

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІННІ Енергетики, Автоматики і Енергозбереження

УДК 004.8; 681.5

ПОГОДЖЕНО

Директор ІННІ

Енергетики, Автоматики і Енергозбереження

(назва факультету ІННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

А Автоматики та робототехнічних систем

(назва кафедри)

ім. акад. І.І. Мартиненка

Каплун Віктор Володимирович

(підпис)

(ПІБ)

2022 р.

Лисенко Віталій Пилипович

(підпис)

(ПІБ)

2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: Дослідження і вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою в печі сушіння друкарської машини 16 Pass Pin Oven (з використанням комплексу технічних засобів Siemens)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(код і назва)

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо – наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Коваль Валерій Вікторович

(підпис)

(ПІБ)

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи

кандидат технічних наук, доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Дудник Алла Олексіївна

(підпис)

(ПІБ)

Виконала

Кисляк Ольга Олегівна

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Автоматики та робототехнічних систем ім. акад. Ч.І. Мартиненка

доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь, вчене звання)

Лисенко Віталій Пилипович

(підпис)

(ПІБ)

2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТЦІ

Кисляк Ользі Олегівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(код і назва)

Магістерська програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: Дослідження і вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою в печі сушіння друкарської машини 16 Pass Pin Oven із використанням комплексу технічних засобів Siemens

затверджена наказом ректора НУБіП України від "01" лютого 2021 р. № 176 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Завдання кафедри на розробку магістерської роботи. Отримана інформація про систему автоматизації на підприємстві. Відповідна наукова література, що відповідає тематиці магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу
2. Дослідження об'єкта автоматизації
3. Вибір регулятора та обґрунтування його параметрів
4. Дослідження системи автоматизації
5. Схеми системи автоматизації
6. Техніко економічне обґрунтування

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи

(підпис)

Дудник А. О.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняла до виконання

(підпис)

Кисляк О.О.
(прізвище та ініціали студента)

НУБІП України

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ВМ – виконавчий механізм;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ОК – об'єкт керування;

САР – система автоматичного регулювання;

ПІД – пропорційно-інтегральний диференціальний;

ППП – пакет прикладних програм;

ПЧ – перетворювач частоти;

РКД – рідкокристалічний дисплей;

РО – регулюючий орган;

САК – система автоматичного керування;

ТП – технологічний процес;

SCADA – supervisory control and data acquisition

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В магістерській роботі проведено короткий аналіз існуючих систем та стан автоматизації у печі сушіння друкарської машини. Проведено дослідження печі сушіння, як об'єкта автоматизації та вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою.

Мета проекту – вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування задля мінімізації витрат на паливо та енергоресурси та підвищення ефективності виробництва.

Об'єкт проекту – процес автоматичного керування температурою в печі сушіння, який відіграє важливу роль у виробництві та вимагає високого рівня автоматизації.

Предмет проекту – комп'ютерно-інтегрована система керування температурою в печі сушіння та математична модель. Це має забезпечити високу точність і надійність системи.

Участь у конференціях:

Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», 7 жовтня 2021 року.

Посилання на збірник тез доповідей ІТОТП2021:

<https://drive.google.com/file/d/16cAw8dwRN2KGlr2O8QE-78u2qOHdTpZt/view>

IV Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція студентів і аспірантів «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 2021», 29 квітня 2021 року

Посилання на збірник наукових праць за матеріалами конференції:

<https://drive.google.com/file/d/1e77WfOOL5T86sbYmPKbeerO676kOvBV4/view>

Основний текст кваліфікаційної магістерської роботи викладений на 54 сторінках, робота містить 6 розділів, 43 рисунки, 5 таблиць, 11 додатків та 22 літературних джерела.

НУВБІП України	4
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	7
1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування	7
1.2. Опис технологічних норм та процесу	8
1.3. Створення функціональної схеми керування температурою в печі сушіння друкарської машини	16
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	19
2.1. Розроблення математичної моделі об'єкта керування	19
2.2. Дослідження математичної моделі об'єкта керування	23
РОЗДІЛ 3. Обґрунтування, вибір алгоритму керування об'єктом та вибір технічних засобів	26
3.1. Вибір сприймаючого елемента та виконавчого механізму	27
3.2. Вибір регулятора	30
3.3. Визначення допустимого періоду дискретизації	32
3.4. Визначення параметрів налаштування цифрового регулятора і аналіз якості перехідного процесу системи з ПІД-регулятором	32
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА ЙОГО ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ. SCADA-СИСТЕМА	36
4.1. Ідентифікація динамічних об'єктів за допомогою нейронних мереж	36
4.2. Формування навчальної множини	36
4.3. Ідентифікація за допомогою динамічної одношарової лінійної нейронної мережі прямого розповсюдження	37
4.4. Розроблення SCADA-системи	42
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	47
5.1. Вибір автоматичних вимикачів	47
5.2. Вибір магнітних пускачів	47
5.3. Вибір проводів керуючої мережі	48
5.4. Розробка електричних схем автоматизації	49
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ	50

ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування

Виробничий комплекс Can Pack має сучасну технічну базу, передові технології виробництва, новітнє обладнання [16]. Висока якість продукції забезпечується повністю автоматизованими лініями виробництва, а впровадження систем управління якістю та захисту навколишнього середовища поставило завод в один ряд з провідними компаніями цього типу в усьому світі.

Через дуже високі вимоги до якості та технічних параметрів матеріалів, Can Pack Group використовує матеріали найвищого класу. На вибір технології та матеріалів для виробництва банок і кришок, крім критеріїв якості та ціни, впливають і фактори навколишнього середовища - для виробництва лакофарбових матеріалів на водній основі, що дозволяє уникнути негативного впливу друку та лакування на навколишнє середовище.

Вироби, що випускаються на виробничих підприємствах Can Pack Group, призначені для використання в харчовій промисловості, перш за все вони використовуються виробниками напоїв [20].

Товариство з обмеженою відповідальністю CAN-PACK SA була заснована в Кракові в 1992 році як дочірня компанія Pol-Am-Pack SA створена для виробництва алюмінієвих банок для напоїв місткістю 330 мл і алюмінієвих кришок SOT 206. Штаб-квартира компанії розташована в Кракові, Польща. Український підрозділ Can-Pack запрацював 2003 року [19].

Група компаній Can-Pack пропонує широкий асортимент банок для напоїв. Банки пропонувані компанією виробляються з алюмінію. Вони призначені для розливу пива, газованих і енергетичних напоїв, соків і мінеральної води.

Естетика упаковки напою може бути додатково збагачена шляхом використання додаткових спеціальних ефектів. Одним з рішень є застосування для літографій банок спеціальних лаків і фарб, які дозволяють упаковці вигідно виділитися.

Головні замовники та споживачі продукції заводу ТОВ «Кен-Пак (Україна)» виробники пива та безалкогольних напоїв. Вони віддають перевагу алюмінієвій банці, бо та (крім уже переліченого) ще й ідеально охолоджує напій.

Баночка витримує тиск понад 6 атмосфер і навантаження до 115 кілограмів і з внутрішньої поверхні захищена спеціальним харчовим шаром, щоб напій не контактував з алюмінієвим сплавом.

На підприємстві ТОВ «Кен-Пак (Україна)» виконується технологічний процес, до якого входять наступні етапи: пресування кубків, витягування банки з кубка, встановлення висоти, промивання, нанесення захисного шару лаку на дно, нанесення літографії та зовнішнього лак, нанесення внутрішнього лаку, сушіння лаку, формування фланця банки, пакування готової продукції.

