

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 Кучеренко Богдан Віталійович
(ПІБ)

академічної групи 151М-22-1
(шифр)

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

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

на тему Створення та дослідження системи автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків
(назва за наказом ректора)

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

Дніпро
2023

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

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

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студентки Кучеренко Б.В. академічної групи 151М-22-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків,

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

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

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

доц. Трипутень М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2023

Дата подання до атестаційної комісії

30.11.2023

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Кучеренко Б.В.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 с., 51 рис., 8 табл., 3 додатків, 20 джерел.

ШЛКЕР, ВИПАЛЮВАЛЬНА ПІЧ, ПРОЦЕС ВИПАЛЮВАННЯ, КЕРАМІЧНИЙ БЛОК, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕЕС, РЕГУЛЯТОР, МОДЕЛЮВАННЯ, ЕКСТРЕМУМ.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу випалювання керамічних блоків.

Об'єкт дослідження: система автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків.

Мета дослідження: вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу "потужність пальника – температура газова-повітряної суміші".

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

У вступі описано стан питання автоматизації процесу випалювання керамічних блоків.

У розділі «Стан питання та постановка задачі» наведено характеристику технологічного процесу, показано особливості тунельної печі, розглянуто технологічний процес випалювання керамічних блоків з позицій задач управління і показані його динамічні властивості.

У розділі «Теоретична частина» виконано дослідження стійкості САР процесом випалювання керамічних блоків. Розраховано області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного регулювання. Виконано зниження порядку моделі технологічного процесу. Розглянуто методики вибору структури і визначення параметрів ПД-регулятора. Обґрунтований вибір та визначені параметри регуляторів.

У розділі «Експериментальний розділ» на основі обчислювального експерименту підтверджено результати аналітичних розрахунків. Виконано

уточнення параметрів ПД-регулятора САР процесом випалювання керамічних блоків.

На основі розроблених безперервних моделей регулятора та об'єкта керування були розроблені їх цифрові моделі, для яких у MATLAB було згенеровано ПЗ, а потім імпортовано у середовище SCADA систему Zenon. Працездатність роботи цифрових моделей у симуляторі, та НМІ-інтерфейс були перевірені у середовищі SCADA системи Zenon в режимі симуляції.

На підставі проведеної роботи можна стверджувати, що ПЗ та НМІ-інтерфейс функціонують відповідно до заданих алгоритмів та забезпечують виконання поставлених завдань по керуванню технологічним процесом випалювання керамічних блоків у печі.

При впровадженні САК випалюванням керамічних блоків капітальні витрати складають 750 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням САК становитимуть приблизно 2,0 млн. грн. Коефіцієнт ефективності більше ніж його нормативне значення в середньому по галузі, термін окупності САК до 1,5 років. Впровадження САК є доцільним та економічно вигідним.

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях розглянуті питання з охорони праці при технологічному процесі випалювання керамічних блоків, розроблені інженерно-технічні заходи щодо охорони праці, здійснено розрахунки вентиляції та шуму на робочому місці, розглянуті питання пожежної профілактики.

Результати досліджень можуть бути використані при розробці САР процесом випалювання керамічних блоків.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Галузь промисловості	10
1.2 Технологічний процес	14
1.3 Об'єкт керування	18
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	20
1.3.2 Структура об'єкту керування	22
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування	25
1.4 Апаратне забезпечення системи керування	26
1.4.1 Структура системи керування	26
1.4.4 Функціональна схема автоматизації	27
1.4.5 Схема електрична принципова	29
1.5 Формулювання завдань дослідження	31
2 Теоретичний розділ	32
2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання	32
2.2 Методи регулювання об'єктами з запізненням	37
2.3 Розрахунок ПД-регулятора	41
2.4 Висновки до розділу	44
3 Експериментальний розділ	46
3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора	46
3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ПД-регулятором	49
3.3 Дослідження САР з ПД-регулятором	50
3.4 Визначення експериментальної залежності величини перерегулювання від коефіцієнта пропорційності ПД-регулятора	53
3.5 Висновки до розділу	54
4 Цифрове моделювання системи керування	55
4.1 Цифрова модель системи керування	55
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	57

	6
4.3 Розробка ПЗ людино-машинного інтерфейсу	60
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	62
4.5 Висновки до розділу	64
5 Економічна частина	65
5.1 Доцільність розробки САК	65
5.2 Капітальні витрати для САК	66
5.3 Експлуатаційні витрати	67
5.4 Оцінка економічної ефективності проекту	69
5.5 Висновки до розділу	69
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	70
6.1 Охорона праці при випалювання керамічних блоків	70
6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці	70
6.2.1 Особливості охорони праці при випалювання керамічних блоків	71
6.2.2 Запобігання нещасним випадкам	71
6.3 Розрахункова частина	72
6.3.1 Розрахунок вентиляції цеху	72
6.3.2 Розрахунок шуму	74
6.4 Пожежна профілактика	78
6.5 Висновки до розділу	80
Висновки	81
Список літератури	83
Додаток А - Програмні модулі САК	86
Додаток Б ПЗ САК	89
Додаток В ПЗ НМІ-інтерфейсу	91
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	95

ВСТУП

Актуальність теми.

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

Будівельна галузь є однією з найважливіших галузей народного господарства, від якої залежить ефективність функціонування всієї системи господарювання в країні [1].

Сучасна будівельна індустрія України випускає матеріали, вироби, деталі і конструкції для всіх видів будівництва. До основної її продукції належать: стінові матеріали (цегла, керамічні блоки, панелі гіпсові і бетонні, шлакоблоки), в'язучі (вапно, цемент, будівельний гіпс), покрівельні матеріали (шифер, черепиця, руберойд, толь), будівельне скло, різноманітні ізоляційні, облицювальні, оздоблювальні матеріали, будівельна кераміка і фаянс, санітарно-технічні вироби тощо [2].

Об'єктом керування є тунельна піч для випалу керамічних блоків. Дана піч є трифазною газовою піччю потужністю 270 кВт. Завдяки використанню чотиристороннього обігріву температура в камері печі розподіляється рівномірно та може бути виміряна одним датчиком температури з діапазоном від 0 до 1200 °С.

На даний час енергоносії мають дуже велику ціну тому є потреба в скороченні витрат на виробництві. Цього можна досягти за рахунок використання оновлених систем керування.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу випалювання керамічних блоків за рахунок створення системи автоматичного регулювання температурою газова-

повітряною сумішшю в тунельній печі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація відхилень поточних значень температури від заданого значення в динамічному сенсі.

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

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою газова-повітряною сумішшю;

- проведений синтез системи автоматичного керування температурою газова-повітряною сумішшю з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості протікання перехідних процесів на виході системи, та здійснені дослідження оцінок показників якості перехідних процесів від параметрів регулятора.

Об'єкт дослідження – система автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків використані методи теорії автоматичного керування та моделювання. Експериментальні дослідження (моделювання) проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- визначені умови стійкості та критичний час запізнення системи автоматичного регулювання без коригувального пристрою;

- обґрунтовано тип та синтезовано ПД-регулятор системи автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків;

- показано вплив пропорційної, інтегральної та диференціальної частин ПД-регулятора на якість перехідного процесу на виході об'єкту керування;

- визначені найкращі значення уставок ПД-регулятора системи автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків.

Наукове положення – мінімум величини перерегулювання температури газова-повітряною суміші в системі автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків досягається використанням пропорційної, інтегральної та диференціальної частин ПД-регулятора.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

У галузі будівництва станом на листопад 2019 року налічується 29.6 тис. підприємств, в яких працює 268 тис. найманих працівників, та 22.9 тис. фізичних осіб-підприємців, в яких чисельність найманих працівників – 17.1 тис. осіб. Загалом у галузі зайнято 312.3 тис. осіб (3.6% від загальної кількості зайнятих працівників у суб'єктах господарювання за усіма видами економічної діяльності) [4].

У 2021 році підприємства України виконали будівельні роботи на майже 254 млрд гривень. Індекс будівельної продукції, у порівнянні з 2020 роком, становить понад 105% (рис. 1.1) [5].

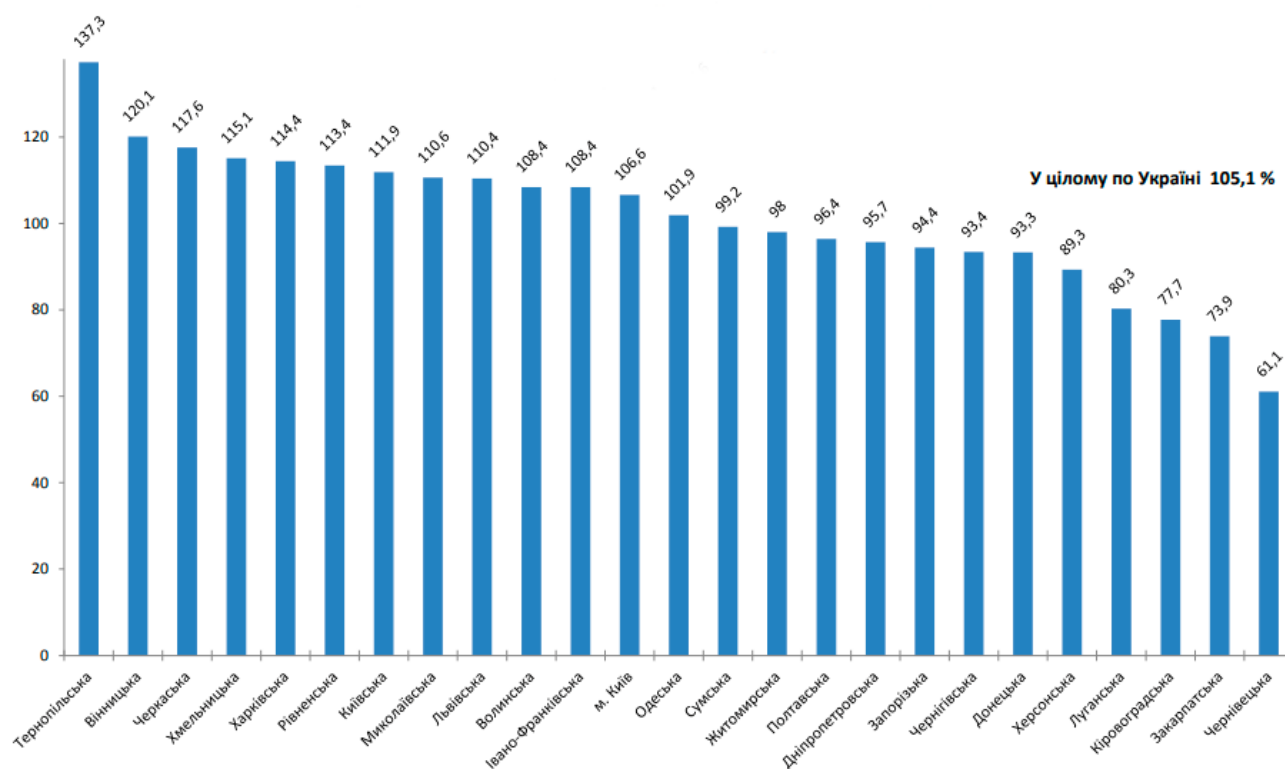


Рисунок 1.1 – Індеси будівельної продукції за регіонами у 2021 році (у відсотках до 2020 року) [6]

Зокрема, індекс будівельної продукції (у порівнянні з 2020 роком) у Тернопільській області склав 137.3%, Вінницькій – 120.1%, Черкаській – 117.6%.

Загалом обсяги будівельних робіт у 2021 році збільшили підприємства 13 регіонів.

Зменшились обсяги будівельних робіт на підприємствах 12 регіонів, зокрема Чернівецької (на 38.9 %), Закарпатської (на 26.1 %) та Кіровоградської (на 22.3 %) областей (рис. 1.1).

Підприємствами 8 регіонів країни (м. Києва, Одеської, Дніпропетровської, Харківської, Львівської, Київської, Вінницької та Донецької областей) виконано 76% загального обсягу будівництва.

У розрахунку на 1 особу наявного населення обсяги виконаних будівельних робіт в цілому по Україні у 2021 році склали 6105 гривень [5].

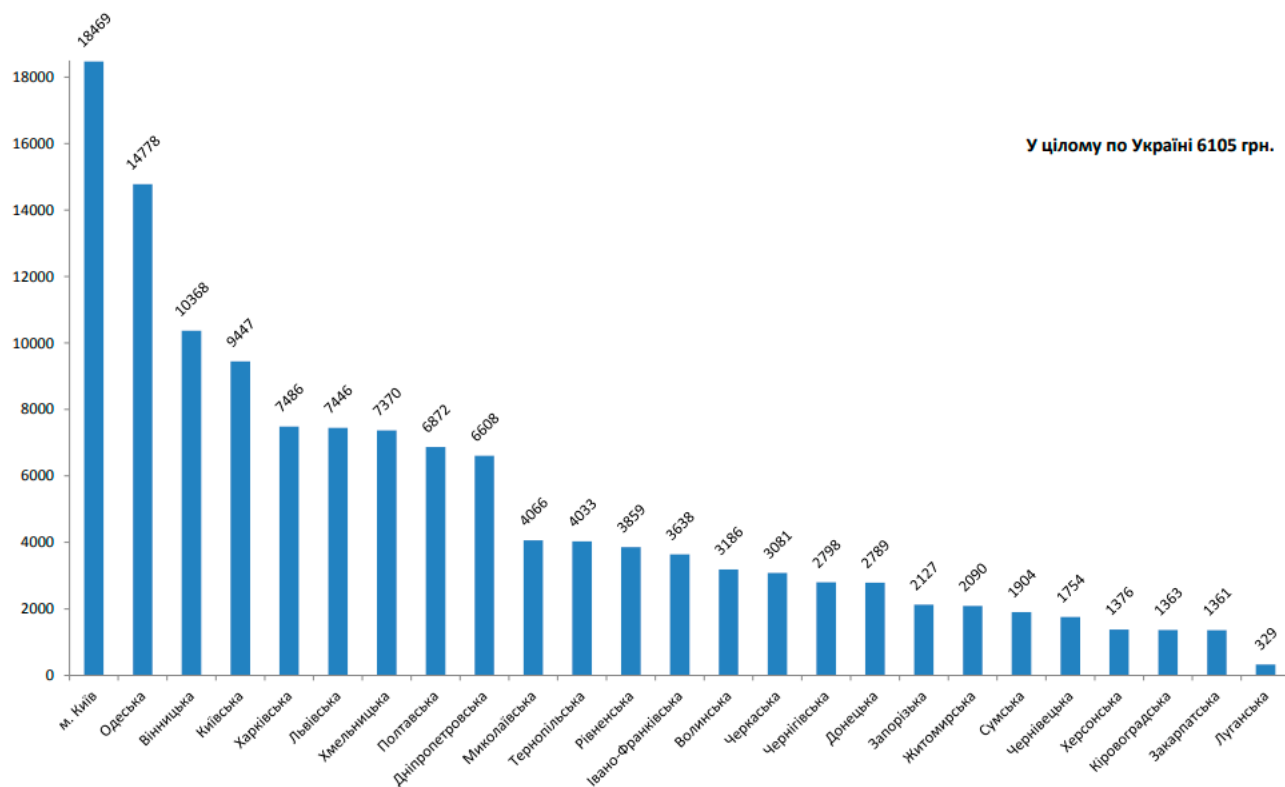


Рисунок 1.2 – Обсяги виконаних будівельних робіт за регіонами у розрахунку на 1 особу за 2021 рік [7]

Серед регіонів найвищим цей показник є у місті Києві (18468.8 грн на 1 особу, що у 3 рази перевищує середній показник по Україні), високим – у Одеській (14778.4 грн), Вінницькій (10368 грн) та Київській (9447.4 грн) областях (рис. 1.2).

- У 2021 році зросли порівняно з 2020 роком обсяги виробництва (рис. 1.3):
- сумішей сухих будівельних – на 47.6% (вироблено – 169.4 тис. т);
 - конструкцій збірних будівельних з чавуну чи сталі – на 15.1% (вироблено – 5316.5 т);
 - розчинів бетонних – на 14.9% (вироблено – 1559.5 тис. т);
 - портландцементу – на 13.1% (вироблено – 569.7 тис. т);
 - іншого каменю дробленого – на 10.5% (вироблено – 5616.2 тис. т);
 - елементів конструкцій збірних для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного – на 8.7% (вироблено – 339.3 тис. т);
 - плитки та плит керамічних – на 8.2% (вироблено – 3528.2 тис. кв. м);
 - пісків будівельних – на 8.1% (вироблено – 1739.5 тис. т);
 - цегли невогнетривкої керамічної будівельної – на 6.0% (вироблено – 109.1 тис. куб. м);
 - блоків та цегли з цементу, бетону або каменю штучного для будівництва – на 0.8% (вироблено – 285.2 тис. т);
 - вапна негашеного – на 0.2% (вироблено – 182.4 тис. т).
- Знизились проти 2020 року обсяги виробництва (рис. 1.3):
- виробів з асфальту – на 7.7% (вироблено – 1441.6 тис. кв. м);
 - дверей та їх коробок, порогів з деревини – на 10.5% (вироблено – 84446 од.) [5].

Щодо напрямків застосування керамічного блоку, то останнім часом він отримав широке застосування в житловому і промисловому будівництві малоповерхових і багатоповерхових будівель (до 9 поверхів). При заповненні керамічними блоками каркасних конструкцій, поверховість будівлі практично не обмежена. Тепла кераміка є відмінним сучасним варіантом, як для зведення несучих стін, так і міжкімнатних перегородок. Будинок з керамічного блоку добре зберігає тепло, тому що під час формування керамічного блоку, у ньому утворюються повітряні камери, які дозволяють стінам не промерзнути [9].

(Дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м.Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях)

	Кількість виробленої промислової продукції за грудень 2021р.	Кількість виробленої промислової продукції за 2021р.	грудень 2021 р. у % до грудня 2020 р.	2021 р. у % до 2020 р.
Вироби з асфальту або матеріалів подібних (нафтового бітуму, кам'яновугільного пеку), в рулонах, тис.м ²	1441,6	23260,8	92,1	92,3
Конструкції збірні будівельні з чавуну чи сталі, т	5316,5	67223,1	95,5	115,1
Піски будівельні, такі як глинисті, каолінові, полевошпатові (крім кременистих та металоносних пісків), тис.т	1739,5	15399	131,7	108,1
Блоки та цегла з цементу, бетону або каменю штучного для будівництва, тис.т	285,2	3491	87,9	100,8
Плитки та плити, керамічні, тис.м ²	3528,2	50380,3	80,7	108,2
Елементи конструкцій збірні для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного, тис.т	339,3	3927,4	106,3	108,7
Цегла невогнетривка керамічна будівельна (крім виробів з борошна кам'яного кремнеземистого чи ґрунтів діатомітових), тис.м ³	109,1	1514,2	88,3	106
Камінь дроблений, який використовується як наповнювач бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей (крім гальки, гравію та кремнію), тис.т	5616,2	73262,1	93,4	110,5
Портландцемент, тис.т	569,7	10780,5	110,3	113,1
Розчини бетонні, готові для використання, тис.т	1559,5	19645,4	103,4	114,9
Вапно негашене, тис.т	182,4	2347,8	84,4	100,2
Вікна, двері балконні та їх рами, з деревини, шт	к	к	к	к
Двері та їх коробки і пороги, з деревини, шт	84446	928474	80,2	89,5
Суміші будівельні сухі (крім розчинів бетонних, готових для використання), тис.т	169,4	4250,6	68,8	147,6

к - дані не оприлюднюються з метою забезпечення виконання вимог Закону України "Про державну статистику" щодо конфіденційності статистичної інформації

Рисунок 1.3 – Виробництво промислової продукції в натуральному виразі по Україні у 2021 році [8]

Важливість цієї галузі для економіки будь-якої країни можна пояснити наступним чином: капітальне будівництво, напевне, як ніяка інша галузь економіки, створює велику кількість робочих місць і споживає продукцію багатьох галузей народного господарства. Економічний ефект від розвитку цієї галузі полягає у мультиплікаційному ефекті коштів, вкладених у будівництво. Адже з розвитком будівельної галузі будуть розвиватися: виробництво будівельних матеріалів і відповідного обладнання, машинобудівна галузь, металургія і металообробка, нафтохімія, виробництво скла, деревообробка і фарфоро-фаянсова промисловість, транспорт, енергетика тощо. І, вочевидь, як ніяка інша галузь економіки, будівництво сприяє розвитку підприємств малого бізнесу, особливо того, який спеціалізується на оздоблювальних і ремонтних роботах, на виробництві та встановленні вбудованих меблів і т. ін.

Отже, ріст будівельної галузі неминуче викликає економічний ріст у країні і виникнення необхідних умов для розв'язання багатьох соціальних проблем. Але на сучасному етапі її розвитку говорити про будь-яку конкурентоспроможність цієї галузі не представляється можливим. Якщо на регіональному рівні чітко просліджується тенденція верховенства будівельних організацій центральних районів та великих міст-мільйонерів у зв'язку з їх значними потужностями і інвестиційною привабливістю, то на глобальному рівні будівельна галузь України програє через брак необхідних фінансових та організаційних перетворень [10].

1.2 Технологічний процес

Нарощування темпів будівництва та конкуренція між виробниками будівельних матеріалів на ринку України викликає необхідність збільшення кількості та покращення якості будівельних керамічних блоків. Вирішенню цього завдання можна досягти шляхом удосконалення системи керування технологічними процесами сушіння та випалу. Саме під час проходження сушіння та випалу, формуються властивості продукції, що визначають якість продукції. Воно включає як вимірювані механічні і гідрофізичні показники

(міцність, морозостійкість і водопоглинення), так і візуальні дефекти (тріщини, оплавлення, перепал).

Технологічний процес, одержання керамічних блоків проводять переважно в тунельних печах, характеризується це розподілом температури газового середовища (температурне поле) та усадками виробів, нестабільністю властивостей напівфабрикату, а також неможливістю контролю властивостей керамічного матеріалу в період його тривалого (до 120 годин) перебування в печі, в режимі реального часу. Відсутність обґрунтованих рекомендацій на вибір оптимального температурного поля з урахуванням якісних показників готової продукції, зміни властивостей вхідних матеріальних потоків, стану технологічного обладнання, зумовлюють необхідність створення математичної моделі процесу, її оптимізації та вдосконалення автоматизованої системи керування.

Створення системи керування процесом випалювання керамічних блоків в тунельній печі, яка сприяє підвищенню якості готової продукції шляхом запобігання виникненню аварійних ситуацій, внесення запобіжних впливів, отриманих в результаті прогнозування характеристик виробів та визначення оптимального температурного поля в умовах нестабільності напівфабрикату.

Розглянемо технологічну схему виготовлення керамічних блоків (рис. 1.4) [11].

Розшифровка позначень на рис. 1.4 наступне: 1 – Грейферний кран; 2 – стругач; 3 – бункер; 4 – Z-подібний змішувач; 5 – прес; 6, 11, 19 – стрічковий транспортер; 7 – шахтна піч; 8 – шокова дробарка; 9 – кульовий млин; 10, 14 – стрічковий ваговий дозатор; 12 – сушильний барабан; 13 – дезінтегратор; 15 – пропелерна мішалка; 16 – коригувальна мішалка; 17 – об'ємний дозатор; 18 – змішувальні бігуни; 20 – коліно-важільний прес; 21 – стрічковий конвеєр; 22 – вагонетки; 23, 26 – електро-лафет; 24 – тунельна сушарка; 25 – тунельна піч; 27 – склад.

