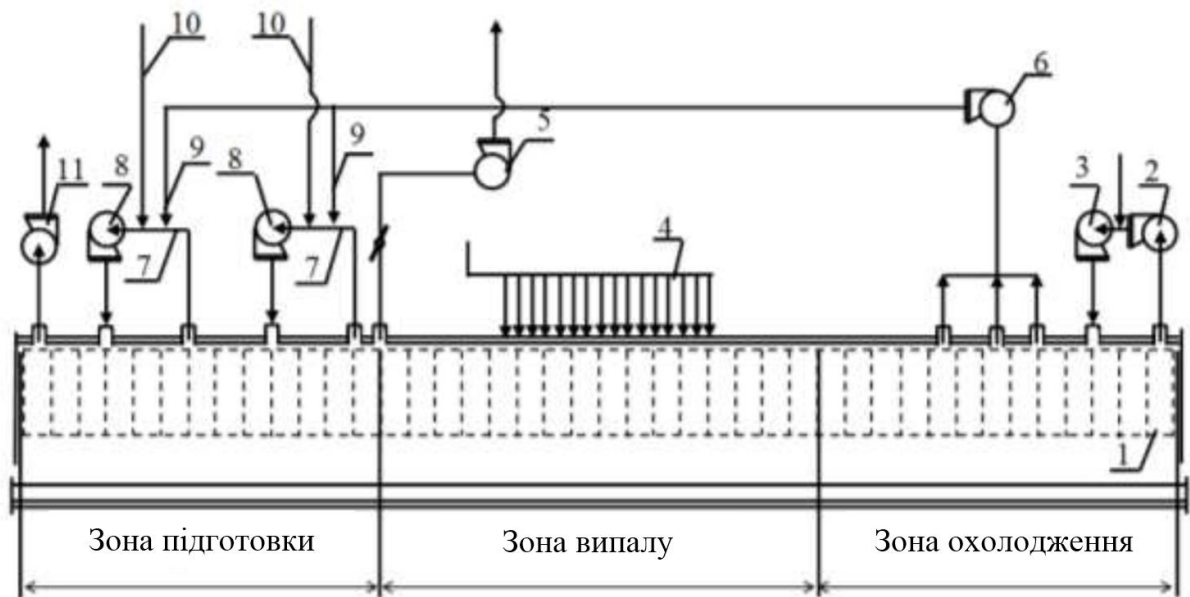


Рисунок 1.4 – Схема тунельної печі випалу керамічної цегли

Блоки вентиляційної системи 7 складаються з нагнітаючого вентилятора 8, до якого в певному місці підведений трубопровід 9 для подачі повітря із зони охолодження, а також трубопровід 10 для підсосу атмосферного повітря.

Зовнішній вигляд тунельної печі представлений на рис.1.5



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд тунельної печі для випалювання керамічної цегли

1.3.2 Структура об'єкту керування

Структура об'єкта керування є одномірною, але наряду з керуючим впливом також присутній збурюючий вплив (рис.1.6).

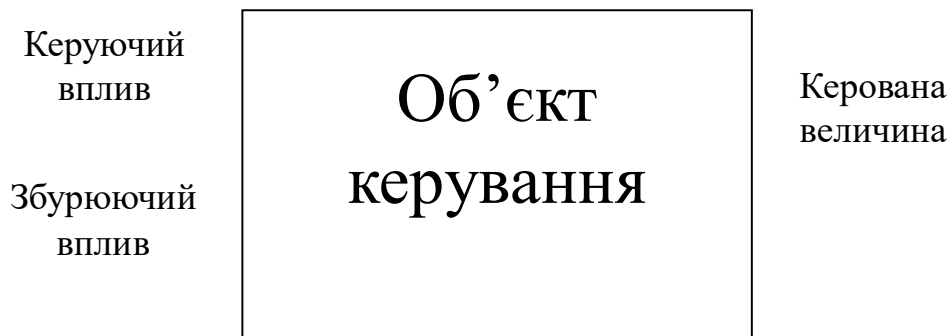


Рисунок 1.6 – Структурна схема об'єкта керування

При цьому за умови керування тиском газо-повітряної суміші у зоні випалювання печі керуючим впливом є керуючий сигнал на привод вентиля у газопроводі, вихідним – тиск газо-повітряної суміші у зоні випалювання печі, а збуренням – тиск газоповітряної суміші у газопроводі.

1.3.3. Принцип функціонування об'єкту керування

Тунельна піч випалу керамічної цегли працює наступним чином [5]. У робочий канал 1 (рис.1.4) на деякій відстані від кінця зони охолодження вентилятором 3 подають атмосферне повітря. Вентилятором 2, що встановлений в кінці зони охолодження, відбирають теплоносій і направляють до вентилятора 3.

У печі створюється такий перепад тисків, що повітря в сторону зони випалу рухається у протихід до руху виробів, а до розвантажувального кінця – за однаковим напрямом. Таким чином, в кінці зони охолодження створюється тиск, що дорівнює тиску в цеху. Системою опалення 4 (рис.1.4) в зону випалу подають паливо, при згорянні якого вироби нагріваються до заданої температури. Димові гази відбирають вентилятором 5, який встановлений перед зоною підготовки, і викидають в атмосферу.

Для ефективного спалювання природного газу за допомогою вентиляторів, встановлених в зоні випалу, подається повітря з атмосфери через канали в форсунках.

В кінці зони підготовки розташований перший блок вентиляційної системи 7 (рис.1.4). Після останнього блоку вентиляційної системи теплоносій відбирають вентилятором 11 і викидають в атмосферу.

Випалювальний канал тунельної печі по довжині печі умовно розділений на три основні технологічні зони: 1) зона підготовки; 2) зона випалу; 3) зона охолодження. Схема обпалювального каналу тунельної печі представлена на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Схема обпалювального каналу тунельної печі

Тунельна піч працює за принципом протиходу і відноситься до печей з рухомим складом, тобто керамічна цегла, що обпалюється, переміщується на вагонетках по наскрізному тунелю назустріч теплоносію. Згідно заданому режиму і через певний проміжок часу вагонетки проштовхуються гідравлічним штовхачем.

При кожному проштовхуванні, вагонетка, пройшовши всю довжину тунелю, видається з печі з іншого кінця. Таким чином, відбувається поступовий підігрів, випал і охолодження керамічної цегли через безперервне переміщення вагонеток в печі.

Гази температурою 600 °С, що видаляються із зони випалу, використовуються для сушки і підігріву сирцю-цегли в зоні підготовки. Зона підготовки печі з точки зору керування температурним і газовим режимами

розділена на три автономно-регульовані секції: а) низькотемпературної рециркуляції, б) високотемпературної рециркуляції, в) підігріву поду.

Обпалюється цегла в зоні випалу при температурі 950 °С - 1000 °С. Для вирівнювання температури по всій масі виробів, більш повного дозрівання черепка і проходження в ньому необхідних реакцій здійснюється витримка виробів при максимальній температурі протягом 4-9 годин. У зоні випалу встановлені газові пальники, що дозволяють широко маневрувати температурою продуктів горіння.

У зоні охолодження обпалена керамічна цегла охолоджуються до 60 °С - 80 °С для утилізації тепла, що відбирається від розігрітих виробів, і для подальшої видачі вагонеток з тунельної печі. У цій зоні охолоджується також і футерування вагонеток, що нагріте до високих температур.

Вентиляторами, розташованими зверху і збоку, декількома каналами по довжині зони охолодження подається холодне повітря, що охолоджує вироби і футерування вагонеток. Для охолодження виробів і поду вагонеток атмосферного повітря потрібно набагато більше, ніж для горіння палива.

Надмірне гаряче повітря відбирається із зони охолодження тунельної печі і використовується для рециркуляції в зоні підігріву, а також для сушіння цегли-сирцю.

Для охолодження керамічної цегли по заданому температурному режиму зона охолодження умовно розділена на 4 секції: 1) загартування; 2) прискореного охолодження; 3) уповільненого охолодження; 4) інтенсивного охолодження.

Таким чином, повний технологічний цикл випалу керамічної цегли в тунельній печі складається з операцій завантаження виробів і проштовхування вагонеток за допомогою гідравлічного штовхача, а також сушки виробів, їх випалення при температурі 950 °С - 1000 °С, витримки протягом 4-9 годин, охолодження і вивантаження виробів.

Сукупність усіх перерахованих операцій складає цикл роботи тунельної печі випалювання керамічної цегли.

1.4 Функціональна та принципова схема системи керування

За підсумками кваліфікаційної роботи бакалавра розроблені функціональна та принципова схеми системи автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі (рис.1.8 та рис.1.9).

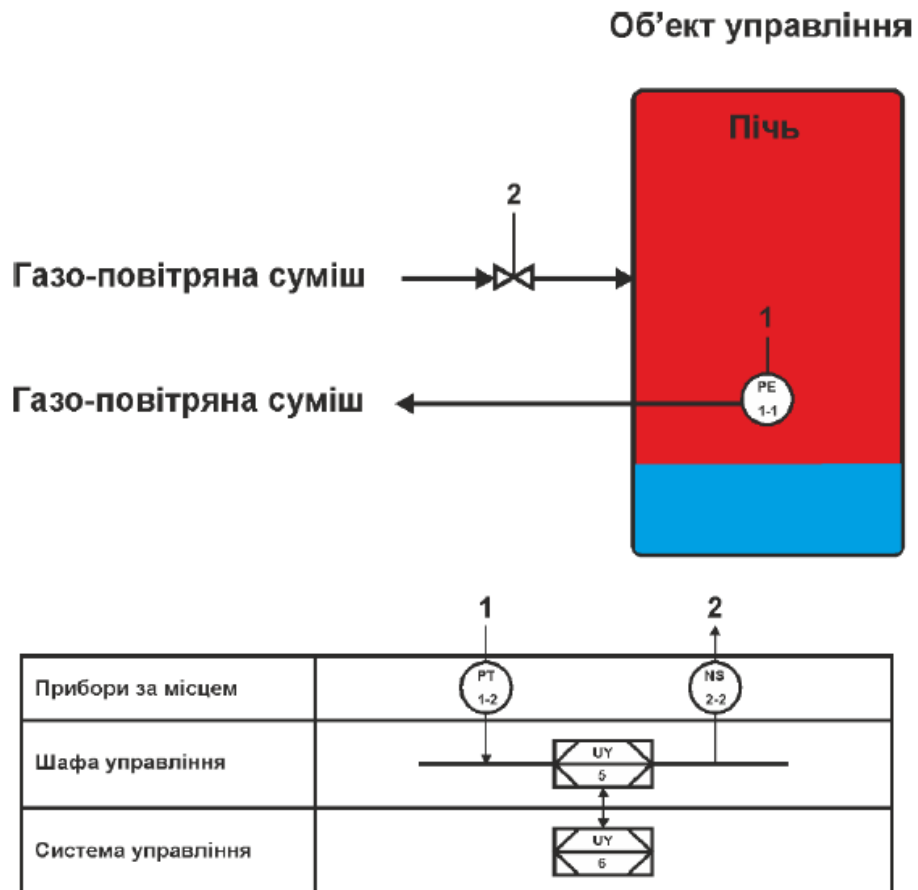


Рисунок 1.8 – Функціональна схема автоматизації підсистеми керування

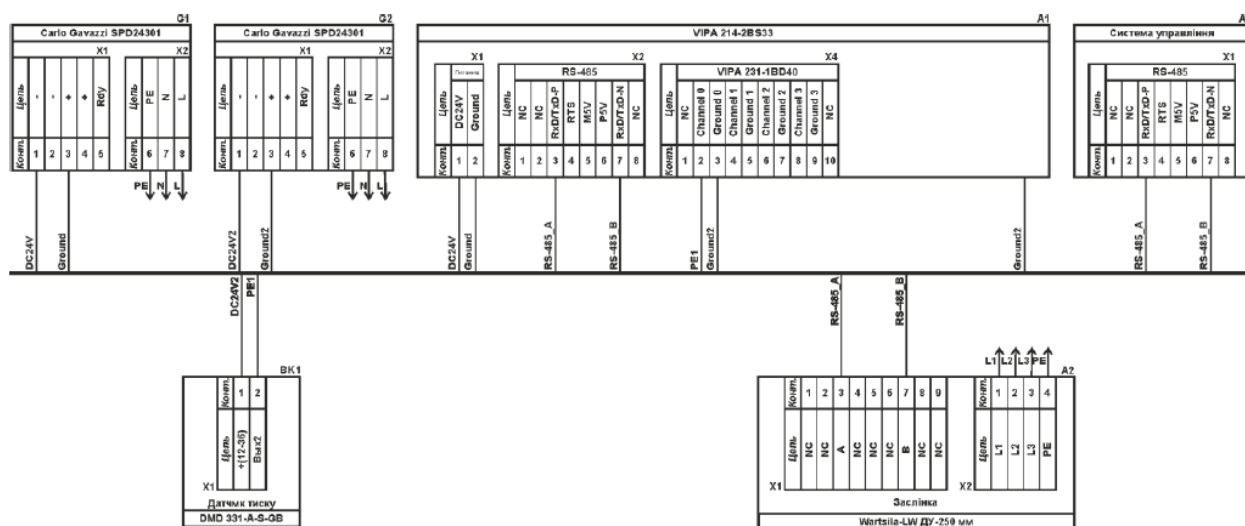


Рисунок 1.9 – Схема електрична принципова підсистеми керування

На рис.1.8 у якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 5 – VIPA 214-2BS33). Програмований логічний контролер підключено до системи керування ділянкою дезодорації олії якій відповідає контролер більш високого рівня (UY 6), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Тиск ГВС в зоні випалювання печі вимірюється за допомогою датчика тиска (PE 2-1 – DMD 331-A-S-GB) виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 2-2 – DMD 331-A-S-GB) трансформується в стандартний струмовий сигнал 4...20 мА.

На підставі значення з датчику тиску програмований логічний контролер (UY 5 – VIPA 214-2BS33) формує керуючий вплив який за допомогою інтерфейсу RS-485 передається заслінці (Wartsila-LW ДУ-250 мм) яка виконує регулювання ГВС.

На рис.1.9 в підсистемі використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю дискретного виводу VIPA 222-1BF00 (A1 – X5), датчику тиску DMD 331-A-S-GB (BK1).

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та системою керування лінією дезодорації (A3) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).

Зв'язок між контролером та заслінкою Wartsila-LW ДУ-250 мм (A2) також реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485. Заслінка Wartsila-LW ДУ-250 мм.

1.5 Формулювання задачі дослідження

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є процес автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі для випалювання керамічної цегли.

Предметом дослідження у кваліфікаційній роботі є закономірності процесу автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі для випалювання керамічної цегли.

В кваліфікаційній роботі бакалавра було доведено, що за умови автоматичного керування тиском газоповітряної суміші у тунельній печі у зоні випалювання об'єкт керування є нелінійним та з мінливими динамічними властивостями, на які впливають процеси в інших зонах печі у якості збурень, а також зовнішні збурення (наприклад, тиск у газопроводі).

З оглядом на це, сформульовані наступні задачі дослідження:

- створити імітаційну модель системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі;
- провести дослідження ефективності використання для синтезу системи автоматичного керування тиском газоповітряної суміші в тунельній печі класичних регуляторів та спеціалізованих комп'ютерних інструментів для їх налаштування;
- провести дослідження системи автоматичного керування на робастність;
- обґрунтувати новий спосіб синтезу системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі за допомогою спеціалізованих комп'ютерних інструментів, який передбачає

подальше додаткове налаштування регулятора на основі дослідження залежності критеріїв якості роботи системи керування від параметрів налаштування регулятора;

- встановити нові закономірності процесу керування, на основі яких визначити оптимальні налаштування ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування.

1.6 Висновки до розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, це тунельна піч для випалювання керамічних виробів. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування процесом випалювання виробів, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня тиску газоповітряної суміші у зоні випалювання. Предметом дослідження є закони автоматичного керування тиском ГПС у зоні випалювання тунельної печі.

Об'єкт керування є нелінійним через обмежену швидкість руху засувки регульованого клапану у газопроводі подачі ГПС в піч, що робить його складним для керування.

Отже, необхідно обґрунтувати метод синтезу системи керування за умови присутності суттєво нелінійного елемента в системі. Після цього потрібно дослідити ефективність використання класичних законів керування по відношенню до суттєво нелінійного об'єкту керування. За умови виявлення недоліків такого рішення має бути проведене дослідження залежностей критеріїв якості роботи системи керування від параметрів налаштування при її синтезі комп'ютеризованим методом з метою вдосконалення підходу щодо розрахунку регулятора за умови наявності обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого впливу, а також нелінійності статичної характеристики за каналом керування.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ

2.1 Розробка імітаційної моделі системи автоматичного керування

В цьому розділі розглядається імітаційна модель системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші у тунельній печі для випалювання керамічної цегли як інструмент для проведення дослідження. Основним елементом імітаційної моделі системи керування є імітаційна модель виконавчого пристрою та самої печі як об'єктів автоматичного керування.

Імітаційна модель тунельної печі як об'єкта керування розроблена в кваліфікаційній роботі бакалавра [6], та дозволяє імітувати різні ситуації, які наближені до реальних умов роботи печі. Схема імітаційної моделі тунельної печі, що реалізована в застосунку Simulink програми MATLAB показана на рис.2.1.

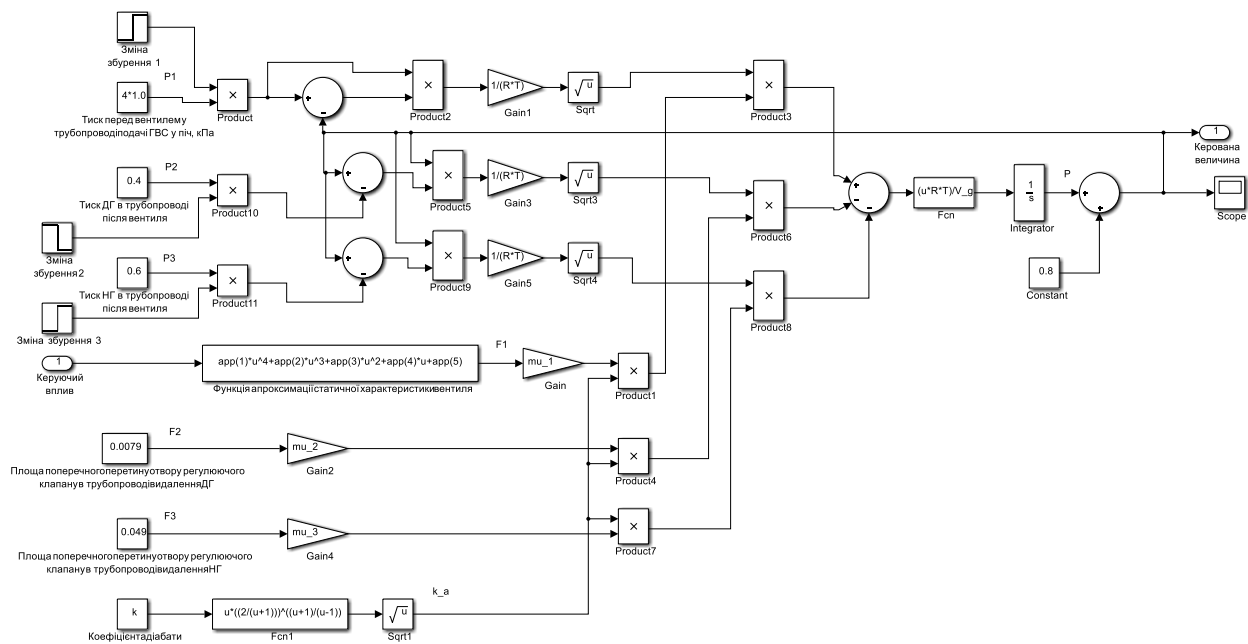


Рисунок 2.1 – Структурна схема імітаційної моделі тунельної печі для випалювання керамічної цегли як об'єкта автоматичного керування

Зазначимо, що імітаційна модель тунельної печі враховує вплив збурення на динамічні властивості об'єкта керування, через що він є складним для автоматичного керування.

Детально модель тунельної печі описана в кваліфікаційній роботі бакалавра [6].

Окрім моделі самої печі модель об'єкта керування складається з імітаційної моделі регулюючого клапану у трубопроводі подачі ГПС у тунельну піч випалу керамічної цегли. На рис.2.1 ця модель представлена блоком, в якому введена функція, яка апроксимує статичну характеристику виконавчого пристрою (блок на рис.2.1 з відповідною назвою). Однак, при цьому не враховано динамічні властивості виконавчого пристрою, і на це потрібно зважати далі при синтезі й дослідження системи автоматичного керування.

На основі моделі об'єкта керування створена імітаційна модель системи автоматичного керування, в структурі якої закладений принцип автоматичного керування за від'ємним зворотним зв'язком (рис.2.2).

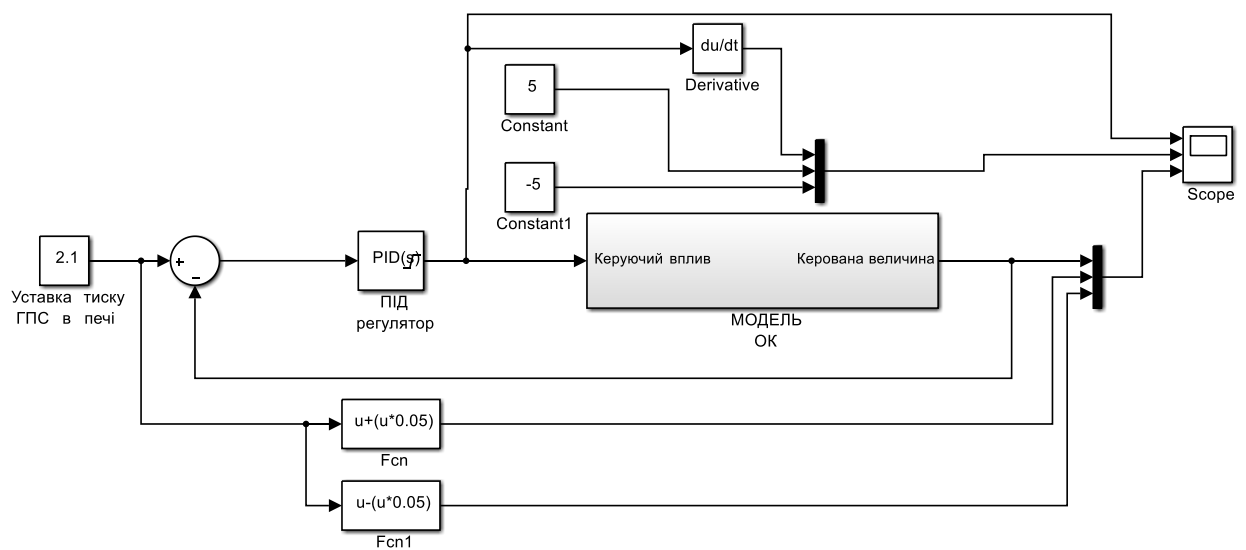


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи автоматичного керування тиском газоповітряної суміші у тунельній печі

На рис.2.2 імітаційні моделі тунельної печі та виконавчого пристрою об'єкта керування поміщені у підсистему з відповідною назвою.