Одним з найбільш відповідальних і суворо контрольованих є процес контролю температурою в печі сушіння друкарської машини. Його і розглянемо.

Установка призначена для обробки сталевих банок для напоїв із зовнішнім покриттям вода/розчинник зі швидкістю виробництва 1900 СРМ. У табл.1.1 наведені основні критерії нашого агрегату.

Таблиця 1.1

Критерії агрегату

Кількість нагрівальних зон	2
Робоча температура	200/207 °С
Максимальна температура	230 °С
Паливо	Природний газ при 8900 Ккал / М
Електропостачання	380/240 В, 50 Гц, 3 фази (24 В постійного струму - датчики)

1.2. Опис технологічних норм та процесу

У дод. А.1 розглянуто контрольовані величини і їхнє відповідне значення при певному робочому навантаженні печі сушіння.

Піч сушіння 16-Pass Pin Oven друкарської машини (рис. 1.1) – це безперервна конвективна піч "прямого випалу" для гарячого сушіння, яка використовує 2 зони опалення та секцію охолодження.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд печі сушіння

Регулятор температури контролює температуру процесу, модулюючи потужність пального. На керуючий двигун від контролера надходять сигнали керування. Сам контролер буде налаштований відповідно до потреб.

Керуючий двигун модулює потужність пального за сигналом регулятора температури. Він механічно з'єднаний з клапаном управління паливом і активується пневматичною або електричною енергією.

Реле тиску повітря для горіння контролює необхідний тиск повітря для горіння і уникає запуску пального, якщо тиск не перевищує встановлений.

Клапан дозволяє не тільки регулювати співвідношення газ/повітря, але і регулювати зміщення (нульовий набір), що дозволяє здійснювати регулювання при менших співвідношеннях газ/повітря. Співвідношення газ/повітря 1:2.

Іскровий запальник запалює паливно-повітряну суміш дугою. Тому трансформатор живить запальник напругою від 8000 до 10000 В.

Кожна зона нагріву розрахована на час циклу 5,5 секунди при проектній швидкості виробництва 1900 СРМ. Зони 1 та 2 забезпечують достатнє висихання води та розчинників у покриттях, щоб залишити на банці тверду плівку. Охолоджувач дозволяє знизити температуру банки до керування різнів.

На рис. 1.2 зображено технологічну схему печі сушіння 16 Pass Pin Oven.

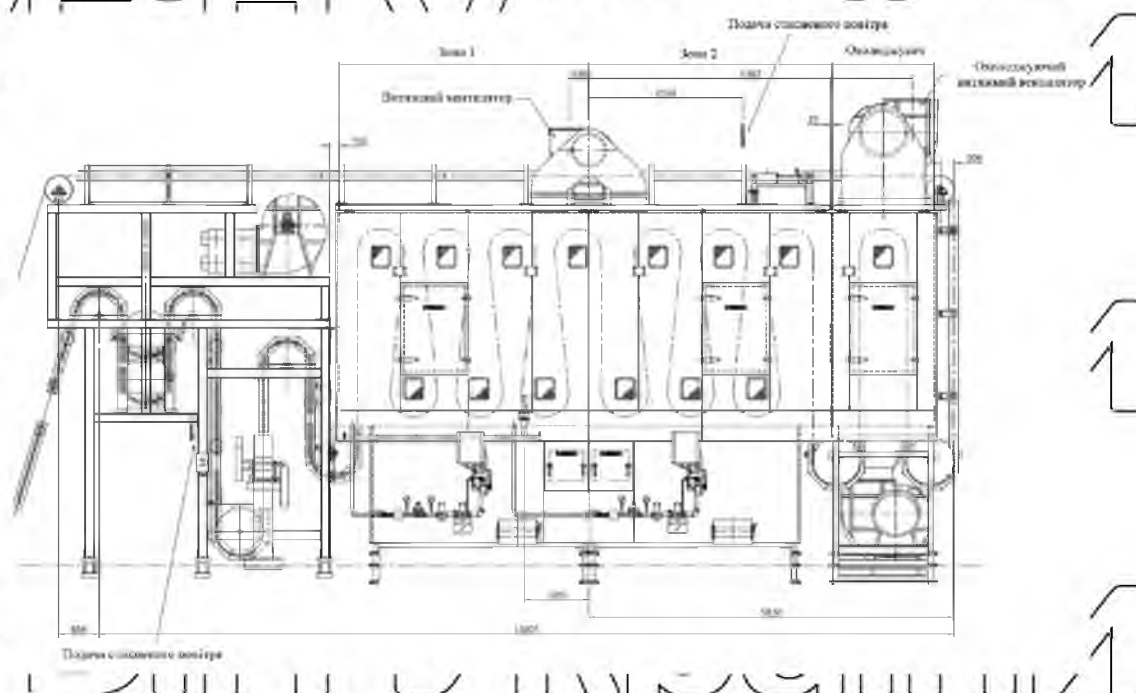


Рис. 1.2. Технологічна схема печі сушіння 16 Pass Pin Oven

Система розподілу повітря в 2-зонній опалювальній секції управляється двома відцентровими вентиляторами з прямою циркуляцією, які розподіляють повітря спочатку в напірну камеру / збору, потім через серію дифузорів до форсунок нагнітання, а потім пропускають через продукт / банок до робочої зони печі. Повітря проходить через пластину дифузора і повертається в камеру згоряння через зону повернення повітря в піч.

«Розрядні форсунки» забезпечують достатню кінетичну енергію для забезпечення швидкості теплопередачі до продукту (банки), що забезпечить достатню енергію/тепло для зовнішніх покриттів на банці.

Опалювальне обладнання

Кожну зону печі обігриває повністю автоматичний пальник Maxon Overpak - 432M, який має загальну теплову потужність 108 кВт і мінімальну відмову 20.

1. Кожен пальник включає подвійний пальник, блок підсилювача полум'я (Landis & Gyr LGK16), електромагнітні запірні клапани, повітродувку з фільтром, моторизований газорегулюючий клапан і запірний клапан [22].

Пальники забезпечують достатню кількість тепла для кожної зони, для забезпечення температурного режиму відповідно до технологічних вимог.

Повна установка складається з:

- Пальник MAXON
- Газопровід
- Система контролю та безпеки

Крани призначені для ручного відключення палива та інших робочих середовищ. Крани зазвичай встановлюються на вході в трубопроводи.

Витяжна система печі

У кожну зону горіння вбудований відцентровий вентилятор для видалення продуктів згорання та летких парів. Відпрацьоване повітря регулюється індивідуальними заслінками, що регулюються вручну. Загальна кількість відпрацьованого повітря контролюється за допомогою ручних регулюючих клапанів для зони 1 і зони 2, розташованих за межами топки, разом з регуляторами швидкості двигунів вентиляторів.

Обсяг витяжної системи розраховується на основі вимог безпеки димових газів та видалення розчинника на водній основі з продукту та незначного негативного тиску на вході та виході пристрою.

Охолоджувальна система

Зона охолодження забезпечує мінімум 1,5 секунди часу охолодження і містить два відцентрових вентилятора (повітрязабірники). Вентилятори сконструйовані та налаштовані так, щоб забезпечити мінімальний негативний тиск на входах і виходах зони.

Внутрішній повітропровід сконструйований аналогічно основному повітропроводу, використовуючи високошвидкісні вертикальні насадки для подачі холодного повітря до алюмінієвої тари.

Високошвидкісні повітряні форсунки також забезпечують краще та швидше охолодження, ніж стандартні охолоджувачі.