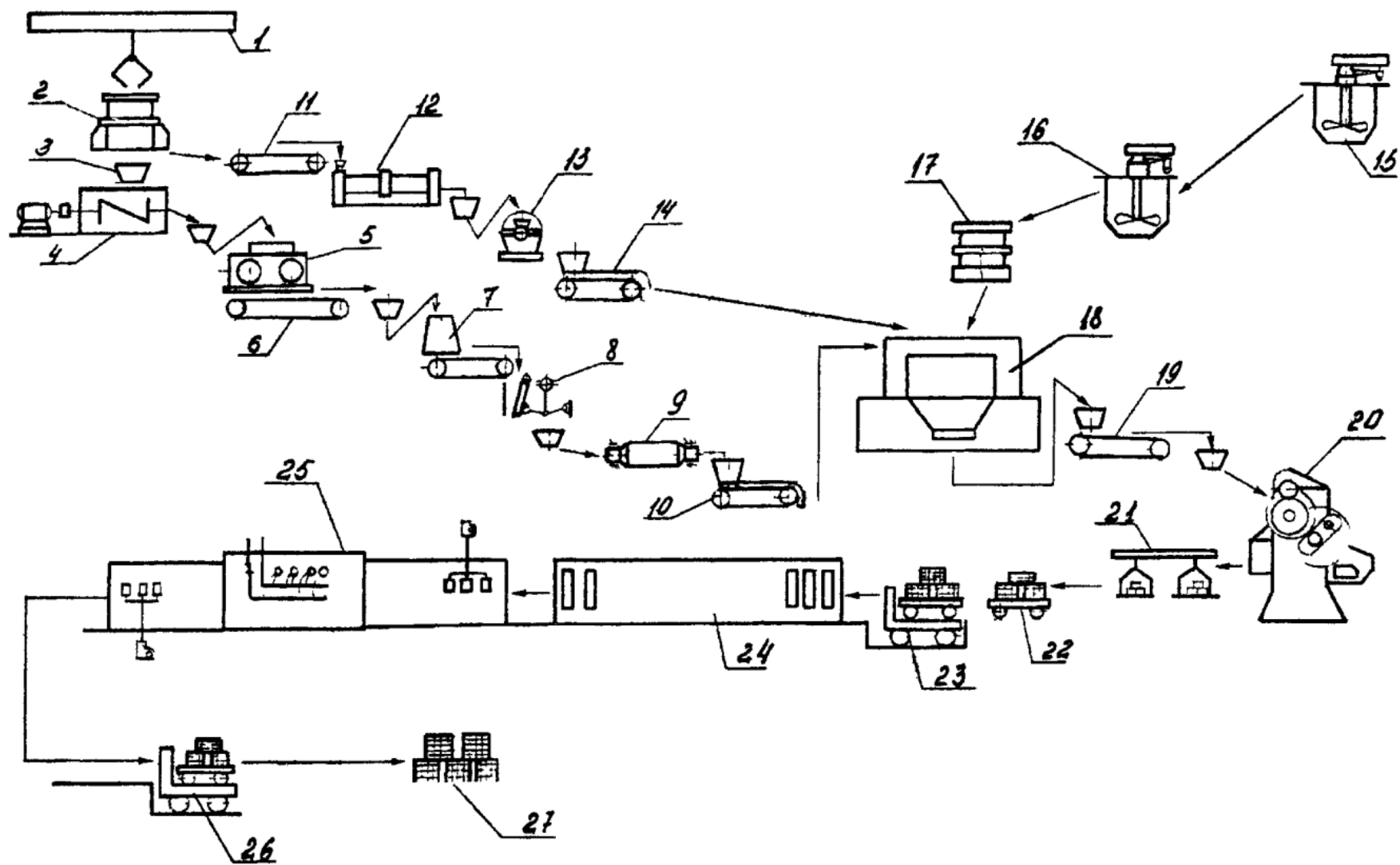


Рисунок 1.4 – Технологічна схема виготовлення керамічних блоків [11]

Опис технологічного процесу. Для приготування керамічного блоку, глину рейферним краном подають у стругач, де вона ріжеться ножами на стружку шириною 70 мм і товщиною 5 мм і надходить у бункер, з якого вона подається в двовальний Z-подібний змішувач періодичної дії, що забезпечує високу якість перемішування з одночасним її зволоженням. Зі змішувача, глиняна маса надходить на прес та пресується у брикети масою близько 2 кг. Однакова форма і розміри брикетів, сприяють більш рівномірному розподілу газового потоку і поліпшенню прогріву матеріалу при випалюванні на глину. З преса брикети, стрічковим транспортером, подають у бункер, розташований над шахтною піччю і далі надходять безпосередньо в піч, де вони піддаються випалу. Після випалу, глина у вигляді брикетів, пластинчастим транспортером подається в щоківу дробарку, де дробиться до шматків розміром менше 50 мм і надходить у витратний бункер. З бункера грудкова глина подається в кульовий млин, після чого піддається помелу і у вигляді порошку надходить у стрічковий ваговий дозатор.

Глина на зв'язування зі стругача, стрічковим транспортером (11), подається в сушильний барабан для підсушування до вологості від 9-12% і надходить у бункер. Потім глина піддається грубому помелу в дезінтеграторі і надходить на ваговий стрічковий дозатор (14).

Частина глини (3%), подається в пропелерну мішалку разом з водяним розчином лігносульфонатів. Приготовлений шлікер подається до коригувальної мішалки з підгрівом шлікеру до 60°C та через об'ємний дозатор, надходить у змішувальні бігуни.

Одночасно зі шлікером у змішувач подається, стрічковими ваговими дозаторами (10) та (14), глина на зв'язування. Компоненти рівномірно перемішуються в однорідну масу вологістю від 6-7%. Отримана глиняна маса, стрічковим транспортером (19), подається у видатковий бункер колінна-важільного преса, що забезпечує двостороннє двоступінчасте пресування блоку. Відпресовані вироби укладаються на стрічковий конвеєр і транспортуються до вагонеток. Електро-лафетом вагонетки з відпресованими виробами, подаються

до тунельного сушила, встановленого співвідносно з тунельною піччю. Вагонетки з висушеними виробами проштовхувачем подаються до печі, у якій здійснюється випал керамічного блоку при температурі близько 975°C. Після випалу, вагонетки з виробами, електро-лафетом, подаються на склад готової продукції, де керамічний блок сортується і відвантажується споживачу [11].

1.3 Об'єкт керування

В якості об'єкта керування виступає тунельна піч, для якої виконується розробка системи автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків.

Незважаючи на великий асортимент, різноманітність форм та фізико-механічних властивостей керамічних виробів, основні етапи їх виробництва є загальними і включають такі операції: видобуток сировинних матеріалів, підготовка маси, формування сирцю, сушіння, випалювання, подальша обробка виробів, пакування. Зазначимо, що процес виробництва будівельної кераміки є чітко регламентованим, тобто вказані етапи виробництва виконуються у строго визначеній послідовності, причому вихідні показники одного етапу є вхідними показниками наступного.

Основні етапи виробництва будівельної кераміки можна представити у вигляді схеми, показаної на рис. 1.5 [12]. Тут показано кінцевий результат для кожної технологічної операції (підготовка маси, сушіння, випалювання) та його основні характеристики, наведені в дужках, а також керуючі впливи U для цих операцій. На кожному етапі розміщуються точки контролю, інформація з яких використовується для аналізу поточного стану процесу. Оскільки кожен з цих етапів впливає на якість кінцевого продукту, розглянемо їх детальніше. Підготовка сировинних матеріалів складається з руйнування природної структури глини, подрібнення великих включень, змішання глини з домішками та зволоження до одержання зручної при формуванні глиняної маси. Формування керамічної маси в залежності від властивостей вихідної сировини і виду продукції здійснюють напівсухим, пластичним або шлікерним способами.

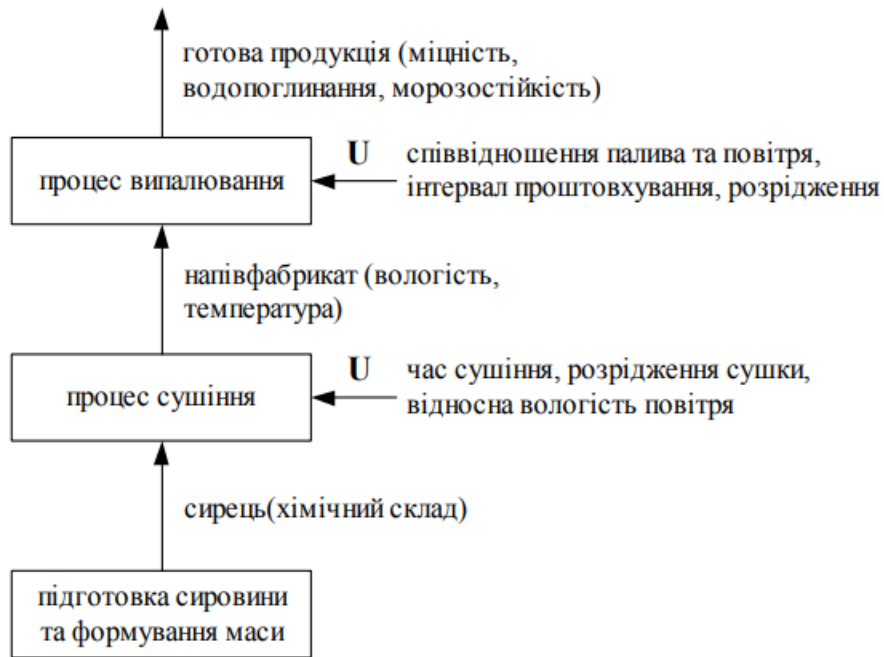


Рисунок 1.5 – Послідовність етапів процесу виготовлення кераміки [12]

Найбільш поширеним є пластичний спосіб, при якому подрібнена глина переміщується з домішками до одержання однорідної пластичної маси вологістю 20-25%. Вихідними параметрами цього етапу є хімічний склад речовини [12].

Обов'язковою операцією технологічного процесу виробництва керамічних виробів пластичним способом є сушіння, яке здійснюють у камерних сушках періодичної дії чи тунельних сушках безперервної дії.

Випалювання є завершальною стадією технологічного процесу. В піч сирець надходить з вологістю 8-12%, і в початковий період відбувається його досушування. В інтервалі температур 550-800°C, відбувається дегідратація глинистих мінералів і видалення хімічно зв'язаної конституційної води. При цьому руйнуються кристалічні решітки мінералу, зменшується пластичність глини і відбувається усадка виробів. При температурі 200-800°C, виділяється легка частина органічних домішок глини і добавок, введених до складу шихти при формуванні виробів. Подальший підйом температури від 800°C до максимальної, пов'язаний з руйнуванням кристалічних решіток глинистих мінералів і значною структурною зміною черепка, тому швидкість підйому температури сповільнюють до 150°C/год. По досягненні максимальної

температури випалювання, виріб витримують для вирівнювання температури по всій його товщині, після чого температуру знижують на 100-150°C, в результаті чого, виріб зазнає усадки і пластичних деформацій. Потім інтенсивність охолодження при температурі нижче 800°C збільшується до 250-300°C/год [12].

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Тунельна піч – це теплова установка безперервної дії, в якій енергія для випалювання виділяється за рахунок згорання палива, а садка з виробами пересувається по довгому прямолінійному випалювальному каналу назустріч теплоносію. Рух виробів печі відбувається за рахунок проштовхування в випалювальний канал нового вагона через певний час, який називається інтервалом проштовхування. Механізм, що штовхає вагони, називають штовхачем. На вході та виході, піч обладнана механічними шторами для усунення підсмоктування повітря у випалювальний канал. Між вхідною шторою та зоною нагрівання знаходиться форкамера завдовжки один вагон. Ця конструктивна особливість печі призначена для запобігання порушенням температурного режиму при проштовхуванні нових виробів. Вагон спочатку заштовхують у форкамеру, при цьому штора між нею та зоною нагрівання опущена. Після закриття вхідного отвору, вихідну штору форкамери, піднімають і проштовхують вагон вже безпосередньо в пічний канал.

Канал печі умовно поділяється на позиції, довжина яких дорівнює довжині пічного вагона, тобто кількість позицій дорівнює кількості вагонів, що перебувають на випаленні.

При виборі типу садки враховують конструкцію та розмір випалювального каналу, типу виробів, палива та методу його спалювання, конструкцію пальникового обладнання.

Експериментальна частина досліджень, запропонованих в роботі математичних моделей та методів була проведена на базі безкаркасної тунельної печі №3 ТПКБ “Оргтехстройматеріали” цегельного заводу ВАТ “Керамік”

(м. Вінниця). Основні характеристики цього тепло-технологічного ОРП подані в табл. 1.1 [12].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики тепло-технологічного ОРП

Продуктивність	25 млн. шт./ рік
Довжина каналу печі	122.48 м
Ширина робочого каналу	2.8 м
Висота від поду вагонетки до замка склепіння	1.65 м
Число каналів	1
Зона підігріву	позиції 1–12
Зона випалювання	позиції 13–23
Зона охолодження	позиції 24–35
Корисний об'єм робочих каналів печі	784 м ³
Розмір вагонетки	3.0×2.85×1.4 м
Кількість вагонеток в активній частині каналу	35
Одночасна ємність печі	182000 шт.
Розрахунковий строк випалювання блоків	32 год
Максимальна температура випалювання	1000 °С
Питома вага умовного палива	145 кг/1000 шт.
Вологість виробів, що надходять в піч	8 %
Інтервал прошовування вагонеток	55 хв.

Зовнішній вигляд тунельної печі представлений на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд тунельної печі для випалювання керамічних виробів

1.3.2 Структура об'єкту керування

Розглянемо більш детально принципи побудови тунельної печі, яка використовується на етапі випалювання виробів, технологічного процесу виготовлення будівельної кераміки.

Тунельна піч умовно поділяється на 3 зони: нагрівання, випалювання та охолодження (рис. 1.7). Дотримання певного температурного поля у кожній зоні печі є найважливішою умовою отримання якісної продукції. Сукупність цих полів створює температурне поле всієї печі, яке описується температурною кривою процесу випалювання. Організація необхідного руху повітряних мас по випалювальному каналу, відбувається за рахунок дотримання у кожній зоні печі певного поля розрідження, яке описується кривою розрідження. Підтримання форми кривої температурного режиму здійснюється за допомогою вектору керування X , що включає такі параметри: тиск та витрати природного газу, повітря для спалювання, охолодження, сушки, димові гази, що викидаються в атмосферу, інтервал проштовхування. Зазначимо, що безпосереднє керування

можна здійснювати лише в зоні випалювання (на всіх позиціях, де знаходяться пальники) [12].

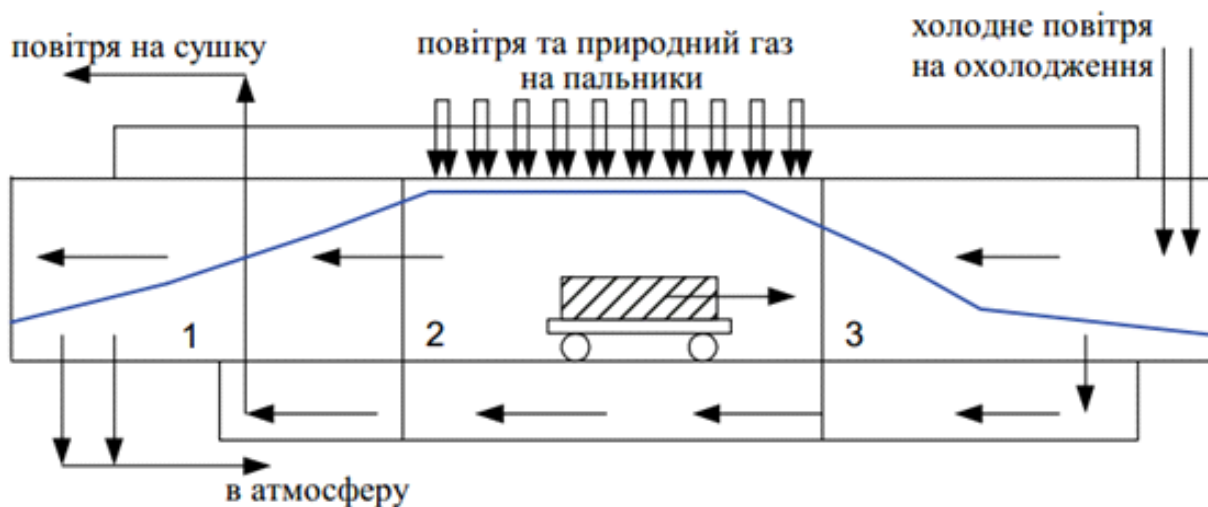


Рисунок 1.7 – Схема тунельної печі [12]

Структурна схема об'єкта керування представлена на рис. 1.8.

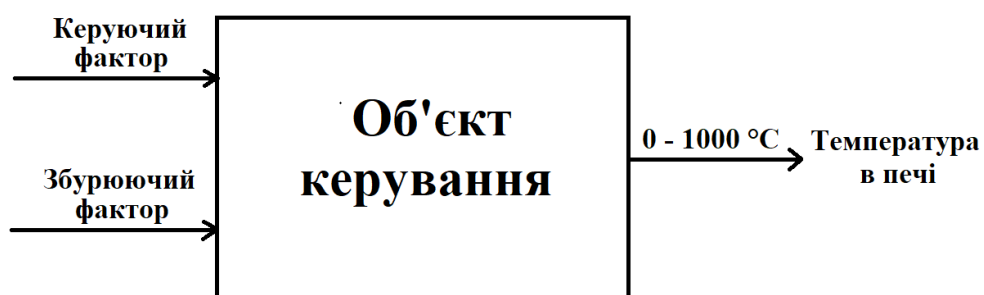


Рисунок 1.8 – Структурна схема об'єкта керування

На режим випалювання виробів впливають різного роду збурюючі фактори:

- періодичне відкриття дверей тунельної печі при проштовхуванні вагонеток;
- підсоси з підвагонеткового простору;
- зміна калорійності палива (особливо при використанні рідкого та пиловугільного палива);
- температура і вологість зовнішнього повітря, що надходить на горіння та в зону охолодження;
- зміна складу маси виробів;

- температура, вологість, теплотворна здатність природного газу;
- атмосферний тиск;
- температура напівфабрикату;
- робота обслуговуючого персоналу;
- робота технологічного обладнання (стан футерування, заповнення пісочних створів);
- відносна надлишкова вологість фабрикату;
- геометрична конструкція садки;
- ступінь подрібнення шихти.

Керувати режимом випалювання можна на основі факторів:

- витрати газу на пальники ($\text{м}^3/\text{с}$);
- витрати повітря на горіння ($\text{м}^3/\text{с}$);
- витрати повітря на охолодження виробів;
- витрати повітря на завіси;
- відбір повітря з поперечного коридору;
- відбір газів на початку і в кінці зони випалювання;
- тиск природного газу;
- витрата напівфабрикатів (швидкість проштовхування вагонеток)

[12].

В якості вихідного параметру об'єкта керування, виступає температура газо-повітряної суміші в печі. Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки: тунельна піч є складним об'єктом керування, що піддається впливу різних зовнішніх і внутрішніх факторів під час випалювання. Тому для оптимального керування тепло-технологічним ОРП, необхідно виконувати моделювання тепло-технологічного об'єкта для визначення параметрів керування та розраховувати оптимальні параметри моделі ОРП, які забезпечують отримання максимальної якості продукції [12].

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

У тунельній печі по довгому вузькому каналу назустріч газовому або повітряному потокам, рухаються щільно торкаючись один до одного вагонетки з обпаленими виробами. Тунель умовно розділяється по довжині на три основні зони: підігріву, випалу та охолодження. Спочатку вагонетки з виробами підігріваються і відходять до зони випалу продуктами горіння, потім проходять через зону випалу, піддаючись впливу високих температур, після чого надходять в зону охолодження, де остигають, віддаючи своє тепло повітрю [13].

Форкамера слугує для зменшення газообміну з навколишнім середовищем при завантаженні вагонеток у піч. Основне призначення зони підігріву – остаточне видалення вологи із сирцю та рівномірне прогрівання садку до температури 600°C. Підігрів і сушіння виробляються продуктами горіння, що відходять із зони випалу.

У зоні випалювання, спалюється паливо у спеціальних пальних пристроях. Сирець нагрівається до температури 980°C, завершуючи всі процеси, пов'язані з формуванням черепка. Повітря, що надходить для спалювання палива, попередньо підігрівається у зоні охолодження. Горіння палива відбувається у розривах між садками блоків на вагонетках. Протягом всієї зони випалювання печі, встановлено сім пальників, паливо – природний газ.

У зоні охолодження відбувається остигання блоку до температури 300°C, перед видачою вагонеток з печі, а також відбувається відбір нагрітого повітря для подачі його в сушарку. У цій зоні охолоджується також і футерування вагонеток, нагріте до високих температур. Вироби та футерування вагонеток охолоджуються холодним повітрям, що подається в піч зверху та збоку через кілька каналів, розташованих по довжині зони охолодження ближче до вихідного каналу печі.

Піч працює за принципом протитечії, тобто газу та повітря рухаються назустріч вагонеткам з виробами, що обпалюються. Рух газових та повітряних потоків здійснюється системою вентиляторів. У зоні підігріву можлива установка циркуляційних вентиляторів для інтенсивного переміщення газових

потоків з метою максимального усереднення газового середовища, тобто ліквідації розшарування її та зменшення перепаду температур перерізу каналу. У зоні підігріву також проводиться відбір димових газів.

Умови безпеки та експлуатації під час виконання робіт з тунельною піччю наведені в ПП 1.2.10-177-2001 "Примірна інструкція з охорони праці для садчиків в печі і на тунельні вагони вогнетривких підприємств" [14].

1.4 Апаратне забезпечення системи керування

1.4.1 Структура системи керування

Об'єктом керування є тунельна піч. В кваліфікаційній роботі бакалавра була розроблена структурна схема системи автоматичного керування (САК) процесом випалювання керамічних блоків, яка представлена на рис. 1.9.

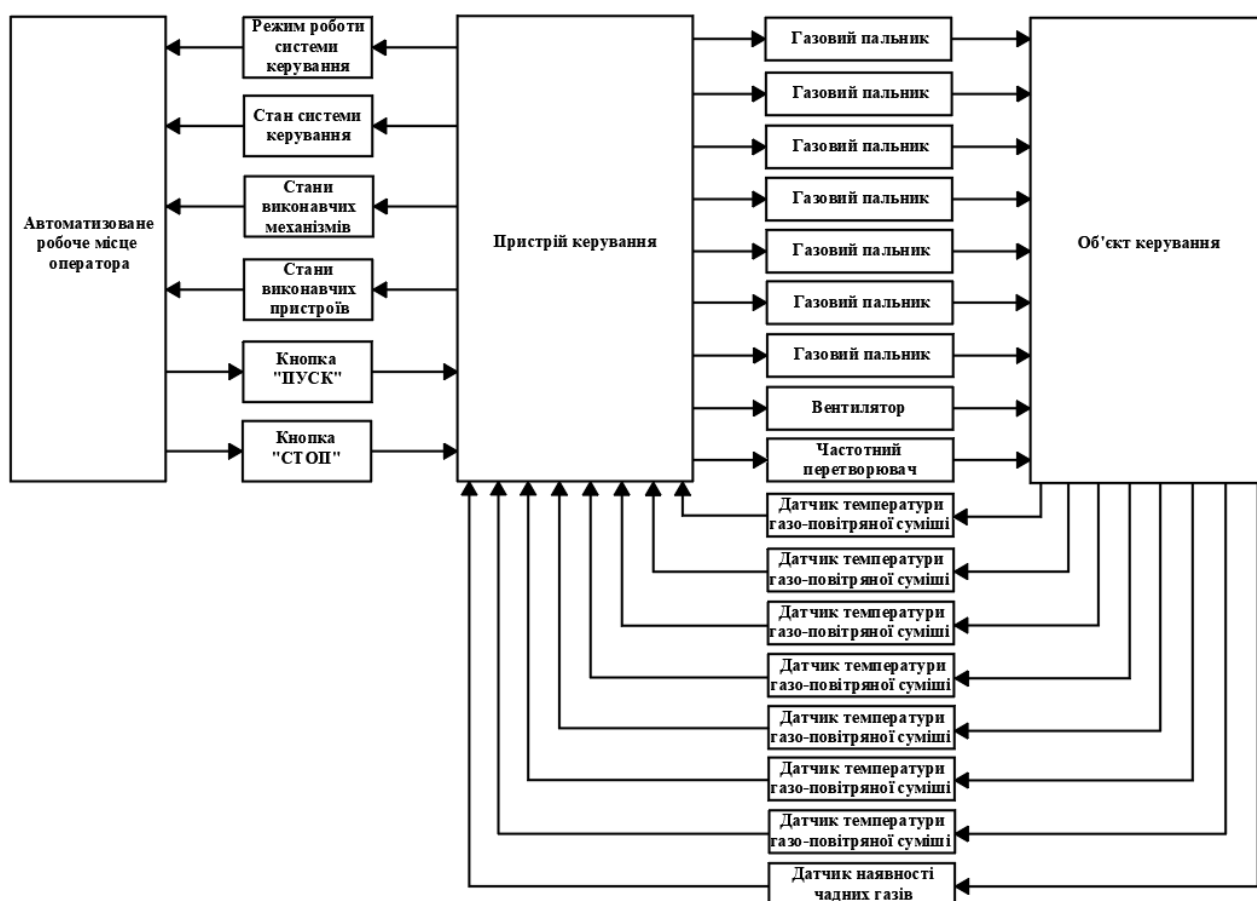


Рисунок 1.9 – Структурна схема САК процесом випалювання керамічних блоків

Структурна схема САК складається з об'єкта керування, пристрою керування, автоматизованого робочого місця оператора, яке призначено для оперативного керування та відображення поточного стану технологічного процесу та забезпечення переводу за потреби до ручного режиму роботи.

Структурна схема САК містить наступні технічні компоненти:

- датчики температури газо-повітряної суміші – 7 од.;
- датчик наявності чадних газів;
- газові пальники - 7 од.;
- вентилятор;
- частотний перетворювач.

1.4.4 Функціональна схема автоматизації

В кваліфікаційній роботі бакалавра було обрано апаратні засоби САК та розроблена функціональна схема автоматизації, яка показана на рис 1.10.