Задане значення тиску ГПС у печі вводиться у відповідному блоці на рис.2.2.

Призначення інших блоків на рис.2.2 розкриті у наступному підрозділі при обґрунтуванні методу синтезу системи керування.

2.2 Обґрунтування методу синтезу та критеріїв ефективності роботи системи автоматичного керування

За умови синтезу системи автоматичного керування за основу взятий класичний ПД-закон керування, оскільки аналіз моделі об'єкта керування на рис.2.1 показує, що динамічні властивості об'єкта керування описуються диференціальним рівнянням першого порядку (маємо тільки один інтегратор). Якщо модель об'єкта керування має перший порядок, необхідну швидкодію системи керування з плавним монотонним перехідним процесом здатний забезпечити звичайний ПД-регулятор, який на рис.2.2 заданий відповідним блоком.

Розглянемо далі основні критерії якості роботи синтезованих систем керування, та уточнимо їх для технологічного процесу випалювання керамічної цегли усередині тунельної печі для випадку автоматичного керування тиском ГПС в печі [7].

На рис.2.3 наведені основні та другорядні показники якості перехідного процесу, коли відбувається відпрацювання системою керування зміни уставки:

- час перехідного процесу t_0 (це час, протягом якого керована величина стає рівною або меншою за величину деякого значення Δ);
- величина максимального перерегулювання δ_m (для технічних систем зазвичай 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).

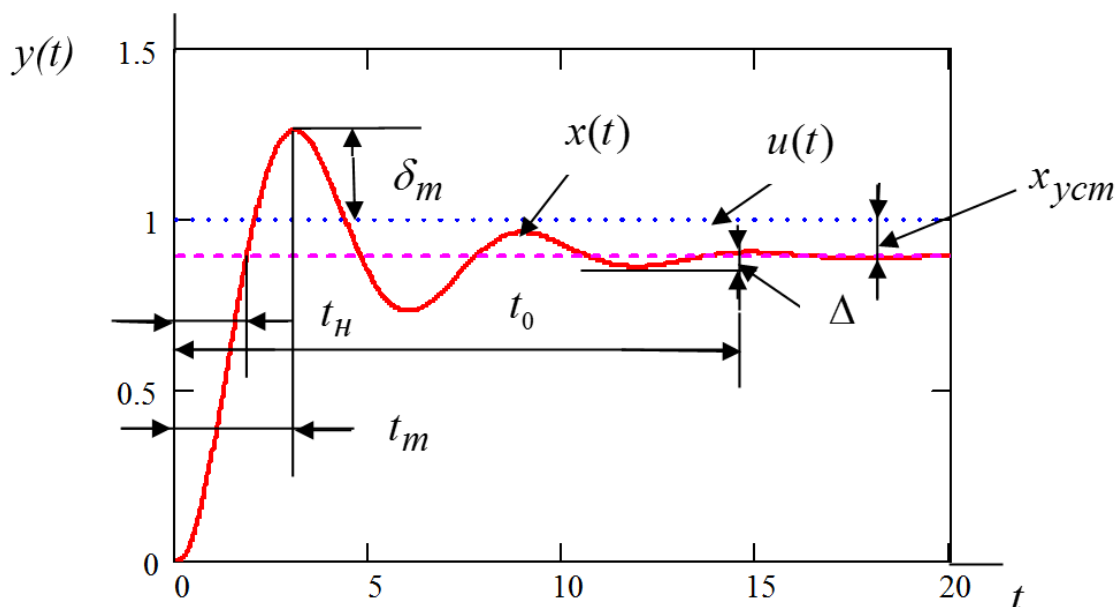


Рисунок 2.3 – Перехідний процес на виході системи автоматичного керування за умови східчастої зміни уставки

При випалюванні керамічної цегли усередині тунельної печі тиск ГПС зазвичай підтримується на постійному заданому оператором рівні. Рідко, в окремих випадках, оператор коригує тиск, змінюючи уставку. При цьому з точки зору технологічного процесу, що протікає у печі, фактичний тиск ГПС має змінитися швидко без коливань. З оглядом на це, серед вище описаних на рис.2.3 критеріїв якості переходного процесу при відпрацюванні системою зміни уставки запропоновано обрати наступні критерії:

– час переходного процесу t_0 повинний бути якомога менше. При цьому значення допустимого відхилення Δ (рис.2.3) приймається рівним 5%;

– величина максимального перерегулювання δ_m з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати 5%;

– кількість перерегулювань n має бути не більше одного;

– усталена (статична) похибка системи $x_{уст}$ повинна дорівнювати нулю.

Як було сказано раніше, основним режимом роботи синтезованої системи керування є відпрацювання дії збурення, яким фактично є зміна тиску у

газопроводі подачі ГПС перед регулюючим клапаном. При цьому загальний вид перехідного процесу на виході системи керування буде мати вигляд, як на рис.2.4.

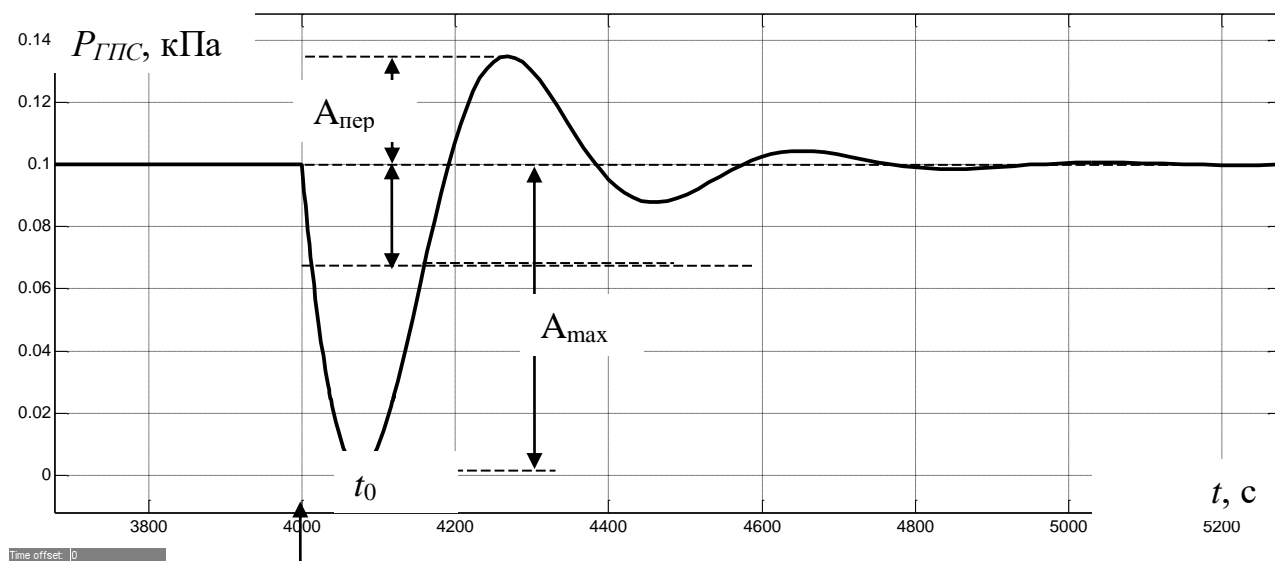


Рисунок 2.4 – Перехідний процес на виході скоригованої системи автоматичного керування в режимі стабілізації керованої величини за умови східчастого збурюючого впливу

При дослідженні синтезованої системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі будемо розглядати найбільш несприятливий варіант дії збурення, коли воно різко змінюється у часі (східчастий збурюючий вплив).

При відпрацюванні системою керування збурення до перехідних процесів пред'являються такі самі вимоги з точки зору забезпечення коректного технологічного процесу у печі, як і для випадку відпрацювання системою зміни уставки, – тиск ГПС має змінюватися без суттєвих коливань та компенсація збурення має відбуватися якомога швидко. Взагалі, бажаним є відсутність виходу тиску за межі $\pm 5\%$ від заданого рівня, але при східчастому впливі збурення за умови його значної величини це забезпечити неможливо, оскільки за каналом «збурення – керована величина» практично відсутня інерційність через особливість фізичного процесу перерозподілу тиску газу у замкненому просторі. З оглядом на зазначені бажані вимоги, при компенсації системою

збурення запропоновано використовувати наступні критерії якості перехідного процесу:

- максимальне відхилення керованої величини від уставки A_{\max} (рис.2.4) не може бути скомпенсоване, та залежить тільки від величини збурення;

- величина максимального перерегулювання $A_{\text{пер}}$ не повинна перевищувати рівень 5%;

- час перехідного процесу t_0 повинний бути якомога менше;

- кількість перерегулювань n має бути не більше одного.

Є ще одна вимога, яка пред'являється скоріше до керуючого впливу, ніж до керованої величини. За технічними характеристиками регулюючого клапану, він має обмеження щодо швидкості руху до 5 %/с, що відповідає його повному переміщенню (100%) за 20 с. Таким чином, з оглядом на цю конструктивну особливість клапану, яка пов'язана з вимогою запобігання різких рухів засувки у газопроводах зі значним тиском газів, маємо обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого сигналу. Якщо розрахувати регулятор таким чином, що керуючий сигнал буде змінюватися з більшою швидкістю, виконавчий пристрій все одно не зможе його відтворити, що призведе до некоректної роботи регулятора. Тож, додаймо цю вимогу щодо швидкості зміни у часі керуючого сигналу – не більше 5%/с. Для контролю цього в імітаційну модель системи керування на рис.2.2 та 2.5 введений блок взяття диференціалу керуючого впливу (“Derivative”), а також блоки, що задають допустимі межі зміни цього диференціалу $\pm 5\%/с$ (“Constant” та “Constant1”).

Також для контролю перебування тиску ГПС в печі у дозволених межах $\pm 5\%$ від уставки на рис.2.2 та 2.5 введені блоки “Fcn” та “Fcn1”.

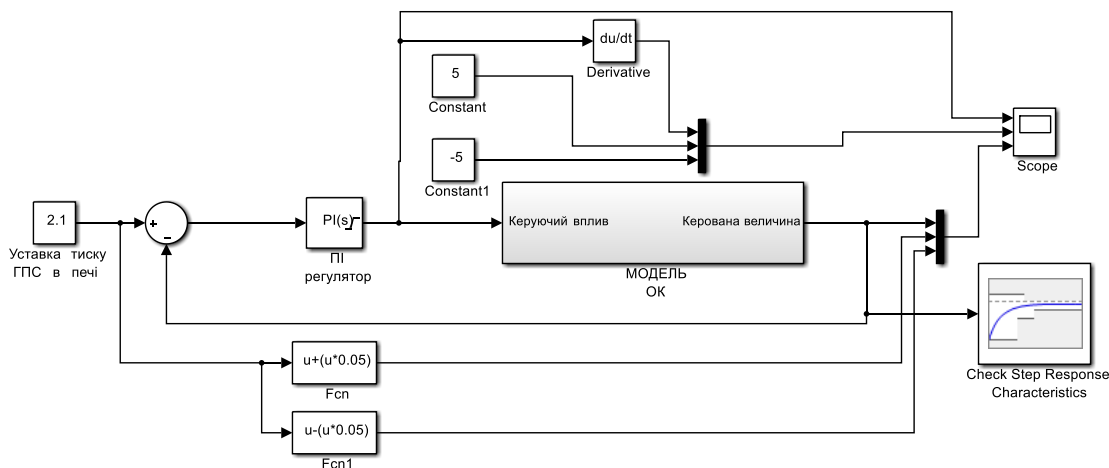


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи автоматичного керування на базі ПІ-регулятора при її перевірці на робастність

З оглядом на неможливість забезпечення максимальної швидкодії системи керування через обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого впливу небажаним є використання диференційної складової ПІД-регулятора, оскільки саме вона призводить до різких змін у часі керуючого впливу. Тому зроблений перехід від ПІД-регулятора на рис.2.2 до ПІ-регулятора на рис.2.5.

Дослідження статичних та динамічних характеристик об'єкта керування у кваліфікаційній роботі бакалавра показали, що збурення досить сильно впливає на параметри моделі. У зв'язку з цим проведемо дослідження системи керування на робастність за умови значної зміни збурення ($\pm 50\%$ від номінального значення) при використанні ПІ-регулятора. Для цього використаємо спеціалізований інструмент застосунку Simulink “Design optimization” [7]. В ньому проведемо синтез системи керування комп'ютеризованим методом, задаючи необхідну форму перехідного процесу з оглядом на сформовані вище критерії якості через завдання певної форми площі білого кольору на рис.2.5.

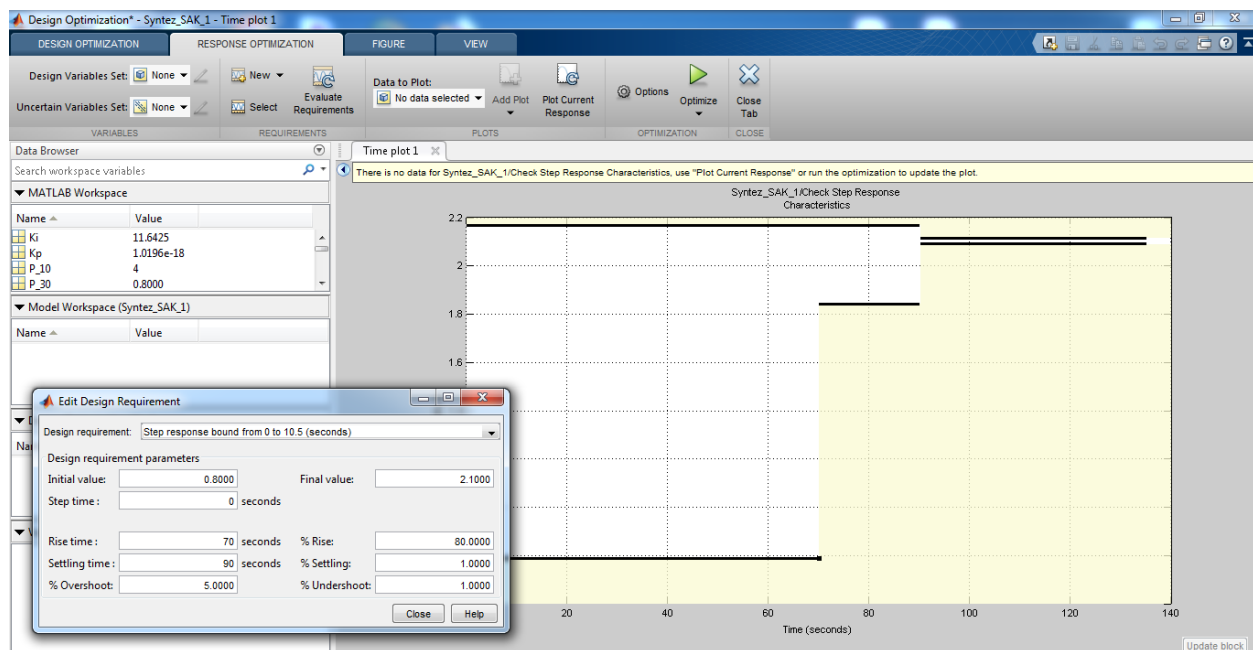
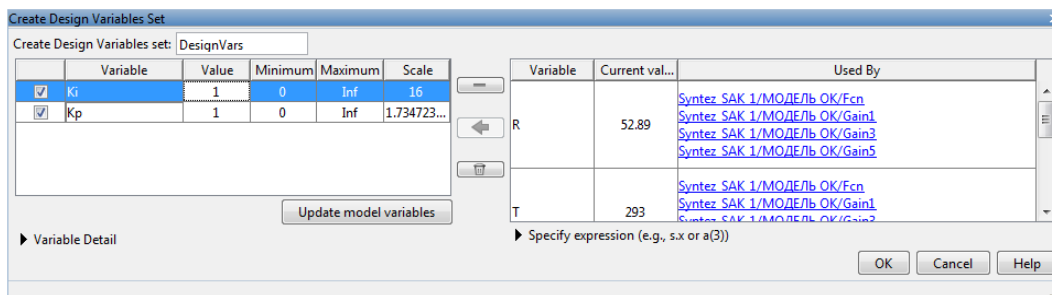
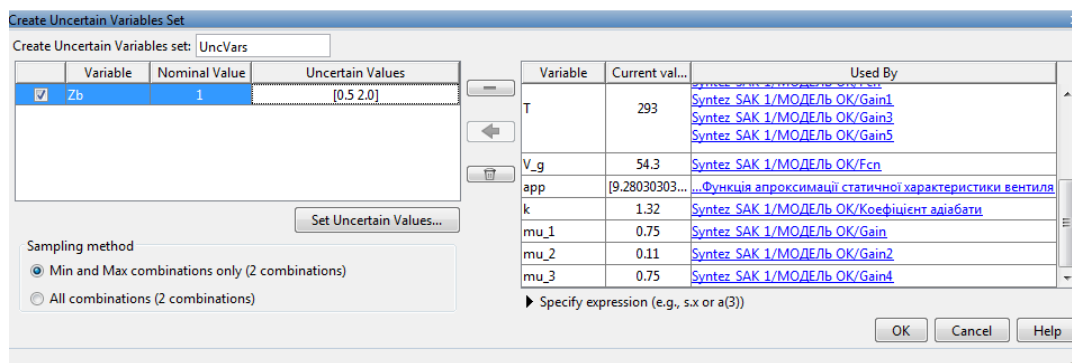


Рисунок 2.5 – Налаштування площі для оптимізації параметрів ПІ-регулятора в застосунку Design optimization

При синтезі системи автоматичного керування в інструменті “Design optimization”, окрім завдання оптимізованих параметрів ПІ-регулятора (рис.2.6,а), є можливість завдання змінного параметра моделі об’єкта керування. В нашому випадку збурення закладене в модель об’єкта керування як одне з вихідних параметрів моделі. Щоб його змінювати в процесі моделювання, до моделі об’єкта керування доданий блок “Зміна збурення1”. В цьому блоці введемо змінну Z_b , одиничне значення якої відповідає номінальному тиску ГПС у газопроводі перед регулюючим клапаном. В інструменті “Design optimization” задамо діапазон зміни цієї змінної, вказавши таким чином, що ми в моделі маємо змінний параметр (рис.2.6,б). При процедурі оптимізації в інструменті “Design optimization” будуть прораховуватися перехідні процеси для декількох значень збурення та, відповідно, змінних параметрів моделі об’єкта керування. Таким чином, одночасно з синтезом системи автоматичного керування проводиться її дослідження на робастність.



a



б

Рисунок 2.6 – Завдання параметрів для оптимізації (а) та діапазону зміни збурення для перевірки системи на робастність (б)

На рис.2.7 показаний результат роботи інструменту “Design optimization”.

З аналізу результатів дослідження системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі на робастність на рис.2.7 можна зробити висновок, що за умови використання ПІ-регулятора навіть при дуже значній зміні збурення (тиску ГПС у газопроводі перед регулюючим клапаном) у діапазоні $\pm 50\%$ від номінального значення, що призводить до пропорційної зміни коефіцієнта підсилення у каналі керування, система керування залишається стійкою.

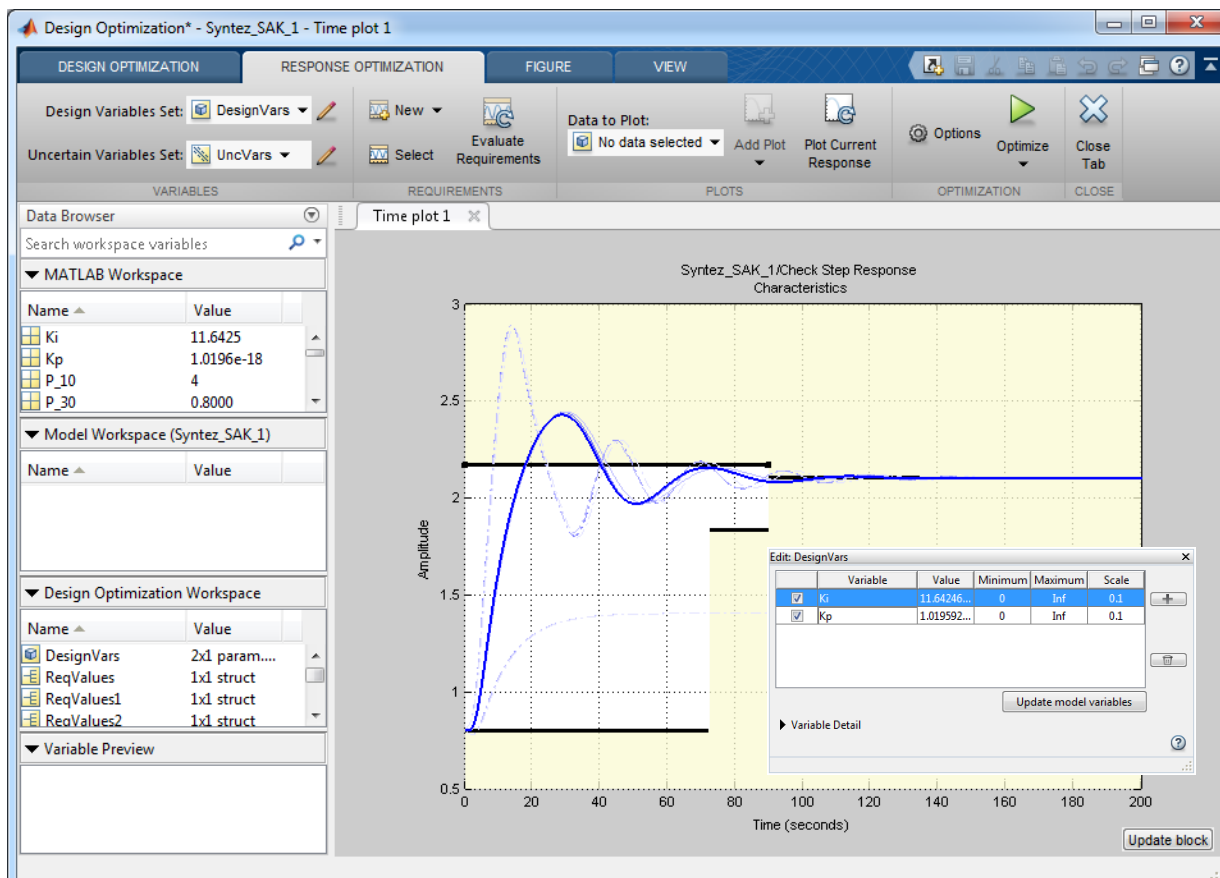


Рисунок 2.7 – Результат перевірки системи автоматичного керування на робастність за умови використання ПІ-регулятора

Таким чином, можна зробити висновок про прийнятність використання ПІ-регулятора для автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші у тунельній печі для випалювання керамічної цегли навіть за суттєво несприятливих умов, коли відбуваються значні зміни тиску суміші у газопроводі її подачі в піч перед регулюючим клапаном.