Вентилятори подачі повітря та витяжні вентилятори для охолоджувача керуються зовнішніми заслінками, що регулюються вручну, разом із прямим контролем зміни швидкості обертання двигунів вентиляторів, встановлених на етапі введення в експлуатацію.

Частотні перетворювачі

Системи вентиляції є надзвичайно потужним споживачем електроенергії, оскільки при запуску вентиляторів через великий момент інерції час запуску двигуна значно збільшується (час від моменту вмикання до виходу двигуна на номінальну частоту обертання), що викликає високі пускові струми великої тривалості (рис.1.3.а). Для зменшення споживання електроенергії використовуються частотні перетворювачі.

Перетворювач частоти складається з двох основних блоків. Перший перетворює змінний струм (50 або 60 Гц) у постійний. Другий перетворює постійний струм у змінний, але з частотою від 0 до 250 Гц. Керуючи частотою, ПЧ може регулювати швидкість двигуна у широких межах [2].

Стандартне комутаційне обладнання (автоматичні вимикачі, контактори, пускачі) не розраховане на роботу з тривалими перевантаженнями і зазвичай вимикає вентилятор під час запуску. Використання комутаційної апаратури із завищеним значенням допустимого струму погіршить захист двигуна. Комутаційне обладнання не відреагує на перевантаження електродвигуна, що виникло несподівано, через високі значення допустимого струму. Вирішити зазначені проблеми для запуску вентилятора можна лише використанням плавного пуску або перетворювача частоти.

Використання ПЧ або пристрою плавного пуску дозволяє зменшити пусковий струм і тим самим уникнути падіння напруги в мережі. Водночас зменшується пусковий крутильний момент та механічні впливи на обладнання, що знижує необхідність в обслуговуванні та ремонті.

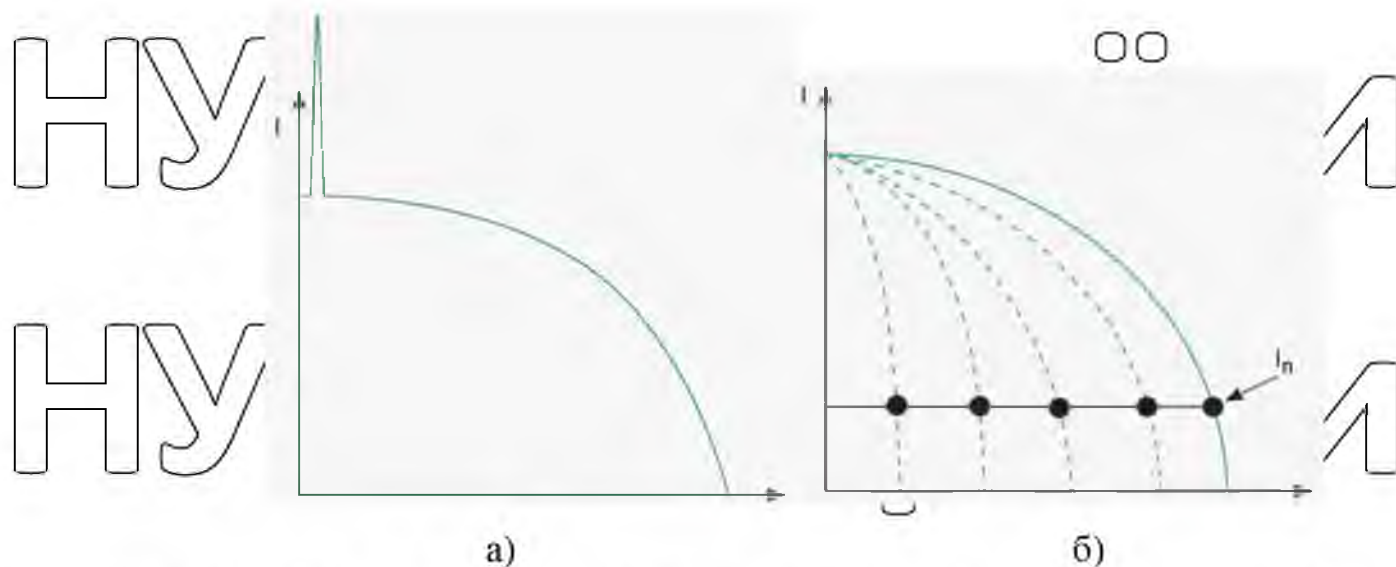


Рис. 1.3. Графік струму: а – за прямого пуску, б – під час запуску від ПЧ

Під час запуску ПЧ збільшує частоту від 0 Гц до частоти мережі (50 або 60 Гц). Завдяки поступовому збільшенню частоти можна вважати, що двигун

працює на своїй номінальній швидкості для цієї частоти. Крім того, оскільки

можна вважати, що двигун працює на своїй номінальній швидкості, номінальний крутильний момент доступний виразу, і струм буде приблизно рівним номінальному (рис. 1.4 б).

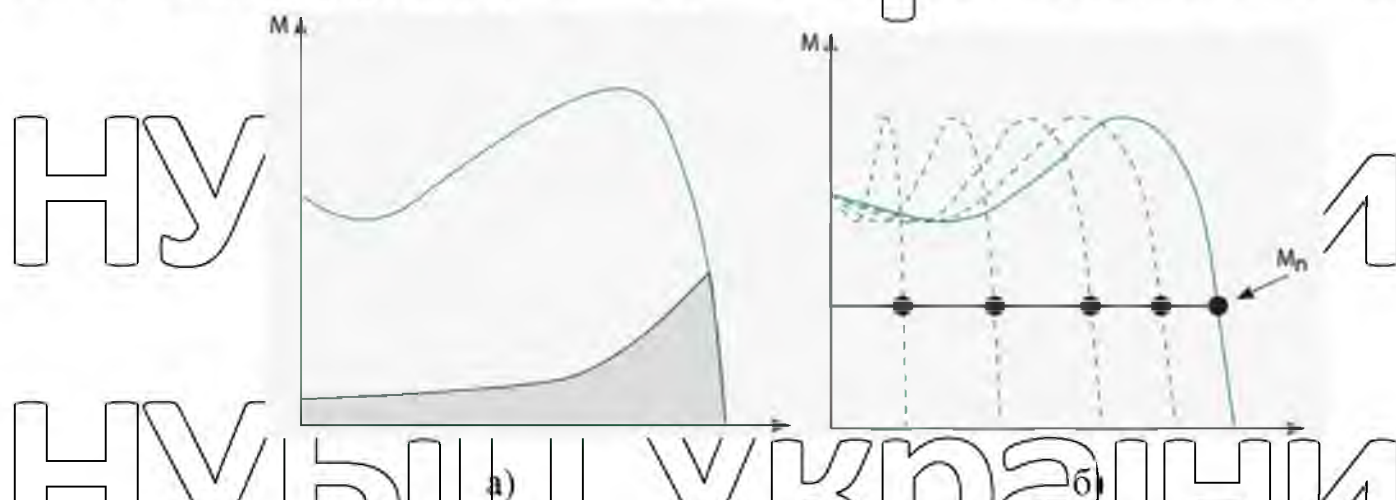


Рис. 1.4. Графік крутильного моменту: а – за прямого пуску, б – під час запуску від ПЧ

Використання ПЧ або пристрою плавного пуску дозволяє зменшити пусковий струм і тим самим уникнути падіння напруги в мережі. Водночас

зменшується пусковий крутільний момент та механічні впливи на обладнання, що знижує необхідність в обслуговуванні та ремонті.

У разі використання ПЧ можна запрограмувати декілька фіксованих швидкостей для роботи в різних режимах. Черемикання режимів роботи вентилятора може здійснюватися за зовнішнім сигналом системи управління.