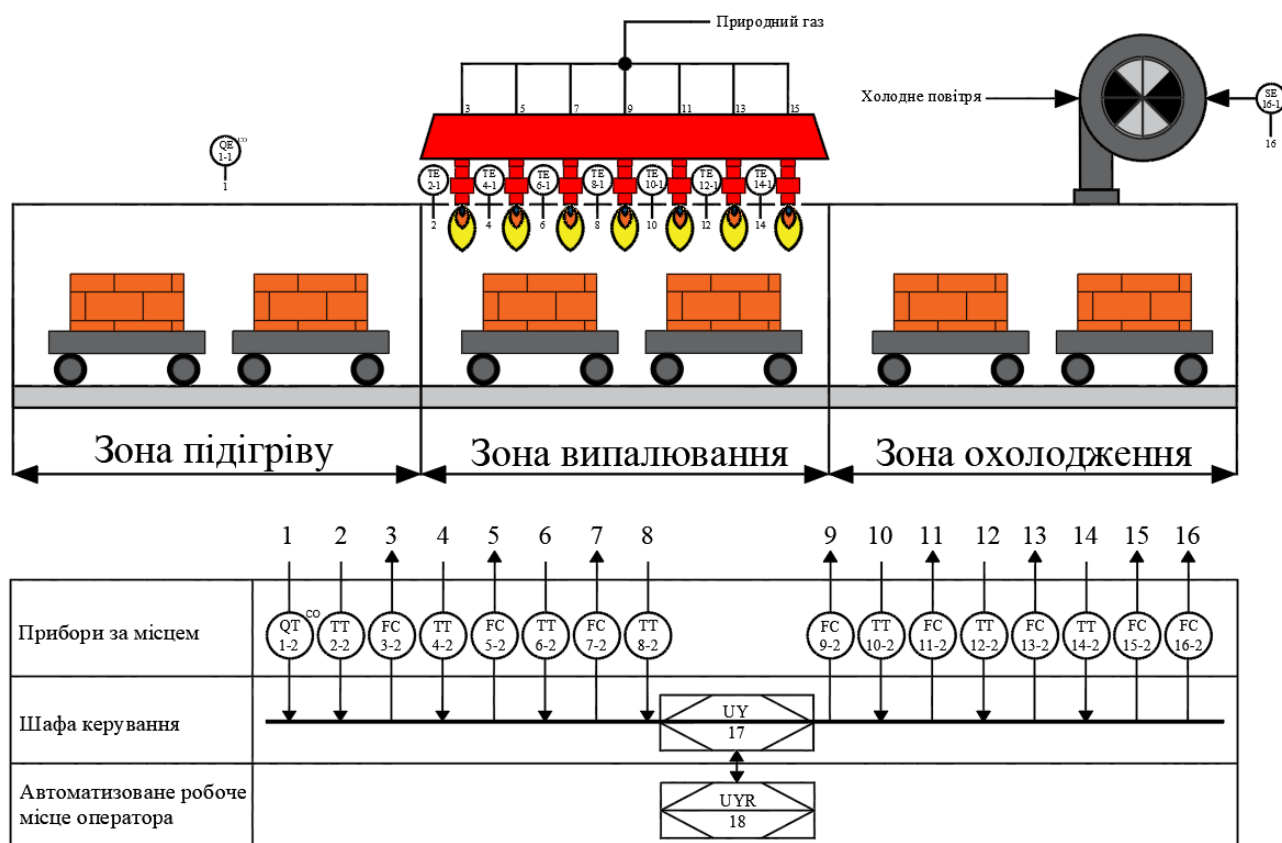


Рисунок 1.10 – Функціональна схема автоматизації технологічного процесу випалювання керамічних блоків

Пристроєм керування є програмований логічний контролер (ПЛК) VIRA 214-2BS33 (UY 17), який з'єднаний інтерфейсом RS-485 з пультом оператора, який виконано на базі персонального комп'ютера (ПК) (UYR 18).

Для вимірювання концентрації чадних газів використано сигналізатор газу (QE 1-1) з вбудованим перетворювачем (QT 1-2) - стандартний струмовий сигнал 4÷20 мА. Сигналізатор також здійснює видачу попереджувальних звукових та світлових сигналів при досягненні порогових значень концентрації чаду в повітрі.

Для вимірювання температура газо-повітряної суміші в зоні випалювання печі використовується датчики температури (ТЕ 2-1, ТЕ 4-1, ТЕ 6-1, ТЕ 8-1, ТЕ 10-1, ТЕ 12-1, ТЕ 14-1), які мають вбудовані перетворювачі - стандартні струмові сигнал 4÷20 мА (ТТ 2-2, ТТ 4-2, ТТ 6-2, ТТ 8-2, ТТ 10-2, ТТ 12-2, ТТ 14-2).

ПЛК (UY 17), на підставі поточних значень вимірної температури газо-повітряної суміші, формує керуючий вплив і за допомогою інтерфейсу RS-485,

передає його до газових пальників (FC 3-2, FC 5-2, FC 7-2, FC 9-2, FC 11-2, FC 13-2, FC 15-2) для здійснення корекції нагріву газо-повітряної суміші.

ПЛК (UY 17) за допомогою інтерфейсу RS-485 та його перетворювача (FC 16-2) регулює швидкість обертання вентилятора у циркуляційній камері.

1.4.5 Схема електрична принципова

В кваліфікаційній роботі бакалавра була розроблена схема електрична принципова САК температурою газо-повітряної суміші у зоні випалювання печі (рис. 1.11).

Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24181B (G1) підключено до ПЛК VIPA 214-2BS33 (A1), який забезпечує його живленням постійним струмом з напругою 24 В.

Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24181B (G2) забезпечує живленням постійним струмом з напругою 24 В модуль дискретного вводу VIPA 221-1BF00 (A1 – X6), датчики температури газо-повітряної суміші (D1 - D7) та до датчик наявності чадних газів (A9).

Зв'язок між ПЛК VIPA 214-2BS33 (A1) та пультом оператора (A11) забезпечується за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2, A11 – X1).

Зв'язок між ПЛК (A1) та газовими пальниками (A2 – A8), частотним перетворювачем (A10), теж реалізовано теж за допомогою послідовного стандартного інтерфейсу типу RS-485.

Датчики температури газо-повітряної суміші (D1-D7), підключені до модулів аналогового вводу VIPA 231-1BD60 (A1 – X4, A1 – X5).

Датчик наявності чадних газів (A9), підключено до модуля дискретного вводу VIPA 221-1BF00 (A1 – X6).

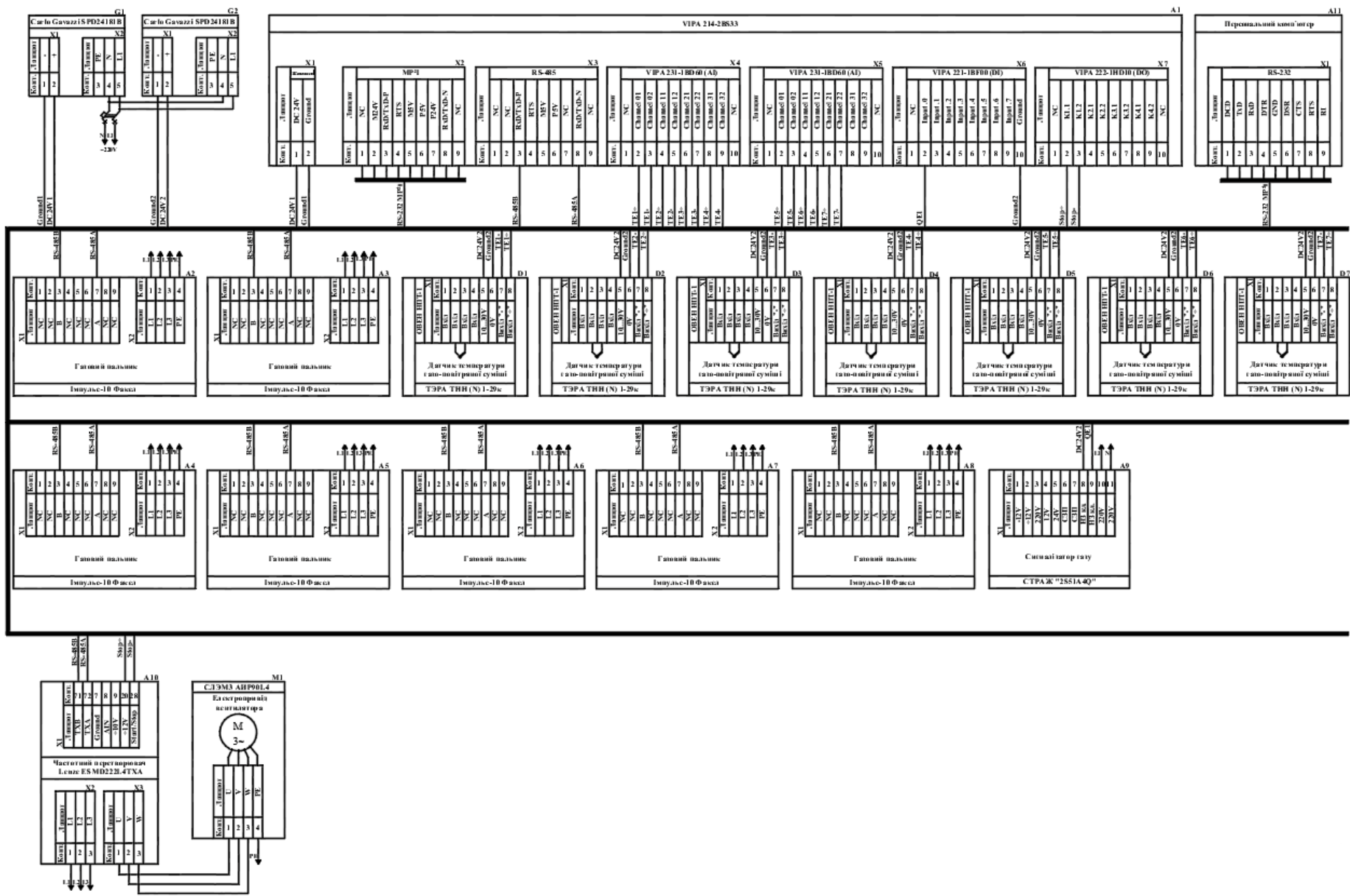


Рисунок 1.11 – Схема электрична принципова САК температурою газо-повітряної суміші у зоні випалювання печі

Керування електроприводом вентилятора (M1), реалізовано через частотний перетворювач Lenze ESMD222L4TXA (A10). ПЛК (A1), за допомогою дискретних виходів, регулює швидкість обертання вентилятора циркуляційної камери. При аварійній ситуації екстрене блокування роботи вентилятора, використовується через дискретний вхід частотного перетворювача Start / Stop.

Розроблена принципова схема САК забезпечує постійний автоматичний контроль усіх технологічних параметрів по підтримці температури газо-повітряної суміші, забезпечує їх зміну за допомогою виконавчих пристроїв.

1.5 Формулювання завдань дослідження

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

Метою магістерської роботи є вибір структури та розрахунок параметрів регулятора САР по каналу "потужність пальника – температура газова-повітряної суміші".

Для досягнення даної мети поставлені наступні задачі:

- визначити області стійкої та нестійкої роботи САР процесом випалювання керамічних блоків;
- визначити критичний час запізнення САР процесом випалювання керамічних блоків;
- обґрунтувати тип регулятора САР процесом випалювання керамічних блоків;
- визначити параметри регулятора процесом випалювання керамічних блоків;
- оцінити показники якості перехідного процесу в САР випалювання керамічних блоків;
- підтвердити на емуляторі керованого процесу випалювання керамічних блоків ефективність запропонованої САР.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання

В кваліфікаційній роботі бакалавра ідентифіковано випалювальну піч по каналу «потужність пальника - температура газова-повітряної суміші». Динамічна модель випалювальної печі по даному каналу є аперіодична ланка другого порядку з запізненням:

$$W(p) = \frac{10,36}{(237p + 1)(265p + 1)} e^{-14p} \quad (2.1)$$

Систему автоматичного регулювання даним об'єктом можна отримати, якщо поточне значення вихідної величини (температури) $T_{\text{пот}}$ подати на вхід. В такому випадку отримаємо систему автоматичного керування з одиничним зворотним зв'язком без коригуючого пристрою (рис. 2.1). Визначимо умови стійкості та показники якості автоматичної системи

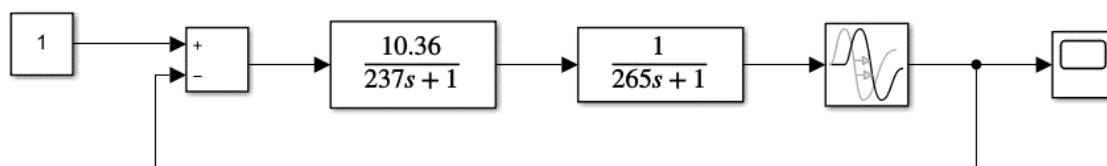


Рисунок 2.1 – Структурна схема САР температурою печі

Для визначення стійкості САР використовують алгебраїчні та частотні критерії. Причому висновок про стійкість системи керування здійснюється шляхом аналізу характеристичного поліному [15, 16]. Проаналізуємо характеристичний поліном в загальному вигляді, позначивши $T_1 = 237$ с, $T_2 = 265$ с, $k = 10,36$, $\tau = 14$ с. Передаточна функція розімкнутої частини системи дорівнюватиме:

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)} = \frac{ke^{-\tau p}}{T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1} \quad (2.2)$$

Визначимо характеристичний поліном замкнутої САК:

$$D_{\text{зам}}(p) = T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1 + ke^{-\tau p} \quad (2.3)$$

Права частина (2.3) є трансцендентною, тому алгебраїчні критерії стійкості застосувати неможливо. Скористаємось частотними критеріями Михайлова та

Найквіста [17] для визначення областей стійкої та нестійкої роботи САР, а також критичного часу запізнення. На основі (2.3) складемо характеристичний комплекс:

$$D_{\text{зам}}(j\omega) = T_1 T_2 (j\omega)^2 + (T_1 + T_2)j\omega + 1 + ke^{-\tau j\omega} \quad (2.4)$$

В правій частині математичного виразу (2.4) виразимо експоненту через тригонометричні функції за формулою Ейлера:

$$D_{\text{зам}}(j\omega) = -T_1 T_2 \omega^2 + j(T_1 + T_2)\omega + 1 + k(\cos(\tau\omega) - j\sin(\tau\omega)) \quad (2.5)$$

На межі стійкості вектор характеристичного комплексу пройде через початок координат, тобто дійсна та уявна частина (2.5) дорівнюватиме нулю. Складемо рівняння для дійсної та уявної частин. Отримаємо систему рівнянь (2.6):

$$\begin{cases} X(\omega) = -T_1 T_2 \omega^2 + k\cos(\tau\omega) + 1 = 0 \\ Y(\omega) = (T_1 + T_2)\omega - k\sin(\tau\omega) = 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

або

$$\begin{cases} T_1 T_2 \omega^2 = k\cos(\tau\omega) + 1 \\ T_1 \omega = k\sin(\tau\omega) - T_2 \omega \end{cases} \quad (2.7)$$

Оцінимо взаємні впливи параметрів T_1 , T_2 , k на стійкість системи. Для цього збудуємо графіки межі стійкості в координатах $[T_1, k]$ та $[T_2, k]$. Підставимо праву частину другого рівняння (2.7) в перше рівняння замість добутку $T_1 \omega$. Отримаємо:

$$(k\sin(\tau\omega) - T_2 \omega)T_2 \omega = k\cos(\tau\omega) + 1 \quad (2.8)$$

Із (2.8) знайдемо коефіцієнт підсилення k :

$$k = \frac{1 + T_2^2 \omega^2}{T_2 \omega \sin(\tau\omega) - \cos(\tau\omega)} \quad (2.9)$$

Після підстановки (2.9) в друге рівняння (2.7) отримаємо параметричну систему рівнянь для побудови залежності $[T_1, k]$:

$$\begin{cases} k = \frac{1 + T_2^2 \omega^2}{T_2 \omega \sin(\tau\omega) - \cos(\tau\omega)} \\ T_1 = \frac{(1 + T_2^2 \omega^2) \sin(\tau\omega)}{(T_2 \omega \sin(\tau\omega) - \cos(\tau\omega)) \omega} - T_2 \end{cases} \quad (2.10)$$

Виходячи із симетрії (2.6) відносно T_1 та T_2 отримаємо параметричну систему рівнянь для побудови залежності $[T_2, k]$:

$$\begin{cases} k = \frac{1 + T_1^2 \omega^2}{T_1 \omega \sin(\tau \omega) - \cos(\tau \omega)} \\ T_2 = \frac{(1 + T_1^2 \omega^2) \sin(\tau \omega)}{(T_1 \omega \sin(\tau \omega) - \cos(\tau \omega)) \omega} - T_1 \end{cases} \quad (2.11)$$

Графіки побудовані за виразами (2.10) та (2.11) наведені на рис. 2.2 та 2.3.

Наданих графіках показані області стійкої та нестійкої роботи. Із графіків випливає, що точка з координатами

Неважно бачити, що точка з координатами $T_1 = 237$ с, $T_2 = 265$ с, $k = 10,36$ для $\tau = 14$ с знаходиться в області стійкої роботи. Графік перехідного процесу показаний на рис. 2.4.

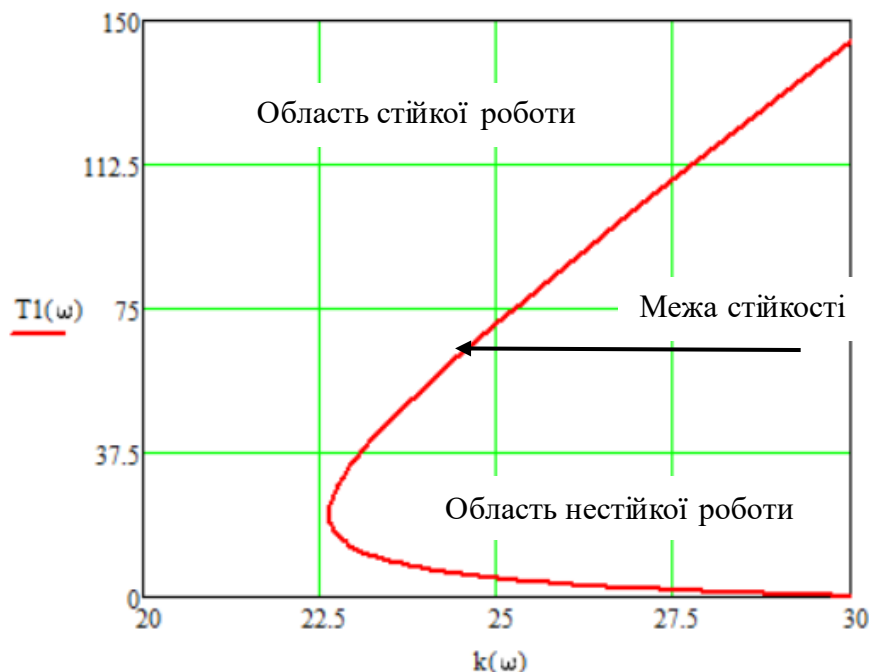


Рисунок 2.2 – Графік областей стійкості в координатах $[T_1, k]$

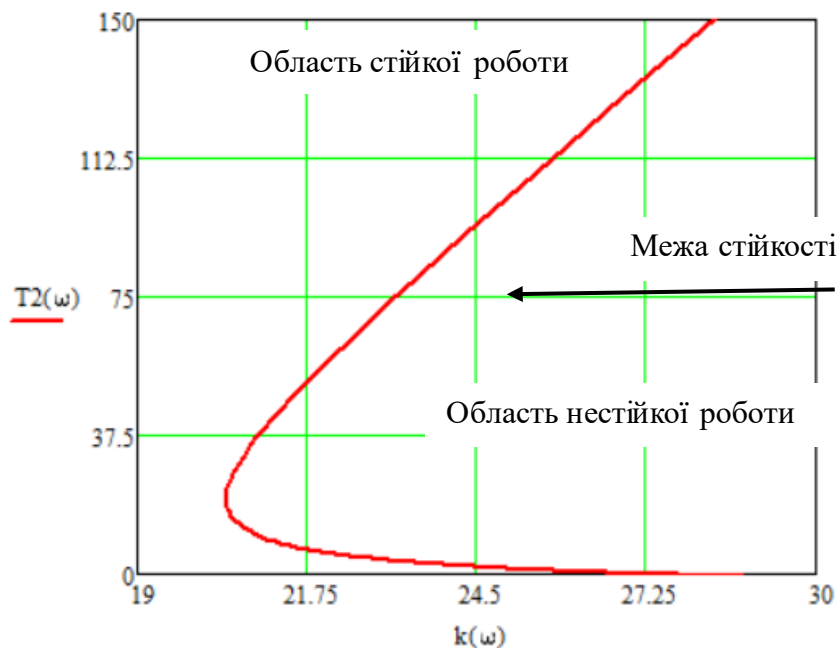


Рисунок 2.3 – Графік областей стійкості в координатах $[T_2, k]$

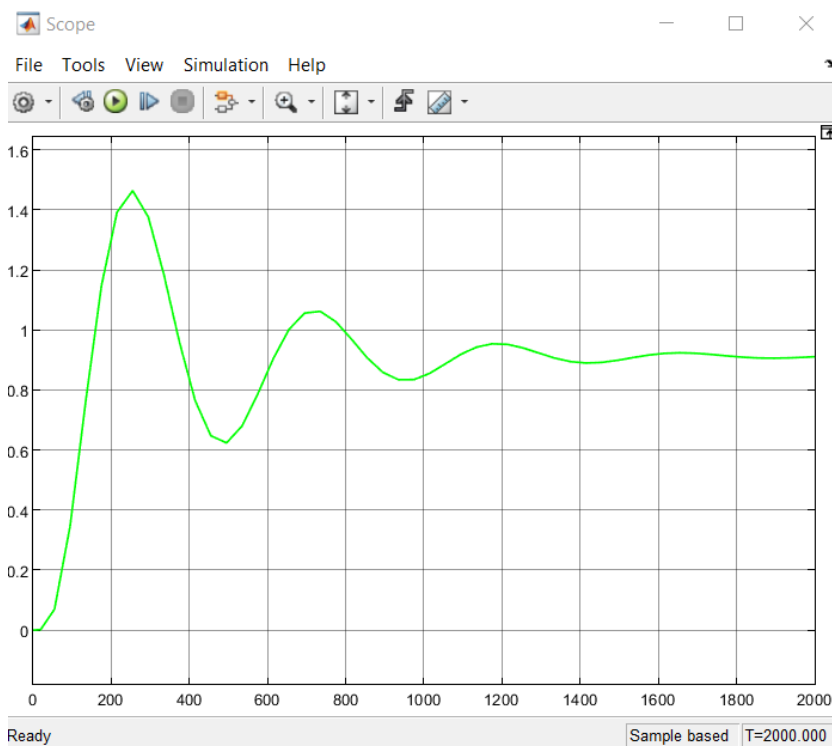


Рисунок 2.4 – Графік перехідного процесу в нескорегованій САР

Критичний час запізнення $\tau_{кр}$ визначимо за допомогою частотного критерія Найквіста. Згідно даного критерія замкнута система автоматичного керування буде перебувати на межі стійкості, якщо амплітудно-фазова частотна характеристика для розімкнутої її частини пройде через точку з координатами $[-1; j0]$. Це означає,

що при обертанні вектору характеристичного комплексу на кут $-\pi$, його модуль має дорівнювати 1.

Визначимо амплітудно частотну характеристику розімкнутої частини САР і прирівняємо її до 1:

$$A(\omega) = 1 \quad (2.12)$$

Передаточна функція розімкнутої частини САР складається із двох аперіодичних ланок та ланки чистого запізнення, з'єднаних послідовно. Тому:

$$A(\omega) = A_{\text{ап1}}(\omega) \cdot A_{\text{ап2}}(\omega) \cdot A_{\text{чз}}(\omega) \quad (2.13)$$

де $A_{\text{ап1}}(\omega)$, $A_{\text{ап2}}(\omega)$, $A_{\text{чз}}(\omega)$ відповідно амплітудно частотні характеристики аперіодичних ланок та ланки чистого запізнення.

Амплітудно частотні характеристики зазначених ланок відповідно дорівнюють:

$$A_{\text{ап1}}(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T_1^2 \omega^2 + 1}} \quad (2.14)$$

$$A_{\text{ап2}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{T_2^2 \omega^2 + 1}} \quad (2.15)$$

$$A_{\text{чз}}(\omega) = 1 \quad (2.16)$$

Тоді:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T_1^2 \omega^2 + 1}} \frac{1}{\sqrt{T_2^2 \omega^2 + 1}} = 1 \quad (2.17)$$

Із (2.17) отримаємо бікватратне рівняння відносно ω :

$$T_1^2 T_2^2 \omega^4 + (T_1^2 + T_2^2) \omega^2 + (1 - k^2) = 0 \quad (2.18)$$

Розв'язками рівняння (2.18) є два комплексно спряжені корені а два дійсних кореня $\omega_1 = -0,0121938$ та $\omega_2 = 0,0121938$. Від'ємний корінь ω_1 відкидаємо.

Для знаходження САР перебувала на межі стійкості необхідно, щоб фазова частотна характеристика дорівнювала $-\pi$ при $\omega_2 = 0,0121938$.

Визначимо фазову частотну характеристику розімкнутої частини САР і прирівняємо її до $-\pi$:

$$\varphi(\omega_2) = -\pi \quad (2.19)$$

Передаточна функція розімкнутої частини САР складається із двох аперіодичних ланок та ланки чистого запізнення, з'єднаних послідовно. Тому:

$$\varphi(\omega_2) = \varphi_{\text{ап1}}(\omega_2) + \varphi_{\text{ап2}}(\omega_2) + \varphi_{\text{чз}}(\omega_2) \quad (2.20)$$

де $\varphi_{\text{ап1}}(\omega_2), \varphi_{\text{ап2}}(\omega_2), \varphi_{\text{чз}}(\omega_2)$ відповідно фазові частотні характеристики аперіодичних ланок та ланки чистого запізнення.

Амплітудно частотні характеристики зазначених ланок відповідно дорівнюють:

$$\varphi_{\text{ап1}}(\omega_2) = -\text{arctg}(T_1 \omega_2) \quad (2.21)$$

$$\varphi_{\text{ап2}}(\omega_2) = -\text{arctg}(T_2 \omega_2) \quad (2.22)$$

$$\varphi_{\text{чз}}(\omega_2) = -\tau_{\text{кр}} \omega_2 \quad (2.23)$$

Тоді:

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg}(T_1 \omega) - \text{arctg}(T_2 \omega) - \tau_{\text{кр}} \omega = -\pi \quad (2.24)$$

Із (2.24) маємо:

$$\varphi(\omega_2) = -\text{arctg}(T_1 \omega_2) - \text{arctg}(T_2 \omega_2) - \tau_{\text{кр}} \omega_2 = -\pi \quad (2.24)$$

Розв'яжемо (2.24) відносно $\tau_{\text{кр}}$:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{\pi - \text{arctg}(T_1 \omega_2) - \text{arctg}(T_2 \omega_2)}{\omega_2} \quad (2.25)$$

Після підстановки в (2.25) значень $T_1 = 237 \text{ с}, 237 \text{ с}, T_2 = 265 \text{ с}, \omega_2 = 0,0121938$ дістанемо $\tau_{\text{кр}} = 51,93 \text{ с}$.