2.3 Висновки за розділом

Аналіз моделі об'єкта керування показав, що його динамічні властивості описуються диференціальним рівнянням першого порядку, оскільки в моделі маємо тільки один інтегратор. Якщо модель об'єкта керування має перший порядок, необхідну швидкодію системи керування з плавним монотонним перехідним процесом здатний забезпечити звичайний ПІД-регулятор. Але, через конструктивну особливість регулюючого клапану, яка пов'язана з

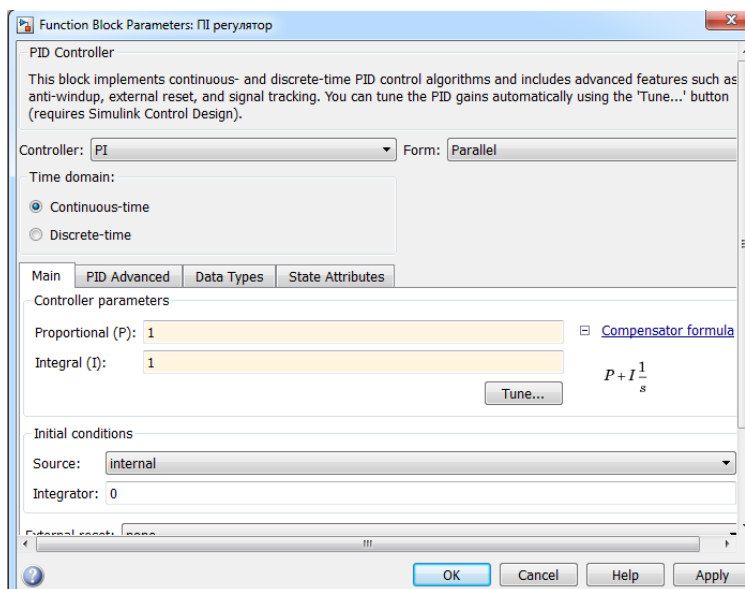
вимогою запобігання різких рухів засувки у газопроводах зі значним тиском газів, маємо обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого сигналу. З оглядом на неможливість забезпечення максимальної швидкодії системи керування через обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого впливу використання диференційної складової ПД-регулятора є небажаним, оскільки саме вона призводить до різких змін у часі керуючого впливу. Тому зроблений перехід від ПД-регулятора до П-регулятора.

З оглядом на значний вплив збурення на статичні та динамічні властивості об'єкта керування проведено дослідження системи автоматичного керування на робастність. За підсумками цього дослідження можна зробити висновок про прийнятність використання П-регулятора для автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші у тунельній печі для випалювання керамічної цегли навіть за суттєво несприятливих умов, коли відбуваються значні зміни збурення (тиску суміші у газопроводі її подачі в піч перед регулюючим клапаном).

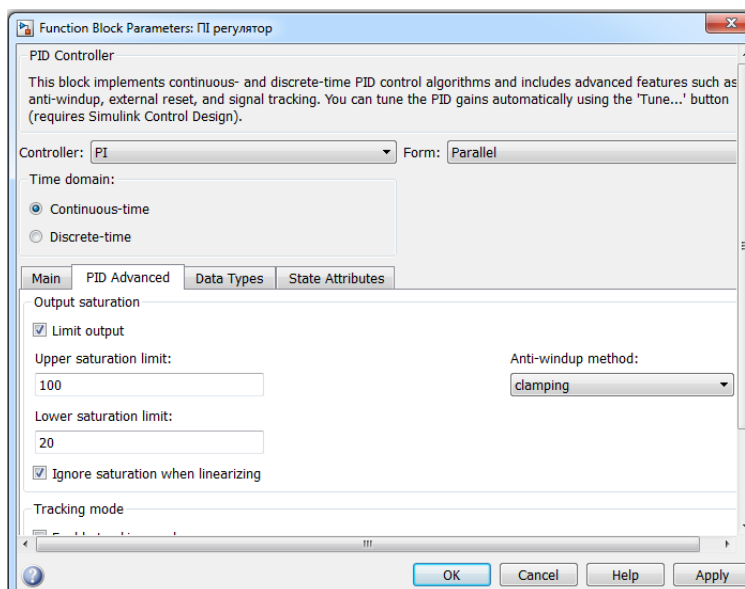
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез системи автоматичного керування

Для синтезу системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі скористаємося інструментом застосунку Simulink «PID Tuner» [7].



a



б

Рисунок 3.1 – Головне (а) та допоміжне (б) вікна налаштування ПІ-регулятора

Для цього попередньо налаштуємо блок “ПІ-регулятор” на рис.2.5 так, як показано на рис.3.1. При цьому будемо враховувати висновки, які зроблені в

підрозділі 2.2 при обґрунтуванні методу синтезу системи керування. А саме: обраний пропорційно-інтегральний регулятор (поле Controller на рис.3.1,а) з паралельним розміщенням складових одна відносно одної; у якості початкових значень параметрів регулятора для подальшої оптимізації введені одиниці; введені обмеження щодо керуючого впливу з 20 до 100% (рис.3.1,б), оскільки це є робочим діапазоном керуючого впливу з оглядом на конструктивні особливості виконавчого пристрою; активований захист від перенасичення інтегральної складової регулятора (поле “Anti-windup method” на рис.3.1,б).

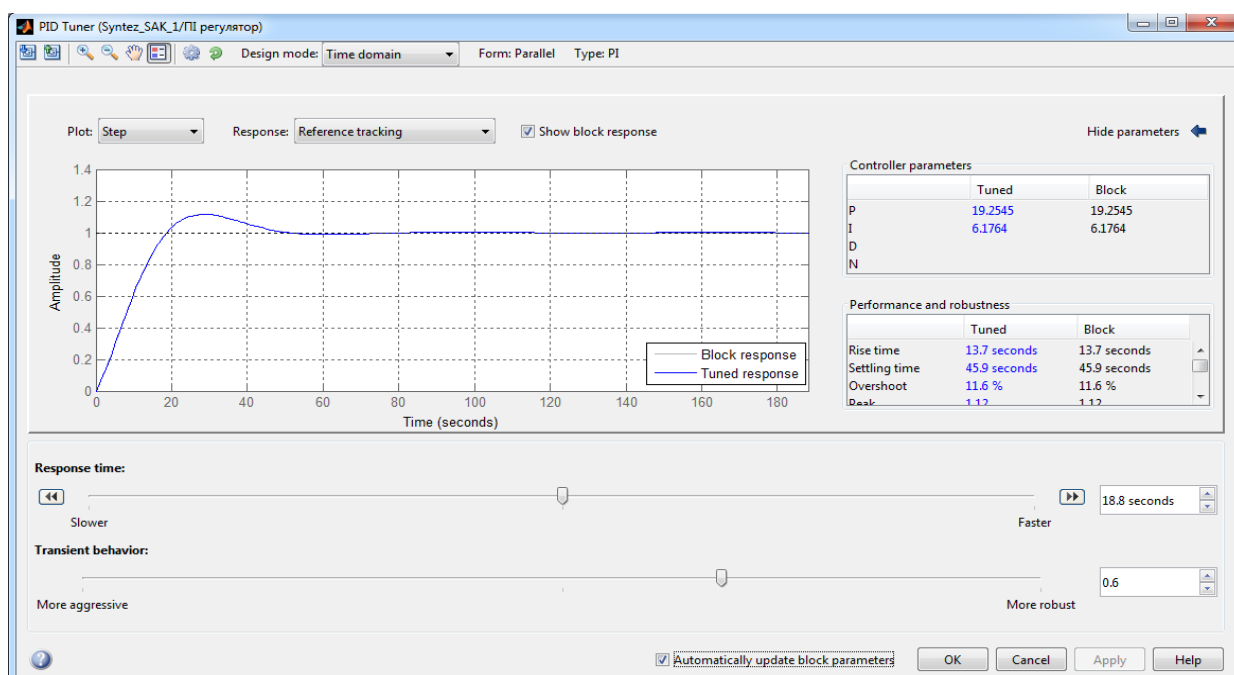


Рисунок 3.2 – Результат налаштування ПІ-регулятора через застосунок PID Tuner

За замовчанням за результатом синтезу системи керування на основі інструменту “PID Tuner” пропонуються налаштування ПІ-регулятора, що відображені на рис.3.2.

Проведений обчислювальний експеримент з отриманими налаштуваннями ПІ-регулятора на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування (рис.2.5). Результати моделювання роботи системи керування показані на рис.3.3.

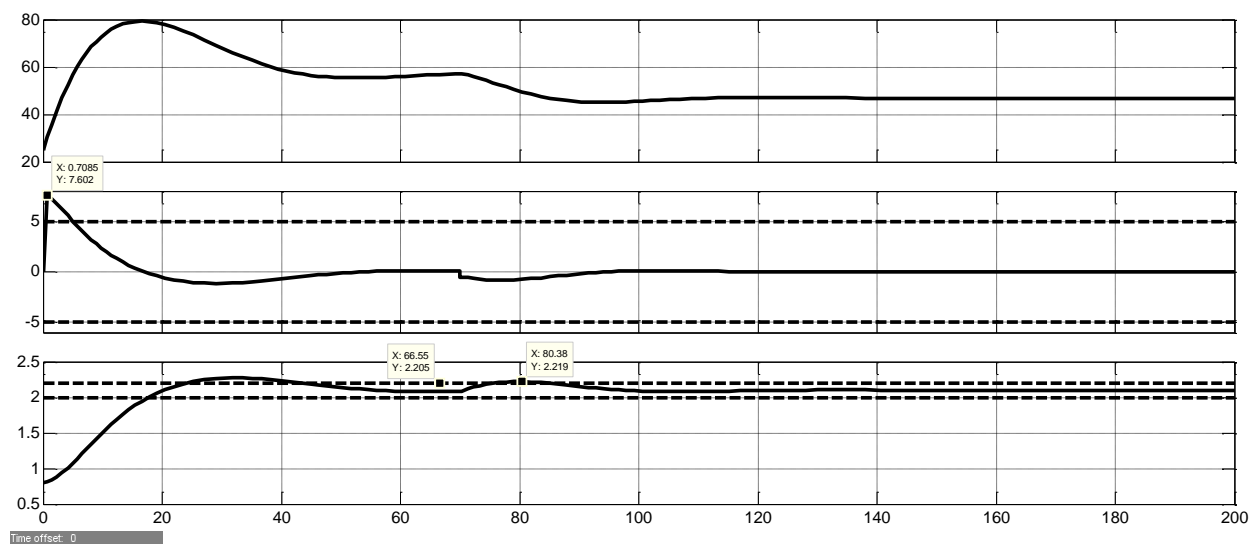


Рисунок 3.3 – Результат роботи синтезованої системи автоматичного керування (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газо-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 20% більше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

З аналізу результатів моделювання на рис.3.3 можна зробити висновок, що за умови відпрацювання зміни уставки тиску ГПС в печі маємо перевищення допустимого максимального значення диференціалу за часом керуючого впливу 5 %/с (на рис.3.3,б, що цей параметр досягає значення 7,6 %/с). А при відпрацюванні системою керування збурення ми спостерігаємо протилежну картину – є значний запас щодо подальшого збільшення диференціалу керуючого впливу та, відповідно, швидкодії системи керування (рис.3.3,б). Через це керована величина при дії збурення вийшла за рекомендований діапазон, де вона повинна утримуватися, $\pm 5\%$ від уставки (рис.3.3,в).

Таким чином, можна зробити висновок, що результат синтезу системи керування у застосунку “PID Tuner” є неефективним через неврахування при роботі застосунку обмеження за швидкістю зміни у часі керуючого впливу на об’єкт автоматизації. Тож, потрібне подальше дослідження системи автоматичного керування з метою пошуку оптимальних параметрів регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування, але за умови

забезпечення відсутності перевищення максимального припустимого рівня диференціалу за часом керуючого впливу.

3.2 Дослідження відпрацювання системою автоматичного керування збурень

В цьому підрозділі кожне налаштування ПІ-регулятора при синтезі системи автоматичного керування та її подальшого дослідження надалі будемо ототожнювати з певним рівнем швидкодії системи керування (часом наростання перехідного процесу на виході системи) за умови завдання максимального рівня робастності в інструменті “PID Tuner”, як показано на рис.3.4. Наприклад, налаштування ПІ-регулятора на рис.3.4 відповідають часу наростання 35 с. Максимальна робастність системи керування для усіх варіантів налаштування ПІ-регулятора задається тому, що через вплив збурення маємо коливання коефіцієнта підсилення за каналом керування у досить значному діапазоні $\pm 35\%$ від номінального значення, що відповідає номінальному тиску ГПС у газопроводі перед регулюючим клапаном. А максимальний рівень робастності системи керування дозволить забезпечити мінімальну коливальність в перехідному процесі навіть за умови суттєвої зміни динамічних властивостей об'єкта керування.

З аналізу рис.3.5 ми бачимо, що за умови завдання максимальної робастності системи керування при її швидкодії, що відповідає часу наростання 35 с, при відпрацюванні системою спочатку зміни уставки з 0,8 до 2,1 кПа (до 70 с), а потім компенсації збурення (збільшення тиску ГПС перед регулюючим клапаном на 20%) маємо дуже низьку швидкодію.

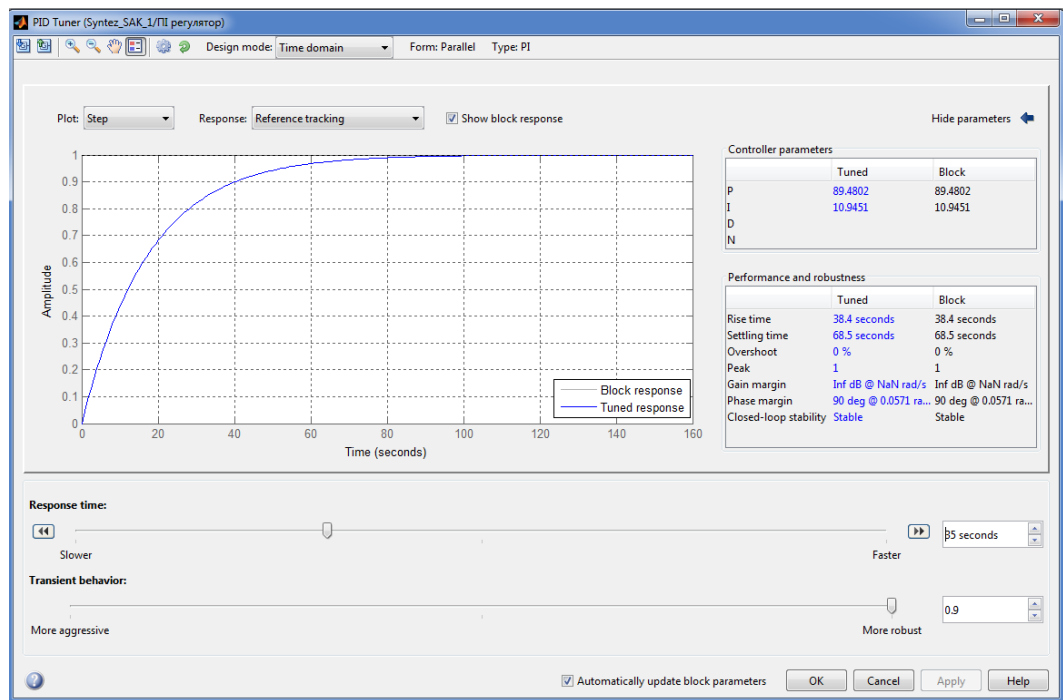


Рисунок 3.4 – Результат налаштування ПІ-регулятора через застосунок PID Tuner з максимальним рівнем робастності системи керування (час наростання – 35 с)

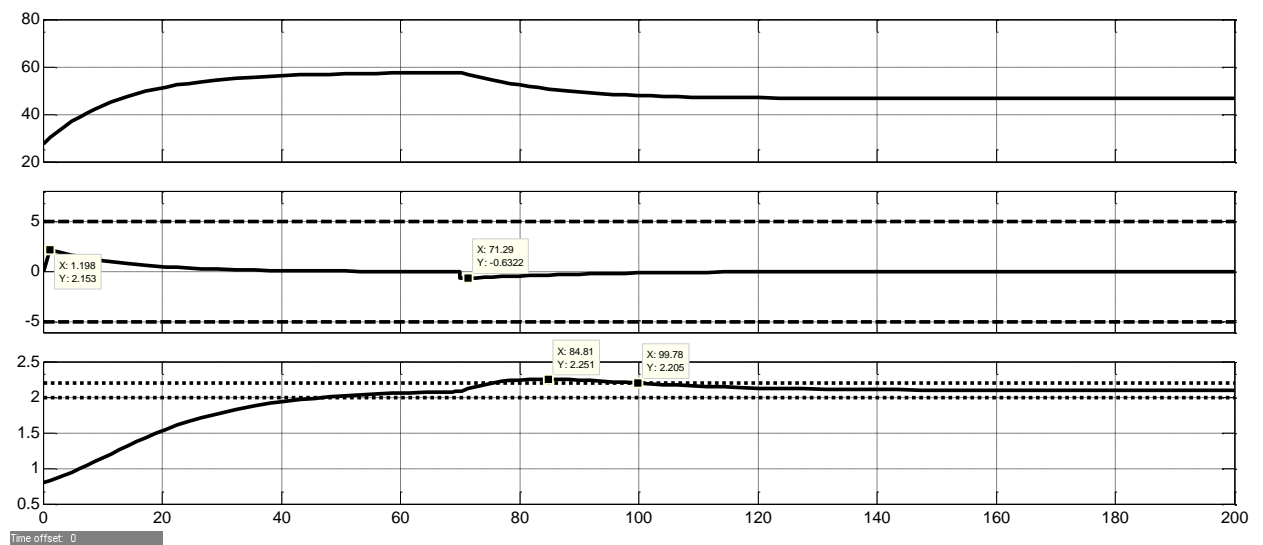
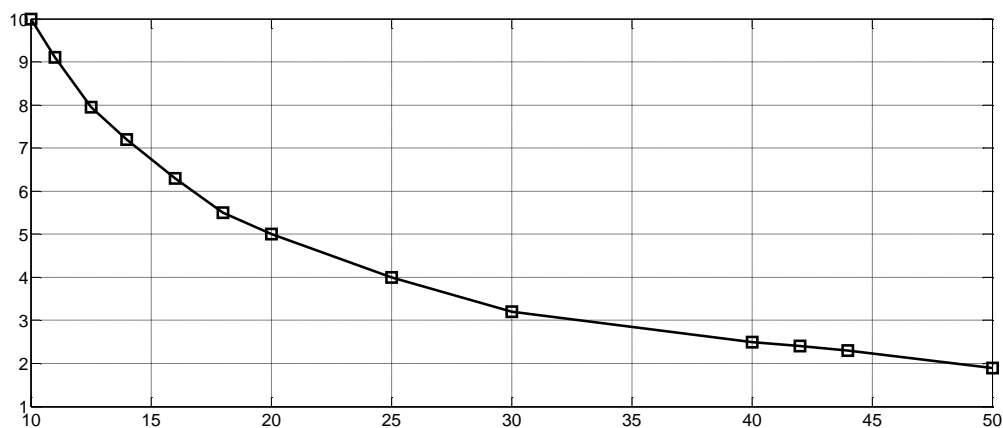


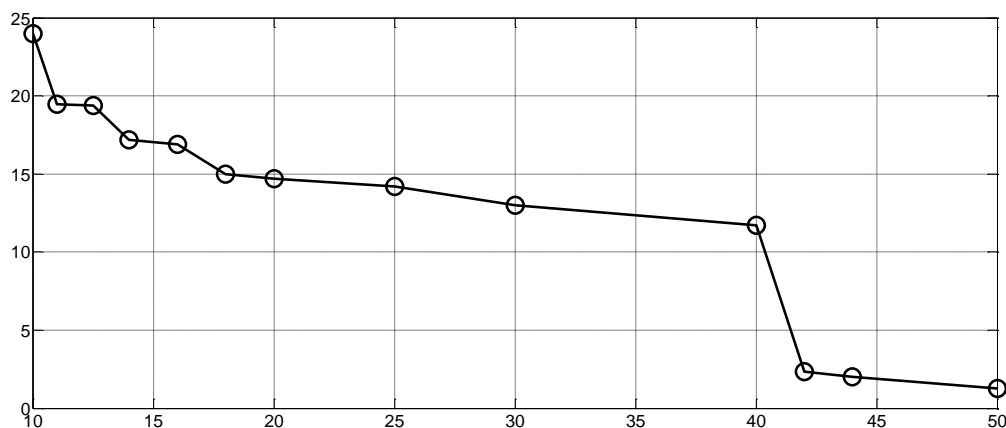
Рисунок 3.5 – Результат роботи синтезованої системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності при часі наростання 35 с (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газо-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 20% більше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

З рис.3.5,б видно, що максимальне значення диференціалу керуючого впливу дорівнює лише 0,63 %/с. Тож, є можливість суттєвого збільшення швидкодії системи керування з метою зменшення часу відпрацювання системою зміни уставки або дії збурення.

З метою визначення оптимального налаштування ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування за умови відсутності перевищення допустимого максимального рівня диференціалу за часом керуючого впливу шляхом обчислювальних експериментів отримані нові залежності рівня диференціалу від рівня швидкодії системи (рис.3.6).



a



б

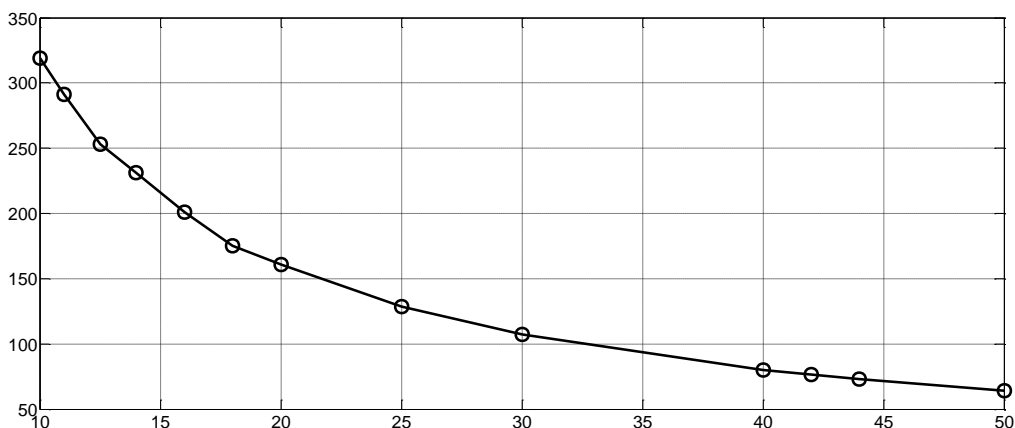
Рисунок 3.6 – Залежність значень диференціалів керуючого впливу при відпрацюванні впливу збурення (а) та зміни уставки (б) від рівня швидкодії системи керування, що виражена через час наростання перехідного процесу

Аналіз рис.3.6,а дозволяє зробити висновок, що залежність максимального диференціалу за часом керуючого впливу від часу наростання перехідного процесу, який визначає рівень швидкодії системи керування при її синтезі, є зворотною, та близька до експоненціальної форми. Також можна зробити висновок, що максимально допустимому значенню диференціалу за часом керуючого впливу 5 %/с відповідає час наростання 20 с. Саме за умови завдання такого часу наростання при синтезі системи керування через застосунок PID Tuner будемо мати максимальну швидкодію системи керування при компенсації збурення без перевищення допустимого рівня швидкості зміни у часі керуючого впливу.