Таке поєднання систем призводить до здешевлення систем вентиляції в цілому.

Гальмування ПЧ проводиться за допомогою зняття напруги. Такий спосіб не дозволяє відрегулювати гальмування двигуна. Більше того, сам процес за рахунок інерції розтягується на довгий час. Щоб уникнути всіх проблем,

застосовують динамічне гальмо. Відбувається це так: частотник подає постійну напругу по двох фазах електродвигуна, внаслідок чого виникає нерухоме магнітне поле. Обертання ротора сповільнюється. Тривалість процесу динамічного гальмування регулюють за рахунок напруги, що подається: чим воно вище, тим швидше зупиняється ротор.

Також частотники мають низку інших переваг:

- автоматична оптимізація енергоспоживання;
- адаптація до двигуна;
- моніторинг стану функціоналу;
- вбудований P_f-регулятор;
- режим сну, пожежний.

Набагато простіше керувати ПЧ на відстані, маючи під рукою пульт керування частотним перетворювачем, який може давати команди: запуску/зупинки двигуна, зміни частоти обертання. Дисплей відображає відомості про частоту, напругу, збої в роботі системи.

Перетворювач частоти Danfoss Basic Drive FC-101 (рис.1.5) високонадійний електронний пристрій, призначений для захисту асинхронного електродвигуна та оптимізації роботи механізмів.

Привод загального призначення створений для керування швидкістю обертання ротора електродвигуна змінного струму потужністю до 90 кВт [14].

Цей привод може бути використаний у рамках загальнообмінної вентиляції та вентиляції димовидалення



Рис.1.5. Перетворювач частоти Basic Drive FC-101

Він застосовується в простих схемах, в яких перетворювач розташовується в безпосередній близькості до електродвигуна. Він легко інтегрується в них і допомагає істотно заощадити електроенергію, підвищити ККД, продуктивність.

Схему основних підключень наведено на рис.1.6.

HVAC Basic Drive FC 101 призначений для роботи з електродвигунами невеликої потужності (до 90 кВт) в промисловості.

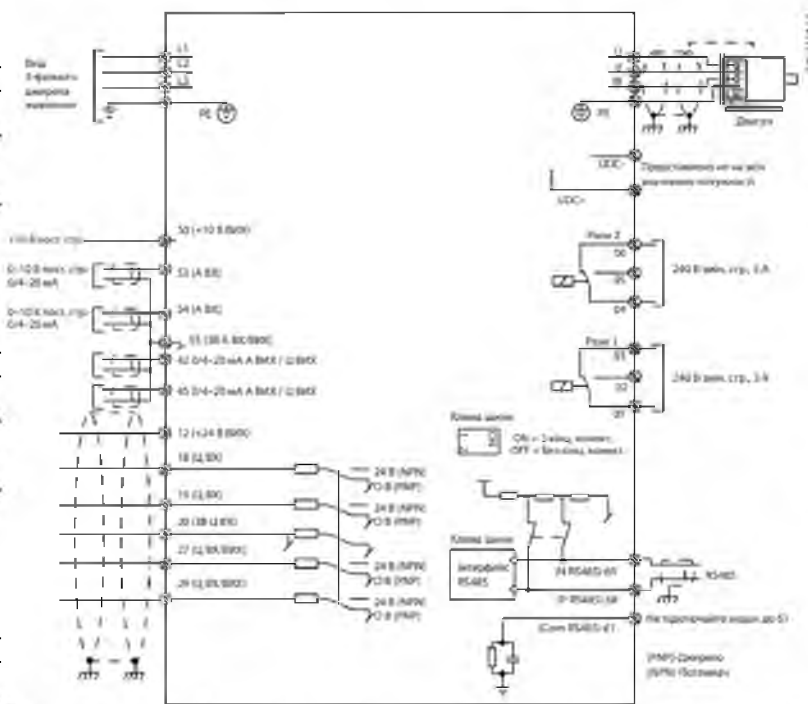


Рис.1.6. Креслення схеми основних підключень

1.3. Створення функціональної схеми керування температурою в печі сушіння друкарської машини

На рис.1.7. зображено функціональну схему автоматизації системи керування температурою в печі сушіння друкарської машини.

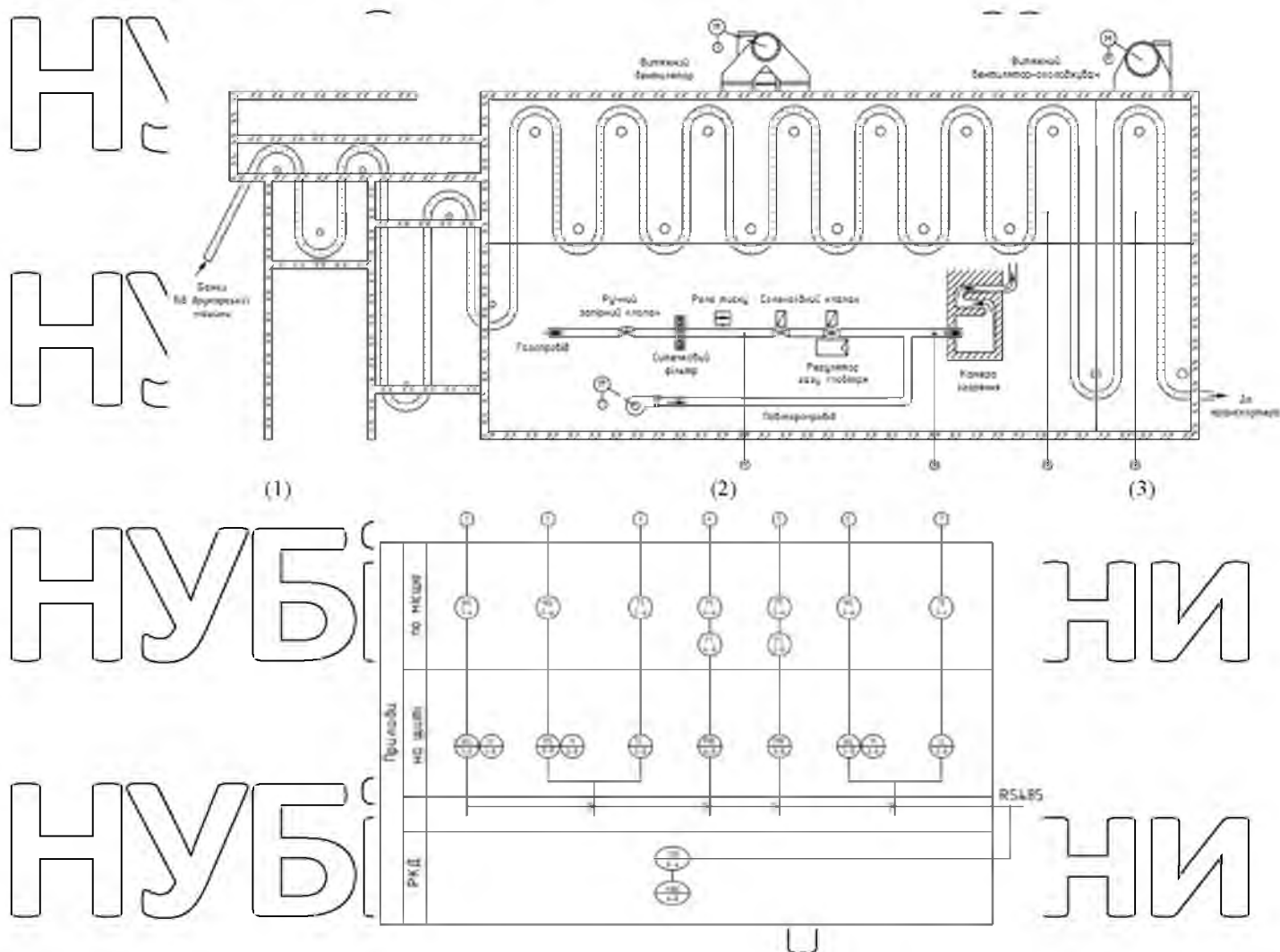


Рис.1.7. Функціональна схема автоматизації системи керування температурою в печі сушіння друкарської машини:

Н–ручне керування; NS–перемикач режиму роботи; NS–магнітний пускач; TE–датчик температури; PE–датчик тиску; TC–регулятор температури; PI–манометр; PIR–самописний манометр; YIR–рідкокристалічний дисплей; YIRC–сенсорна панель

Система керування температурою в печі сушіння друкарської машини складається із трьох контурів керування

1 – вхід до печі сушіння

2 – робоча область (камера печі)

3 – вихід із печі сушіння

Головним контуром є робоча область - камера (2). Його ми і розглядаємо.

Опис:

1. Автоматичне керування приводом вентилятора.

Перемикач режимів Harmony XB5AK123M5 поз.1-б дозволяє вибрати режим управління (ручний або автоматичний) приводу вентилятора.

У ручному режимі натискання кнопки «ПУСК» поз.1-а вмикається привід вентилятора магнітним пускачем поз.1-в, який почне працювати.

2. Автоматичне регулювання температури в печі.

Для регулювання температури в печі використовується термометр опору поз.2-г Honeywell 700-101BAA-B00, який підключається до регулятора поз.2-д, який подає 24 В на магнітний пускач АсКо УкрЕМ ПМ 1-12-10 поз.2-а, який вмикає витяжний вентилятор, який вмикається або вимикається для стабілізації температури повітря в топці.

Оператор вручну натисканням кнопки поз.2-в подає живлення магнітному пускачу поз.2-а, який запускає вентилятор, який стабілізуватиме температуру повітря.

3. Автоматичне регулювання температури на виході пічки.

Для регулювання температури на виході пічки використовується термометр опору поз.3-г Honeywell 700-101BAA-B00, який підключається до регулятора поз.3-д, який подає 24 В на магнітний пускач АсКо УкрЕМ ПМ 1-12-10 поз.3-а, який вмикає витяжний охолоджуючий вентилятор, який стабілізує температуру повітря на виході пічки.

Оператор вручну натисканням кнопки поз.3-в подає живлення магнітному пускачу АсКо УкрЕМ ПМ 1-12-10 поз.3-а, який вмикає витяжний охолоджуючий вентилятор, який стабілізує температуру повітря.

4. Автоматичне дистанційне вимірювання тиску палива.

Газопровід оснащений датчиком тиску поз.4-а, який посилає сигнал на манометр Wika 233.30.160 поз.4-б, який вимірює значення тиску і передає його, у вигляді уніфікованого струму, в діапазоні 0-5 мА, на манометр типу МТС-712-М1 поз.4-в, який реєструє значення тиску.

5. Автоматичне дистанційне вимірювання тиску газу.

Газопровід оснащений датчиком тиску поз.5-а, який посилає сигнал на манометр Wika 233.30.160 поз.5-б, який вимірює значення тиску і передає його, у вигляді уніфікованого струму, в діапазоні 0-5 мА, на манометр типу МТС-712-М1 поз.5-в, який реєструє значення тиску.

6. Ручне керування за допомогою РКД

Значення вимірюваних параметрів відображається на РКД поз.6.1.

Режим ручного керування реалізовано за допомогою РКД поз.6.1 та сенсорної панелі керування поз.6.2. Для цього в режимі реального часу за допомогою сенсорної панелі відкривається функція (меню) і система переходить в режим ручного керування. При цьому на РКД з'являється вікно з кнопками ручного сенсорного керування.

РОЗДІЛ 2. ПОВУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1. Розроблення математичної моделі об'єкта керування

Метою розділу є розроблення і дослідження математичної моделі ОК з урахуванням впливу параметрів керування та створення імітаційної моделі ОК на основі динаміки зміни параметрів керування. Після вивчення моделі отримуємо постійну часу об'єкта, обчислюємо затримку і знаходимо коефіцієнт передачі об'єкта [10].

При створенні математичної моделі припускаєм, що втрати тепла з поверхні печі сушіння в навколишнє середовище незначні в порівнянні з тепловими потоками, що переходять від теплоносія до продукту.

Отримавши передаточну функцію ОК з коефіцієнтами зможемо вибрати тип керування, отримати передатну функцію каналу керування з урахуванням вибраних датчиків, ВМ та регулятора.

Найважливішим параметром регулювання є температура повітря у печі сушіння.

Перехідний процес САР – це зміна в часі вихідної величини системи, коли на її вхід подано сигнал у вигляді одиничної східчастої функції Φ .

$$k(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \geq 0; \\ 0 & \text{при } t < 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

У початковий момент $t = 0$ система мала нульові початкові умови [5].

Щоб отримати математичну модель складемо схему теплових потоків (рис. 2.1.):

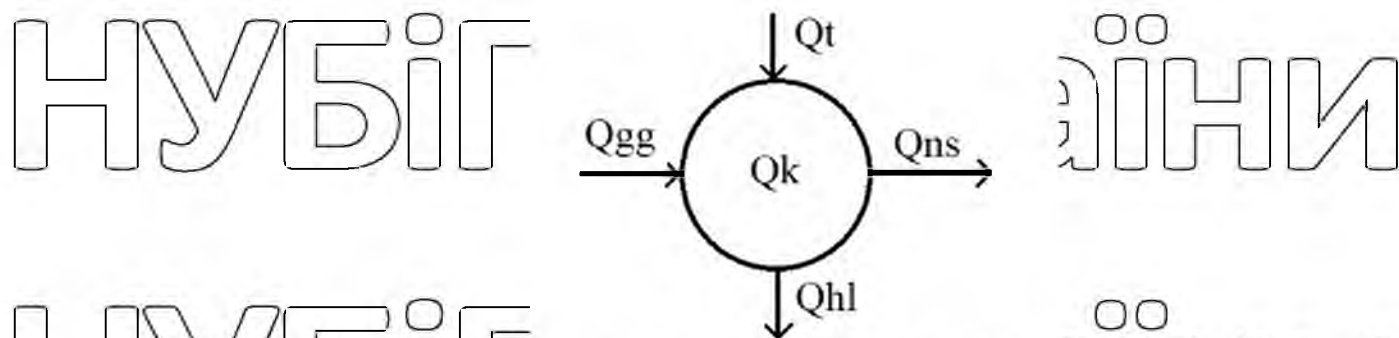


Рис. 2.1. Схема теплових потоків в печі

де: Q_t – тепло, що приходить з продуктом, Q_{hl} – тепло продукту після сушки, Q_{ns} – втрати тепла в навколишнє середовище, Q_k – тепло, що є в камері сушіння, Q_{gg} – тепло, що надходить від спалюваного газу.