Із виконаного аналізу випливає, що САР є стійкою, має коливальний характер а критичний час чистого запізнення значно більший за час чистого запізнення випалювальної печі. При експлуатації випалювальної печі коливання температури в її середині є неприпустимими. Система автоматичного регулювання процесом випалювальна потребує введення додаткових динамічних ланок – коригуючих пристроїв.

2.2 Методи регулювання об'єктами з запізненням

Керування технологічним процесом – основна проблема у промисловості. Дуже важливо, щоб процес був надійним та безпечним з точки зору захисту навколишнього середовища та якості готового продукту. Для того, щоб системи автоматичного управління працювали задовільно, необхідно коректно налаштувати коригувальні пристрої (регулятори), що входять в них. Налаштування

коригувальних пристроїв може здійснюватися декількома способами, залежно від бажаної динаміки системи. В останні роки було розроблено та вдосконалено безліч методів вибору та розрахунок параметрів регуляторів.

Технологічний процес випалювання керамічних блоків представляє собою об'єкт другого порядку з запізненням. На рис. 2.5 наведено розподіл законів регулювання об'єктами з запізненням по відношенню величини чистого запізнення до часу перехідного процесу. Для визначення закону регулювання знизимо порядок моделі технологічного об'єкту. Представимо об'єкт другого порядку об'єктом першого порядку з запізненням :

$$W_o(p) = \frac{10,36}{(T_0 p + 1)} e^{-(14+\tau_0)p} \quad (2.26)$$

де $W_o(p), T_0, \tau_0$ - відповідно передаточна функція, постійна часу та час чистого запізнення об'єкта першого порядку.

Визначимо T_0, τ_0 за принципом налагоджувальної моделі. Сутність даного принципу полягає в наступному (рис. 2.6).



Рисунок 2.5 – Закони регулювання об'єктами з запізненням

На вхід моделей другого (2.1) та першого (2.26) порядку подається один і той же вхідний вплив x . За час моделювання t_m визначаємо інтеграл квадрату різниць значень вихідних величин y_2 та y_1 моделей (критерій налаштування):

$$I = \int_0^{t_m} (y_2 - y_1)^2 dt \quad (2.27)$$

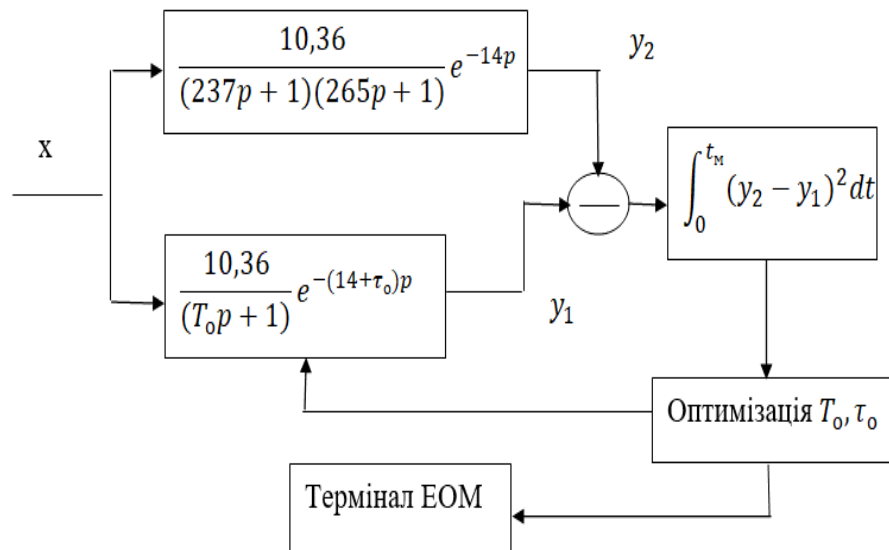


Рисунок 2.6 – Принцип налагоджувальної моделі

Значення критерію налаштування є поточними для роботи блоку оптимізації. Блок оптимізації виконує цілеспрямовані зміни величин T_0, τ_0 для досягнення мінімуму критерію. Якщо мінімальне значення досягнуто, поточні T_0, τ_0 передаються на термінал ЕОМ. Якщо ж мінімальне значення критерію не досягнуто, то процес оптимізації продовжується.

В даній роботі використаний метод оптимізації Гауса-Зейделя (покоординатний метод) [18]. Сутність даного методу полягає в почерговій зміні параметрів T_0 та τ_0 і почерговому руху системи в напрямку екстремуму (мінімуму) складових градієнта доти, доки не буде досягнута екстремальна (мінімальна) точка. Спочатку змінюється координата T_0 в напрямку зменшення складової градієнту dI/dT_0 при постійному значенні координати τ_0 до отримання значення $dI/dT_0 = 0$, після чого змінюється координата τ_0 у бік зменшення складової градієнту $dI/d\tau_0$ при постійному значенні координати T_0 . Далі пошук знову відбувається по

координаті T_0 і цикл повторюється. Процес пошуку закінчується коли складові dI/dT_0 та dI/τ_0 дорівнюватимуть нулю.

Метод налагоджувальної моделі із застосуванням методу Гауса-Зейделя був реалізований в додатку Simulink ППІ MATLAB (рис. 2.7). Зміна параметрів T_0 та τ_0 відбувалася «вручну» після кожного експерименту. Мінімальне значення критерію $I = 88,12$ було досягнуто при $T_0 = 398$ с, $\tau_0 = 119$ с.

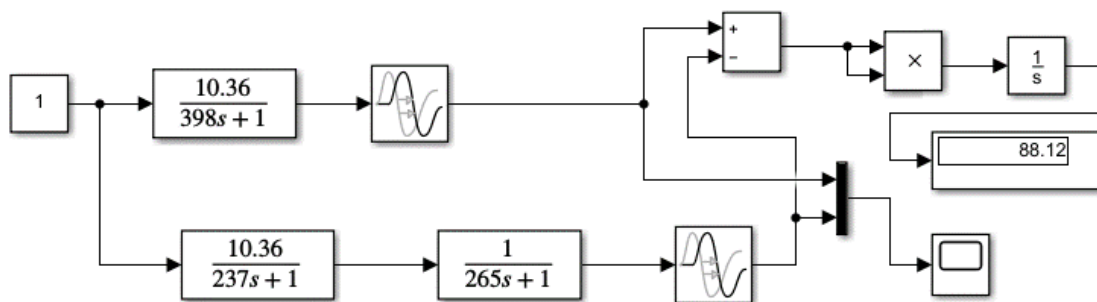


Рисунок 2.7 – Реалізація принципу налагоджувальної моделі в Simulink

Таким чином передаточна функція об'єкта керування після зниження порядку моделі має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{10,36}{398p + 1} e^{-133p} \quad (2.28)$$

Перехідні процеси моделей першого та другого порядку з запізненням наведені на рис. 2.8.

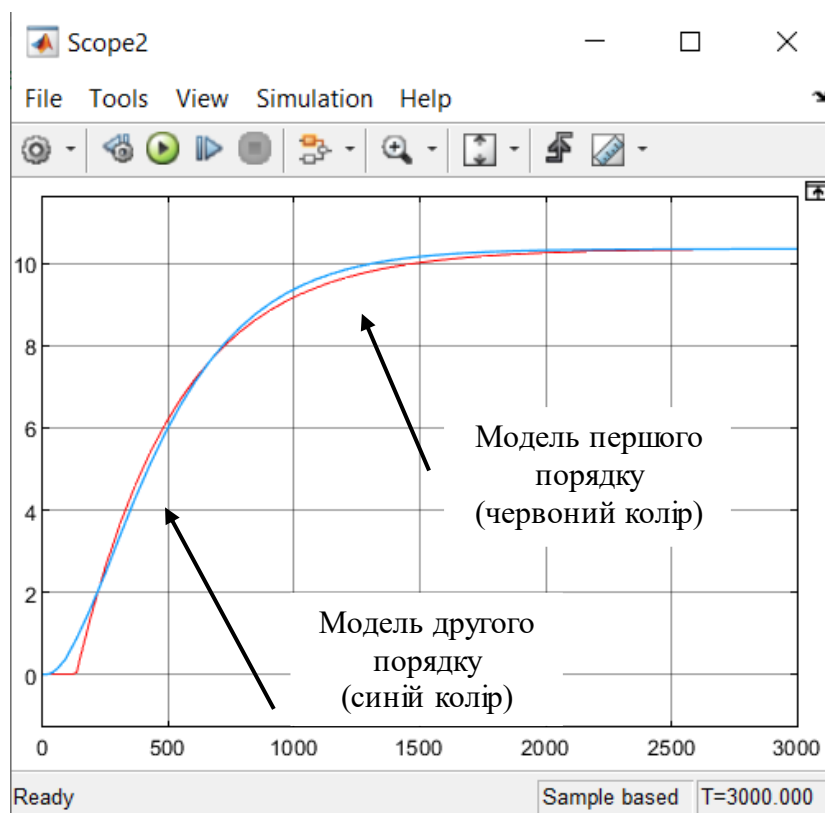


Рисунок 2.8 – Перехідні процеси моделей першого та другого порядку

2.3 Розрахунок ПД-регулятора

Відношення величини чистого запізнення ($\tau_1 = 133$ с) до часу перехідного процесу ($t_{\text{пер}} \approx 1700$ с, див. рис. 2.8) після зниження порядку об'єкта керування дорівнює приблизно 0,08. Як впливає із рис. 2.5 для регулювання таким об'єктом раціонально застосовувати пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПД) регулятор.

ПД-регулятор широко використовують у різних галузях промисловості [19]. Основна причина цього – його простота, що забезпечує масове використання. У зв'язку з цим пошук методів налаштування ПД-регулятора, що забезпечують його найбільш ефективну роботу, представляє значний інтерес.

Нині 95% коригуючих пристроїв у контурах керування автоматичних систем є ПД-регуляторами. Вимога вибору двох або трьох параметрів даного коригуючого пристрою призвела до того, що створено 219 правил налаштування ПД-регулятора та 381 правило налаштування для ПД-регулятора.

Найпоширенішим методом налаштування параметрів ПД-регулятора - є метод Циглера-Нкольса, оснований на використанні даних, отриманих

експериментально на реальному об'єкті. Експериментальна частина полягає в тому, що збільшуючи коефіцієнт підсилення K_n від нуля до деякого критичного значення K_n^* в системі встановлюють незатухаючі коливання з періодом T^* . Під час експерименту інтегральну та диференціальну частини регулятора вимикають. Надалі за визначеними значеннями K_n^* та T^* розраховують налаштування пропорційної, інтегральної та диференціальної частин за формулами наведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Параметри типових регуляторів

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

Розраховані значення налаштувань ПІД-регулятора в подальшому уточнюються на реальному об'єкті.

Виключимо із ПІД-регулятора інтегральну та диференціальну частини. Визначимо передаточну функцію розімкнутої частини системи автоматичного регулювання, під'єднавши послідовно з об'єктом керування пропорційну частину з коефіцієнтом підсилення K_n . Дістанемо [20]:

$$W(p) = \frac{K_n K}{Tp + 1} e^{-p\tau} \quad (2.29)$$

Для застосування аналітичних методів аналізу системи автоматичного керування розкладемо експоненту в ряд Паде другого порядку. Таке розкладання дає не більше 9% похибки у подальших розрахунках. Маємо:

$$e^{-p\tau} \approx \frac{\tau^2 p^2 - 6\tau p + 12}{\tau^2 p^2 + 6\tau p + 12} = \frac{133^2 p^2 - 798p + 12}{133^2 p^2 + 798p + 12} \quad (2.30)$$

Підставимо (2.30) в (2.29):

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{K_n 10,36(133^2 p^2 - 798p + 12)}{(398p + 1)(133^2 p^2 + 798p + 12)}, \quad (2.31)$$

тут K_n - коефіцієнт підсилення пропорційної частини ПІД-регулятора.

Згідно методу Циглера-Нікольса визначимо критичний коефіцієнт підсилення $K_n = K_n^*$, за якого замкнута система автоматичного керування

перебуватиме на межі стійкості. Для визначення характеристичного полінома замкнутої системи необхідно додати чисельник та знаменник виразу (2.31):

$$D_{\text{зам}}(p) = (398p + 1)(133^2 p^2 + 798p + 12) + K_{\text{п}}^* 10,36(133^2 p^2 - 798p + 12) \quad (2.32)$$

Розкриємо дужки та згрупуємо доданки з однаковими степенями комплексної змінної величини p :

$$D_{\text{зам}}(p) = 7040222p^3 + (335293 + 183258K_{\text{п}}^*)p^2 + (5574 - 8267K_{\text{п}}^*)p + (12 + 124K_{\text{п}}^*) \quad (2.33)$$

Визначимо критичний коефіцієнт підсилення $K_{\text{п}}^*$ за критерієм Гурвіца. Згідно (2.33) маємо систему автоматичного керування третього порядку. Матриця коефіцієнтів Гурвіца для виразу (2.33) матиме вигляд:

$$\begin{pmatrix} (335293 + 183258K_{\text{п}}^*) & (12 + 124K_{\text{п}}^*) & 0 \\ 7040222 & (5574 - 8267K_{\text{п}}^*) & 0 \\ 0 & (335293 + 183258K_{\text{п}}^*) & (12 + 124K_{\text{п}}^*) \end{pmatrix}$$

Визначник першого порядку Δ_1 містить критичний коефіцієнт підсилення $K_{\text{п}}^*$. Нехай Δ_1 дорівнює нулю. Тоді:

$$\Delta_1 = 335293 + 183258K_{\text{п}}^* = 0 \quad (2.34)$$

Звідки $K_{\text{п}}^* = -1,83$. Згідно методу Циглера-Нікольса коефіцієнт підсилення не може бути менше нуля. Отже визначник має бути Δ_1 додатним. Визначимо $K_{\text{п}}^* = -1,83$ із умови $\Delta_1 > 0$:

$$\Delta_1 = 335293 + 183258K_{\text{п}}^* > 0 \quad (2.35)$$

Із умови (2.35) визначаємо $K_{\text{п}}^*$:

$$K_{\text{п}}^* > -1,83 \quad (2.36)$$

Нехай визначник другого $\Delta_2 = 0$ порядку дорівнює нулю:

$$\Delta_2 = (335293 + 183258K_{\text{п}}^*) \times (5574 - 8267K_{\text{п}}^*) - 7040222 \times (12 + 124K_{\text{п}}^*) = 0 \quad (2.37)$$

Приведемо вираз (2.37) до стандартного вигляду квадратного рівняння відносно $K_{\text{п}}^*$:

$$-1514993886K_{\text{п}}^{*2} - 2623374667K_{\text{п}}^* + 1784440518 = 0 \quad (2.38)$$

або

$$K_{\text{п}}^{*2} + 1,73K_{\text{п}}^* - 1,18 = 0 \quad (2.39)$$

Визначимо K_{Π}^* . Дискримінант (2.39) дорівнює:

$$D = 1,73^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1,18) = 7,71 \quad (2.40)$$

Визначимо значення критичного коефіцієнту підсилення:

$$(K_{\Pi}^*)_{1,2} = \frac{-1,73 \pm \sqrt{7,71}}{2} = [-2,26; 0,53] \quad (2.41)$$

Враховуючи (2.36) маємо $K_{\Pi}^* = 0,53$.

Період коливань T^* на межі стійкості розрахуємо на основі (2.33). Для цього в вираз (2.33) замість p підставимо $j\omega$, а замість K_{Π}^* підставимо 0,53.:

$$D_{\text{зам}}(j\omega) = 7040222(j\omega)^3 + (335293 + 183258 \times 0,53) \times (j\omega)^2 + (5574 - 8267 \times 0,53) \times j\omega + (12 + 124 \times 0,53) = 0 \quad (2.42)$$

Прирівняємо до нуля уявну частину характеристичного комплексу (2.42) і визначимо кругову частоту коливань системи ω^* на межі стійкості:

$$-7040222\omega^{*3} + (5574 - 8267 \times 0,53) \times \omega^* = 0 \quad (2.43)$$

Із (2.43) визначимо ω^* :

$$-7040222\omega^{*2} + 1192 = 0 \quad (2.44)$$

Маємо $\omega^* = 0,013$. Тоді:

$$T^* = \frac{2\pi}{\omega^*} = \frac{2 \times 3,14}{0,013} = 483 \quad (2.45)$$

В табл. 2.2 наведені коефіцієнти та передаточні функції пропорційної, інтегральної та диференціальної частин ПД-регулятора, розраховані у відповідності до табл. 2.1 з урахуванням $K_{\Pi 1}^* \approx 0,53$ та $T^* \approx 483$ с.

Таблиця 2.2 - Передаточні функції ПД-регулятора

	K_{Π}	K_i	K_d	Передаточна функція
П-регулятор	0,265	-	-	$W_{\Pi}(p) = 0,265$
І-регулятор	0,2385	0,0006	-	$W_{\Pi i}(p) = 0,2385 + \frac{0,0006}{p}$
Д-регулятор	0,318	0,0013	19,1993	$W_{\Pi d}(p) = 0,318 + \frac{0,0013}{p} + 19,1993p$

2.4 Висновки до розділу

1. Система автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків є стійкою, але із значними коливаннями і потребує введення

додаткових динамічних елементів для переведу її до працездатного стану.

2. Обґрунтування типу регулятора і розрахунок його параметрів потребують зниження порядку динамічної моделі процесу випалюванням керамічних блоків.

3. Регулювання процесом випалювання керамічних блоків доцільно виконувати із застосуванням ПД-регулятора. Розрахунок параметрів регулятора доцільно виконати на основі метода Циглера-Нікольса.

4. Визначення частоти сталих коливань керованої величини на межі стійкості системи автоматичного регулювання доцільно виконати за критерієм Гурвіца, попередньо розклавши експоненту в ряд Паде.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі в ході обчислювального експерименту перевірені результати теоретичних досліджень, визначені оцінки показників якості перехідного процесу в об'єкті керування при використанні П-, ПІ- та ПІД-регуляторів, на основі обчислювального експерименту визначені найкращі уставки ПІД-регулятора. Зазначені дослідження виконані на ЕОМ в середовищі додатку SIMULINK в ППП MATLAB.

В ході обчислюваного експерименту були поставлені і вирішені наступні задачі:

- створення моделі системи автоматичного регулювання (САР) процесом випалювання керамічних блоків в середовищі SIMULINK ППП MATLAB;
- перевірка правильності розрахунків області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків за відсутності коригувального пристрою;
- перевірка правильності розрахунку критичного часу запізнення системи автоматичного керування за відсутності коригувального пристрою;
- оцінка показників якості перехідного процесу об'єкту керування на моделі системи автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків;
- визначення найкращого налаштування ПІД-регулятора;

3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора

Структурна схема САР процесом випалювання керамічних блоків (за відсутності регулятора) в середовищі SIMULINK ППП MATLAB представлена на рис. 2.1.

З даними графіка 2.2 (п. 2.1) визначаємо координати стійкої роботи системи [75; 20] , нестійкої роботи системи [75; 30] і роботи системи на межі стійкості [76, 86; 25, 37]. Даним координатам відповідають перехідні процеси наведені відповідно на рис. 3.1-3.3.

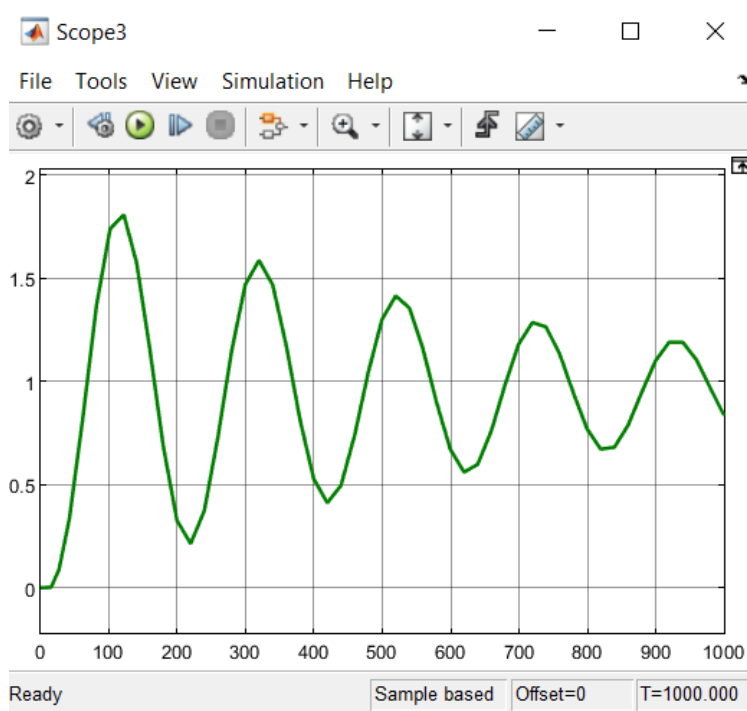


Рисунок 3.1 – Графік перехідного процесу стійкої системи

Неважко бачити, що результати моделювання відповідають теоретичним розрахункам.

Для перевірки критичного часу чистого запізнення встановимо в ланці чистого запізнення $\tau_{кр} = 51,93$ с, розрахованого за формулою п. 2.1 (формула 2.25). Графік перехідного процесу наведений на рис. 3.4.

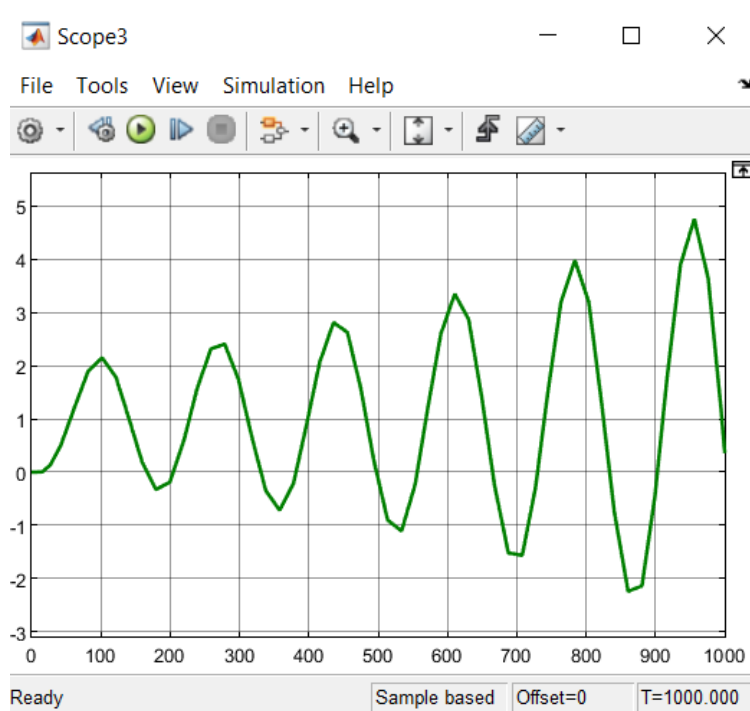


Рисунок 3.2 – Графік перехідного процесу нестійкої системи

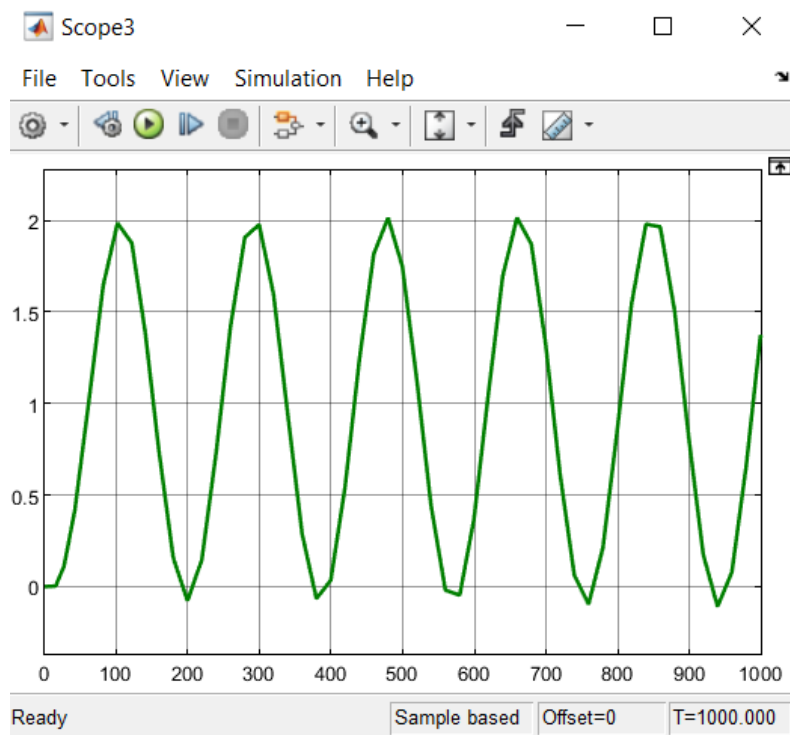


Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу нестійкої системи

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

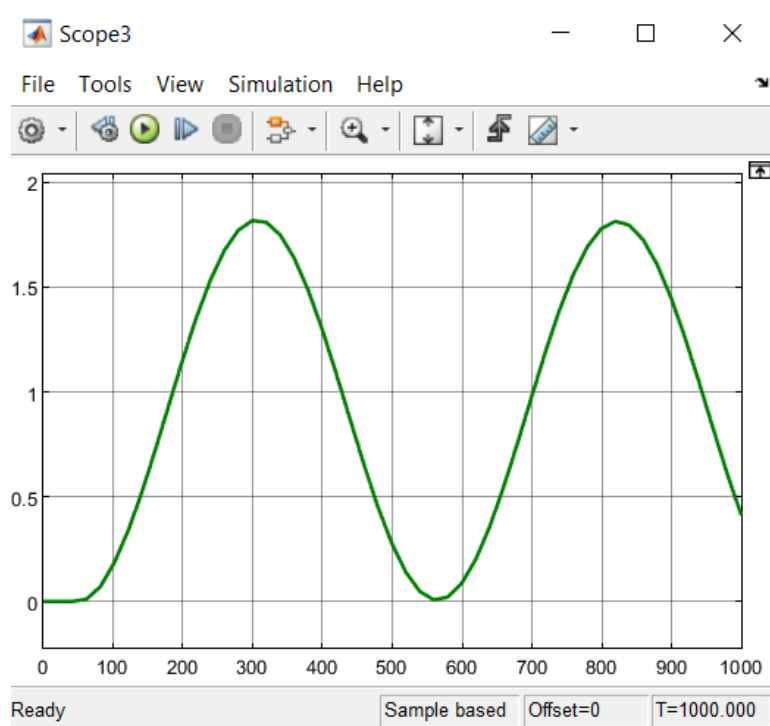


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу при $\tau_{кр} = 51,93$ с

3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ПД-регулятором

Складемо структурну схему системи автоматичного регулювання процесом випалювання керамічних блоків з ПД-регулятором в середовищі SIMULINK ППП MATLAB (рис. 3.5). В структурній схемі використаний об'єкт керування першого порядку з запізненням, отриманий в п. 2.2, а також встановлено розрахований в п. 2.3 (формула 2.41) критичний коефіцієнт підсилення $K_{п1}^* \approx 0,53$ для перевірки періоду коливань при виведенні САР на межу стійкості. На рис. 3.6 наведено графік перехідного процесу.