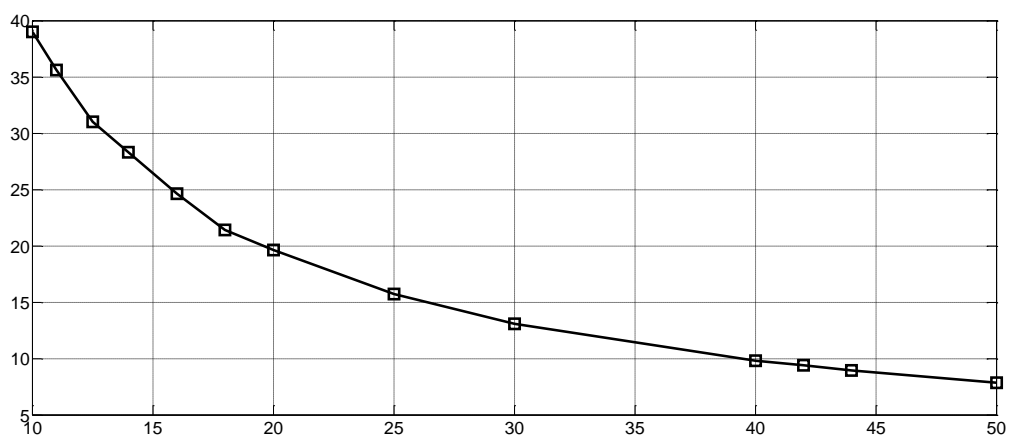
У свою чергу, аналіз рис.3.6,б дозволяє зробити висновок, що залежність максимального диференціалу за часом керуючого впливу від часу наростання перехідного процесу, який визначає рівень швидкодії системи керування при її синтезі, є зворотною та суттєво нелінійною. Після часу наростання 40 с спостерігається різке зменшення диференціалу керуючого впливу нижче припустимого рівня 5 %/с. Тож, для забезпечення максимальної швидкодії системи керування при відпрацюванні зміни уставки без перевищення допустимої швидкості зміни у часі керуючого впливу при синтезі системи з використанням застосунку “PID Tuner” час наростання потрібно задавати 42 с.

За отриманими науковими положеннями можна зробити ще один важливий висновок – для відпрацювання системою керування зміни уставки тиску ГПС в печі та компенсації дії збурення з максимальною швидкістю без перевищення допустимої швидкості зміни у часі керуючого впливу при синтезі системи керування з використанням застосунку “PID Tuner” потрібно задавати різний час наростання. Тобто, для цих двох подій маємо різні оптимальні налаштування ПІ-регулятора. Фактично потрібно використовувати два ПІ-регулятора з різними налаштуваннями, один з яких застосовується при відпрацюванні системою керування зміни уставки, а інший – при компенсації збурення.

Для визначення оптимальних параметрів ПІ-регулятора отримані залежності цих параметрів від часу наростання перехідного процесу (рис.3.7), які властиві режиму компенсації системою керування збурення, оскільки він є основним при роботі системи.



а



б

Рисунок 3.7 – Залежність значень коефіцієнтів підсилення пропорційної (а) та інтегральної (б) складових ПІ-регулятора від рівня швидкодії системи керування, що виражена через час наростання перехідного процесу

З рис.3.7 можна зробити висновок, що параметри ПІ-регулятора мають зворотну та експоненціальну залежність від рівня швидкодії системи керування. Також можна зробити висновок, що оптимальними параметрами ПІ-регулятора за критерієм максимальної швидкодії без перевищення допустимої швидкості зміни у часі керуючого сигналу, які відповідають часу наростання 20

с, для режиму компенсації системою збурення ϵ : коефіцієнт підсилення пропорційної складової – 160,6; коефіцієнт інтегральної складової – 19,6.

Результати моделювання роботи САК з оптимальним ПІ-регулятором на рис.3.8 підтверджують правильність розрахунку оптимальних параметрів регулятора. З рис.3.8,б ми бачимо, що максимальне фактичне значення диференціалу керуючого сигналу за часом як раз дорівнює своєму максимально допустимому рівню 5 %/с. При цьому максимально можлива з урахуванням обмеження швидкодія САК дозволила утримати керовану величину в бажаному діапазоні змін значень $\pm 5\%$ від уставки (рис.3.8,в).

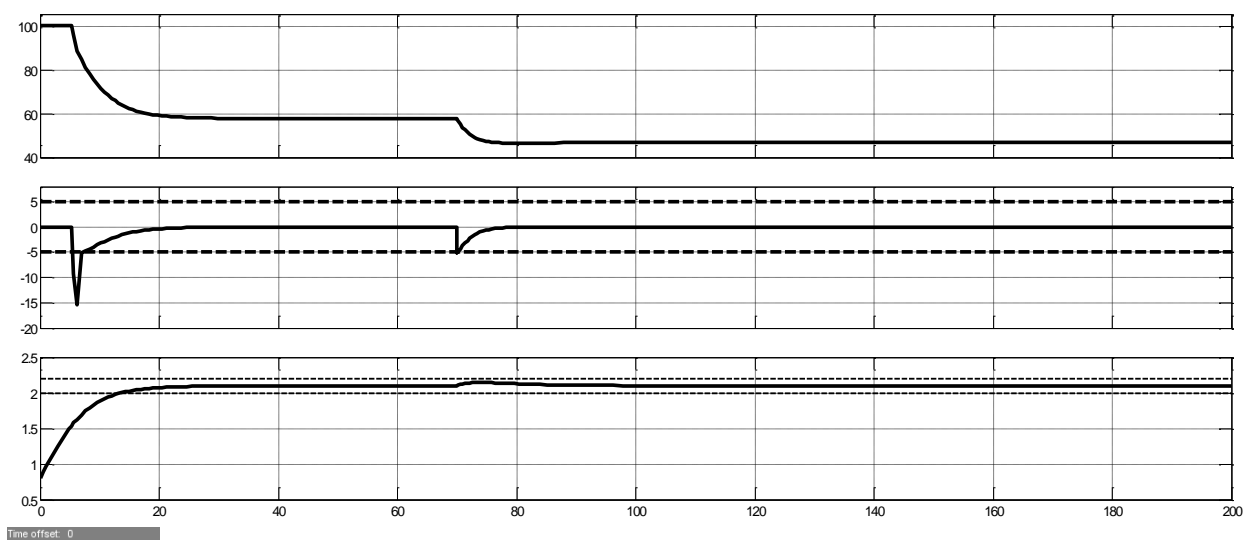


Рисунок 3.8 – Результат роботи синтезованої системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності при часі наростання 20 с (тиск перед вентилем трубопроводу подачі газо-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 20% більше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

Подальші дослідження системи автоматичного керування (рис.3.9) дозволили виявити, що визначені вище оптимальні параметри ПІ-регулятора є дієвими для рівня збурення +20% від номінального тиску ГПС перед регулюючим клапаном, але не забезпечують потрібного результату при інших

рівнях збурення. Наприклад, на рис.3.9,б ми бачимо, що фактичний диференціал за часом керуючого впливу перевищив своє допустиме значення.

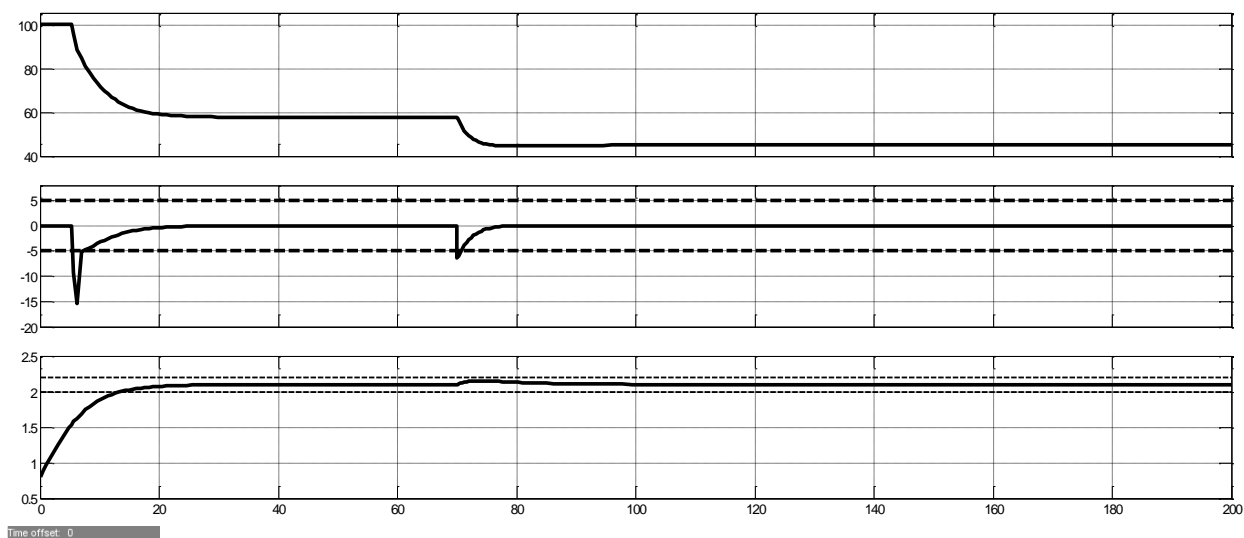


Рисунок 3.9 – Результат роботи синтезованої системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності при часі наростання 20 с (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газо-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 25% більше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

Тому у ході подальших досліджень САК за допомогою її імітаційної моделі отримані залежності ступеня швидкодії системи та оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення (рис.3.10 – 3.12).

З рис.3.10 можна зробити висновок, що рівень швидкодії системи, при якій фактичний диференціал за часом керуючого впливу дорівнює своєму максимальному допустимому значенню, прямо пропорційно залежить від величини збурення. При цьому оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової, так і інтегральної складової регулятора залежать від величини збурення зворотно та експоненціально.

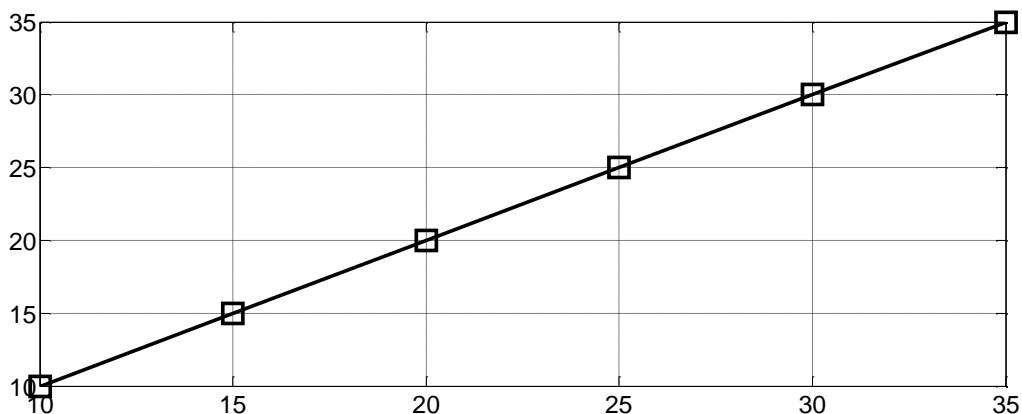


Рисунок 3.10 – Залежність ступеня швидкодії системи керування від величини збурення за умови відсутності перевищення допустимої швидкості руху засувки у газопроводі

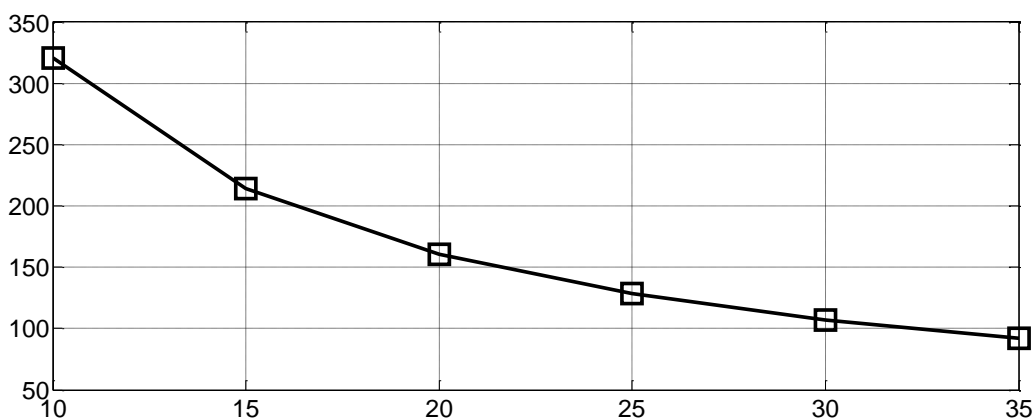


Рисунок 3.11 – Залежність коефіцієнта підсилення пропорційної складової ПІД-регулятора від величини збурення за умови відсутності перевищення допустимої швидкості руху засувки у газопроводі

Таким чином, отримані залежності оптимальних параметрів регулятора від величини збурення дозволяють визначати оптимальні налаштування ПІД-регулятора для кожного рівня збурення, підлаштовуючись під нього, та дозволяючи системі керування компенсувати збурення з максимальною швидкістю без перевищення максимальної допустимої швидкості зміни у часі керуючого впливу.

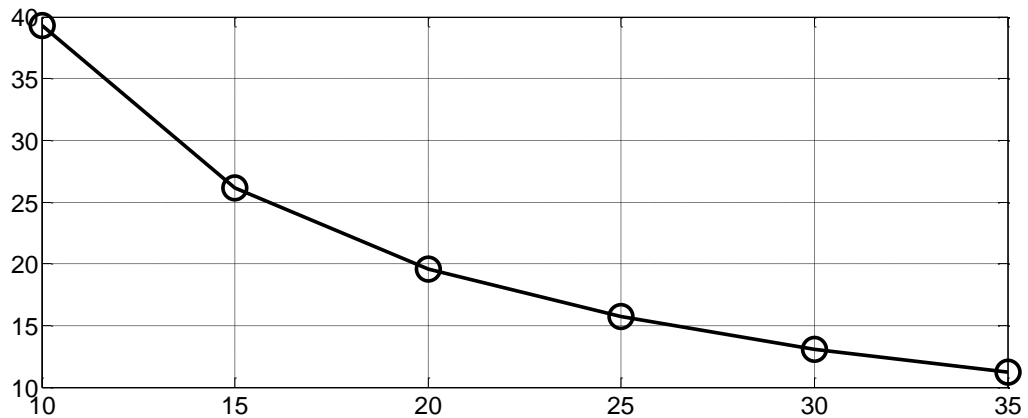


Рисунок 3.12 – Залежність коефіцієнта підсилення інтегральної складової ПІ-регулятора від величини збурення за умови відсутності перевищення допустимої швидкості руху засувки у газопроводі

Але, для цього за допомогою інструментів пакету MATLAB проведемо апроксимацію залежностей оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення, результати якої наведені на рис.3.13 та рис.3.14.

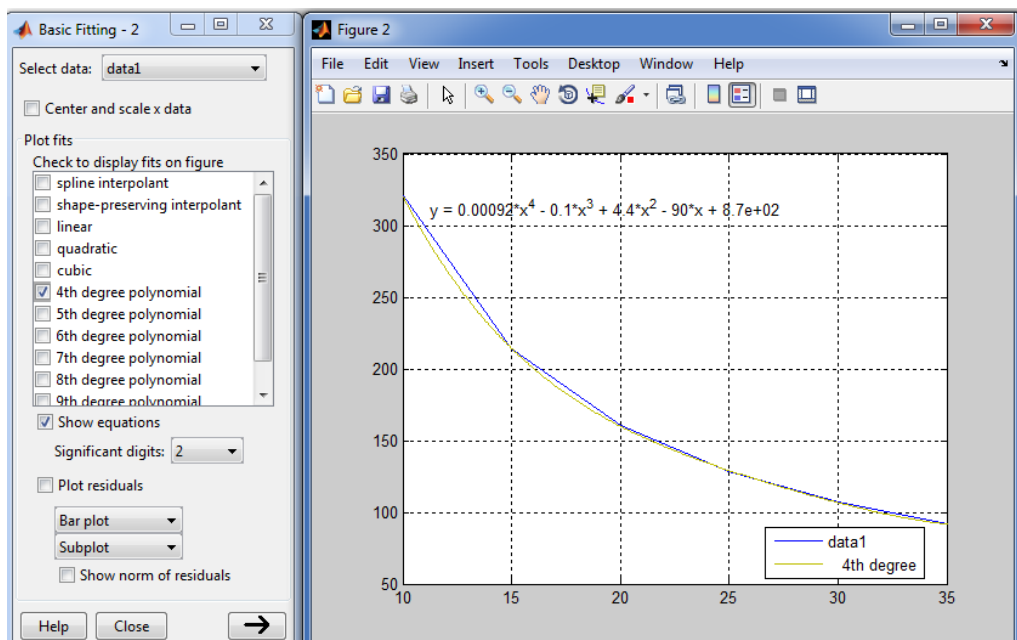


Рисунок 3.13 – Результат апроксимації залежності коефіцієнта підсилення пропорційної складової ПІ-регулятора від величини збурення

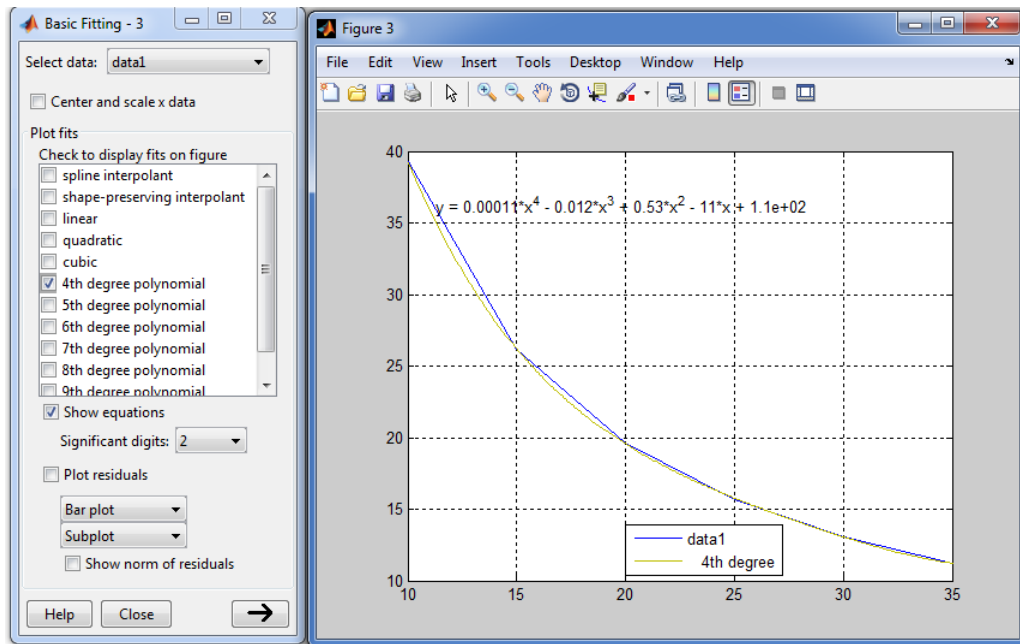


Рисунок 3.14 – Результат апроксимації залежності коефіцієнта підсилення інтегральної складової ПІ-регулятора від величини збурення

Аналіз рис.3.13 та рис.3.14 показує, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежності оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

З урахуванням отриманих нових залежностей розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі з адаптивним та оптимальним ПІ-регулятором, параметри якого розраховуються в функції збурення.

На рис.3.15 адаптивний регулятор реалізований як підсистема з відповідною назвою.

Схема самого адаптивного ПІ-регулятора показана на рис.3.16. За допомогою блоку F_{sp} зроблений перехід до відносного відхилення збурення (тиску ГПС перед регулюючим клапаном) від свого номінального значення, оскільки описані вище залежності отримані саме для цієї розмірності збурення.

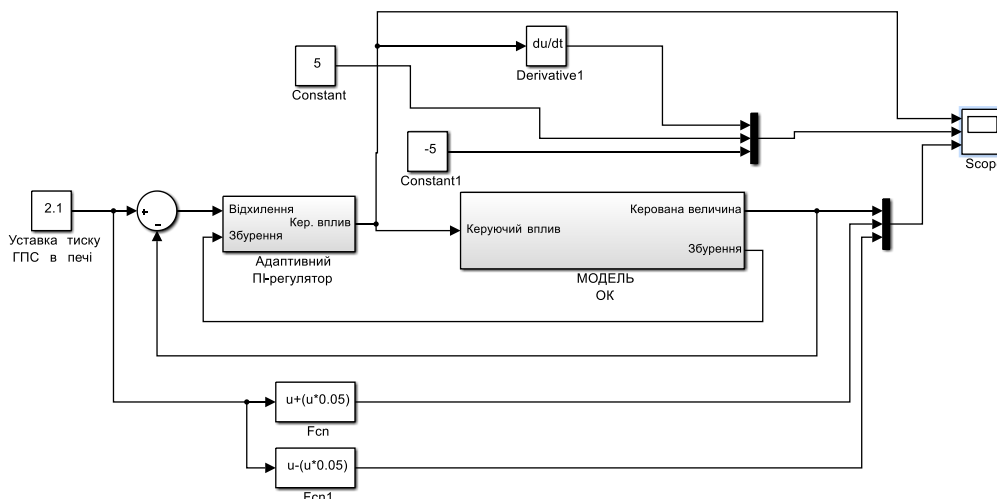


Рисунок 3.15 – Структурна схема імітаційної моделі адаптивної системи керування

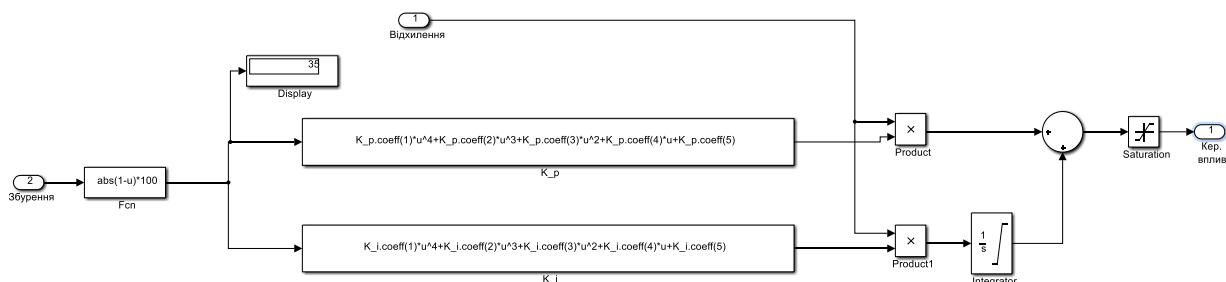


Рисунок 3.16 – Схема адаптивного ПІ-регулятора тиску газоповітряної суміші в тунельній печі

Функції, що апроксимують залежності оптимальних параметрів регулятора від відносного відхилення збурення, реалізовані в блоках K_p та K_i на рис.3.16. Також до регулятора доданий інтегратор з обмеженням діапазону зміни керуючого впливу та блок Saturation, що виконує аналогічну функцію, але вже для самого керуючого впливу.