Складаємо рівняння теплових балансів:

$$Q_k = V_k \times \rho_{пов} \times c_{пов} \times t_k, \quad (2.2)$$

$$Q_{ns} = F_k \times K \times (t_k - t_{зов}), \quad (2.3)$$

$$Q_t = G_t \times C_t \times t_t, \quad (2.4)$$

$$Q_{hl} = G_{hl} \times C_{hl} \times t_{hl}, \quad (2.5)$$

$$Q_{gg} = \left(\frac{(V_{gaz} + V_{пов}) \times \rho_{газ} \times c_{газ}}{3600} \right) \times G_{gg} \times t_k, \quad (2.6)$$

де: V_k – об'єм камери 24,64 м³;

$\rho_{пов}$ – щільність повітря 0,865 кг/м³;

$c_{пов}$ – теплоємність повітря 1030 Дж/кг·°С;

F_k – площа камери 8,33 м²;

K – коефіцієнт тепловіддачі мінеральної вати з якої зроблено ізоляцію 0,045 Вт/м²·°С;

t_k – температура в печі 200°С;

$t_{зовн}$ – зовнішня температура 23°С;

G_v – витрати вологого матеріалу 0,09 кг/с;

C_t – теплоємність вологого матеріалу (фарба, лак) 2350 Дж/кг·°С;

t_t – температура вологого матеріалу 23°С;

G_{hl} – витрати сухого матеріалу 0,09 кг/с;

C_{al} – теплоємність алюмінієвої тари 880 Дж/кг·°С;

t_{hl} – температура алюмінієвої тари 160°С.

Складаємо рівняння теплового балансу для печі:

$$V_k \times \rho_{pov} \times c_{pov} \times \frac{dt_k}{dt} = \left(\frac{(V_{gaz} + V_{pov}) \times \rho_{dg} \times c_{dg}}{3600} \right) \times G_{gg} \times t_k + \\ + G_t \times (C_t \times t_{zovn} - C_{hl} \times t_k) - F_k \times K \times (t_k - t_{zovn}) \quad (2.7)$$

Постійна часу об'єкта по температурі визначається з рівняння:

$$T = \frac{V_k \cdot \rho \cdot C_{al}}{\alpha \cdot F} \quad (2.8)$$

Де V_k – об'єм камери печі сушіння, м³, ρ – густина повітря, кг/м³, C_{al} – теплоємність алюмінієвої тари, α – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м², F – площа камери м².

Час запізнення рахуємо, як час проходження палива від регулюючого органу до камери печі сушіння, де V_w – об'єм труби, с.

$$\tau_z = \frac{V_w}{V_g} \quad (2.9)$$

де V_w – об'єм плівки води на поверхні ємності молока, м³, V_g – об'ємні витрати палива, м³/с.

В результаті отримуємо, що динамічна характеристика камери печі сушіння по каналу «витрати палива – температура алюмінієвої тари» може бути виражена передатною функцією:

$$W_{OK}(s) = \frac{K}{Ts+1} \times e^{-\tau s} \quad (2.10)$$

де K – коефіцієнт передачі об'єкта; T – постійна часу об'єкта, с; τ – час запізнення, с.

Виконуємо розрахунок параметрів передатної функції печі сушіння в середовищі MathCad. В результаті буде знайдено час запізнення та стала часу об'єкта. Розрахунки наведено в дод. Б.1.

Для побудови розгінної характеристики об'єкта керування використовуємо програмний пакет Simulink. На рис.2.2. наведено схему імітаційної моделі камери печі сушіння.

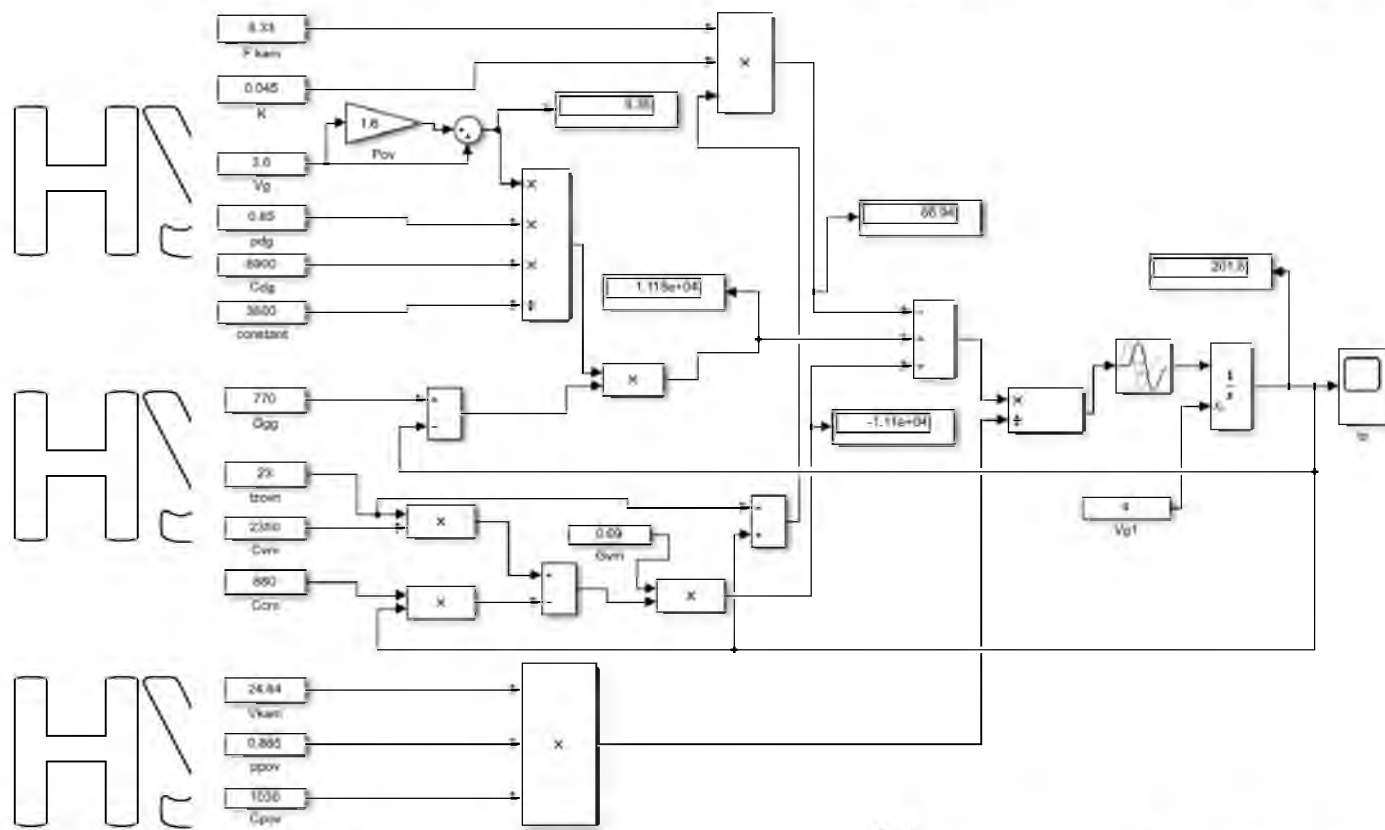


Рис. 2.2. Схема імітаційної моделі камери печі сушіння в блоках Simulink

MATLAB

Отримано розгінну характеристику промислового об'єкта (рис.2.3).