Як видно із рис. 3.6 період коливань $T^* \approx 483$ с, що відповідає розрахункам.

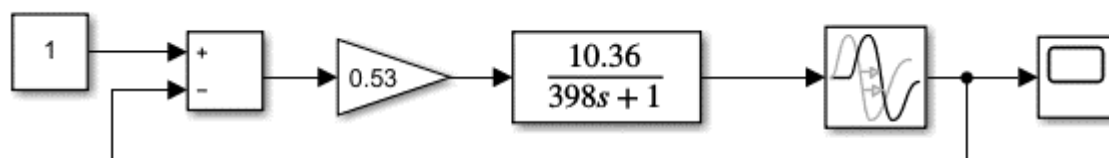


Рисунок 3.5 – Структурна схема САР з П-регулятором

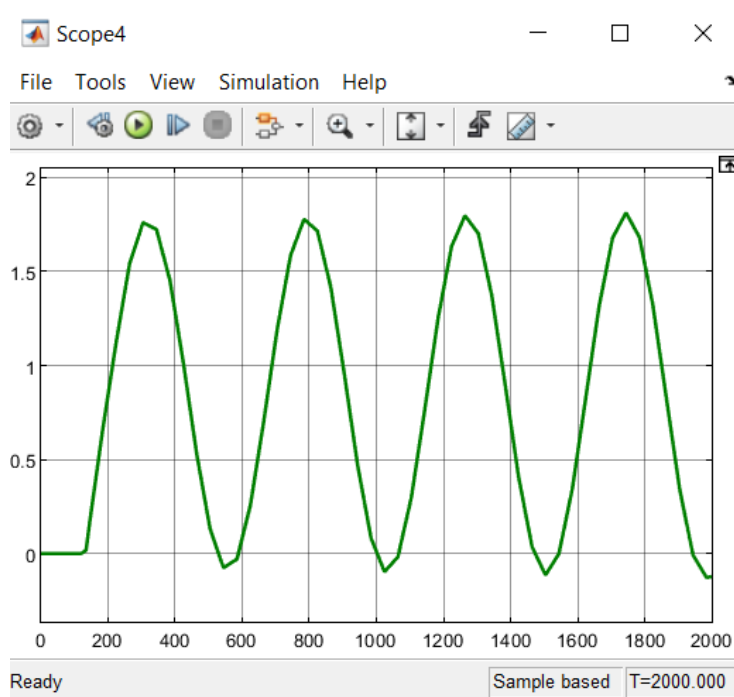


Рисунок 3.6 – Графік перехідного процесу

3.3 Дослідження САР з ПД-регулятором

Для дослідження САР з ПД-регулятором в середовищі SIMULINK ПП MATLAB розроблена модель системи автоматичного регулювання, структурна схема якої наведена на рис. 3.7.

За результатами моделювання роботи САР з уставками регуляторів, наведених в табл. 2.2, отримані перехідні процеси показані на рис. 3.8-3.10. На рис. 3.11 показаний перехідний процес з найкращими настройками регулятора, підібраних експериментально на моделі:

$$W_{\text{під}}(p) = 0,4 + \frac{0,0007}{p} + 25p \quad (3.1)$$

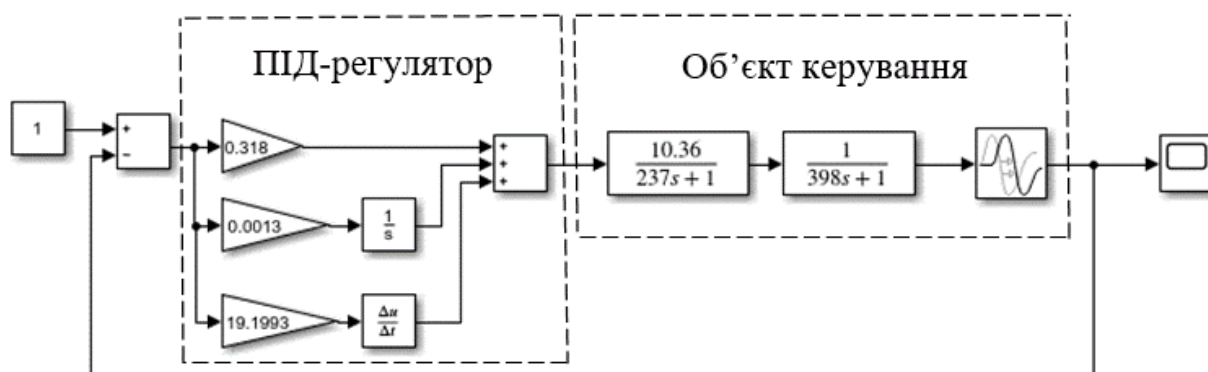


Рисунок 3.7 – Структурна схема з ПД-регулятором

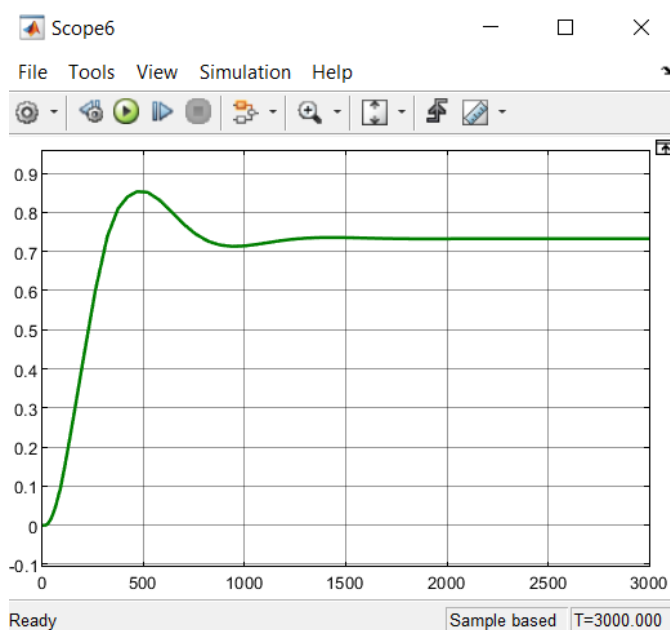


Рисунок 3.8 – Графік перехідного процесу з П-регулятором

За результатами моделювання оцінені показники якості перехідних процесів з різними законами регулювання. Час регулювання визначався моментом часу після якого керована величина відрізняється від усталеного значення не більше ніж на 5%. Ступінь стійкості визначена за відомою формулою:

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

тут $t_{рег}$ - час регулювання.

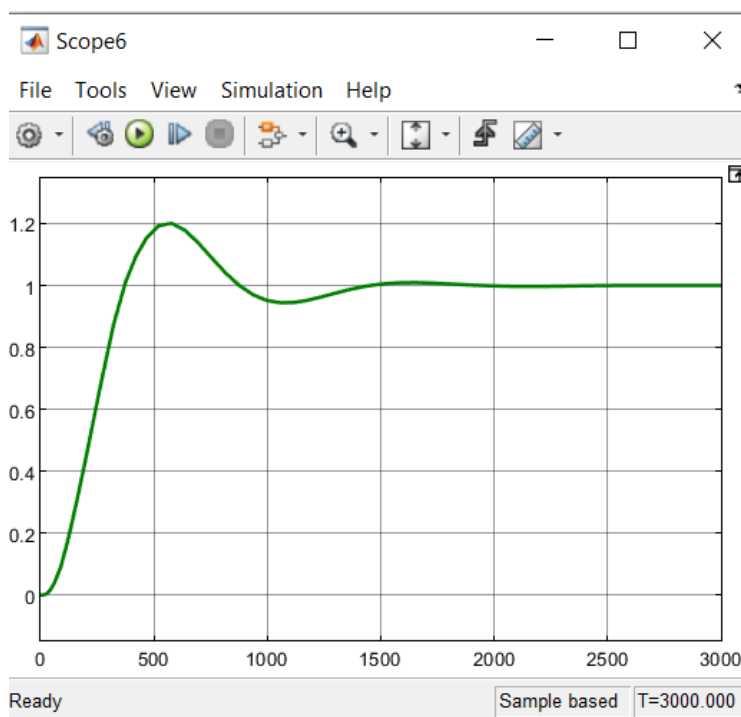


Рисунок 3.9 – Графік перехідного процесу з ПІ-регулятором

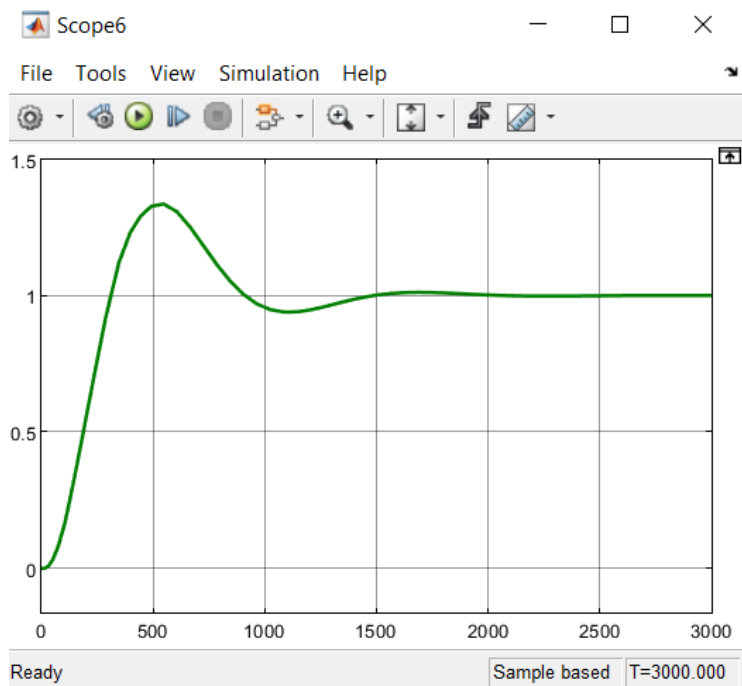


Рисунок 3.10 – Графік перехідного процесу з ПД-регулятором

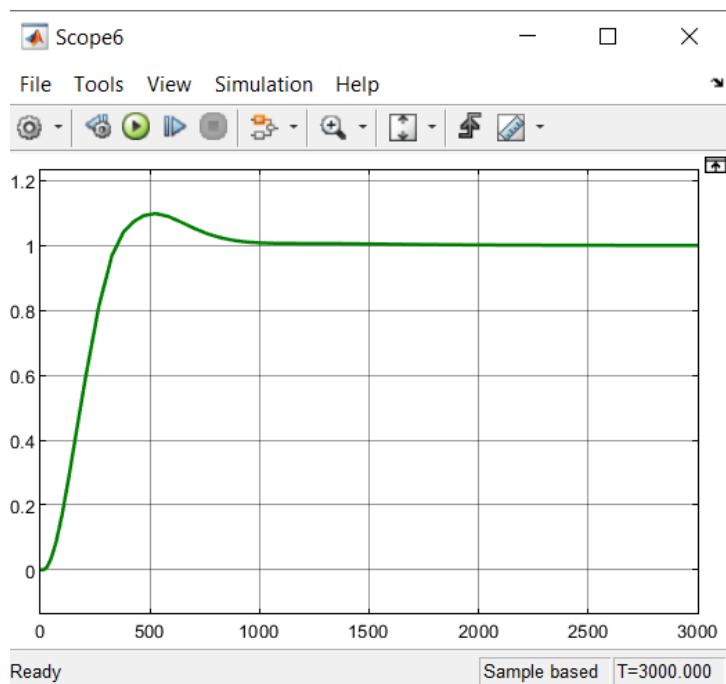


Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу з найкращим налаштуванням ПД-регулятора

Оцінки показників якості наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Показники якості системи управління з ПД-регулятором

Параметр Регулятор	Ступінь стійкості	Статична похибка	Час регулювання, с	Перерегул ювання, %	Коливання
П-регулятор	0,003	0,26	1000	-	1
ПД-регулятор	0,0025	0	1200	20	1
ПД-регулятор з найкращими настройками	0,0021	0	1400	30	1
ПД-регулятор з найкращими настройками	0,004	0	750	10	0

3.4 Визначення експериментальної залежності величини перерегулювання від коефіцієнта пропорційності ПД-регулятора

Залежність величини перерегулювання перехідного процесу в САР процесу випалювання керамічних блоків від коефіцієнта підсилення K_p пропорційної частини ПД-регулятора представлена в табл. 3.2. На рис. 3.12 показана експериментальна залежність величини перерегулювання від коефіцієнта підсилення пропорційної частини регулятора $\sigma = f(k_p)$. Незавжди бачити, що найкраще регулювання відповідає $k_p = 0,4$.

Таблиця 3.2 - Результати обчислювального експерименту

Коефіцієнт підсилення, k_p	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Перерегулювання, σ , %	32	21	17	10	16	17	20

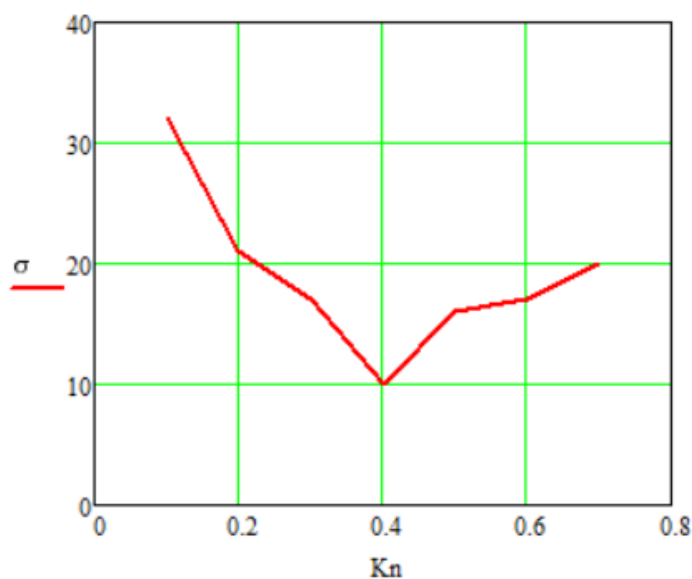


Рисунок 3.12 – Залежність $\sigma = f(k_p)$

3.5 Висновки до розділу

1. Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання за відсутності регулятора.
2. Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання з ПД-регулятором.
3. При регулюванні процесом подрібнення на основі ПД-регулятора найкраще керування досягається при використанні пропорційної, інтегральної та диференціальної частин.
4. Залежність величини перерегулювання перехідного процесу від коефіцієнта пропорційності ПД-регулятора має екстремальний характер.

4 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Цифрова модель системи керування

Для розробки програмного забезпечення (ПЗ) САК та НМІ у SCADA системі зенон треба перетворити безперервні моделі регулятора та об'єкта керування на цифрові моделі.

Порівняння моделювання роботи безперервної моделі об'єкта керування та її варіанту у цифровому вигляді продемонстровано на рис. 4.1.

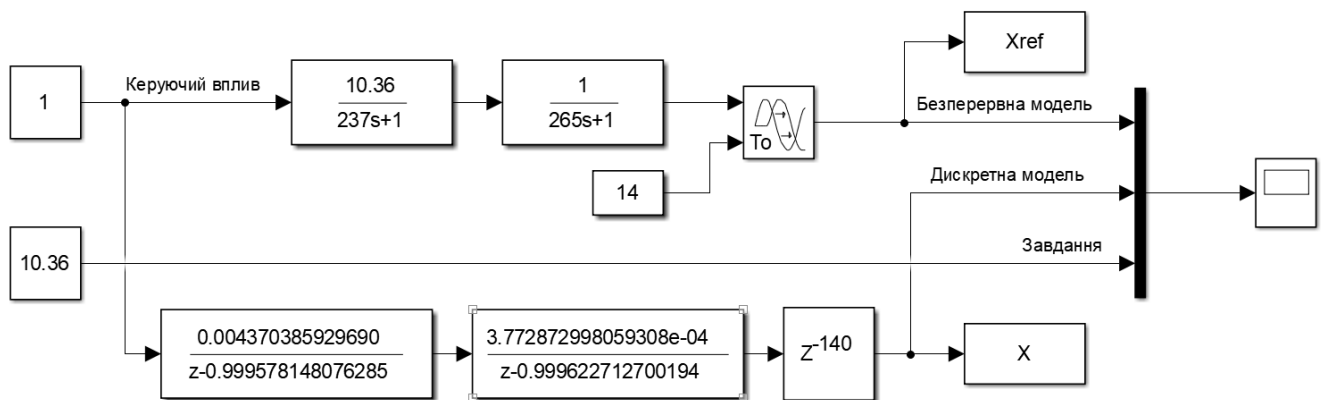


Рисунок 4.1 – Моделювання безперервного та цифрового об'єкта керування

Робота безперервної та цифрової моделей об'єкта керування наведена на рис. 4.2.

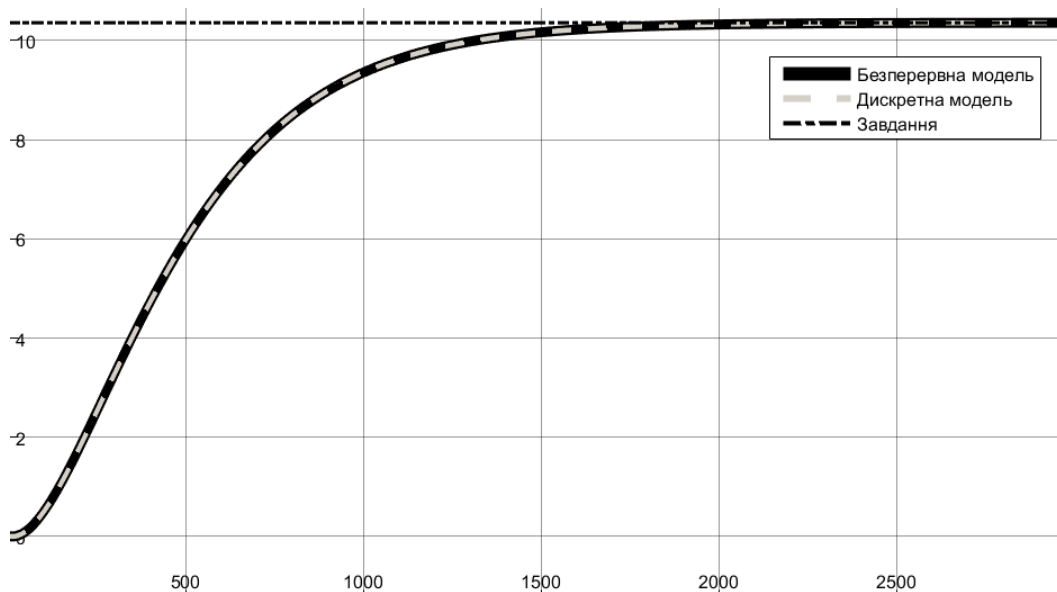


Рисунок 4.2 – Динамічні характеристики для безперервної та цифрової моделей об'єкта керування

Перевірка на адекватність аналогової і цифрової моделей об'єкта керування:

FitX = 99.99

Коефіцієнт кореляції: 1.000

Статистичний критерій Фішера: 13498819150687.525

Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.706

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.

Модель є адекватною до об'єкта керування.

Схема моделювання САК наведена на рис. 4.3.

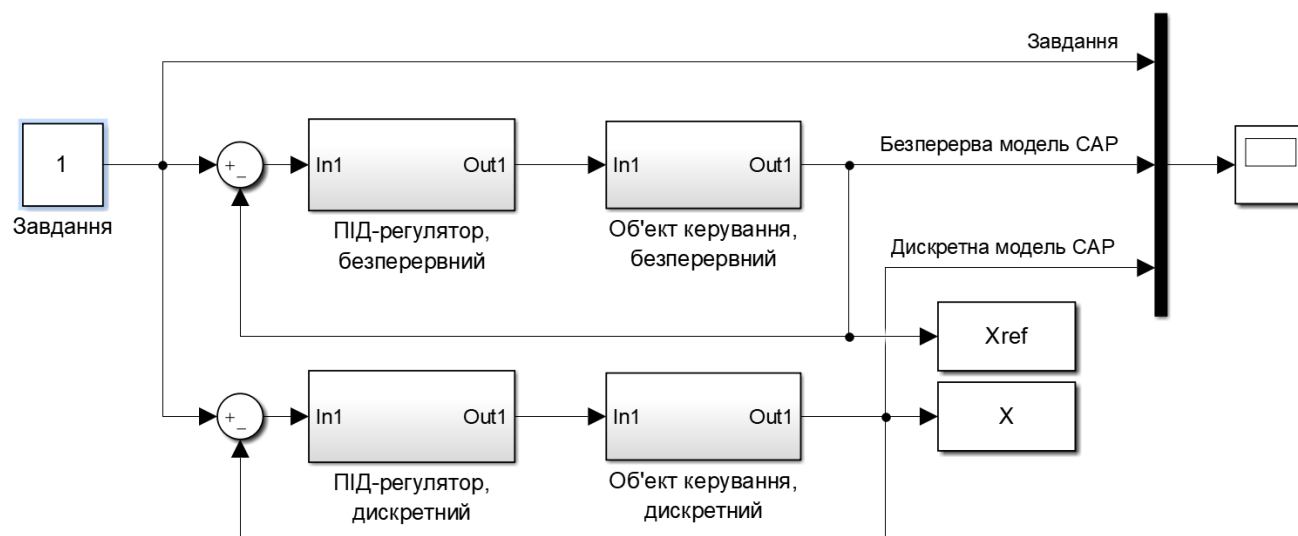


Рисунок 4.3 - Моделювання роботи безперервної та цифрової САК

На рис. 4.4 представлена схема безперервної регулятора

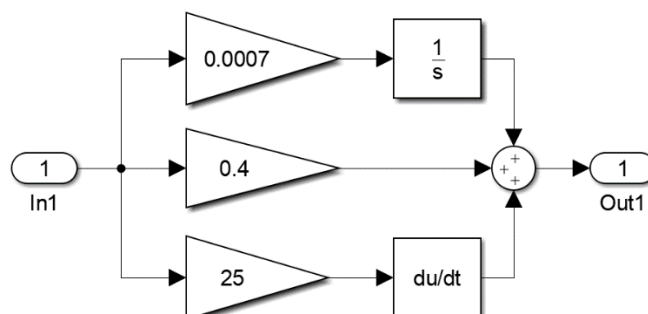


Рисунок 4.4 - Безперервний ПІД-регулятор

На рис. 4.5 представлена схема цифрового регулятора.

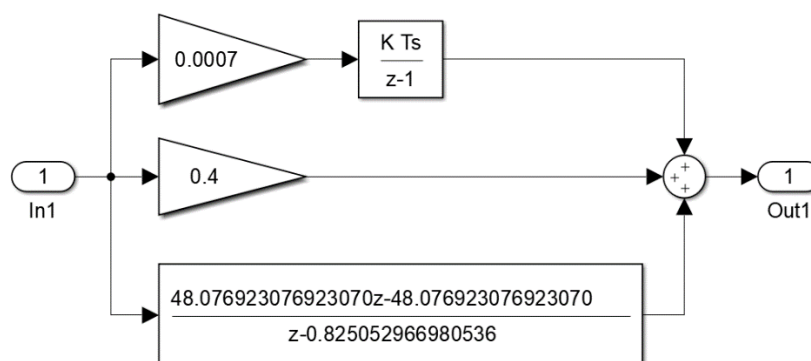


Рисунок 4.5 - Цифровий ПІД-регулятора

Порівняння роботи для безперервної та цифрової САК показано на рис. 4.6.