Щоб перевірити ефективність запропонованого нового адаптивного та оптимального ПІ-регулятора тиску ГПС в тунельній печі, проведений ряд обчислювальних експериментів, результати яких наведені на рис.3.17-19.

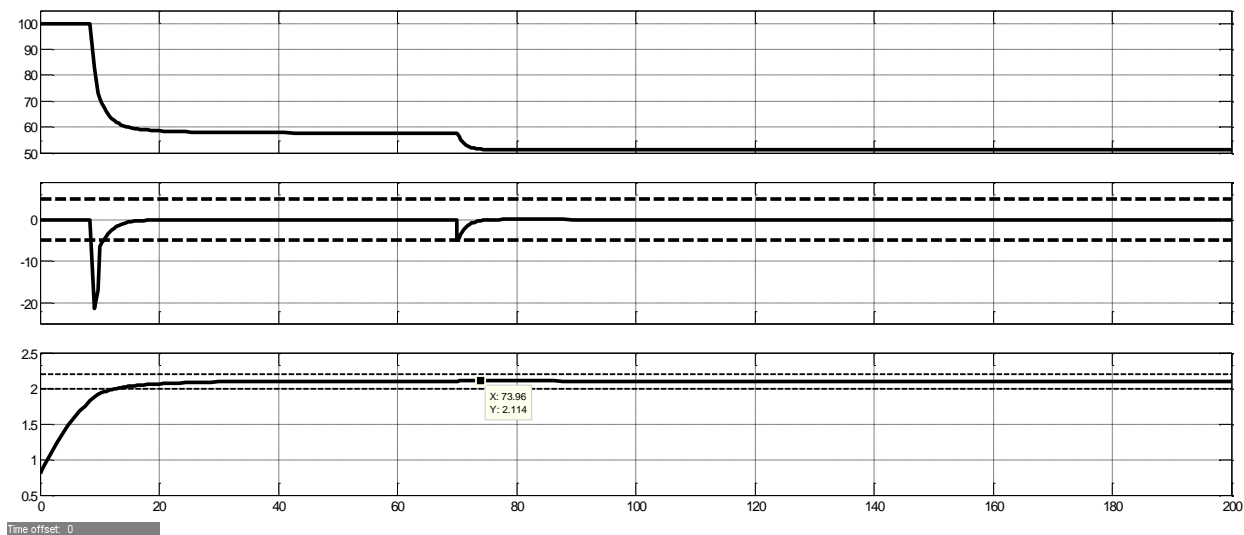


Рисунок 3.17 – Результат роботи адаптивної системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газу-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 13% більше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

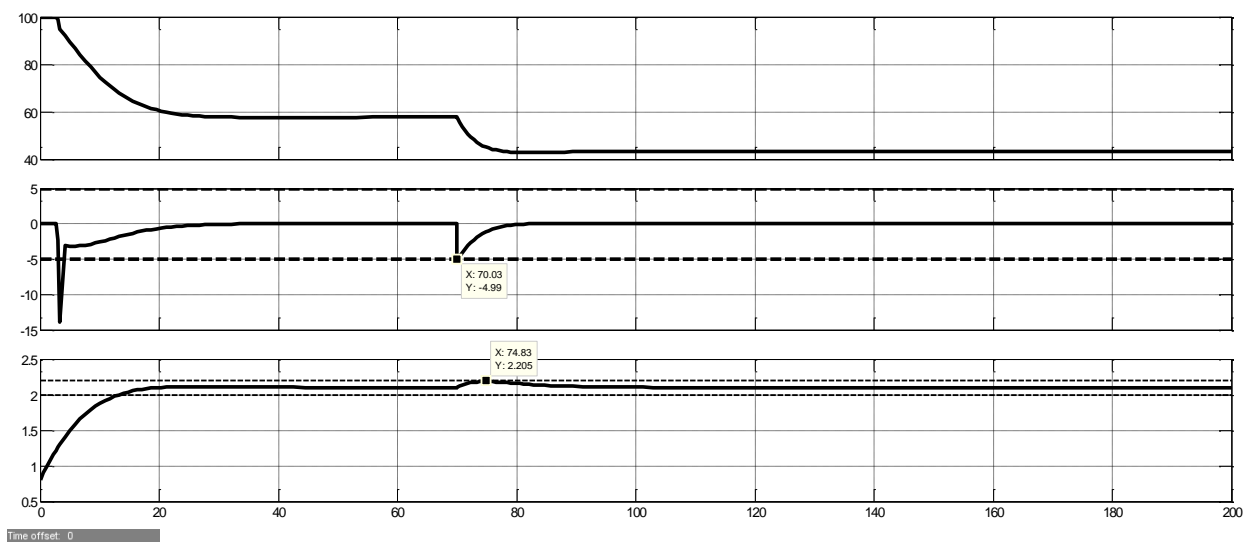


Рисунок 3.18 – Результат роботи адаптивної системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності (тиск перед вентилям трубопроводу подачі газу-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 33% більше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

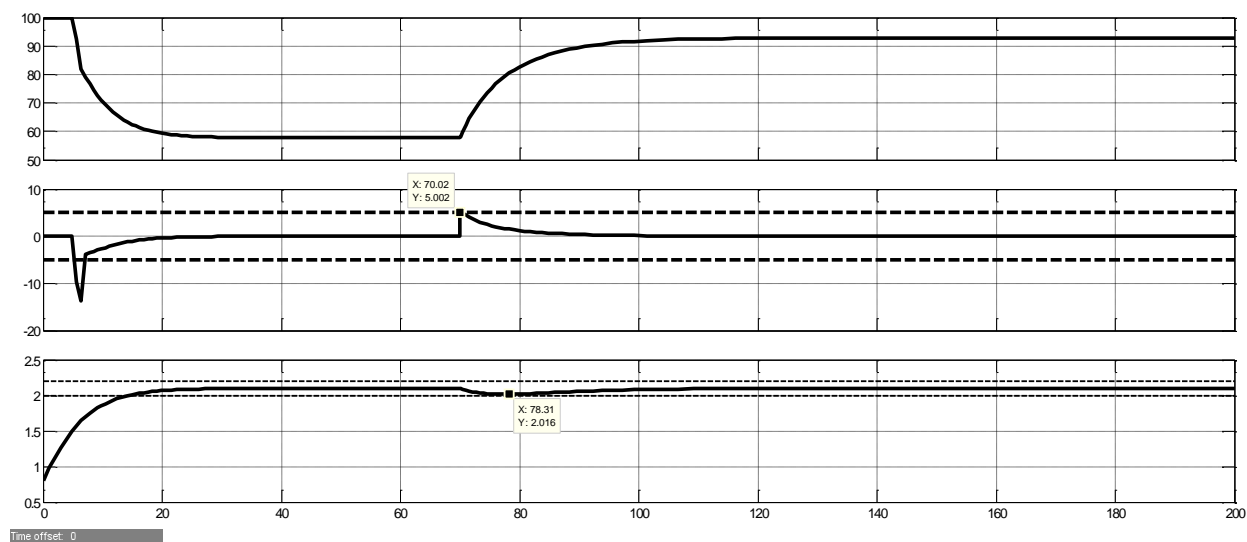


Рисунок 3.19 – Результат роботи адаптивної системи автоматичного керування з максимальним рівнем робастності (тиск перед вентилем трубопроводу подачі газо-повітряної суміші до 70 с – номінальний, після – на 22% менше): а – зміна у часі керуючого впливу; б – його диференціалу за часом; в – керованої величини

З аналізу результатів моделювання на рис.3.17 – 3.19 можна зробити висновок, що адаптивний оптимальний регулятор працює коректно – незалежно від величини відносного відхилення тиску ГПС перед регулюючим клапаном від свого номінального значення кожний раз фактичне максимальне значення диференціалу за часом керуючого впливу дорівнює своєму максимальному допустимому значенню 5 %/с.

Також, з рис.3.18 можна помітити, що навіть за умови досить значного впливу збурення (відносне відхилення тиску ГПС від номінальної величини становить 33%) система автоматичного керування за рахунок забезпечення її максимальної швидкодії з урахуванням обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого впливу все ж таки утримує керовану величину у рекомендованому діапазоні $\pm 5\%$ від уставки.

3.3 Висновки за розділом

Результат синтезу системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі у застосунку “PID Tuner” є неефективним через неврахування при роботі застосунку обмеження за швидкістю зміни у часі керуючого впливу на об’єкт автоматизації. Тож, проведене дослідження системи автоматичного керування з метою пошуку оптимальних параметрів регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування, але за умови забезпечення відсутності перевищення максимального припустимого рівня диференціалу за часом керуючого впливу. У ході дослідження отримані наступні наукові результати:

- для кожного режиму роботи системи автоматичного керування (відпрацювання уставки або компенсація збурення) є свої оптимальні налаштування ПІ-регулятора, що забезпечують максимальну швидкодію системи без перевищення максимального допустимого диференціалу за часом керуючого впливу;

- для кожної величини збурення є свої оптимальні параметри ПІ-регулятора, при яких максимальне значення фактичного диференціалу керуючого впливу дорівнює своєму максимальному допустимому рівню. При цьому встановлено, що оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової, так і інтегральної складової регулятора залежать від величини збурення зворотно та експоненційно;

- встановлено, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежності оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

В цьому розділі розглянуто питання програмної реалізації регулятора, який визначений у попередньому розділі. При цьому скористаємося спеціалізованим інструментом пакету MATLAB для отримання програмного коду як регулятора, так і динамічної моделі об'єкта керування

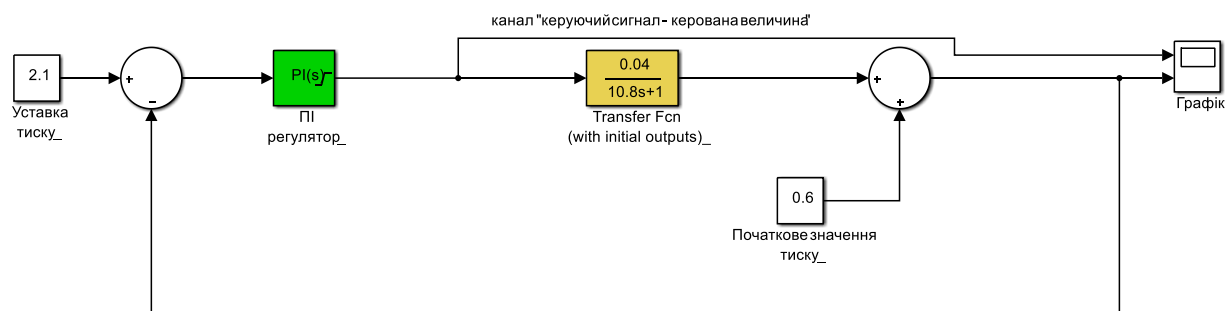


Рисунок 4.1 – Модель системи автоматичного керування

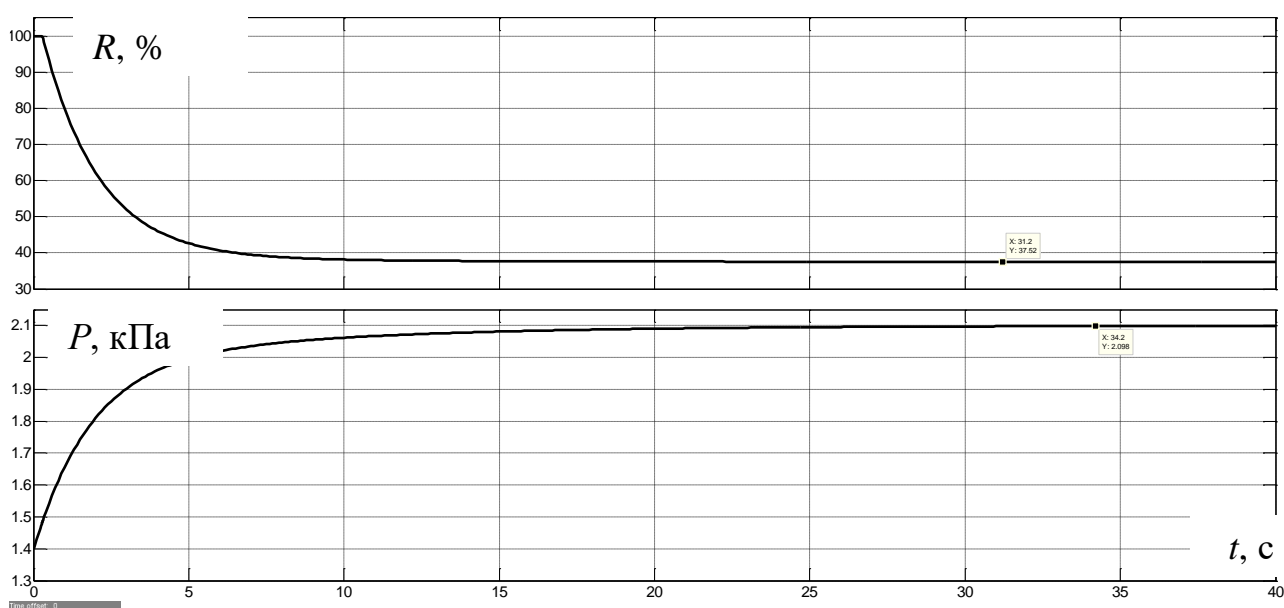


Рисунок 4.2 – Результати моделювання системи автоматичного керування
(знизу – керована величина, зверху – керуюча)

За основу візьмемо неперервну модель системи автоматичного керування на рис.2.5. Однак замість складної імітаційної моделі об'єкта керування будемо використовувати його спрощену динамічну модель, обґрунтування чого

наведено в кваліфікаційній роботі бакалавра. В результаті отримаємо структурну схему системи керування, що показана на рис.4.1.

Здійснимо перетворення неперервних елементів системи автоматичного керування на цифрові. Скористаємося для цього функцією MATLAB “c2d” (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервних моделей елементів САК на цифрові

```
w1=tf([0.04],[10.8 1]);
w1z=c2d(w1,0.1);

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

Результати роботи програми:

```
A1 =
    1.0e-03 *
         0  0.368660972716860
B1 =
    1.0000000000000000 -0.990783475682078
```

В результаті перетворення отримано цифрову модель об’єкта керування (рис.4.3) та системи автоматичного керування (рис.4.4).

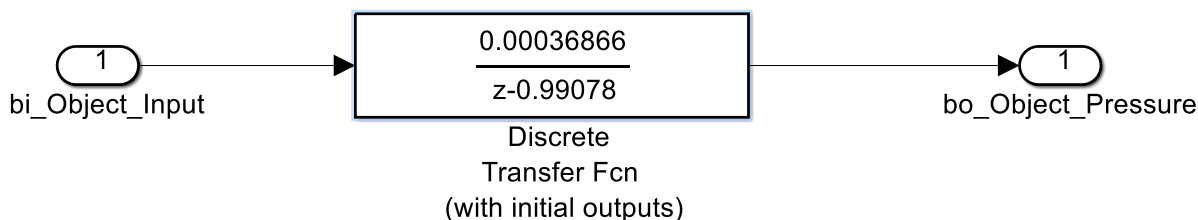


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об’єкта керування

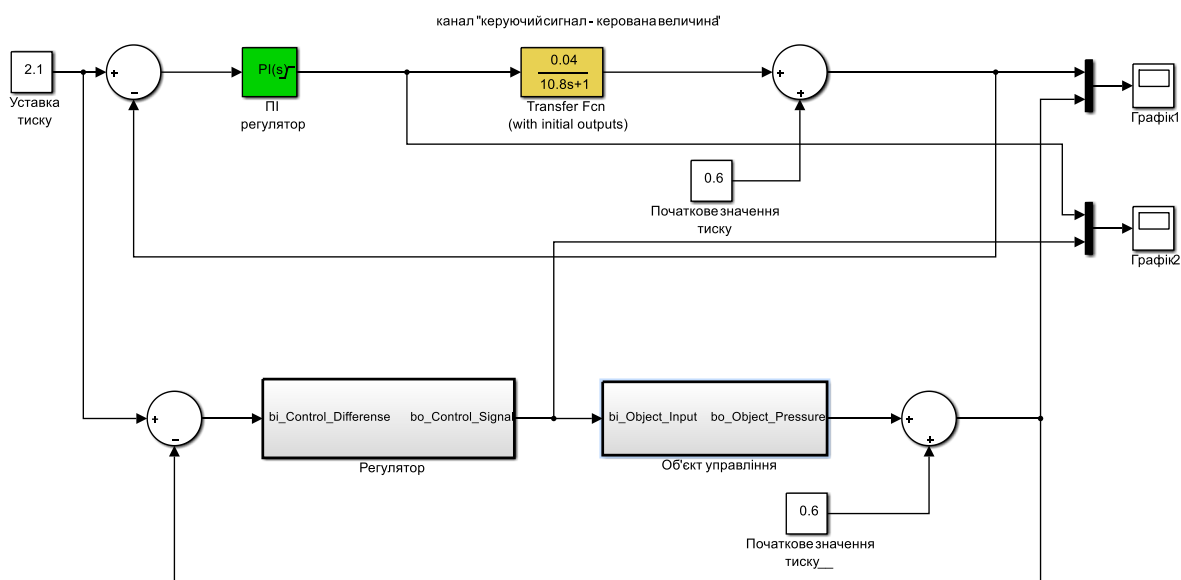


Рисунок 4.3 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування

Для реалізації цифрової моделі обраний блок Discrete Transfer Fcn з можливістю завдання початкових ненульових значень, оскільки керуючий сигнал змінюється в діапазоні від 20 до 100%.

Оскільки програмний код для PLC не генерується у випадку використання блоку PI Controller, реалізуємо ПІ-регулятора на основі більш простих блоків, як то інтегратор, підсилювальний елемент та з простими логічними та арифметичними операціями. Результат наведений на рис.4.4.

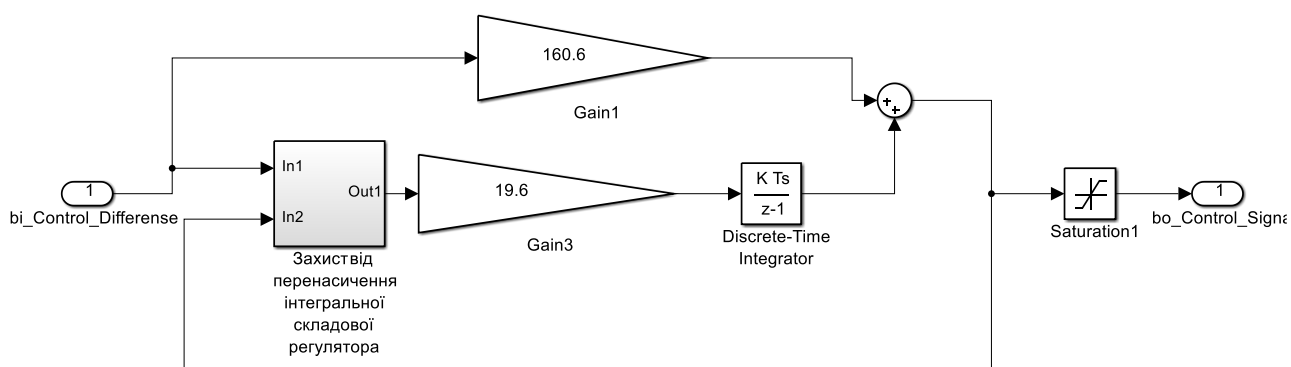


Рисунок 4.4 – Структурна схема ПІ-регулятора для програмної реалізації в Scada-програмі Zenon

На рис.4.4 у якості підсистеми розроблений блок, який призначений для реалізації захисту від перенасичення інтегруючої складової регулятора. Вміст підсистеми показаний на рис.4.5.

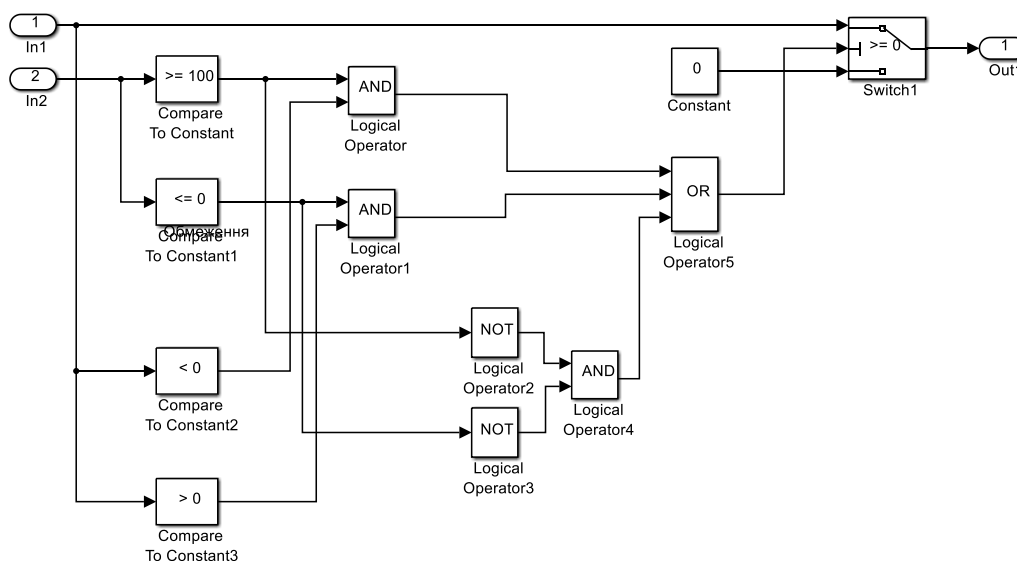


Рисунок 4.5 – Структурна схема блоку захисту інтегруючої складової регулятора від перенасичення

Коректність отримання цифрової моделі системи автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші в тунельній печі підтверджується результатом сумісного моделювання неперервної та цифрової моделей системи керування (рис.4.6).

З рис.4.6 видно, що перехідні процеси щодо керованої та керуючої величин майже повністю співпали.

Щоб кількісно оцінити ступінь співпадіння, проведено порівняння перехідних процесів на виходах цифрової моделі системи автоматичного керування та неперервної моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням через використання відповідної функції:

```
>> goodnessOfFit(ModelC, ModelD, 'NRMSE')*100
ans = 98.87653
```


Оскільки відносна точність співпадіння перехідних процесів практично дорівнює 100%, робимо висновок про коректність переходу до цифрової моделі системи керування.

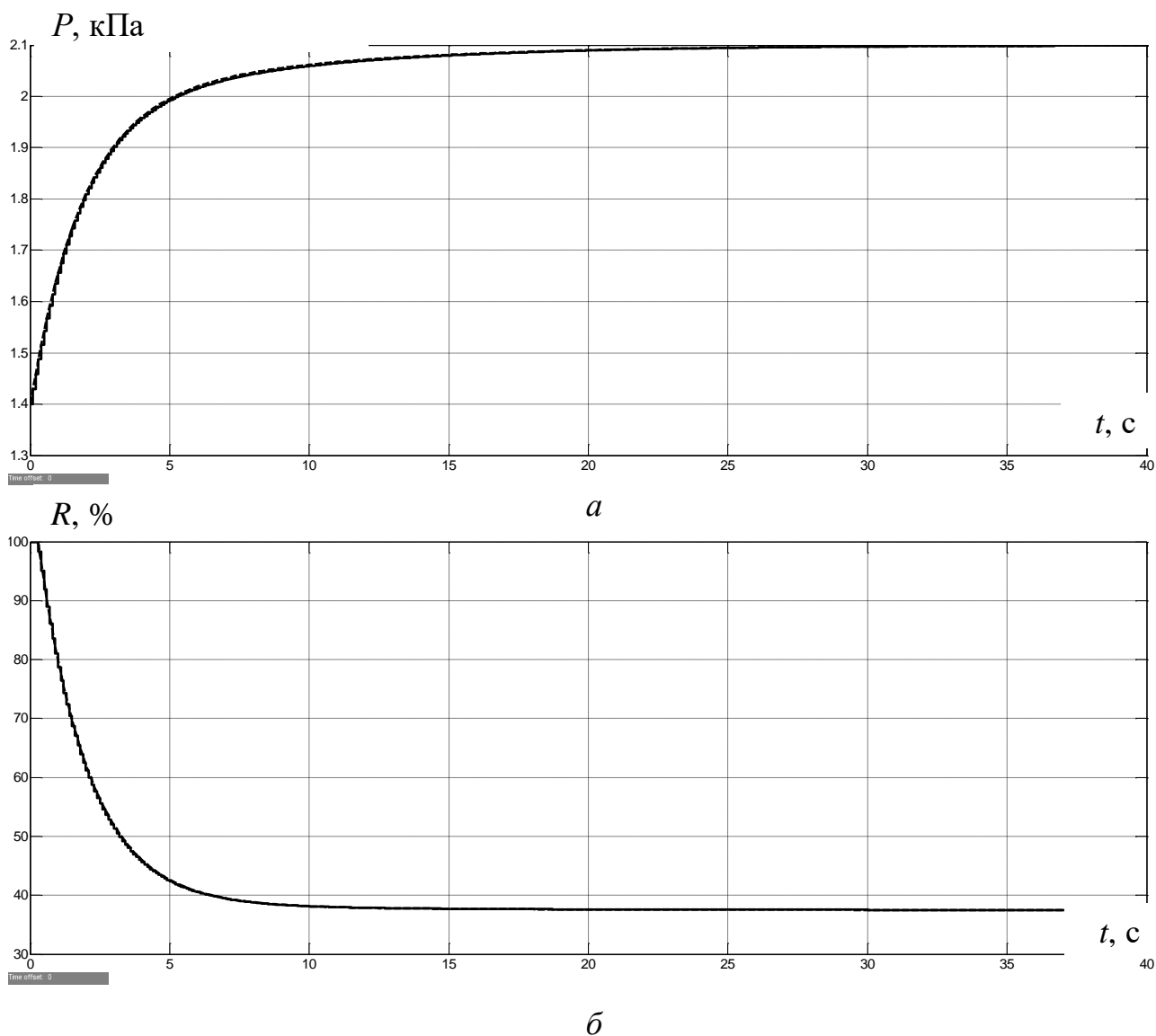


Рисунок 4.6 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (суцільна лінія – неперервна модель; пунктирна – цифрова)

Далі зробимо об'єднання елементів системи керування з виділенням двох її основних частин – регулятора та об'єкта керування. Результат представлений на рис.4.6.

Вміст підсистеми об'єкт керування представлений на рис.4.3, а вміст підсистеми регулятор – на рис.4.4.

Щоб не було плутанини при експорті моделей з математичного пакету MATLAB до середовища розробки zenon Logic, здійснимо заміну імен вхідних та вихідних портів підсистем.

Далі з використанням спеціалізованого інструменту застосунку Simulink (PLC Coder) було згенеровано програмні модулі, які представлені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Як і модель системи керування, її програмне забезпечення також поділено на два окремих програмних блоки – регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора створено для програмованого логічного контролера zenon Logic, який є складовою частиною SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування створене саме для моделювання роботи об'єкта керування в SCADA системі zenon з метою перевірки коректності функціонування системи керування.

З метою розробки програмного забезпечення об'єкта керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуваннями, які наведені на рис.4.7.

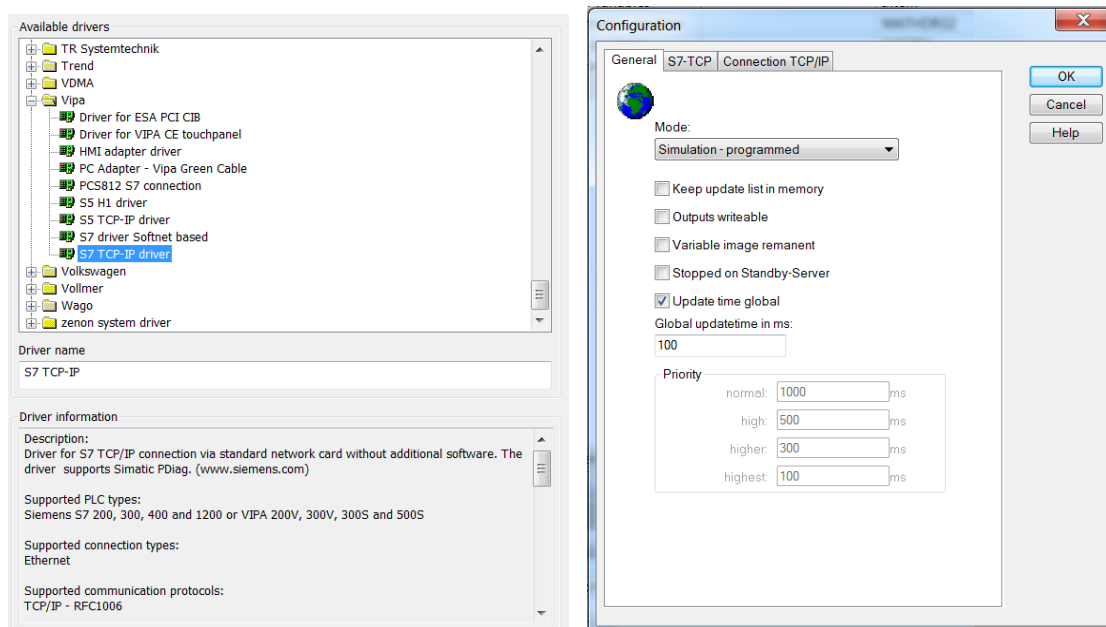
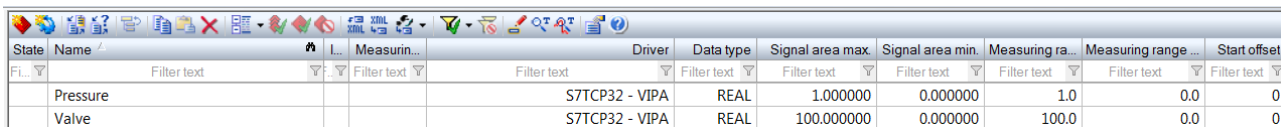


Рисунок 4.7 – Вибір драйверу пристрою керування з його налаштуваннями

Для драйвера пристрою керування створені змінні з іменами, відповідно до керуючого (положення регулюючого клапану) та керованої (тиск газу-

повітряної суміші в печі) величин, через які забезпечується доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.8).

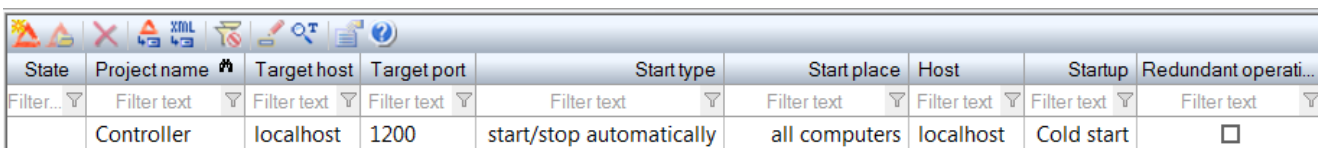


State	Name	Driver	Data type	Signal area max.	Signal area min.	Measuring ra...	Measuring range ...	Start offset
	Pressure	S7TCP32 - VIPA	REAL	1.000000	0.000000	1.0	0.0	0
	Valve	S7TCP32 - VIPA	REAL	100.000000	0.000000	100.0	0.0	0

Рисунок 4.8 – Змінні драйверу об'єкта керування

Для драйверу пристрою керування в середі розробки zenon Logic Workbench створена модель об'єкта керування на основі вище розробленого програмного модуля. На базі отриманого користувальницького функціонального блоку створене програмне забезпечення об'єкта керування. Дане програмне забезпечення, як і список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення об'єкта керування наведені у додатку Б1.

З метою розробки програмного забезпечення регулятора створимо проект регулятора (рис. 4.9).

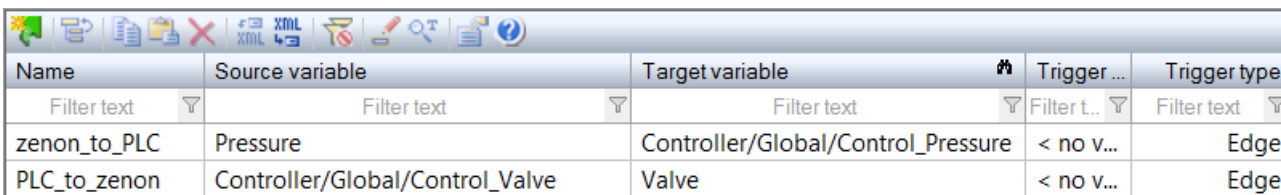


State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.9 – Проект регулятора

Для програмного забезпечення регулятора створені змінні, що відповідають значенню уставки тиску, фактичному значенню керованої величини та керуючому впливу (наведені у додатку Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування реалізовано через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.10).



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

Рисунок 4.10 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, на основі механізму розподілу «Allocations» створено два розподіли. Перший розподіл копіює значення тиску ГПС в печі з об'єкту керування, та передає до регулятора, а другий передає значення положення засувки регулюючого клапану з регулятора до об'єкту керування. Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора описано у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс є однією з головних частин програмного забезпечення системи автоматичного керування, через який системі передаються від оператора команди, а також відстежуються оператором поточні показники роботи системи керування. Тому цей підрозділ присвячений створенню програмного забезпечення для людино-машинного інтерфейсу.

Аналіз виконуваних функцій системою керування дозволив сформулювати вимоги щодо функцій людино-машинного інтерфейсу з метою забезпечення достатньої функціональності системи керування:

- можливість моніторингу перехідного процесу на виході системи автоматичного керування;
- можливість моніторингу динаміки керуючого впливу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта керування;
- можливість архівування подій, у тому числі аварійних, з метою аналізу протікання технологічного процесу, та вчасного реагування у разі виникнення непередбачуваних подій, що передують настанню критичної ситуації.

Таким чином, сформовані такі вимоги до людино-машинного інтерфейсу:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість графічних вікон має відповідати графічним зображенням технологічного процесу з відображенням кількісних значень основних технологічних параметрів, перехідних процесів в системі а

також основної інформації (перемикання між зображеннями має здійснюватися через кнопки з відповідними назвами, які дозволяють переходити з одного зображення на інше. Окремими зображеннями має бути показана технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривог.

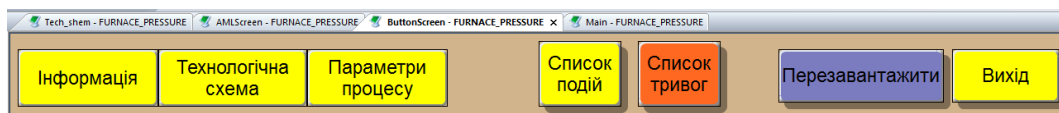


Рисунок 4.11 – Зображення кнопок

З урахуванням сформованих вимог створене зображення з кнопками перемикання між графічними вікнами ЛМІ (рис. 4.11). Кожній з кнопок присвоєно відповідну функцію.

При натисканні кнопки «Технологічна схема» здійснюється перехід на зображення, яке показано на рис. 4.12, де представлена схема технологічного об'єкта з розташуванням датчиків та виконавчих пристроїв та відображенням чисельних значень керуючої та керованої величин. Реалізація цієї кнопки здійснена за допомогою функції `switch screen`.

Кнопки «Параметри процесу», «Список подій» та «Список тривог» було реалізовано аналогічним способом. Вони дозволяють перейти на зображення, які показані рис. 4.13, рис. 4.14, рис. 4.15 відповідно.

В налаштуваннях кнопок «Вихід» та «Перезавантажити» реалізовано функції «`exit runtime`» та «`reload project`» відповідно.

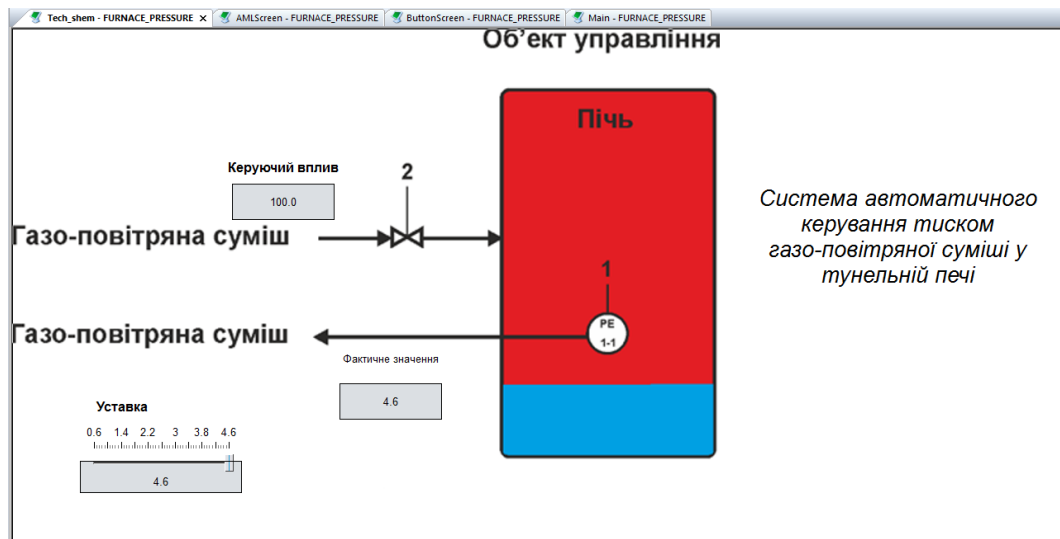


Рисунок 4.12 – Зображення технологічної схеми

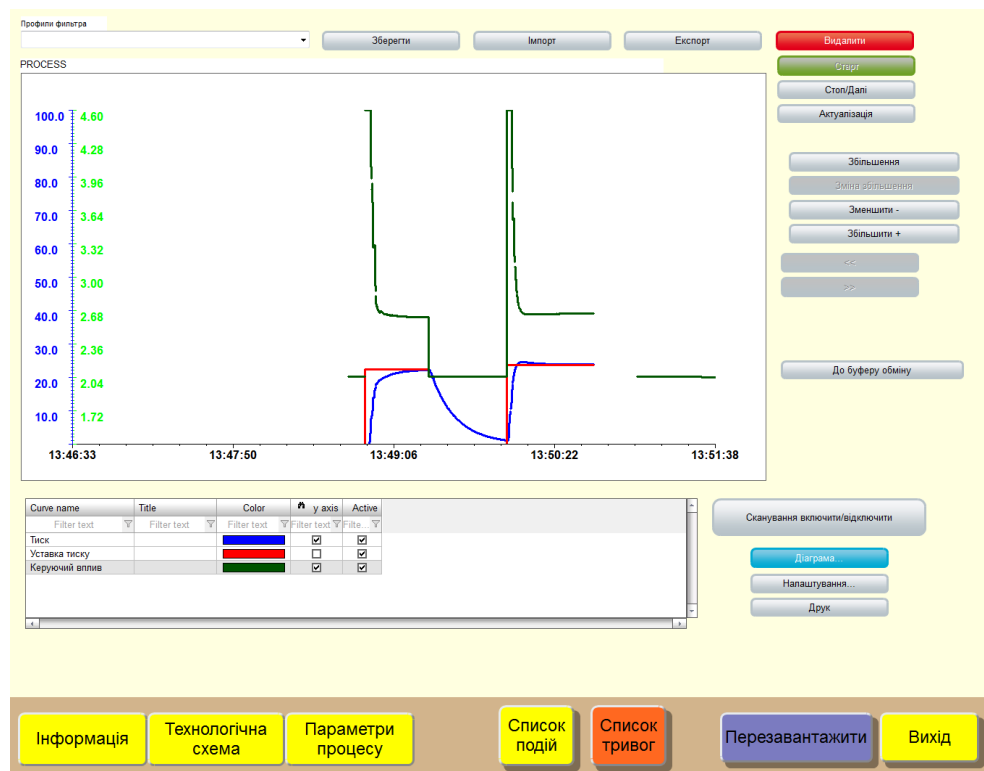


Рисунок 4.13 – Зображення графіку перехідного процесу

Фільтр
[*][*][T:Rel:0d,1h,0m,0s]

Профілі фільтрів

Кількість
10

Зберегти Імпорт Експорт

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Одн...	Користувач - п...
03.12.2022 13:00:01	System was started				SYSTEM
03.12.2022 13:00:21	System was stopped				SYSTEM
03.12.2022 13:48:45	System was started				SYSTEM
03.12.2022 13:48:52	Modify spontaneous value: (2.1)	Controller/Global/Control_s2.1			SYSTEM
03.12.2022 13:49:22	Modify spontaneous value: (0.6)	Controller/Global/Control_s0.6			SYSTEM
03.12.2022 13:50:00	Modify spontaneous value: (2.2)	Controller/Global/Control_s2.2			SYSTEM
03.12.2022 13:50:42	System was stopped				SYSTEM
03.12.2022 13:51:02	System was started				SYSTEM
03.12.2022 13:51:41	System was stopped				SYSTEM
03.12.2022 13:52:29	System was started				SYSTEM

Коментар

Відправити Друкувати

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Рисунок 4.14 – Зображення списку подій

Профілі фільтрів

Зберегти Імпорт Експорт Відправити

Фільтр

Кількість
0

Алар...	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 тривоги
Показати підключені функції

Виконати функцію Відкрити допомогу

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Рисунок 4.15 – Зображення списку тривог

Всі зображення розміщено за шаблоном на рисунку 4.16.



Рисунок 4.16 – Шаблон зображень

Основні зображення розміщені в основному фреймі. Зображення з кнопками розташовані окремим фреймом, проте він є статичним та відображається постійно. Для розробки таких зображень, як «Список подій» та «Список тривог» були використані шаблони SCADA системи zenop.

Створене програмне забезпечення ЛМІ наведено в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Для перевірки коректності функціонування створеного програмного забезпечення системи автоматичного керування здійснена зміна за східчастим законом уставки тиску ГПС в тунельній печі шляхом зміни положення повзунка відповідного блоку на зображенні технологічного об'єкта ЛМІ. З аналізу рисунка 4.17 можна зробити висновок, що програмне забезпечення як об'єкта керування, так і регулятора працює адекватно. При цьому виконуються усі вимоги щодо якості функціонування системи автоматичного керування (перерегулювання у перехідному процесі відсутнє, статична похибка дорівнює нулю).

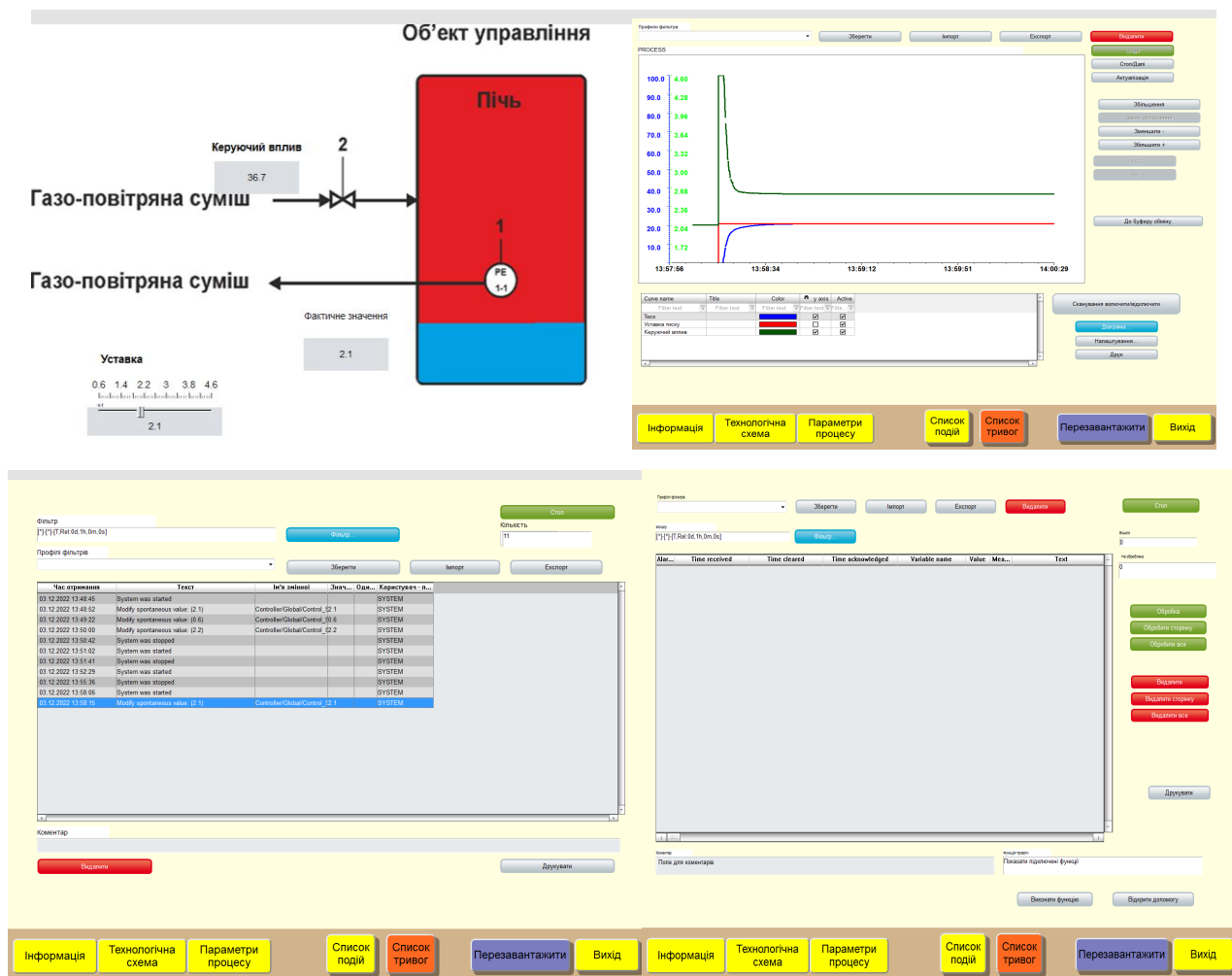


Рисунок 4.17 – Перевірка функціонування ПЗ системи керування

Тестування програмного забезпечення показало, що всі кнопки коректно виконують свої функції. На схемі технологічного об'єкту коректно відображається уся необхідна інформація про стан та роботу системи автоматичного керування. До списку подій коректно вносяться дані про зміну уставки. Система керування працює згідно з вимогами, тож список тривог порожній.

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує згідно з вимогами до системи керування, та може бути використане для подальшої реалізації системи керування.

4.5 Висновки до розділу

За результатами виконання розділу були створені цифрові моделі об'єкта керування та регулятора, проведена перевірка їх правильності функціонування. На основі цих моделей отримане програмне забезпечення як об'єкта керування, так і ПІ-регулятора тиску газо-повітряної суміші в тунельній печі для реалізації програмних моделей цих елементів системи керування в SCADA-програмі Zenon. Для проведення обчислювального експерименту з метою підтвердження ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування розроблений людино-машинний інтерфейс, за допомогою якого можна задавати різні режими та стани системи керування та відстежувати зміни у часі її основних технологічних параметрів.

Для перевірки коректності функціонування створеного програмного забезпечення системи автоматичного керування здійснена зміна за східчастим законом уставки тиску ГПС в тунельній печі шляхом зміни положення повзунка відповідного блоку на зображенні технологічного об'єкта ЛМІ. В результаті проведеного експерименту зроблений висновок, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує згідно з вимогами до системи керування, та може бути використане для подальшої реалізації системи керування.

5 ЕКОНОМІКА

5.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи автоматичного керування тиском в тунельній печі в процесі випалювання керамічних виробів

На обсяг випуску в Україні певних керамічних виробів (керамічні плитки, цегли тощо) значний вплив здійснює будівельна галузь – саме від темпів її розвитку залежить обсяг виготовлення будівельних матеріалів.

В кваліфікаційні роботі розглянуто процес синтезу системи керування тунельною піччю випалу керамічної цегли.

У даному розділі кваліфікаційної роботи виконано економічне обґрунтування доцільності використання системи автоматичного керування промисловою пральною машиною.

Система забезпечує:

- збільшення енергоефективності;
- спостереження процесу прання за допомогою людино-машинного інтерфейсу;
- збереження отриманих даних.

Розрахуємо економічні показники розробки і впровадження даної системи керування.

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані промислової пральної машини. Визначення проектних капітальних витрат виконується відповідно до:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (5.1)$$

де $K_{\text{ПКВ}}$ – проектні капітальні витрати (грн.); $C_{\text{ОБ}}$ – вартість основного та допоміжного обладнання (грн.); $D_{\text{ТР}}$ – транспортно-заготівельні витрати (грн.);

$M_{\text{МН}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи (грн.); $K_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку програмного забезпечення (грн.).

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вартість основного та допоміжного обладнання

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Комплект ПЛК VIPA	од.	1	36 400,00	36 400,00
2	Сервер Dell PowerEdge T30	од.	1	81 454,10	81 454,10
3	ПК моноблок Asus	од.	1	37 700,00	37 700,00
4	Кабель КПВВ-ВП 4x2x0.51	м	100	25,35	2 535,00
5	Програмне забезпечення ПК ОС	од.	1	98 000,00	98 000,00
6	SCADA система zenon	од.	1	106 451,80	106 451,80
	Разом				326 140,90

Вартість основного та допоміжного обладнання $C_{\text{ОБ}} =$ грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{\text{ТР}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,08. \quad (5.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{\text{ТР}} = 326\,140,90 \cdot 0,08 = 26\,091,23 \text{ (грн.)}$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{\text{МН}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,07. \quad (5.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{\text{МН}} = 326\,140,90 \cdot 0,07 = 22\,829,87 \text{ (грн.)}$$

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{\text{ОГ}} + t_g. \quad (5.4)$$

де t – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.); t_o – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.); t_u – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.); t_a – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.); t_n – витрати праці на

програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.); $t_{от}$ - витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.); t_d – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.5)$$

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;

q – кількість операторів у програмному забезпеченні ($q = 245$ виходячи з програмного забезпечення розробленого на мові Structured Text);