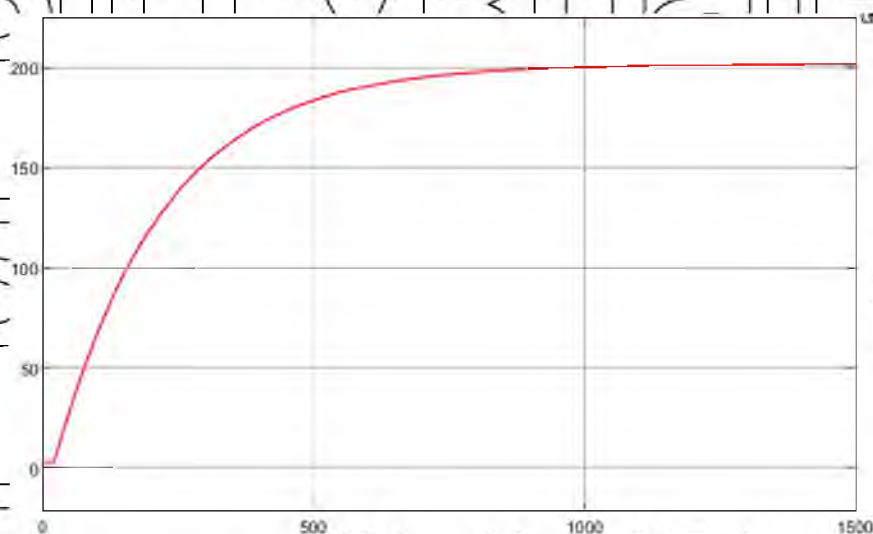


Рис. 2.3. Розгінна характеристика об'єкта керування в Simulink

В результаті проведеного імітаційного моделювання ми можемо знайти коефіцієнт передачі нашого об'єкта. При зміні витрат палива з 770 до 1000 м³/год, $\Delta G_{gg} = 230$ м³/с. Температура у робочій області печі сушіння збільшилась з 200,4 °С до 245,7 °С, $\Delta t_k = 45,3$ °С. Таким чином коефіцієнт передачі об'єкта дорівнює:

$$K = \frac{\Delta G_{gg}}{\Delta t_k} = \frac{(245,7 - 200,4)}{(1000 - 770)} = \frac{45,3}{230} = 0,2 \quad (2.11)$$

За отриманими даними виводимо передатну функцію об'єкта керування:

$$W_{OK}(s) = \frac{0,2}{375s+1} \times e^{-25s} \quad (2.12)$$

2.2. Дослідження математичної моделі об'єкта керування

Для підтримання температури в камері сушіння 200 °С витрачається 770 м³/год палива при зовнішній температурі 23 °С. Зменшуючи зовнішню температуру побачимо як змінюється температура в камері сушіння. Графік залежності температури в камері сушіння від зовнішньої температури показано на рис.2.4.

$$t_z := (23 \ 21 \ 19 \ 17 \ 15)^T$$

$$t_p := (200,2 \ 196,1 \ 191,9 \ 187,7 \ 183,4)^T$$

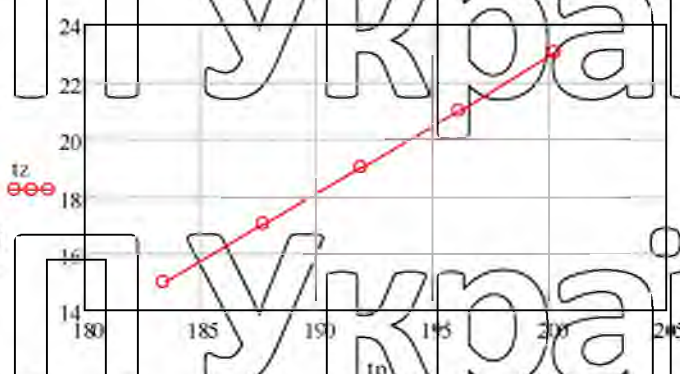


Рис.2.4. Залежність температури в камері сушіння від зовнішньої температури

Як бачимо, температура в камері сушіння зменшується, при зменшенні зовнішньої температури.

Щоб підтримувати температуру в камері сушіння $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно збільшувати витрати палива. На рис.2.5. зображено графік залежності витрат палива від зовнішньої температури.

$$t_z := (23 \ 21 \ 19 \ 17 \ 15)^T$$

$$G := (770 \ 792 \ 812 \ 833 \ 856)^T$$

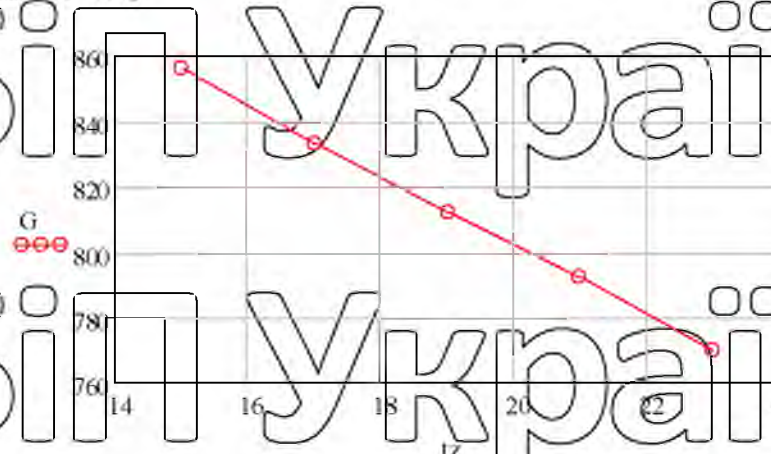


Рис.2.5. Залежність витрат палива від зовнішньої температури, для підтримання температури в камері сушіння $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Також для підтримання температури в камері сушіння $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ можна безпосередньо збільшувати об'єм природного газу. Графік залежності об'єму природного газу від зовнішньої температури наведено на рис.2.6.

$$V_p := (4.14 \ 4 \ 3.87 \ 3.73 \ 3.6)^T$$

$$t_z := (15 \ 17 \ 19 \ 21 \ 23)^T$$

$$t_p := (200.4 \ 200.3 \ 200.4 \ 200.2 \ 200.4)^T$$



Рис.2.6. Залежність об'єму природного газу від зовнішньої температури, для підтримання температури в камері сушіння $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Визначимо залежність температури від витрат палива:

$$i = 0..4$$

Витрати палива:

$$G_i = (330 \ 470 \ 570 \ 670 \ 770)^T$$

Температура при таких витратах:

$$t = (121.7 \ 141.3 \ 161 \ 180.7 \ 200.4)^T$$

$$A = \begin{bmatrix} \sum G_i^5 & \sum G_i^4 & \sum G_i^3 \\ \sum G_i^4 & \sum G_i^3 & \sum G_i^2 \\ \sum G_i^3 & \sum G_i^2 & \sum G_i \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \sum G_i t_i \\ \sum G_i t_i^2 \\ \sum G_i \end{bmatrix}$$

$$a := A^{-1} \cdot B$$

$$a^T = (-252.9049 \ 5.1416 \ -0.0002)$$

$$f_u(t) := a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2$$

Середньоквадратична похибка рівняння:

$$\delta_{sk} = \sqrt{\frac{\sum (G_i - f_u(t_i))^2}{n}}$$

$$\delta = 0.09$$

Графік залежності температури від витрат палива зображено на рис.2.7.



Рис. 2.7. Залежність температури від витрат палива з похибкою 0,09 м³/год

Досліджена у роботі імітаційна модель печі сушіння друкарської машини

дозволяє проводити дослідження систем керування без ризику значних економічних втрат.

РОЗДІЛ 3. Обґрунтування, вибір алгоритму керування об'єктом та вибір технічних засобів

Динамічні властивості ОК дозволяють розробникам систем автоматизації на етапі проектування визначити алгоритм керування. Для цього слід проаналізувати співвідношення між постійною часу та часом затігання [3].

В залежності від співвідношення τ/T вибираємо алгоритм:

- $0,2 \leq \frac{\tau}{T} \leq 1$ – лінійний алгоритм керування;

- $\frac{\tau}{T} < 0,2$ – позиційний алгоритм керування;

- $\frac{\tau}{T} > 1$ – імпульсний алгоритм керування.