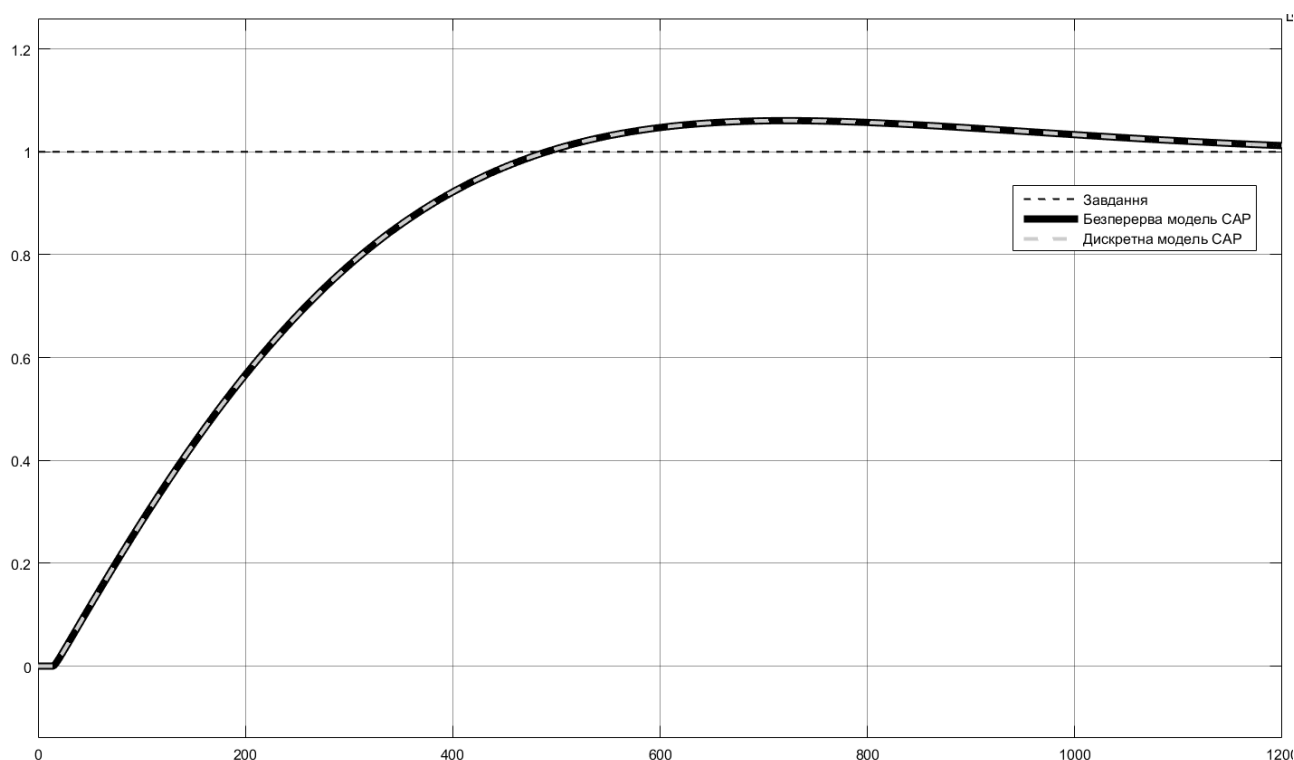


Рисунок 4.6 – Моделювання роботи безперервного і цифрового варіантів САК

Результат перевірки параметрів на адекватність цифрової до безперервної моделі САК:

Відповідність безперервної і цифрової моделей САК: 99.97 %

Коефіцієнт кореляції: 1.000

Статистичний критерій Фішера: 615191833360.779

Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.706

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.

Модель є адекватною до об'єкта керування.

ПЗ для модулів цифрових моделей об'єкта керування та ПД-регулятора було згенеровано у Matlab і знаходиться у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Для розробки ПЗ в SCADA у системі zenon створені змінні (рис. 4.7) та додано відповідний драйвер ПЛК (рис. 4.8).

St...	Name	#	Identifi...	Measuri...	Net addr...	Data blo...	Offset	Bit n...	Alig...	Sym...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
F...	Filter text		Filter ...	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filt...	Filt...	Filt...	Filter text	Filter t...	Filter text	Filter text
	Temperature			°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Heater			%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	SetPoint			°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive				0	0	0	0	0		Intern - Driver f...	BOOL	0	0

Рисунок 4.7 – Змінні ПЛК

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

Рисунок 4.8 – Драйвер ПЛК

ПЗ ПД-регулятора та об'єкта керування функціонує на ПЛК в режимі симуляції в zenon Logic.

Функціональний блок об'єкту керування “Object” та ПЛК “Controller” розроблено на мові програмування Structured Text (рис. 4.9 та рис. 4.10).

```

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

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
u := LREAL#0.00437038592969 * u_states_e;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
FOR k := 0 TO 138 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[139] := LREAL#0.00037728729980593081 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
u_states := u - (LREAL#-0.999622712700194 * u_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states_e := In1 - (LREAL#-0.999578148076285 * u_states_e);

```

Name	Type
Object	
In1	LREAL
Out1	LREAL
u	LREAL
u_states	LREAL
u_states_e	LREAL
Delay_DSTATE	LREAL
k	DINT
i	DINT
Global variables	
RETAIN variables	

Рисунок 4.9 - ПЗ об'єкту керування “Object”.

```

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

(* DiscreteTransferFcn: '<Sl>/Аперіодична ланка 6' *)
u := LREAL#0.00437038592969 * u_states_e;

(* Update for Delay: '<Sl>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<Sl>/Аперіодична ланка 5' *)
FOR k := 0 TO 138 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[139] := LREAL#0.00037728729980593081 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<Sl>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<Sl>/Аперіодична ланка 5' *)
u_states := u - (LREAL#-0.999622712700194 * u_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<Sl>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states_e := In1 - (LREAL#-0.999578148076285 * u_states_e);

```

Name	Type
Object	
In1	LREAL
Out1	LREAL
u	LREAL
u_states	LREAL
u_states_e	LREAL
Delay_DST...	LREAL
k	DINT
i	DINT
Global variables	
RETAIN variables	
<ul style="list-style-type: none"> (All) (Project) Advanced Arithmetic Arrays 	

Рисунок 4.10 - ПЗ ПД-регулятора “Controller”.

На рис. 4.11 і рис. 4.12 показана структурна схема САК і результат перевірки її роботи в симуляторі zenon Logic.

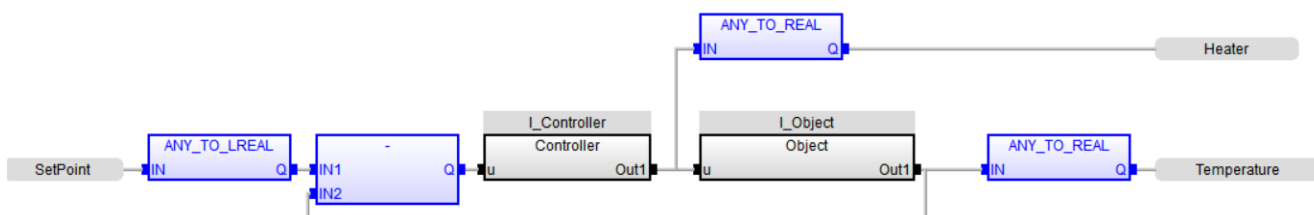


Рисунок 4.11 – Схема об’єкту керування

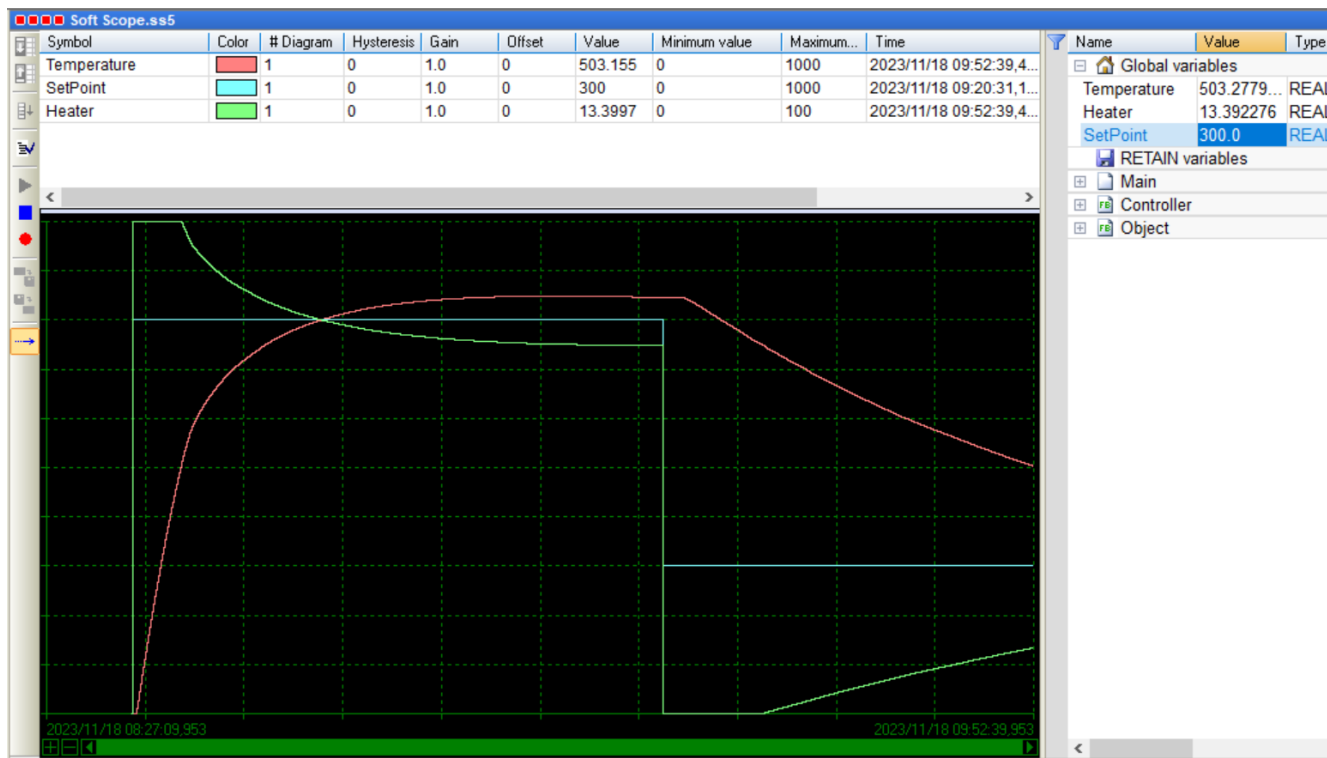


Рисунок 4.12 – Результат моделювання роботи об'єкта керування

4.3 Розробка ПЗ людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс (НМІ) забезпечує оператора технологічного процесу оперативною інформацією про роботу об'єкта керування у реальному часі та надає можливість вносити зміни у хід технологічного процесу з випалювання керамічних блоків. За допомогою НМІ-інтерфейсу є можливість задавати цільову температуру газоповітряної суміші у в зоні випалювання, спостерігати та динамікою її зміни.

Шаблони ШМІ-зображень призначені для показу основної інформації та розміщення кнопок навігації (рис. 4.13).

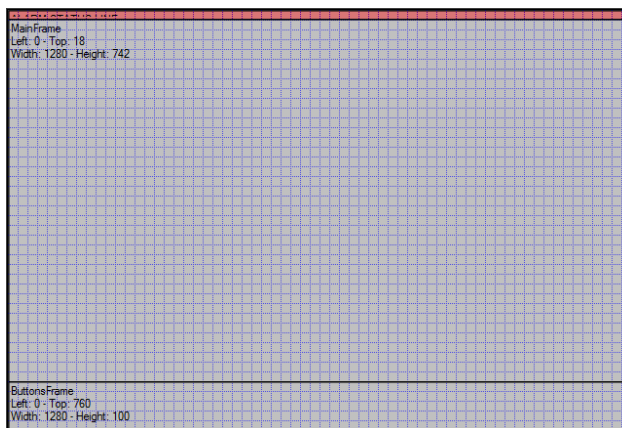


Рисунок 4.13 – Шаблони НМІ- інтерфейсу

Кнопки забезпечують навігації між вікнами відображення різної інформації про об'єкт керування та завершення роботи НМІ-інтерфейсу (рис. 4.14).



Рисунок 4.14 – Кнопки навігації

Вікна містить інформацію про роботу та параметри об'єкту керування - тунельна піч, для якої виконується розробка системи автоматичного керування процесом випалювання керамічних блоків, відображення цієї інформації у графічному вигляді та іншу інформацію (рис. 4.15-4.17).

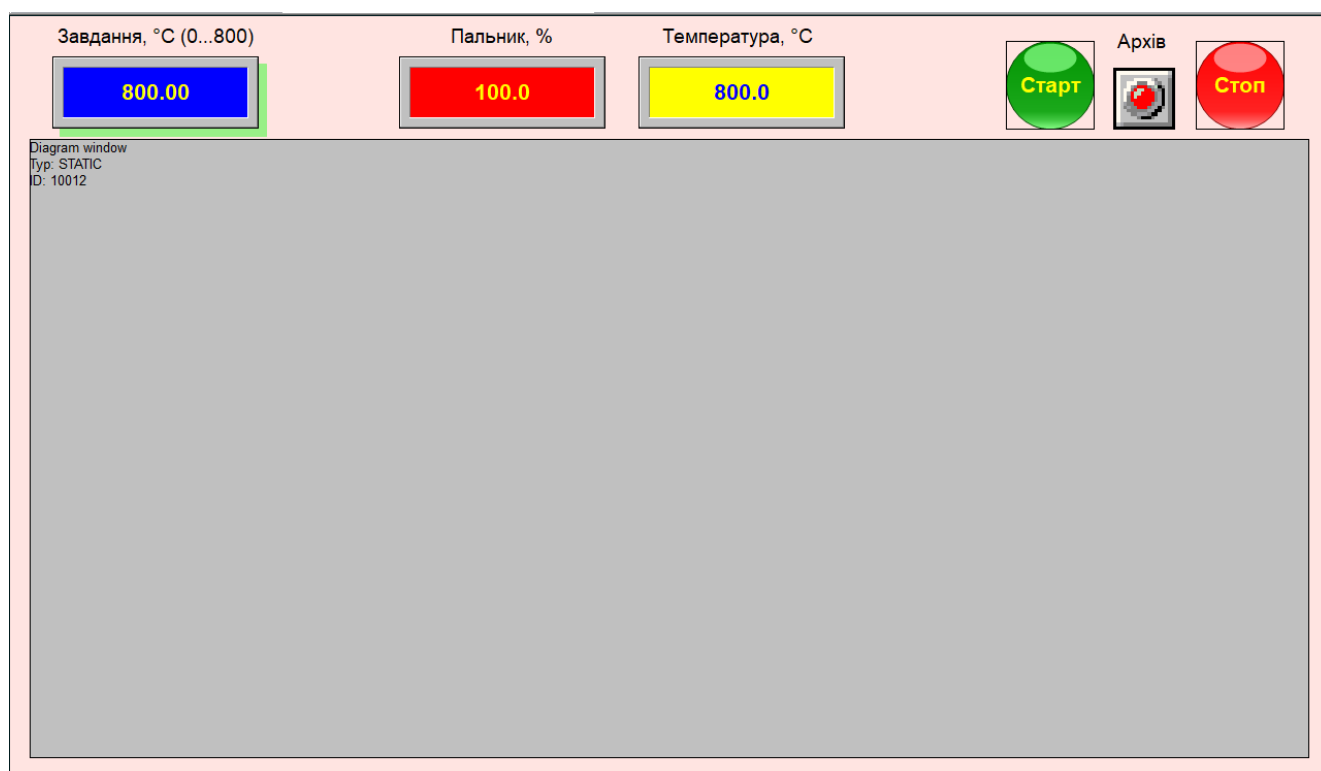


Рисунок 4.15 – Вікно «Тренд»

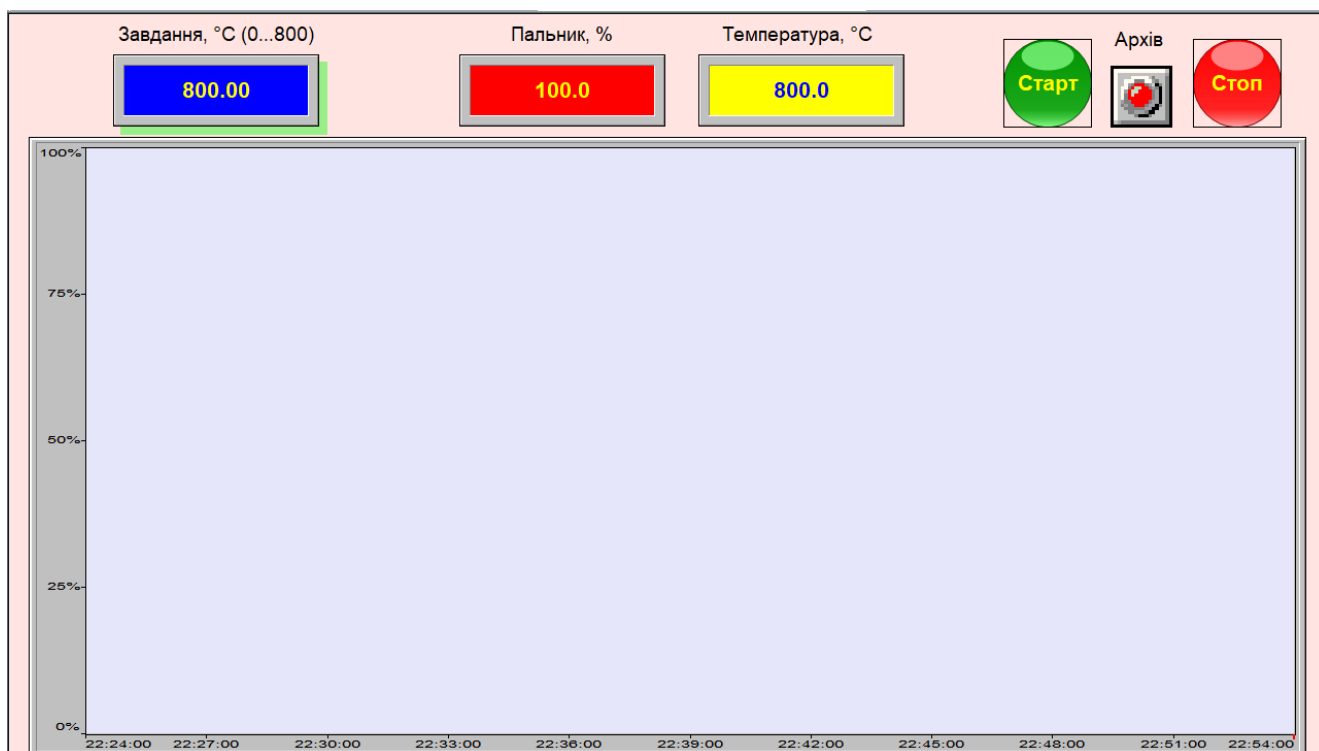


Рисунок 4.16 – Вікно «Графік»

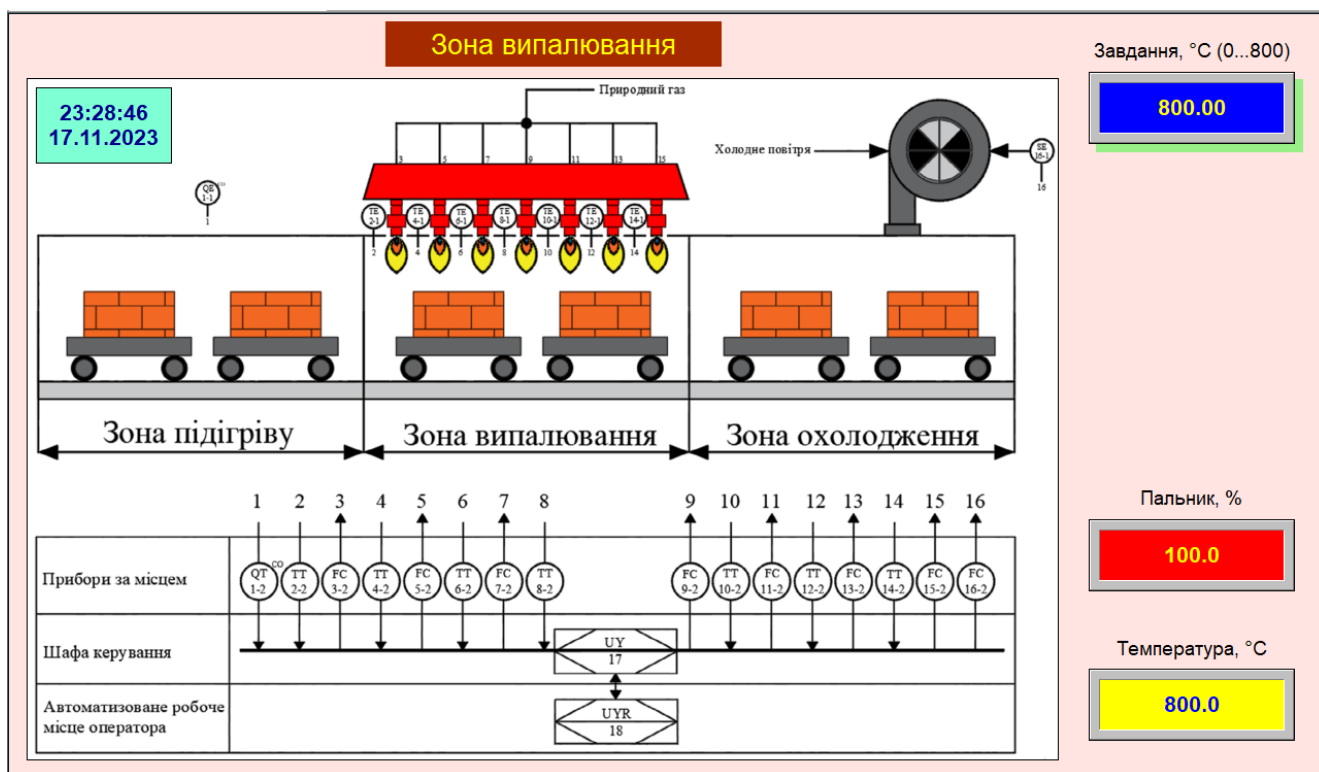


Рисунок 4.17 – Вікно «Об'єкт»

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування ПЗ відбувалася шляхом подачі завдання температури в в зоні випалювання керамічних блоків в діапазоні 0...1000°C. Після

спостереження за роботою SCADA system zenon Logic можна зробити висновок, що об'єкт керування та ПІД-регулятор працюють адекватно, кнопки виконують свої функціональні призначення (рис. 4.18-4.20).



Рисунок 4.18 – Вікно НМІ «Тренд»

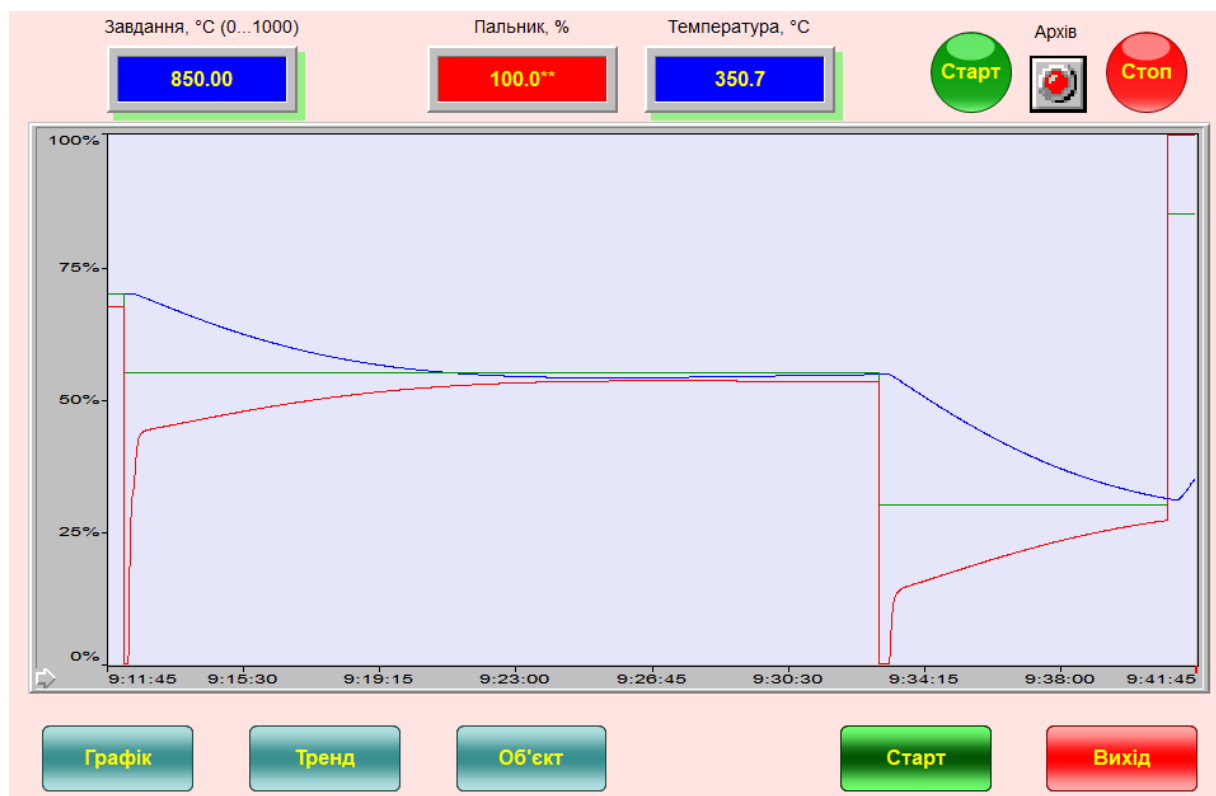


Рисунок 4.19 – Вікно НМІ «Графік»

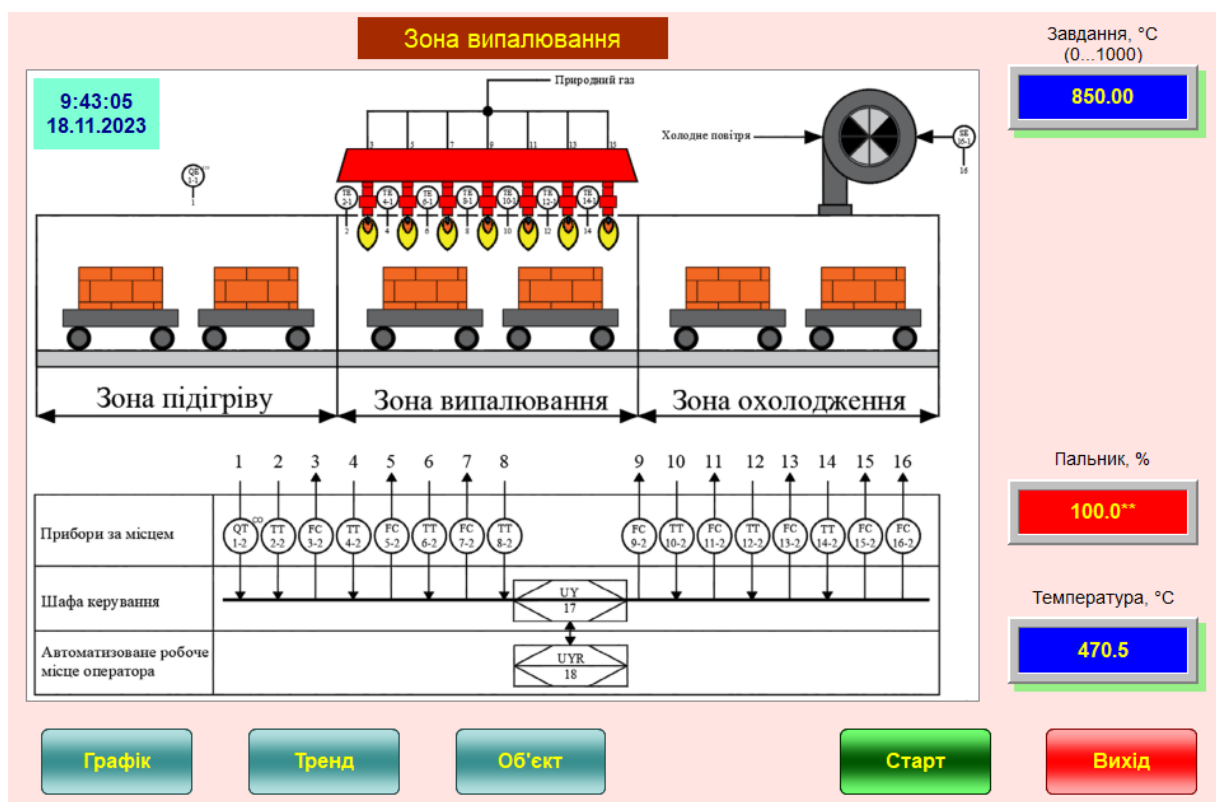


Рисунок 4.20 – Вікно НМІ «Об'єкт»

4.5 Висновки до розділу

На основі розроблених безперервних моделей регулятора та об'єкта керування були розроблені їх цифрові моделі, для яких у MATLAB було згенеровано ПЗ, а потім імпортовано у середовище SCADA систему Zenon. Працездатність роботи цифрових моделей у симуляторі, та НМІ-інтерфейс були перевірені у середовищі SCADA системи Zenon в режимі симуляції.