c – коефіцієнт складності програми (приймаємо $c = 1,35$);

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо $p = 0,1$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 245 * 1,35 * (1 + 0,1) = 550.$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 80$ (люд.-год.).

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \div 85) \cdot k'} \quad (5.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо $B = 1,5$);

k – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо $k = 1,2$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 550 * 1,5 / (80 * 1,2) \approx 9 \text{ (люд.-год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \div 25) \cdot k}. \quad (5.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 550 / (20 * 1,2) \approx 23 \text{ (люд. - год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_n = \frac{Q}{(4 \div 5) \cdot k} \quad (5.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 550 / (4 * 1,2) \approx 115 \text{ (люд. - год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \quad (5.9)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \div 20) \cdot k} \quad (5.10)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 550 / (17 * 1,2) \approx 27 \text{ (люд. - год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}. \quad (5.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 27 = 21 \text{ (люд. - год.)}.$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 27 + 21 = 48 \text{ (люд. - год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 80 + 9 + 23 + 115 + 48 = 275 \text{ (люд. - год.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення визначається як:

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мі}, \quad (5.12)$$

де $Z_{зп}$ – витрати на заробітну плату розробника програмного забезпечення;
 $Z_{мі}$ – вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми (грн.).

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

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

де $C_{пр}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{пр} = 125,00$ (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{зп} = 275 \cdot 125 = 34\,375 \text{ (грн.)}.$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{мі} = t_n \cdot C_{мч}, \quad (5.14)$$

де $C_{мч}$ – вартість машинного часу приймаємо $C_{мч} = 20$ (грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{мі} = 115 \cdot 20 = 2\,300,00 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{пз} = 34\,375 + 2\,300,00 = 36\,675,00 \text{ (грн.)}.$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (5.15)$$

де T – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.), B_k – кількість розробників (приймаємо $B_k = 1$); F_p – місячний фонд робочого часу (приймаємо $F_p = 176$ (год./міс.)).

$$T = 145 / (1 \cdot 176) \approx 0,85 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{п} = 326\,140,90 + 26\,091,23 + 22\,829,87 + 36\,675,00 \\ \approx 411\,737,00 \text{ (грн.)}.$$

Базові проектні капітальні витрати з урахуванням інфляції становитиме приблизно:

$$K_{б} = 350\,000,00 \text{ (грн.)}.$$

Таким чином, економія на капітальних витратах становитиме:

$$\Delta K = K_{\Pi} - K_{\text{Б}} = 411\,737,00 - 350\,000,00 = 61\,737 \text{ (грн.)}.$$

5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{\text{РО}} + C_{\text{еє}} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (5.16)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов’язані із застосуванням системи керування (грн.); C_a – амортизація основних фондів (грн.); C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.); C_c – відрахування на соціальні заходи (грн.); $C_{\text{РО}}$ – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (грн.); $C_{\text{еє}}$ – вартість електроенергії, $C_{\text{ІНШ}}$ – інші витрати.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

5.3.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об’єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (5.17)$$

де H_a – норма амортизації (%), T – термін корисного використання об’єкта (років).

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{\text{ПВ} \cdot H_a}{100 \%}, \quad (5.18)$$

де C_a – річна амортизація основних фондів (грн.);

ПВ – первинна вартість (ПВ = $K_{\text{ПКВ}}$) (грв).

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_{aП} = 411\,737,00 \cdot 40 / 100 = 164\,694,8 \text{ (грн.)},$$

$$C_{aБ} = 350\,000,00 \cdot 40 / 100 = 140\,000 \text{ (грн.)},$$

де $C_{aП}$ – річна амортизація основних фондів проектної системи (грн.);

$C_{aБ}$ – річна амортизація основних фондів базової системи (грн.).

5.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{НР} = (T_K - T_{ВС} - T_B) \cdot T_3, \quad (5.19)$$

де $T_{НР}$ – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника (год.);

T_K – календарний фонд робочого часу ($T_K = 365$ днів); $T_{ВС}$ – вихідні дні та свята ($T_{ВС} = 116$ (днів)); T_B – відпустка ($T_B = 21$ день); T_3 – тривалість зміни ($T_3 = 8$ год.).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 116 - 21) \cdot 8 = 1\,824 \text{ (год.)}.$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу, 1 технолог та 1 спеціаліст з електроустаткування. Режим роботи – одна зміна. Після впровадження проектованої системи керування штат персоналу не зміниться, отже заробітна плата і відрахування на соціальні заходи будуть однакові. Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	1	121,50	1 824	221 616,00	17 729,28	15 513,12	254 858,40
2	Інженер-технолог	1	135,00		246 240,00	19 699,20	17 236,80	283 176,00
3	Наладчик	1	115,43		210 535,20	16 842,82	14 737,46	242 115,48
Разом								780 149,88

Заробітна плата робітників складатиме

$$C_{ЗП} = C_{ЗБ} = 780\,149,88 \text{ (грн.)},$$

де $C_{ЗП}$ – заробітна плата персоналу проектної системи керування (грн.); $C_{ЗБ}$ – заробітна плата персоналу базової системи керування (грн.).

5.3.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3. \quad (5.20)$$

де $C_{СП}$ – відрахування на соціальні заходи проектної системи керування (грн.); $C_{СБ}$ – відрахування на соціальні заходи базової системи керування (грн.).

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_{СП} = C_{СБ} = 0,22 \cdot 780\,149,88 = 171\,632,98 \text{ (грн.)}.$$

5.3.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{РО} = 0,05 \cdot K_{КВ}. \quad (5.21)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{РОП} = 0,05 \cdot 411\,737,00 = 20\,586,85 \text{ (грн.)},$$

$$C_{\text{РОБ}} = 0,05 * 350\,000,00 = 17\,500 \text{ (грн.)},$$

де $C_{\text{РОП}}$ – витрати на технічне обслуговування проектної системи керування (грн.); $C_{\text{РОБ}}$ – витрати на технічне обслуговування базової системи керування (грн.).

5.3.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{\text{еє}} = K_{\text{е}} \cdot K_{\text{РД}} \cdot T_{\text{з}} \cdot T_{\text{е}}, \quad (5.22)$$

де $K_{\text{е}}$ – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування приймаємо $K_{\text{е}} = 1,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$, проектною системою керування приймаємо $K_{\text{е}} = 0,4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$; $K_{\text{РД}}$ – кількість робочих днів у році ($K_{\text{РД}} = 251 \text{ день}$); $T_{\text{е}}$ – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн.-кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_{\text{е}} = 2,712 \text{ грн.}$).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{\text{еєП}} = 0,4 * 228 * 8 * 2,712 = 1\,978,68 \text{ (грн.)},$$

$$C_{\text{еєБ}} = 1,8 * 228 * 8 * 2,712 = 8\,904,04 \text{ (грн.)},$$

де $C_{\text{еєП}}$ – вартість електроенергії споживаної проектною системою керування (грн.); $C_{\text{еєБ}}$ – вартість електроенергії споживаної базовою системою керування (грн.).

5.3.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot C_{\text{з}}. \quad (5.23)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШП}} = C_{\text{ІНШБ}} = 0,04 * 780\,149,88 = 31\,206,00 \text{ (грн.)}.$$

де $C_{\text{іншп}}$ – інші витрати проектної системи керування (грн.); $C_{\text{іншб}}$ – інші витрати базової системи керування (грн.).

Річні експлуатаційні витрати становлять (5.17), (табл. 5.1):

$$C_{\text{п}} = 171\,632,98 + 780\,149,88 + 171\,632,98 + 20\,586,85 + 1\,978,68 + 31\,206,00 = 1\,177\,187,37 \text{ (грн.)},$$

$$C_{\text{б}} = 164\,694,8 + 780\,149,88 + 171\,632,98 + 17\,500 + 8\,904,04 + 31\,206,00 = 1\,174\,087,70 \text{ (грн.)}.$$

де $C_{\text{п}}$ – річні експлуатаційні витрати проектної системи керування (грн.); $C_{\text{б}}$ – річні експлуатаційні витрати базової системи керування (грн.).

Таблиця 5.1 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Базовий варіант, грн.	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	164 694,8	171 632,98
2	Фонд заробітної плати	780 149,88	780 149,88
3	Відрахування на соціальні виплати	171 632,98	171 632,98
4	Ремонт та технічне обслуговування	17 500	20 586,85
5	Електроенергія	8 904,04	1 978,68
6	Інше	31 206,00	31 206,00
	Загалом	1 174 087,70	1 177 187,37

Таким чином, економія експлуатаційних витрат становитиме:

$$\Delta C = C_{\text{п}} - C_{\text{б}} = 1\,177\,187,37 - 1\,174\,087,70 = 3\,099,67 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Оцінка економічної ефективності проекту

Основні показники економічної ефективності проекрованої системи керування:

– річний економічний ефект:

$$E = \Delta\Pi - \Delta C - \Delta K \cdot E_{\text{п}} > 0, \quad (5.24)$$

– економічна ефективність:

$$E_{\text{г}} = \Delta\Pi - \Delta C, \quad (5.25)$$

– термін окупності розробки:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{E_{\Gamma}}, \quad (5.26)$$

$$E_{\Pi} = \frac{N_{\text{кр}} - N_{\text{инф}}}{100}, \quad (5.27)$$

де $N_{\text{кр}}$ – річна відсоткова ставка (%); $N_{\text{инф}}$ – річний рівень інфляції (%).

В якості нормативного значення прийнято величину банківської кредитної ставки ($N_{\text{кр}} = 25\%$) з урахуванням інфляції ($N_{\text{кр}} = 20,0\%$), таким чином:

$$E_{\Pi} = \frac{(25,0 - 20,0)}{100} = 0,05,$$

Тунельна піч для випалу керамічної цегли забезпечує прибуток приблизно 20 млн. грн / рік. Автоматизація підвищує рівень прибутку в середньому на 0,5...1,5 % в залежності від обсягів виробництва, таким чином економія буде складати 100 000...300 000 грн. Оберемо для подальших розрахунків середній показник прибутку $\Delta\Pi = 150\,000$ грн.

Річний економічний ефект:

$$E = 150\,000 - 3\,099,67 - 0,05 * 61\,737 = 143\,813,48 \text{ (грн.)}$$

Економічна ефективність:

$$E_{\Gamma} = 150\,000 - 3\,099,67 = 146\,900,33 \text{ (грн.)}$$

Термін окупності розробки:

$$T_{\text{ок}} = 61\,737 / 146\,900,33 = 0,42 \text{ (року)}.$$

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

$$K_E = \frac{E_{\Gamma}}{\Delta K}, \quad (5.28)$$

де K_E – коефіцієнт ефективності капітальних витрат.

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат становить:

$$K_E = 146\,900,33 / 61\,737 = 2,38$$

Отже, при впровадженні системи керування 1 гривня капітальних витрат приносить 3,28 гривні прибутку на рік.

Економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання проектної системи керування відображені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Економічні показники

Найменування показників	Од. вимірювання	Показники базового варіанту системи	Показники проектного варіанту системи
Капітальні витрати	грн.	350 000,00	411 737,00
Експлуатаційні витрати, всього	грн.	1 174 087,70	1 177 187,37
В тому числі: - амортизація	грн.	164 694,8	171 632,98
- заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	780 149,88	780 149,88
- відрахування на соціальні заходи	грн.	171 632,98	171 632,98
- технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування	грн.	17 500	20 586,85
- вартість споживаної електроенергії	грн.	8 904,04	1 978,68
- інші витрати	грн.	31 206,00	31 206,00
Додатковий прибуток	грн.	-	150 000
Коефіцієнт ефективності			2,38
Термін окупності капітальних вкладень	роки	-	0,5

5.5 Висновки по розділу

При впровадженні проектової системи капітальні витрати складають 412 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи **1,18** млн. грн. Очікується швидкий термін окупності 0,5 року.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що впровадження автоматизованої системи керування є економічно доцільно.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Ризики виникнення захворювань опорно-рухового апарату

В кваліфікаційній роботі проводилась оцінка ризику виникнення захворювань опорно-рухового апарату при процесі випарювання керамічних виробів. Для покращення умов праці та зменшення усунення потенційних небезпек рекомендується впровадити систему безпечної праці, яка об'єднує в себе дії виконання чотирьох основних кроків - 4В (рис. 6.1):

Крок 1 – Вияви потенційні небезпеки і ергономічні ризики.

Крок 2 - Встанови шляхи їх усунення.

Крок 3 – Вмотивуй заходи на зменшення потенційних небезпек.

Крок 4 - Впроваджуй і контролюй запропоновану стратегію.

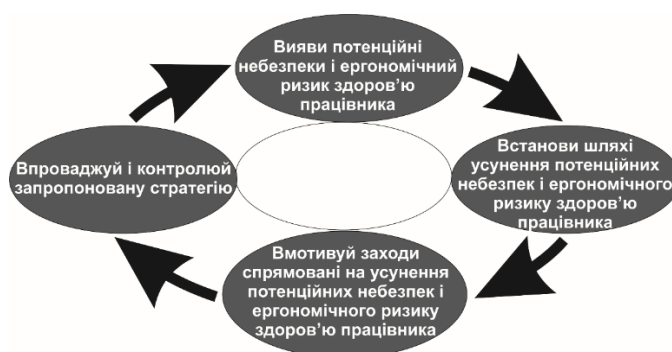


Рисунок 6.1 – Система безпечної праці

6.1.2 Виявляй потенційні небезпеки і ергономічні ризики

Для оцінки ризику виникнення захворювань опорно-рухового апарату широке використання отримав метод швидкої оцінки робочої пози працівників (Rapid Entire Body Assessment worksheet (REBA)) (рис. 6.2). Він представляє собою спеціальний бланк, який розділений на дві частини А і Б. До першої відноситься розташування тулубу, шиї та ніг. Другий присвячений оцінці розташування плечей, ліктів та зап'ястя. Виходячи діапазонів та напрямку руху суглобів, величини зусиль, навантаження та стану активності, розраховується відповідний бал для кожної частини тіла, які потім за допомогою спеціальної


таблиці дозволяють визначити величину ризику виникнення професійного захворювання опорно рухового апарату.

REBA Employee Assessment Worksheet

Date: _____

Шия


Крок 1. Аналіз положення шиї



Оцінка

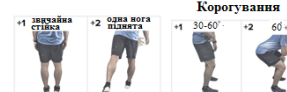
Крок 1а. Коригування.
Якщо тулуб скручений +1
Якщо тулуб нахилено в бік +1

Крок 2. Аналіз положення тулуба



Оцінка

Крок 3. Аналіз розташування ніг



Оцінка

Крок 4. Розрахунок
Оцінки з п. 1 - 3 занесіть до таблиці А

Крок 5. Зусилля/Навантаження
Якщо навантаження до 5 кг +1
Якщо навантаження від 5 до 10 кг +2
Якщо навантаження більше 10 кг +3

Коригування. Швидке виконання роботи +1

Крок 6. Отримайте оцінку А
Підсумуйте значення оцінок кроків 4 і 5
Знайдіть рядок у таблиці С

Зусилля/Навантаження

Оцінка А

Інтерпретація оцінок
1 - ризик відсутній;
2-3 - мінімальний ризик (потрібні незначні зміни)
4-7 - середній ризик (потрібно удосконалення технологій)
8-10 - високий ризик (роботи виконувати не можна, потрібні кардинальні зміни)
11 - неприпустимий ризик (роботи заборонені)

Таблиця А

		Шия											
		1				2				3			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Розташування тулуба	Ноги	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9	

Таблиця Б


		Плече						
		1			2			
		1	2	3	1	2	3	
Передпліччя	Зап'ястя	1	1	2	2	1	2	3
	1	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4	
	3	3	4	5	4	5	5	
	4	4	5	5	5	6	7	
	5	6	7	8	8	9	9	
6	7	8	8	8	9	9		

Таблиця С

Оцінка А	Оцінка Б											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Результат з таблиці С + Оцінка активності = Загальний результат


Крок 7. Аналіз розташування передпліччя



Оцінка


Крок 7а. Коригування.
Плече підняте +1
Людина робить нахил +1
Плече відтягнуте назад +1

Крок 8. Аналіз розташування плечей



Оцінка

Крок 9. Аналіз розташування зап'ястя



Оцінка

Крок 9а. Коригування.
Якщо зап'ястя закрочене чи сильно зігнуто +1

Крок 10. Отримайте оцінку Б
Визначте бал з таблиці Б, користуючись оцінками кроків 7 - 9

оцінка з таблиці Б

Крок 11. Оцініть захват
Гарна рукоятка +0
Прийнятна рукоятка +1
Неприйнятна рукоятка +2
Рукоятка відсутня +3

Оцінка захвату

Крок 12. Отримайте оцінку Б
Підсумуйте значення оцінок кроків 10, 11
Знайдіть рядок у таблиці С

Оцінка Б

Крок 13. Оцінка активності
Статична робота +1
Динамічна робота +2
Велика кількість повторювальних операцій +2
Звичайний перепад навантажень +3

Original Worksheet Developed by Dr. Alan Hedge. Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

Рисунок 6.2 – Бланк для оцінки ризику виникнення захворювань опорно-рухового апарату

Кожний етап розділений на декілька кроків. Перші три присвячені встановленню балів, які відповідають положенню частин тіла: шиї, тулуба ніг. Кожному положенню частини тіла, яке визначається через аналіз фотографії (рис. 3) відповідає певна кількість балів, які потім підставляються у таблицю А (рис. 4) для визначення результуючого значення.



Рисунок 6.3 – Фото робочої пози оператора

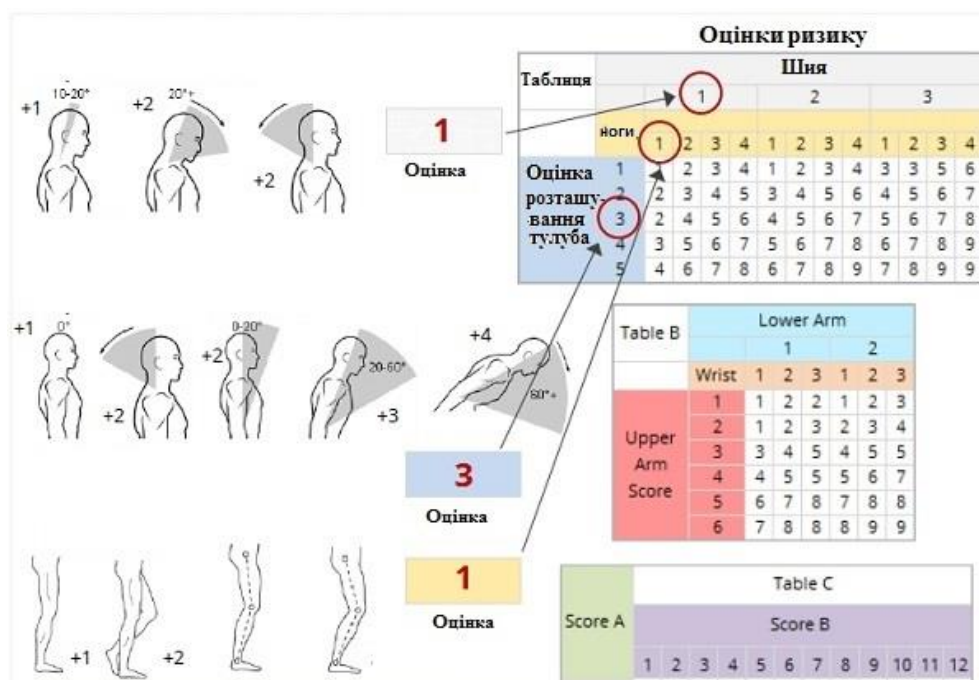


Рисунок 6.4 – Визначення результуючого балу після трьох кроків, що відповідають за розташування шії, тулуба ніг

На наступному кроці до отриманого значення додаються бали, які відповідають величині зусилля чи навантаження яке перекосить працівник виконуючи виробниче завдання (рис. 6.5). Одержаний результат, дозволяє знайти відповідний стовбець у таблиці С.

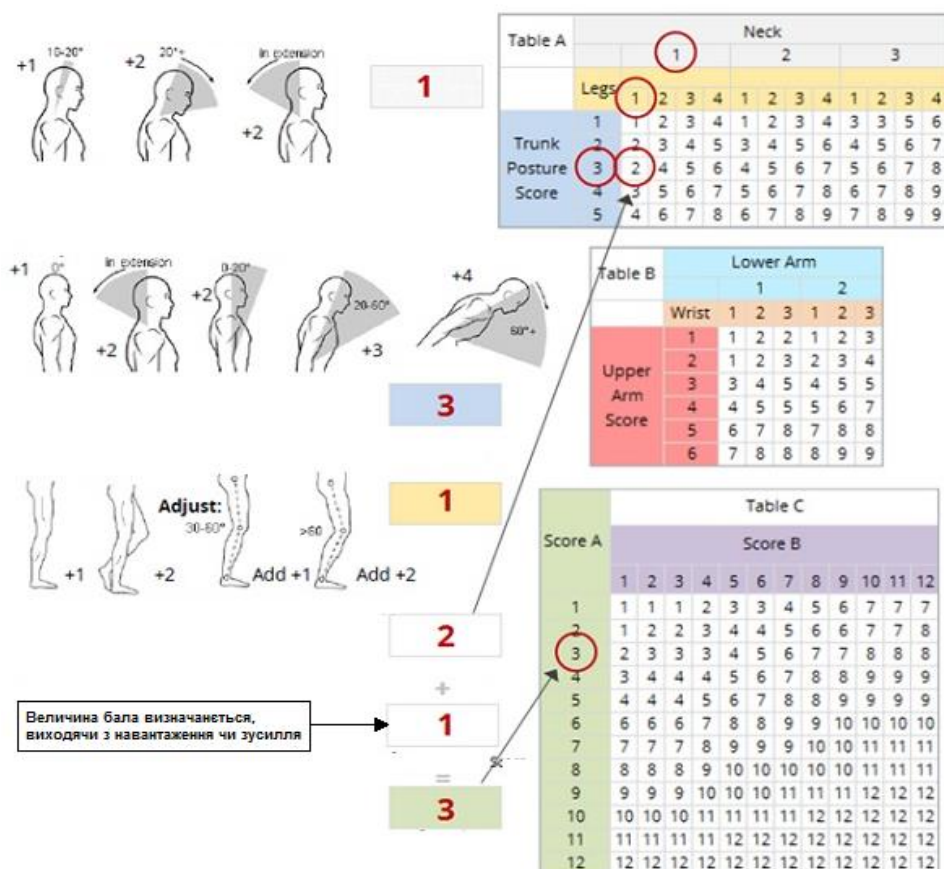


Рисунок 6.5 – Визначення результуючого значення з урахуванням навантаження для встановлення стовпця в таблиці С

Наступний етап присвячений визначенню балів, які відповідають розташуванню передпліччя, плеча і зап'ястя (рис. 6.6). Визначені бали підставляють у таблицю В (рис. 6.7), що дозволяє отримати результуюче значення. Додаючи до нього бали, які характеризують тип захвату встановлюємо величину, яка допомагає знайти необхідний рядок у таблиці С (рис. 6.8). На перетині – знайдемо результуючий показник ризику, для уточнення якого додають бали, що відповідають за активність і складність роботи. У результаті одержимо певну цифру інтерпретація, якої дозволить прийняти управлінське рішення, щодо зменшення рівня ризику виникнення захворювання.

Загальним результатом проведеної оцінки є величина ризику виникнення захворювання опорно-рухового апарату, який є високим (рис. 6.9) і потребує кардинальних змін технології виконання робіт.



Рисунок 6.6 – Фото робочої пози оператора

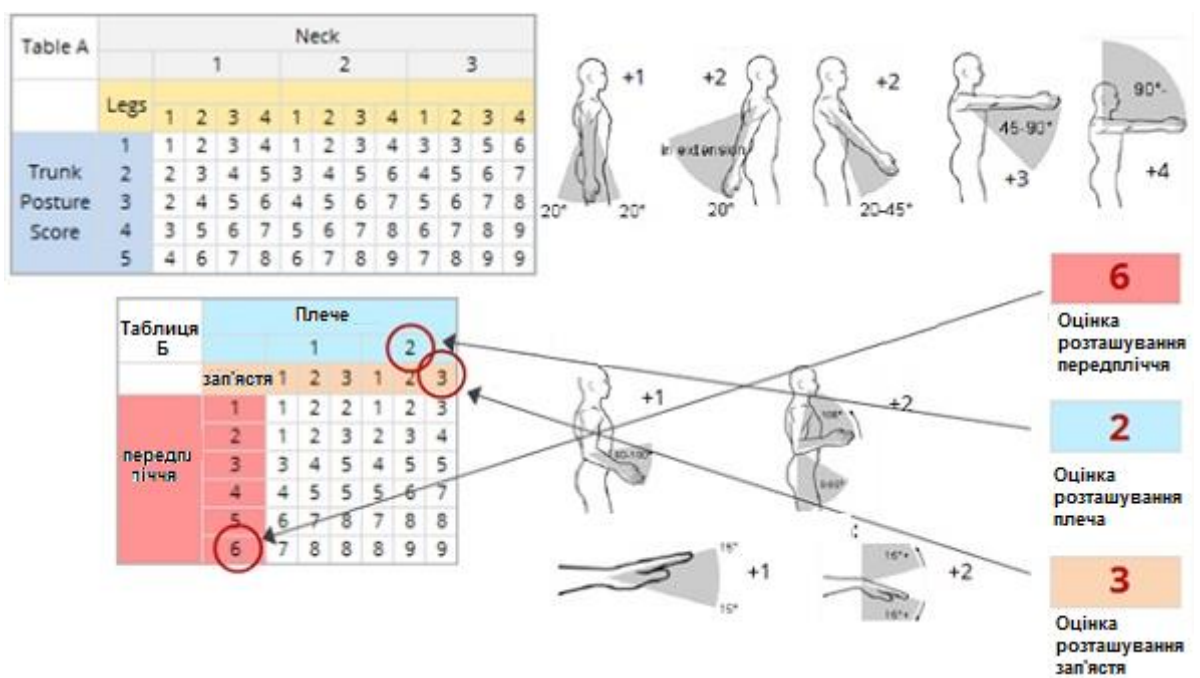


Рисунок 6.7 – Визначення результуючого балу за таблицею Б

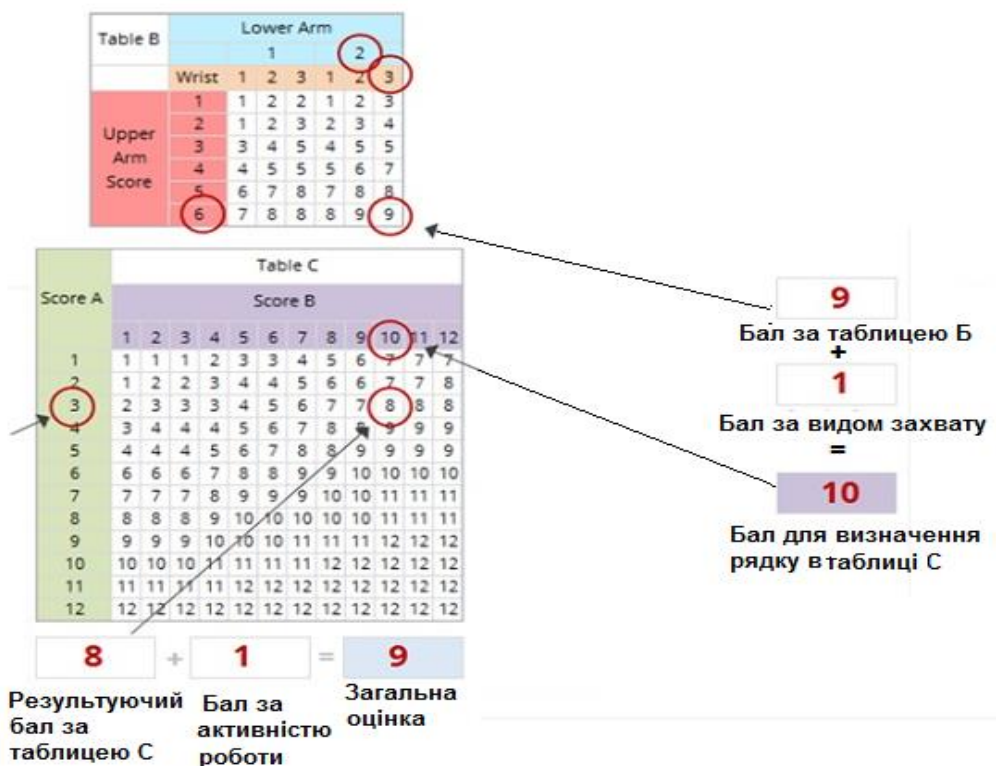


Рисунок 6.8 – Розрахунок загальної оцінки ризику

Інтерпретація оцінок

- 1 - ризик відсутній;
- 2-3 - мінімальний ризик (потрібні незначні зміни)
- 4-7 - середній ризик (потрібно удосконалення технологій)
- 8-10 - високий ризик (роботи виконувати не можна, потрібні кардинальні зміни)
- 11 - неприпустимий ризик (роботи заборонені)

Рисунок 6.9 – Інтерпретація отриманого результату

6.1.2 Встановлюй шляхи усунення небезпек

На даному етапі важливо оцінити якими технічними та фінансовими ресурсами можна розпоряджатись для зменшення потенційних небезпек і ергономічних ризиків. Для цього розглянемо один з підходів, який враховує витрати підприємства на придбання ергономічного обладнання і ймовірності ергономічного ризику ЗФСО за залежністю, яка представлена у вигляді:

$$B(R) = B_{\Delta} + B_0 \exp[k(1 - R)], \quad (6.1)$$

де B_d – постійна величина витрат, яка залежить витрат на забезпечення мінімального рівня безпеки технічних систем відповідно до нормативних вимог, грн; B_0 – повна вартість нового ергономічного обладнання для забезпечення мінімального ризику травмування; R – ймовірність професійного захворювання/травмування; k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від комплектації обладнання (знаходиться в діапазоні 1,1...2,5).

6.1.3 Вмотивуй заходи спрямовані на усунення потенційної небезпеки і ергономічного ризику

Даний етап включає в себе обґрунтуванню економічних витрат, які спрямовані на створення безпечної системи праці, що зводився до моделювання фінансового балансу між збитками підприємства внаслідок небезпечних подій (інцидентів, нещасних випадків, аварій, або захворювання, яке пов'язане з професійною діяльністю), що впливають на ЗФСО працівника автосервісу та економічними збитками на закупівлю сучасного ергономічного технологічного обладнання (рис. 3), тобто вирішення у класичному вигляді оптимізаційної задачі з пошуку мінімуму за формулою (6.2):

$$F = B + Z \rightarrow \min, \quad (6.2)$$

де F - сумарні економічно обґрунтовані витрати на придбання ергономічного технологічного обладнання із сучасними засобами безпеки; B - вартість систем колективної безпеки; Z – економічні збитки внаслідок ергономічного ризику.

Позиція "А" на рис. 6.10 відповідає ситуації, коли системам безпеки приділено недостатньо уваги. У такому випадку економія коштів обернеться суттєвим збільшенням збитків від небезпечних подій. Позиція «С» відповідає ситуації, коли для подальшого підвищення безпеки потрібне впровадження більш коштовних заходів, які вже суттєво не вплинуть на економічній втрати від небезпечних подій.

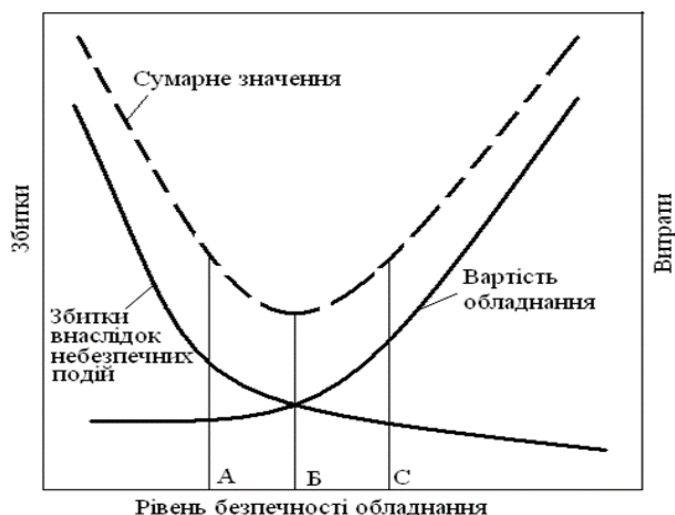


Рисунок 6.10 – Визначення доцільного рівня витрат на заходи безпеки [9]

6.1.4 Впроваджуй і контролюй запропоновану стратегію

На останньому етапі необхідно запровадити програму з контролю запропонованих рішень, спрямованих на безпеку і комфорт працівників автосервісу для своєчасного внесення коригувальних рішень. Це можна зробити використовуючи різноманітні підходи, наприклад з оцінки напруженості та інтенсивності праці чи фізичного навантаження. Дана оцінка дозволила знайти технологічне рішення для зменшення навантаження на опорно-руховий апарат і тим самим посприяти зменшенню розвитку професійних захворювань і виробничих травм (рис. 6.11).

Виходячи із загального кошторису обладнання і затрат на лікування/заміну працівника за формулою (6.1) була побудована залежність сумарних витрат на придбання обладнання і лікування/реабілітації працівника від ймовірності його професійного захворювання/травмування при виконанні виробничих операцій із заміни колеса, екстремум якої дозволяє встановити доцільність витрат на придбання ергономічного обладнання, що в даному прикладі знаходиться в межах 170...180 тис. грн.



Рисунок 6.11 - Технологічне рішення для зменшення величини професійного ризику

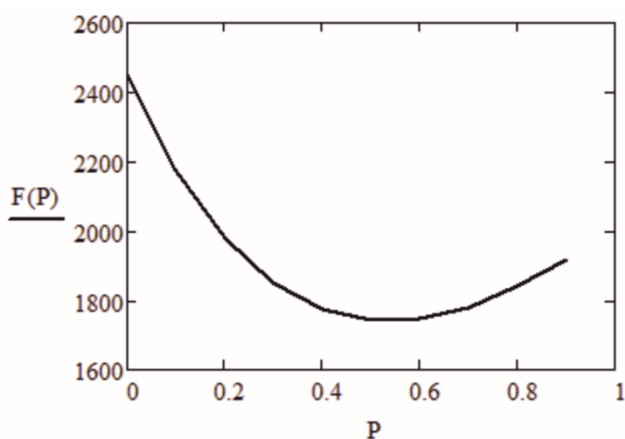


Рисунок 6.12 – Крива залежності сумарних витрат на придбання обладнання і лікування/реабілітації працівника від ймовірності його професійного захворювання/травмування при виконанні виробничих операцій

Висновок. Використання методу швидкої оцінки робочої пози дозволяє визначити ризик виникнення професійних захворювань опорно-рухового апарату, а також зумовлює до ергономічного облаштування робочих місць.

ВИСНОВОК

Аналіз моделі об'єкта керування показав, що його динамічні властивості описуються диференціальними рівняннями першого порядку, оскільки в моделі маємо тільки один інтегратор. Якщо модель об'єкта керування має перший порядок, необхідну швидкодію системи керування з плавним монотонним перехідним процесом здатний забезпечити звичайний ПІД-регулятор. Але, через конструктивну особливість регулюючого клапану, яка пов'язана з вимогою запобігання різких рухів засувок у газопроводах зі значним тиском газів, маємо обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого сигналу. З оглядом на неможливість забезпечення максимальної швидкодії системи керування через обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого впливу використання диференційної складової ПІД-регулятора є небажаним, оскільки саме вона призводить до різких змін у часі керуючого впливу. Тому зроблений перехід від ПІД-регулятора до ПІ-регулятора.

З оглядом на значний вплив збурення на статичні та динамічні властивості об'єкта керування проведено дослідження системи автоматичного керування на робастність. За підсумками цього дослідження можна зробити висновок про прийнятність використання ПІ-регулятора для автоматичного керування тиском газо-повітряної суміші у тунельній печі для випалювання керамічної цегли навіть за суттєво несприятливих умов, коли відбуваються значні зміни збурення (тиску суміші у газопроводі її подачі в піч перед регулюючим клапаном).

Результат синтезу системи автоматичного керування тиском ГПС в тунельній печі у застосунку "PID Tuner" є неефективним через неврахування при роботі застосунку обмеження за швидкістю зміни у часі керуючого впливу на об'єкт автоматизації. Тож, проведено дослідження системи автоматичного керування з метою пошуку оптимальних параметрів регулятора за критерієм максимальної швидкодії системи керування, але за умови забезпечення відсутності перевищення максимального припустимого рівня диференціалу за

часом керуючого впливу. У ході дослідження отримані наступні наукові результати:

- для кожного режиму роботи системи автоматичного керування (відпрацювання уставки або компенсація збурення) є свої оптимальні налаштування ПІ-регулятора, що забезпечують максимальну швидкодію системи без перевищення максимального допустимого диференціалу за часом керуючого впливу;

- для кожної величини збурення є свої оптимальні параметри ПІ-регулятора, при яких максимальне значення фактичного диференціалу керуючого впливу дорівнює своєму максимальному допустимому рівню. При цьому встановлено, що оптимальні коефіцієнти підсилення як пропорційної складової, так і інтегральної складової регулятора залежать від величини збурення зворотно та експоненційно;

- встановлено, що з високою точністю (відносна похибка не перевищує 1%) залежності оптимальних параметрів ПІ-регулятора від величини збурення апроксимуються ступеневими поліномами четвертого порядку.

Далі були створені цифрові моделі об'єкта керування та регулятора, проведена перевірка їх правильності функціонування. На основі цих моделей отримане програмне забезпечення як об'єкта керування, так і ПІ-регулятора тиску газо-повітряної суміші в тунельній печі для реалізації програмних моделей цих елементів системи керування в SCADA-програмі Zenon. Для проведення обчислювального експерименту з метою підтвердження ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування розроблений людино-машинний інтерфейс, за допомогою якого можна задавати різні режими та стани системи керування та відстежувати зміни у часі її основних технологічних параметрів.

Для перевірки коректності функціонування створеного програмного забезпечення системи автоматичного керування здійснена зміна за східчастим законом уставки тиску ГПС в тунельній печі шляхом зміни положення повзунка відповідного блоку на зображенні технологічного об'єкта ЛМІ. В

результаті проведеного експерименту зроблений висновок, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує згідно з вимогами до системи керування, та може бути використане для подальшої реалізації системи керування.

Також у рамках кваліфікаційної роботи визначені витрати на створення та експлуатацію системи керування, а також розроблені організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи керування.

Ім'я користувача:
Олег Бойко

ID перевірки:
1013267158

Дата перевірки:
11.12.2022 02:21:07 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
11.12.2022 02:23:01 EET

ID користувача:
100008838

Назва документа: 01_Група_151м-21_Продан_Б_Ш_-_ПЗС

Кількість сторінок: 90 Кількість слів: 13201 Кількість символів: 100374 Розмір файлу: 4.39 MB ID файлу: 1013025644

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

17.6% Схожість

Найбільша схожість: 8.72% з Інтернет-джерелом (<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/158798/%D0%9A%D..>)

14.5% Джерела з Інтернету

117

Сторінка 92

13.3% Джерела з Бібліотеки

149

Сторінка 93

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи

13

Підозріле форматування

26
сторінок