На підставі проведеної роботи можна стверджувати, що ПЗ та НМІ-інтерфейс функціонують відповідно до заданих алгоритмів та забезпечують виконання поставлених завдань по керуванню технологічним процесом випалювання керамічних блоків у печі.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Доцільність розробки САК

Останніми роками виробники керамічних блоків почали впроваджувати революційні системи автоматизації, покликані зробити процеси швидшими, точнішими та дешевшими. Впровадження цих рішень було зумовлене такими факторами, як зростання цін на енергоносії та нестачу робочої сили, які спонукали виробників розгорнути автоматизовані системи, здатні контролювати якість керамічних блоків та автоматично відмовлятися від неякісної продукції.

Хоча перші системи автоматичного керування були розроблені в 1970-х роках, деякі з цих рішень ризикували погіршити ситуацію, оскільки вони не могли точно керувати технологічним процесом випалу керамічних блоків у печі. В результаті було викинуто набагато більше матеріалу, ніж було потрібно, тим самим зменшивши виробничі потужності.

ПЛК нового покоління разом з удосконаленими вимірювальними системами тепер дозволяють значно якісніше керувати технологічним процесом.

Технологічні інновації та автоматизація роблять машини та системи виробництва керамічних блоків надзвичайно конкурентоспроможними з точки зору ефективності, витрат, якості виробництва, економії енергії та легкого переходу від однієї виробничої партії до іншої за коротші терміни. Сучасні аспекти виробництва та автоматизації розроблені гармонійно, щоб забезпечити розумні початкові інвестиції, забезпечивши будь-яке необхідне майбутнє розширення рівнів автоматизації.

Технологічний внесок інженерів з автоматизації здатний розробляти виробничі системи «під ключ» з дуже високим рівнем автоматизації. Завдяки знанням та досвіду вони забезпечують максимальну гнучкість виробництва, низькі вимоги до робочої сили, зосередженість на безпеці операторів та зниження споживання. Ці рішення з автоматизації здатні інтегрувати всі процеси, необхідні для перетворення ідеї, ескізу, дизайну в готовий продукт, який може бути виготовлений економічно вигідно в промислових масштабах.

5.2 Капітальні витрати для САК

Розрахуємо капітальні витрати враховуючі витрати підприємства, які показують їх ресурсну структуру:

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

де B_o – вартість обладнання, грн.; B_{mp} – витрати на транспортування, грн.; B_m – витрати на монтаж та наладку, грн.; $B_{пз}$ – витрати на ПЗ, грн.

Таблиця 5.1 – Перелік комплектуючих

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Датчик ТЭРА ТНН (N) 1-29к	од.	7	2 762,76	19 339,32
2	Виносний перетворювач ОВЕН НІПТ-1	од.	7	2 453,60	17 175,22
3	Сигналізатор газу СТРАЖ 2S51A4Q	од.	1	3 012,24	3 012,24
4	Газовий пальник Імпульс-10 Факел	од.	7	58 777,36	411 441,49
5	Вентилятор Rosenberg ERND 280-4 з електродвигуном	од.	1	59 518,85	59 518,85
6	Частотний перетворювач Lenze ESMD222L4TXA	од.	1	15 677,64	15 677,64
7	Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33	од.	1	23 935,15	23 935,15
8	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD60	од.	2	17 687,38	35 374,76
9	Модуль дискретного вводу VIPA 221-1BF00	од.	1	3 335,02	3 335,02
10	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1HD10	од.	1	3 630,26	3 630,26
11	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24181B	од.	2	2 390,28	4 780,56
	Разом				597 220,52

Основне та допоміжного обладнання коштує $B_o = 597\,220,52$ грн.

Транспортні витрати визначаються в залежності від вартості обладнання:

$$B_{mp} = B_o * 0,06 \quad (5.2)$$

$$B_{mp} = 597\,220,52 * 0,06 = 35\,833,24 \text{ грн.}$$

Монтажні витрати визначаються в залежності від вартості обладнання:

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

$$B_m = 597\,220,52 * 0,07 = 41\,805,44 \text{ грн.}$$

Витрати на ПЗ:

- SCADA zenon: 42 800,00 грн;
- Windows 11: 6 150,00 грн;
- розробка ПЗ: 25 000,00 грн;

$$B_{пз} = 42\,800 + 6\,150,00 + 25\,000,00 = 73\,950,00 \text{ грн.}$$

Таким чином капітальні витрати:

$$K = 597\,220,52 + 35\,833,24 + 41\,805,44 + 73\,950,00 = 748\,809,20 \text{ грн.}$$

5.3 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційних витрати містять складові:

- амортизація C_a ;
- заробітна плата персоналу C_z ;
- відрахування на соціальні заходи C_c ;
- відрахування на ремонт $C_{p.m.o.}$;
- вартість витраченої електроенергії C_{ee} ;
- інші витрати $C_{інш.}$.

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

Амортизація основних засобів для 4 групи з терміном експлуатації становить 5 років розраховується за методом прискореного зменшення залишкової вартості з нормою амортизації:

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

де T – термін експлуатації, рік; H_a – норма амортизації, %;

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

C_a – річна сума амортизаційних; K – капітальні витрати, грн;

$$C_a = 748\,809,20 * 40 / 100 = 299\,523,68 \text{ грн.}$$

Річний фонд робочого часу:

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

де, T_k – календарний фонд, дні ($T_k = 365$); $T_{вих.св}$ – вихідні дні та свята, дні ($T_{вих.св} = 118$); $T_{відп}$ – відпустка, дні ($T_{відп} = 21$); $T_{зм}$ – тривалість зміни, год ($T_{зм} = 8$).

$$T_{ном.рік} = (365 - 118 - 21) * 8 = 1\,808 \text{ год.}$$

Технологічний процес безперервний випалювання керамічних блоків безперервний, роботи ведуться цілодобово у три зміни. У процесі роботи задіяні - один оператор кожної зміни, один технолог в одну зміну на добу і один електрослюсар у кожній зміні. Таким чином фонд річної заробітної плати можна представити в табличній формі (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	118,75	1 808	644 100,00	51 528,00	45 087,00	740 715,00
2	Інженер-технолог	1	150,00		271 200,00	21 696,00	18 984,00	311 880,00
3	Наладчик	1	125,00		226 000,00	18 080,00	15 820,00	259 900,00
Разом								1 312 495,00

Заробітна плата: $C_z = 1\,312\,495,00$ грн.

Відрахування на соціальні заходи:

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

$$C_c = 0,22 * 1\,312\,495,00 = 288\,748,90 \text{ грн.}$$

Відрахування на ремонт залежать від капітальних витрат:

$$C_{p.t.o.} = K * 0,04, \text{ грн} \quad (5.9)$$

$$C_{p.t.o.} = 748\,809,20 * 0,04 = 29\,952,37 \text{ грн.}$$

Вартість спожитої електроенергії:

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

де K_e – потужність, кВт (0,95 кВт); K_{op} – кількість днів у році (365 днів);

T – тариф на електроенергію (2,75 грн за кВт/год з ПДВ).

$$C_{ee} = 0,95 * 365 * 24 * 2,75 = 22\,885,50 \text{ грн.}$$

Інші витрати залежать від річного фонду заробітної плати:

$$C_{інш} = C_z * 0,04 \quad (5.11)$$

$$C_{інш} = 1\,312\,495,00 * 0,04 = 52\,499,80 \text{ грн.}$$

За формулою 4.3 розраховуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C_e = 299\,523,68 + 1\,312\,495,00 + 288\,748,90 + 29\,952,37 + 22\,885,50 + 52\,499,80 = 2\,006\,105,25 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати зведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	299 523,68
Фонд заробітної плати	1 312 495,00
Відрахування на соціальне страхування	288 748,90
Ремонт і технічне обслуговування	29 952,37
Електроенергія	22 885,50
Інші витрати	52 499,80
Разом	2 006 105,25

5.4 Оцінка економічної ефективності проекту

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат E_p :

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

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

Одна піч для випалювання керамічних блоків приносить підприємству до 35 млн. грн прибутку. Автоматизація підвищує рівень прибутку в середньому на 1,0...2,0 % від прибутку.

$$E = 35\,000\,000 * 0,015 = 525\,000 \text{ грн.}$$

$$E_p = 525\,000 / 748\,809,20 = 0,7.$$

Нормативне значення коефіцієнту економічної ефективності дорівнює 0,15.

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

$$0,7 > 0,15$$

Термін окупності капітальних витрат T_p :

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

$$T_p = 748\,809,20 / 525\,000 = 1,4 \text{ роки.}$$

5.5 Висновки до розділу

При впровадженні САК випалюванням керамічних блоків капітальні витрати складають 750 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням САК становитимуть приблизно 2,0 млн. грн. Коефіцієнт ефективності більше ніж його нормативне значення в середньому по галузі, термін окупності САК до 1,5 років.

Впровадження САК є доцільним та економічно вигідним.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Охорона праці при випалювання керамічних блоків

Випалювання керамічних блоків є одним із найнебезпечніших виробничих процесів. На працівників цього виробництва впливають різноманітні небезпечні та шкідливі фактори.

До небезпечних факторів належать:

- відсутність або несправність засобів захисту, що може призвести до травмування працівників у разі падіння, вибуху, пожежі тощо;
- несправне обладнання, яке може призвести до травмування працівників або пожежі;
- недостатня освітленість, яка може призвести до падіння або травмування працівників;
- недостатня вентиляція, що може призвести до задухи або отруєння шкідливими речовинами.

До шкідливих факторів належать шкідливі речовини, такі як:

- пил;
- оксиди вуглецю, азоту, сірки;
- фтор, хлор тощо.

Шум на виробництві може досягати 100 дБ і більше. Це може призвести до погіршення слуху, нервових розладів тощо.

Вібрація на виробництві може досягати 100 дБ і більше. Це може призвести до погіршення здоров'я опорно-рухового апарату, нервових розладів тощо.

Температура на виробництві може досягати 1000°C. Це може призвести до теплового удару, опіків тощо.

6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці

Для забезпечення охорони праці на виробництві керамічних блоків необхідно вжити таких заходів:

1. Забезпечити працівників засобами захисту. Працівники повинні використовувати спецодяг, спецвзуття, засоби індивідуального захисту органів дихання, зору тощо.

2. Провести технічний огляд обладнання. Перед початком роботи необхідно провести технічний огляд обладнання та усунути всі несправності.

3. Забезпечити достатню освітленість. Усі робочі місця повинні бути добре освітлені.

4. Забезпечити достатню вентиляцію. Усі виробничі приміщення повинні бути добре вентильовані.

5. Впровадити заходи щодо зниження шкідливих викидів. На виробництві необхідно використовувати сучасні технології, які дозволяють зменшити кількість шкідливих викидів.

6.2.1 Особливості охорони праці при випалювання керамічних блоків

Особливості охорони праці при випалювання керамічних блоків полягають у наступному:

1. Важливо дотримуватися правил безпеки при роботі з обладнанням. Не дозволяється працювати на несправному обладнанні, а також використовувати обладнання, не призначене для випалювання керамічних блоків.

2. Необхідно використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. Шкідливі речовини, що виділяються під час випалювання керамічних блоків, можуть викликати захворювання органів дихання.

3. Необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки. Під час випалювання керамічних блоків існує ризик пожежі.

6.2.2 Запобігання нещасним випадкам

Для запобігання нещасним випадкам на виробництві керамічних блоків необхідно:

1. Провести навчання працівників з питань охорони праці. Працівники повинні знати правила безпеки та дотримуватися їх.

2. Створити комісію з охорони праці. Комісія з охорони праці повинна регулярно проводити інспекції виробництва та виявляти недоліки в організації охорони праці.

3. Запровадити систему штрафів за порушення правил охорони праці. Це допоможе заохотити працівників дотримуватися правил безпеки.

6.3 Розрахункова частина

6.3.1 Розрахунок вентиляції цеху

Розрахунок механічної вентиляції цеху випалювання керамічних блоків з урахуванням видалення оксидів вуглецю, азоту, сірки.

Вихідні дані:

– об'єм цеху:	1000 м ³ ;
– кількість витяжок:	4 од.;
– швидкість повітряного потоку:	20 м/с;
– концентрація пилу в повітрі:	10 мг/м ³ ;
– клас пилу:	Г;
– концентрація оксидів вуглецю в повітрі:	200 мг/м ³ ;
– концентрація оксидів азоту в повітрі:	100 мг/м ³ ;
– концентрація оксидів сірки в повітрі:	50 мг/м ³ ;

Продуктивність вентиляції розраховується за формулою:

$$Q = V * C \quad (6.1)$$

де: Q - продуктивність вентиляції, м³/год; V - об'єм цеху, м³; C - сума концентрацій оксидів вуглецю, азоту, сірки в повітрі, мг/м³.

У нашому випадку:

$$Q = 1000 * (200 + 100 + 50) = 36500 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Площа фільтрів розраховується за формулою:

$$S = Q * t / V \quad (6.2)$$

де: S - площа фільтрів, м²; Q - продуктивність вентиляції, м³/год; t - час перебування повітря в фільтрах, год; V - об'єм цеху, м³.

У нашому випадку:

$$S = 36500 * 2 / 1000 = 73 \text{ м}^2.$$

Вибір фільтрів. Для очищення повітря від оксидів вуглецю, азоту, сірки можна використовувати фільтри типу рукавні або циклони.

Рукавні фільтри мають високу ефективність очищення (до 99,9%), але вимагають регулярного обслуговування (змінювання рукавів).

Циклони мають меншу ефективність очищення (до 95%), але не вимагають обслуговування.

У нашому випадку можна використовувати рукавні фільтри з ефективністю очищення не менше 99%.

Витрати повітря на фільтрування розраховуються за формулою:

$$V = Q / (1 - E) \quad (6.3)$$

де: V - витрата повітря на фільтрування, м³/год; Q - продуктивність вентиляції, м³/год; E - ефективність очищення фільтрів, %.

У нашому випадку:

$$V = 36500 / (1 - 99\%) = 36500 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Вибір вентилятора. Для створення необхідного повітряного потоку необхідно використовувати вентилятор з продуктивністю не менше 36500 м³/год.

Підсумок розрахунку. Для очищення повітря від пилу та оксидів вуглецю, азоту, сірки при випалюванні керамічних блоків необхідно використовувати систему вентиляції, що складається з наступних елементів:

- витяжні вентилятори з продуктивністю не менше 36500 м³/год;
- рукавні фільтри з ефективністю очищення не менше 99%;
- система очищення фільтрів.

Така система дозволить ефективно очистити повітря від шкідливих речовин і забезпечити безпечні умови праці для працівників.

Додатково можна розглянути такі заходи щодо зниження викидів шкідливих речовин:

- використання ефективних технологій випалювання, які дозволяють зменшити кількість шкідливих речовин, що утворюються;
- впровадження заходів щодо рециркуляції.

6.3.2 Розрахунок шуму

Необхідно розрахувати еквівалентні рівні шуму в цеху випалювання керамічних блоків, який має наступні характеристики:

- об'єм цеху: 1000 м³;
- кількість витяжок: 4 од.;
- швидкість повітряного потоку: 20 м/с.

Розрахунок еквівалентного рівня шуму від витяжних вентиляторів. Еквівалентний рівень шуму від витяжних вентиляторів розраховується за формулою:

$$L_{eq} = L_{max} * T / (T_{max} - T_{min}) \quad (6.4)$$

де: L_{eq} - еквівалентний рівень шуму, дБ; L_{max} - максимальний рівень шуму, дБ; T - тривалість дії шуму, год; T_{max} - максимальна тривалість дії шуму, год; T_{min} - мінімальна тривалість дії шуму, год.

У для розрахунку беремо:

- $L_{max} = 90$ дБ (для витяжних вентиляторів класу 3);
- $T = 8$ год (тривалість робочого дня);
- $T_{max} = 8$ год;
- $T_{min} = 0$ год.
- $L_{eq} = 90 * 8 / (8 - 0) = 64$ дБ

Розрахунок еквівалентного рівня шуму від технологічного обладнання розраховується за формулою:

$$L_{eq} = L_{max} * T / (T_{max} - T_{min}) \quad (6.5)$$

де: L_{eq} - еквівалентний рівень шуму, дБ; L_{max} - максимальний рівень шуму, дБ; T - тривалість дії шуму, год; T_{max} - максимальна тривалість дії шуму, год; T_{min} - мінімальна тривалість дії шуму, год.

Для технологічного обладнання цеху:

- $L_{max} = 80$ дБ (для технологічного обладнання класу 2);
- $T = 8$ год (тривалість робочого дня);
- $T_{max} = 8$ год;
- $T_{min} = 0$ год.

$$- \quad L_{eq} = 80 * 8 / (8 - 0) = 56 \text{ дБ}$$

Загальний еквівалентний рівень шуму розраховується за формулою:

$$L_{eq} = L_{eq1} + L_{eq2} + \dots + L_{eqn} \quad (6.6)$$

де: L_{eq} - загальний еквівалентний рівень шуму, дБ; $L_{eq1}, L_{eq2}, \dots, L_{eqn}$ - рівні шуму від окремих джерел, дБ.

У нашому випадку:

$$L_{eq} = 64 + 56 = 120 \text{ дБ.}$$

За результатами розрахунку загальний еквівалентний рівень шуму в цеху випалювання керамічних блоків становить 120 дБ. Цей рівень перевищує допустимий рівень шуму для робочого місця (80 дБ).

Для забезпечення безпечних умов праці для працівників необхідно вжити заходів щодо зниження рівня шуму. Такими заходами можуть бути:

- використання шумопоглинаючих матеріалів при будівництві цеху;
- встановлення шумоізоляції на технологічному обладнанні;
- використання шумопоглинаючих пристроїв на витяжних вентиляторах.

Вібрація на виробництві при випалюванні керамічних блоків може виникати від наступних джерел:

- витяжні вентилятори є одним з основних джерел вібрації на виробництві керамічних блоків, вібрація від витяжних вентиляторів може передаватися на будівельні конструкції, обладнання, а також на працівників;

- технологічне обладнання, яке використовується для випалювання керамічних блоків, також може бути джерелом вібрації, вібрація від технологічного обладнання може передаватися на будівельні конструкції, обладнання, а також на працівників;

- транспортування матеріалів також може виникати вібрація, яка може передаватися на будівельні конструкції, обладнання, а також на працівників.

Вплив вібрації на організм людини може бути різним. Вібрація може викликати такі захворювання, як:

- захворювання опорно-рухового апарату, такі як остеохондроз, радикуліт, артрит тощо;

- захворювання органів слуху, такі як шумова нейропатія, туговухість тощо;
- захворювання серцево-судинної системи, такі як аритмія, гіпертонія тощо.

Необхідно розрахувати віброізолятор для витяжки, яка має наступні характеристики:

- частота вібрації: 50 Гц;
- амплітуда вібрації: 1 мм;
- вага обладнання: 100 кг.

Коефіцієнт демпфування віброізолятора розраховується за формулою:

$$\xi = 1 - (K1 / K2) \quad (6.7)$$

де: ξ - коефіцієнт демпфування; $K1$ - жорсткість віброізолятора; $K2$ - жорсткість опори.

Жорсткість опори розраховується за формулою:

$$K2 = m * g / a \quad (6.8)$$

де: $K2$ - жорсткість опори; m - вага обладнання; g - прискорення вільного падіння; a - амплітуда вібрації.

Для витяжки маємо наступні технічні характеристики:

- $m = 100$ кг;
- $g = 9,81$ м/с²;
- $a = 1$ мм = 0,001 м.

$$K2 = 100 * 9,81 / 0,001 = 98100 \text{ Н/м}$$

Жорсткість віброізолятора розраховується за формулою:

$$K1 = F / x \quad (6.9)$$

де: $K1$ - жорсткість віброізолятора; F - сила, що діє на віброізолятор; x - зміщення віброізолятора.

У нашому випадку:

$$F = m * g * \xi \quad (6.10)$$

$$K1 = m * g * \xi / a \quad (6.11)$$

де: $x = a$;

$$K1 = 100 * 9,81 * \xi / 0,001.$$

Замінивши значення коефіцієнта демпфування, отримаємо:

$$K1 = 100 * 9,81 * (1 - (K1 / 98100)) / 0,001.$$

$$K1^2 - 981 K1 + 98100 = 0.$$

Розв'язавши це рівняння, отримаємо:

$$K1 = 49050 \text{ або } -20.$$

Оскільки жорсткість віброізолятора не може бути негативною, то приймаємо значення $K1 = 49050 \text{ Н/м}$.

Коефіцієнт демпфування. Замінивши значення жорсткості віброізолятора, отримаємо:

$$\xi = 1 - (K1 / K2) \quad (6.12)$$

$$\xi = 1 - (49050 / 98100).$$

$$\xi = 0,5.$$

Для забезпечення зниження рівня вібрації до 50% необхідно використовувати віброізолятор з коефіцієнтом демпфування 0,5 і жорсткістю 49050 Н/м.

Рекомендації щодо захисту від температури на виробництві керамічних блоків:

- цех повинен бути побудований з термостійких матеріалів, таких як цегла, бетон, метал;
- на технологічному обладнанні повинні бути встановлені захисні екрани і кожухи, які запобігають прямому контакту працівників з гарячими поверхнями;
- системи вентиляції і кондиціонування повинні бути достатньо потужними, щоб підтримувати комфортну температуру в цеху;
- працівники повинні бути розподілені так, щоб вони не перебували під впливом високих температур протягом тривалого часу;
- працівники повинні пройти навчання з питань охорони праці, зокрема з питань захисту від температури;
- працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту, такі як термостійкий одяг, захисні рукавиці, окуляри та маски;
- застосування цих заходів дозволить значно знизити ризик виникнення

нещасних випадків на виробництві, пов'язаних з впливом високих температур.

6.4 Пожежна профілактика

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у 2022 році в Україні було зареєстровано 10 пожеж на виробництві керамічних блоків. Внаслідок цих пожеж було знищено або пошкоджено виробничі приміщення, технологічне обладнання та готову продукцію на загальну суму понад 100 мільйонів гривень.

Згідно з даними Державної служби статистики України, у 2022 році в Україні було вироблено 14,5 мільйонів кубічних метрів керамічних блоків. Це означає, що пожежі на виробництві керамічних блоків становили 0,007% від загального обсягу виробництва.

Основними причинами пожеж на виробництві керамічних блоків є:

- несправності технологічного обладнання, несправності в електричних мережах, газових системах, системах опалення та вентиляції можуть призвести до виникнення пожежі;
- порушення правил пожежної безпеки, недотримання правил пожежної безпеки, таких як зберігання горючих матеріалів, використання відкритого вогню, куріння, є однією з основних причин пожеж;
- умисні підпали також можуть бути причиною пожеж.

Статистика пожеж на виробництві керамічних блоків в Україні є відносно низькою. Однак, навіть одна пожежа може завдати значної матеріальної шкоди та призвести до травмування або загибелі людей.

Для запобігання пожежам на виробництві керамічних блоків необхідно вжити заходів пожежної профілактики. До таких заходів відносяться:

- регулярний огляд і ремонт технологічного обладнання, несправності в технологічному обладнанні повинні бути усунуті негайно;
- впровадження та дотримання правил пожежної безпеки, працівники повинні бути навчені правилам пожежної безпеки та дотримуватися їх у своїй роботі;

- встановлення систем пожежної сигналізації та пожежогасіння, системи пожежної сигналізації та пожежогасіння повинні бути встановлені в усіх приміщеннях виробництва;
- технологічне обладнання повинно бути утримуватися в чистоті і справності;
- всі електроустановки повинні бути заземлені;
- газові системи повинні бути герметичними і регулярно перевірятися на наявність витоків;
- системи опалення і вентиляції повинні бути справними і регулярно очищатися;
- горючі матеріали повинні зберігатися в спеціально відведених місцях, відповідно до правил пожежної безпеки;
- у приміщеннях виробництва повинні бути встановлені вогнегасники, а також системи пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- працівники повинні пройти навчання з питань пожежної безпеки;
- застосування цих заходів дозволить значно знизити ризик виникнення пожеж на виробництві керамічних блоків.

Для цеху при випалюванні керамічних блоків, площа якого становить 1000 квадратних метрів, кількість вогнегасників повинна бути не менше 5. У разі розташування вогнегасників на відстані понад 20 метрів один від одного кількість вогнегасників повинна бути збільшена на один, тобто до 6.

При виборі вогнегасників слід враховувати наступні фактори:

- тип вогню;
- об'єм вогнегасника;
- вага вогнегасника.

Для цеху при випалюванні керамічних блоків рекомендується використовувати вогнегасники з наступними характеристиками:

- тип вогню: А, В, С.
- об'єм: 5-10 літрів.
- вага: не більше 15 кілограмів.

Найбільш поширеними типами вогнегасників, які використовуються на виробництві керамічних блоків, є:

- вогнегасники з піною застосовуються для гасіння пожеж класу А (пожежі твердих речовин) і класу В (пожежі рідин)⁴
- вогнегасники з порошком застосовуються для гасіння пожеж класів А, В, С (пожежі газів);
- вогнегасники з вуглекислим газом застосовуються для гасіння пожеж класів А, В, С.

6.5 Висновки до розділу

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях розглянуті питання з охорони праці при технологічному процесі випалювання керамічних блоків, розроблені інженерно-технічні заходи щодо охорони праці, здійснено розрахунки вентиляції та шуму на робочому місці, розглянуті питання пожежної профілактики.

ВИСНОВКИ

Атестаційна робота є закінченою дослідницькою роботою, в якій вирішена задача управління процесом випалювання керамічних блоків по каналу керування "потужність пальника – температура газова-повітряної суміші".

Основними результатами роботи є:

1. Розглянуті способи керування технологічним об'єктом з запізнюванням.
2. Проведений аналіз роботи САР процесом випалювання керамічних блоків за відсутності регулятора.
3. Виконано зниження порядку об'єкта керування для обґрунтування типу регулятора.
4. Обґрунтований вибір типу регулятора САР процесом випалювання керамічних блоків.
5. Для ПД-регулятору розраховано значення коефіцієнта підсилення у прямому контурі САР, при якому система виходить на межу стійкості. Розраховані частота і період коливань.
6. За методом Циглера-Нікольса визначені параметри П-, ПІ- та ПІД-регуляторів.
7. Методом моделювання на ЕОМ в середовищі SIMULINK, MATLAB підтверджені теоретичні розрахунки та вибраний найкращий регулятор, виходячи із оцінок показників якості САР.
8. Методом обчислювального експерименту показана екстремальна залежність величини перерегулювання об'єкту керування від коефіцієнту пропорційності ПІД-регулятора.
9. Розроблений НМІ-інтерфейс керування процесом випалу керамічних блоків на базі програмованого логічного контролера VIPA і програмного забезпечення НМІ/SCADA системи Zenon Supervisor 7.1.
10. Підтверджена ефективність вибраного регулятора на емуляторі.
11. Виконані економічні розрахунки ефективності САК.
12. Розроблені і обґрунтовані заходи з безпеки праці, виконані необхідні

розрахунки для забезпечення безпечної праці робочого персоналу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Биба В.В. Стан та перспективи розвитку будівельної галузі України / В. Биба, В. Гаташ // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) ПолтНТУ. – 2013. – Вип. 4(39). – Т. 2 – с. 3-9.
2. Масляк П.О., Шищенко П.Г. Промисловість будівельних матеріалів. Онлайн-бібліотека освітньої та наукової літератури. К.: Зодіак-ЕКО, 1996. – 432 с. URL: https://eduknigi.com/geo_view.php?id=91 (дата звернення: 08.03.2022).
3. Технічні характеристики керамічної цегли. Будівництво та ремонт без проблем. URL: <https://remontbp.com.ua/tehnichni-harakteristiki-keramichnoi-cegli/> (дата звернення: 08.03.2022).
4. Розвиток будівельної галузі та детінізація ринку праці у будівництві – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/rozvitok-budivelnoyi-galuzi-ta-detinizatsiya-rinku-pratsi-u-budivnitstvi/> (дата звернення: 28.02.2022).
5. Загальні підсумки діяльності будівельної галузі за 2021 рік – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/building/pricing/rozvitok-budivelnoyi-diyalnosti/zagalni-pidsumky-diyalnosti-budivelnoyi-galuzi-za-2021-rik/> (дата звернення: 28.02.2022).
6. Індeksi будівельної продукції за регіонами у 2021 році (у відсотках до 2020 року) – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/diagrama-1-1.pdf> (дата звернення: 28.02.2022).
7. Обсяги виконаних будівельних робіт за регіонами у розрахунку на 1 особу за 2021 рік – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/diagrama-2-1.pdf> (дата звернення: 28.02.2022).
8. Виробництво промислової продукції в натуральному виразі по Україні у 2021 році – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/tablyczya-4-1.pdf> (дата звернення: 28.02.2022).
9. Олександр Рябчун. 5 причин обрати керамоблок для будівництва приватного будинку. 450 Ceramo-House. URL: 94

<https://450ceramohouse.com/budinok-z-keramobloky-v-kiyevi-ta-oblasti> (дата звернення: 28.02.2022).

10. Будівельна галузь в Україні: проблеми та перспективи розвитку. TextReferat. URL: <http://ua.textreferat.com/referat-9404-1.html> (дата звернення: 08.03.2022).

11. Технологічні комплекси для виробництва керамічних вогнетривких виробів. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5198493/page:5/> (дата звернення: 08.03.2022).

12. Ковалюк Д.О., Москвіна С.М. Моделювання тепло-технологічних об'єктів з розподіленими параметрами: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. – 182с. URL: <http://mokvina.vk.vntu.edu.ua/file/7f7ab0f6445e045354e2ddedfc37d3aa.pdf> (дата звернення: 08.03.2022).

13. Процес випалу цегли у тунельних печах. allbest. URL: https://otherreferats.allbest.ru/construction/00155280_0.html (дата звернення: 08.03.2022).

14. ПП 1.2.10-177-2001. Примірний інструкція з охорони праці для садчиків в печі і на тунельні вагони вогнетривких підприємств. / затв. Асоціацією «Укрвогнетрив» Наказ №31 від 16.11.2001р. URL: https://dnaop.com/html/33259/doc-%D0%9F%D0%86_1.2.10_-177-2001 (дата звернення: 08.03.2022).

15. Попович М.Г., Ковальчук О.М. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Либідь, 2007. – 656 с. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Popovich_2007_656.pdf.

16. Dorf R. C. Modern Control Systems 12 th Edition / R. C. Dorf, R. H. Bishop. – Boston, Prentice Hall, 2010. – 1104 p.

17. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2003. — 250 с.

18. Аністратенко В. О., Федоров В. Г. Математичне планування експериментів в АПК: Навч. Посібник. – К.: Вища шк., 1993. – 375 с.

19. Ala Eldin Abdallah Awouda and Rosbi bin Mamat. New PID Tuning Rule Using ITAE Criteria. International Journal of Engineering (IJE). Vol. 3. Issue 6. January 2010. P. 597–608.

20. Теорія автоматичного керування. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: М.М. Трипутень, В.Є Воскобойник -Дніпро НТУ «ДП» 2020.- 114 с.

ДОДАТОК А - ПРОГРАМНІ МОДУЛІ САК

А.1 Модуль об'єкта керування

```
( *
 *
 * File: E1_Model_SAU2.exp
 *
 * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "E1_Model_SAU2/Об'єкт керування,
дискретний"
 *
 * Model name           : E1_Model_SAU2
 * Model version        : 1.142
 * Model creator        : Kucherenko BV
 * Model last modified by : Master
 * Model last modified on : Fri Nov 17 21:31:02 2023
 * Model sample time    : 0.1s
 * Subsystem name      : Model_SAU2/Об'єкт керування,
дискретний
 * Subsystem sample time : 0.1s
 * Simulink PLC Coder version : 2.0 (R2013b) 27-Aug-2013
 * ST code generated on   : Fri Nov 17 21:32:45 2023
 *
 * Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
 * Test Bench included   : No
 *
 *)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    _ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    _Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u: LREAL;
    u_states: LREAL;
    u_states_e: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..139] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 139 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
        u_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
        u_states_e := 0.0;
    SS_STEP:
        (* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
        * Delay: '<S1>/Delay' *)
        Out1 := Delay_DSTATE[0];

        (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
        u := 0.00437038592969 * u_states_e;

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
        FOR k := 0 TO 138 DO
            Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
        END_FOR;
        Delay_DSTATE[139] := 0.00037728729980593081 * u_states;
        (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
```

```

u_states := u - (-0.999622712700194 * u_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states_e := In1 - (-0.999578148076285 * u_states_e);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

A.2 Модуль ПД-регулятора

```

(*)
*
* File: E1_Model_SAU2.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "E1_Model_SAU2/ПД-регулятор,
дискретний"
*
* Model name                : E1_Model_SAU2
* Model version              : 1.142
* Model creator              : Kucherenko BV
* Model last modified by    : Master
* Model last modified on    : Fri Nov 17 21:31:02 2023
* Model sample time         : 0.1s
* Subsystem name            : Model_SAU2/ПД-регулятор,
дискретний
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 2.0 (R2013b) 27-Aug-2015
* ST code generated on      : Fri Nov 17 21:37:14 2023
*
* Target IDE selection       : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included        : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    Filter_DSTATE: LREAL;
    Integrator_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_FilterCoefficient: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
        Filter_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' *)
        Integrator_DSTATE := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Gain: '<S2>/Filter Coefficient' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter'
 * Gain: '<S2>/Derivative Gain'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S2>/SumD' *)
        rtb_FilterCoefficient := ((90.217627759279 * In1) - Filter_DSTATE) * 0.518288360147254;

        (* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator'
 * Gain: '<S2>/Proportional Gain'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S2>/Sum' *)
        Out1 := ((In1 + Integrator_DSTATE) + rtb_FilterCoefficient) * 0.217362512996498;

```

```
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
Filter_DSTATE := (0.1 * rtb_FilterCoefficient) + Filter_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S2>/Integral Gain'
 * Inport: '<Root>/In1' *)
Integrator_DSTATE := ((0.0026632094061399 * In1) * 0.1) + Integrator_DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
  SS_INITIALIZE: SINT := 0;
  SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```


ДОДАТОК Б ПЗ САК

Б.1 Програмне забезпечення керування

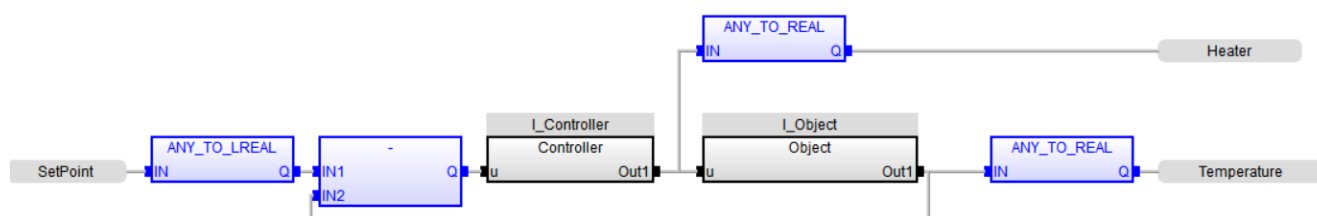
Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (* Основна програма *)

[ST] Controller (* Контролер *)

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

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Контролер. Користувачський функціональний блок

```
(* Gain: '<S2>/Filter Coefficient' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter'
 * Gain: '<S2>/Derivative Gain'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S2>/SumD' *)
rtb_FilterCoefficient := ((LREAL#90.217627759279 * In1) -
Filter_DSTATE) * LREAL#0.518288360147254;

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator'
 * Gain: '<S2>/Proportional Gain'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S2>/Sum' *)
Out1 := ((In1 + Integrator_DSTATE) + rtb_FilterCoefficient) *
LREAL#0.217362512996498;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
Filter_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_FilterCoefficient) + Filter_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S2>/Integral Gain'
 * Inport: '<Root>/In1' *)
Integrator_DSTATE := ((LREAL#0.0026632094061399 * In1) * LREAL#0.1) +
Integrator_DSTATE;
```

Б.1.4 Контролер. Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Out1 : LREAL ;
END_VAR
```

```

VAR
  Filter_DSTATE : LREAL ;
  Integrator_DSTATE : LREAL ;
  rtb_FilterCoefficient : LREAL ;
END_VAR

```

Б.1.5 Об'єкт керування. Користувацький функціональний блок

```

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

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
u := LREAL#0.00437038592969 * u_states_e;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
FOR k := 0 TO 138 DO
  Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[139] := LREAL#0.00037728729980593081 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
u_states := u - (LREAL#-0.999622712700194 * u_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6'
incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states_e := In1 - (LREAL#-0.999578148076285 * u_states_e);

```

Б.1.6 Об'єкт керування. Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
  u : LREAL ;
  u_states : LREAL ;
  u_states_e : LREAL ;
  Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 139] OF LREAL ;
  k : DINT ;
  i : DINT ;
END_VAR

```

ДОДАТОК В ПЗ НМІ-ІНТЕРФЕЙСУ

В.1 Драйвера

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

В.2 Перелік змінних

St...	Name	Identifi...	Measuri...	Net addr...	Data blo...	Offset	Bit n...	Alig...	Sym...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Temperature		°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Heater		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	SetPoint		°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive			0	0	0	0	0		Intern - Driver f...	BOOL	0	0

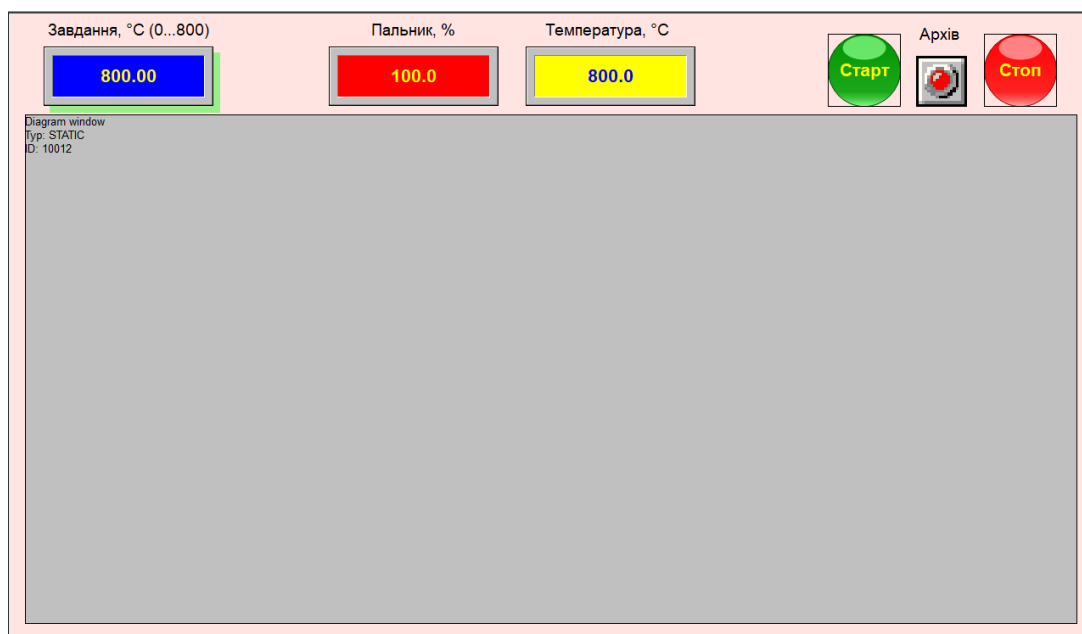
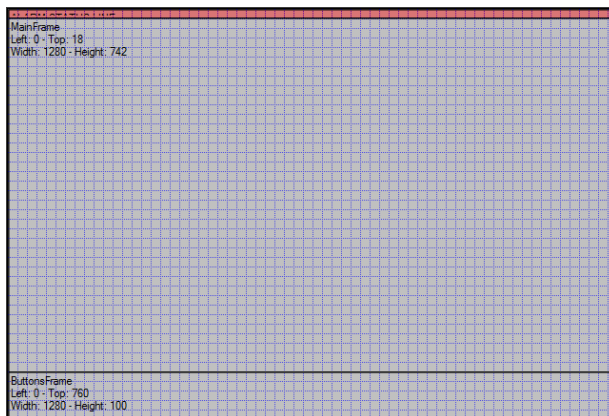
В.3 Шаблони зображень

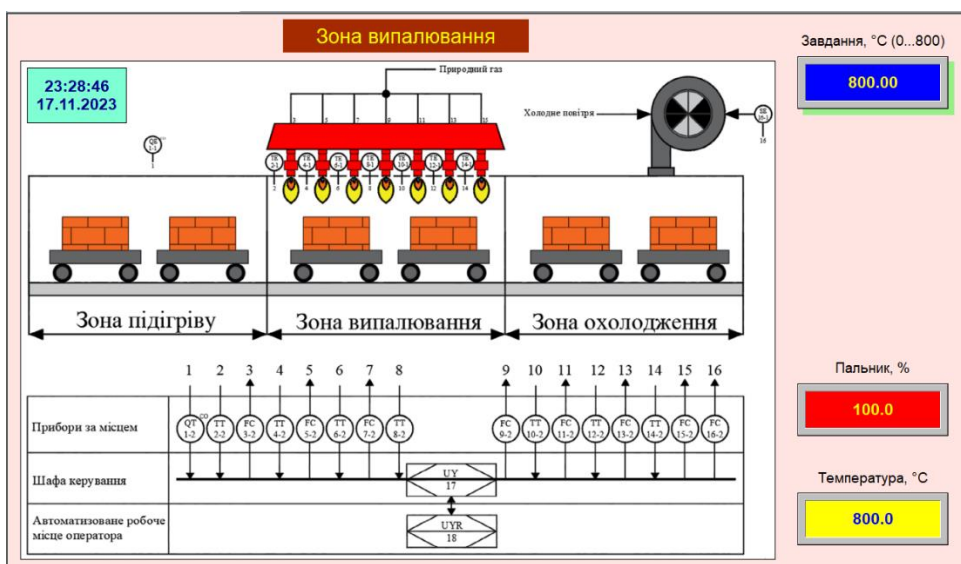
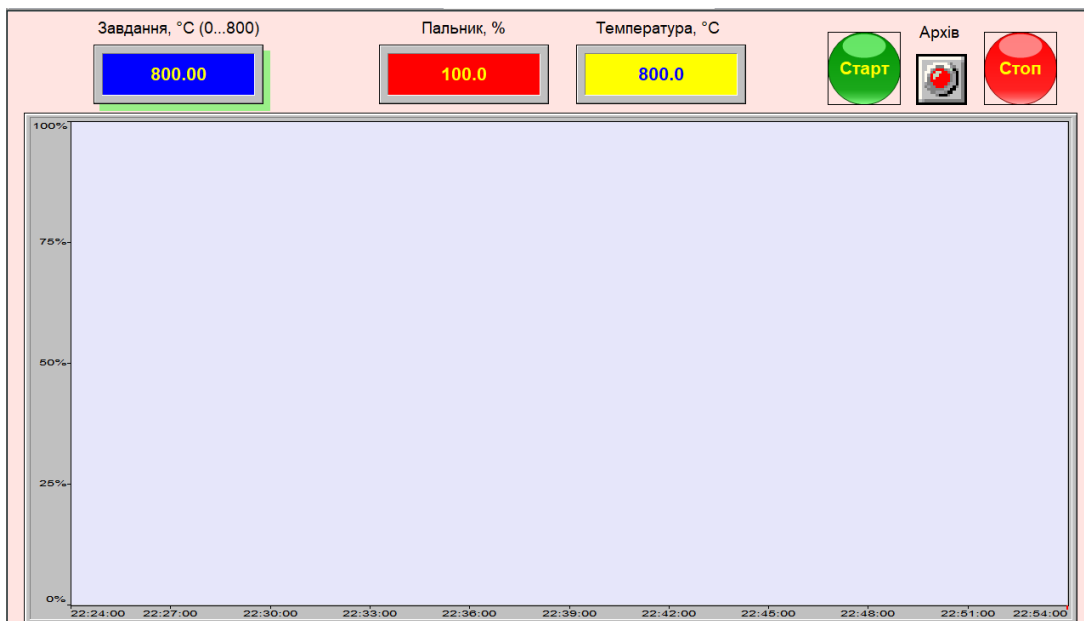
St...	Name	Screen type	Frame	Backgro...	Start functi...	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Screen_Trend	Extended ...	MainFra...	<input type="checkbox"/> #FFE	Function_...	< no fun...
	Screen_Schedule	Standard	MainFra...	<input type="checkbox"/> #FFE	Function_...	< no fun...
	Screen_Object	Standard	MainFra...	<input type="checkbox"/> #FFE	Function_...	< no fun...
	Screen_Buttons	Standard	ButtonsF...	<input type="checkbox"/> #FFE	< no fun...	< no fun...

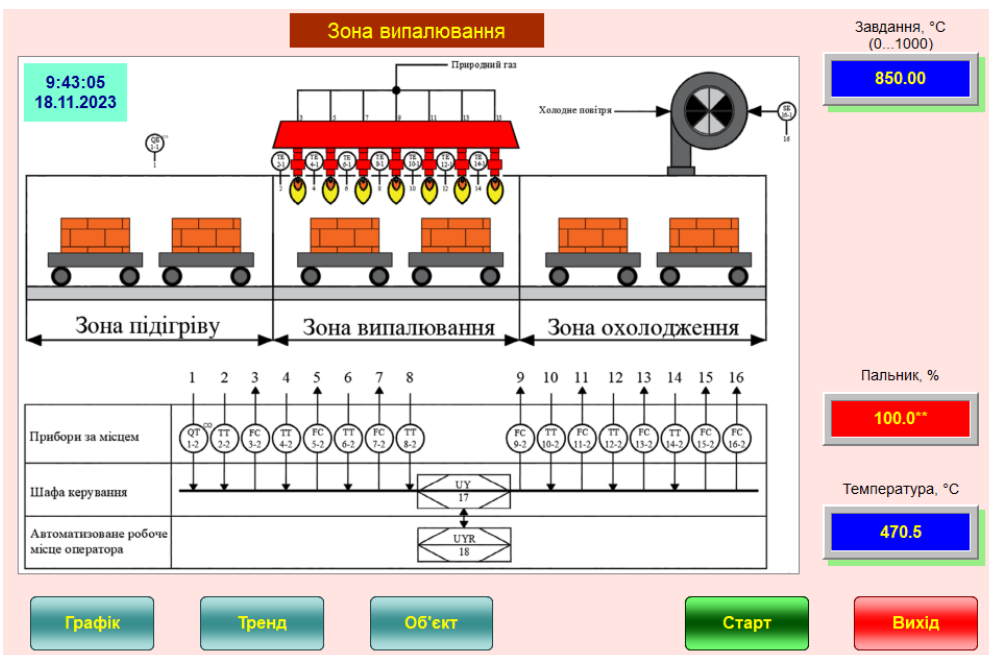
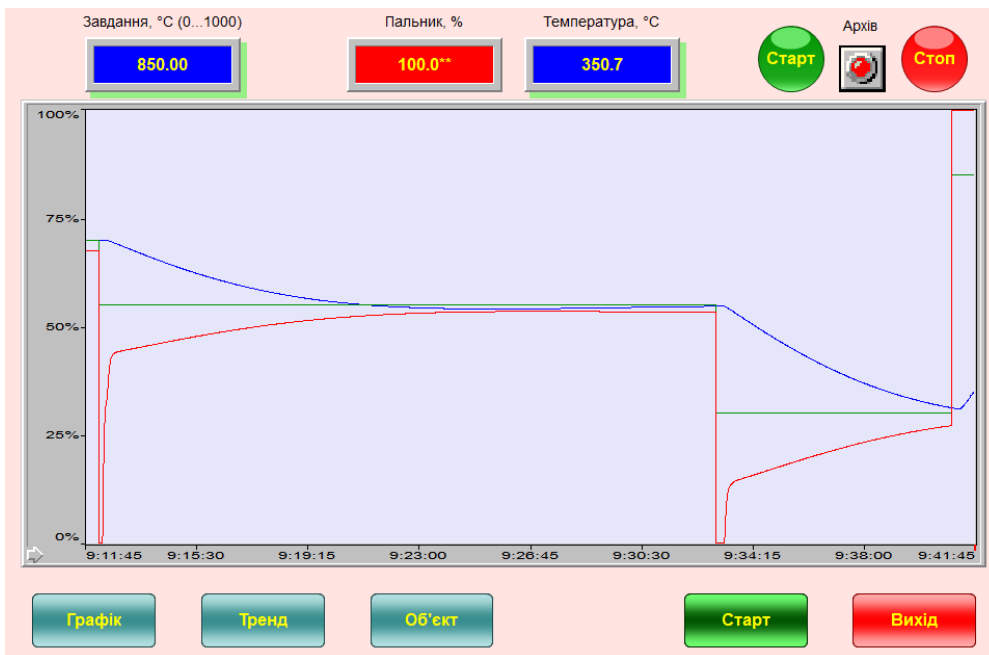
В.4 Функції

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

В.5 Зображення







ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