Класичний аргумент вибору, крім забезпечення належних фізично реалізованих характеристик регулятора, - зменшити високочастотний шум.

$\frac{\tau}{T} = \frac{25}{375} = 0,067$ – обираємо лінійний алгоритм керування.

Загальний запис стандартного лінійного закону регулювання є відомий пропорційно-інтегрально-диференціальний закон:

$$y(t) = C_1 \cdot x(t) + C_2 \cdot \int_0^t x(t) dt + C_3 \cdot \frac{dx(t)}{dt} + y_0, \quad (3.1)$$

Коефіцієнти C_1, C_2, C_3 показують вагу кожної зі складових.

Пропорційна складова стабілізує потенційно нестійку систему. Інтегральна складова виключає похибку регулювання. Диференціальна складова збільшує швидкість реагування системи на зміни швидкості зміни похибки керування.

Змінюючи співвідношення між C_1, C_2, C_3 можна надавати регулятору ті або інші властивості, так щоб задовольнити вимогам якості регулювання об'єктів.

Передатна функція ПІД-закону регулювання:

$$W_{\text{пер}}^{\text{ПІД}}(p) = K_{\text{пер}} + \frac{K_{\text{пер}}}{T_i \cdot p} + K_d \cdot p. \quad (3.2)$$

В неперервному часі вихід ПІД-регулятора обчислюється за допомогою наступної формули:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (3.3)$$

де K_p — пропорційний коефіцієнт, T_i — час інтегрування, T_d — час диференціювання, $u(t)$ — вихідний сигнал керування, $e(t)$ — похибка регулювання.

Параметри K_p , T_i та T_d дозволяють різними шляхами збільшити продуктивність системи.

ПІД-закон регулювання має найбільшу гнучкість і може відповідати вимогам щодо якості регулювання реальних об'єктів.

3.1. Вибір сприймаючого елемента та виконавчого механізму

При виборі датчика температури в першу чергу звертаємо увагу на діапазон температурних змін відповідно до технічних умов, які має забезпечити проєктована система.

Діапазон регулювання температури в печі складає 185...220 °С. Для цього діапазону обираємо датчик температури Honeywell 700-101BAA-B00 межі вимірювання (див. табл. 3. 1.) складають -70...+500 °С.

Таблиця 3. 1
Характеристика датчика Honeywell 700-101BAA-B00

Тип	R_0 , Ом	α , °С ⁻¹	Діапазон вимірювання °С	Показник інерційності
700-101BAA-B00	100	0,003850	-70...+500	3с.

Зовнішній вигляд датчику Honeywell 700-101BAA-B00 представлено на

рис. 3. 1.



Рис. 3. 1. Зовнішній вигляд датчику Honeywell 700-101BAA-B00

$$W_{CE}(s) = \frac{0.1}{3 \cdot s + 1} \quad (3.4)$$

Регулюючі органи використовуються для контролю постачання (видалення) речовини або енергії до об'єктів регулювання з метою зміни регульованого параметра. А типом протікаючої речовини, або енергії РО ділять на пневматичні, гідравлічні й електричні. Вхідною координатою РО є переміщення штока або розворот золотника, вихідна координата – прохідний перетин I , або витрата W робочого середовища під дією перепаду тиску Δp .

В роботі вентилятор виконує роль виконавчого механізму.

Електропривод – це електромеханічний пристрій для електрифікації та автоматизації робочих процесів. У загальному випадку електропривод складається з перетворювача, електродвигуна, передавального та керуючого пристроїв. У деяких випадках електропривод може не мати перетворювача і передавального пристрою.

Електропривод повинен якісно забезпечувати нормальний перебіг технологічного процесу з розрахунковою продуктивністю робочої машини та високою економічною ефективністю. Коректний електропривод слід вибрати за наступними вимогами:

• найбільш повна відповідність електроприводу характеристикам приводу робочої машини;

• максимальне використання потужності двигуна під час роботи;

• відповідність елементів електроприводу умовам навколишнього середовища;

• відповідність електропривода параметрам електромережі, від якої він живиться;

• прийнятний зовнішній вигляд, зручність і безпека експлуатації.

Виходячи із технологічної вимоги швидкість повітря повинна становити

приблизно 5 м/с. Шеретин повітропроводу складає 0,87 м². Розраховуємо необхідну продуктивність вентилятора:

$$Q_{\text{роз}} = V_{\text{пр}} \cdot S_{\text{шт}} = 5 \cdot 0,87 = 4,35 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.5)$$

Виходячи із цієї умови обираємо вентилятор WOKS Ø800 (табл.3.2.).



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд вентилятора

Таблиця 3.2

Технічні характеристики вентилятора WOKS Ø800

Показник	Величина
Частота обертів лопатей, об/хв	920
Продуктивність max, м ³ /с	5,2
ККД вентилятора, %	85
Повний тиск, Па	170

Для приводу вентиляторів, як правило, використовують трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором.

Двигуни робочих механізмів та установок вибирають за напругою, струмом, частотою обертання, умовами навколишнього середовища, характером та величиною навантаження.

Підбираючи електродвигуни за частотою обертання, слід стежити за тим, щоб швидкість двигуна була максимально наближена до швидкості робочих механізмів.

Вихідні дані для вибору:

$$P = 1,5 \text{ кВт}; n_H = 1000 \text{ об/хв}$$

Обираємо електродвигун Siemens 1LE1002-1AC42-2AA4-Z D22 (рис.3.3.) з такими технічними характеристиками: $P_{н.об} = 1,5 \text{ кВт}$; $n_{н.об} = 1000 \text{ об/хв}$; $I_{н.об} = 3,9 \text{ А}$; $\eta_{н.об} = 74\%$; $\cos\varphi_{н.об} = 0,81$.



Рис. 3.3. Асинхронний електродвигун Siemens 1LE1002-1AC42-2AA4-Z

Передатна функція електродвигуна приводу вентилятора має вигляд:

$$W_{зм}(s) = \frac{0.63}{0.08 \cdot s + 1} \quad (3.6)$$

3.2. Вибір регулятора

Згідно з вибраним алгоритмом керування обираємо цифровий ПД-регулятор фірми Siemens (рис.3.4.), технічні характеристики якого наведено у табл.3.3.



Рис.3.3. Регулятор Siemens RWF55.50A9

Siemens RWF55.50A9 – це універсальний цифровий регулятор, використовується в основному для регулювання температури котла та тиску пари в установках, що працюють на рідкому паливі або газі.

RWF55 може застосовуватися як компактний 3-позиційний контролер ступінчастої дії без зворотного зв'язку або як контролер безперервної дії з аналоговим виходом. Вбудована термостатична функція вмикає та вимикає паливник [21].

Таблиця 3.3

Технічні характеристики регулятора

Показник	Величина
Структури контролера	P/Pi/PD/PID
Номинальна напруга	110...240 В
Споживаний струм	Макс. 20 ВА
Ступінь захисту	Передня панель IP66 Задня панель IP20
Робоча температура	-20...+50 °C
Діапазон вимірів	-200...+850 °C
Відносна вологість	не більше 95%
Порт	RS-485

3.3. Визначення допустимого періоду дискретизації

При проектуванні цифрової системи керування виникають питання, які необхідно обмежувати частотою квантування. Зі збільшенням частоти квантування збільшується точність керування цифровою системою, але зростає навантаження на мікропроцесор. Оскільки частота квантування зменшується, важлива інформація про сигнал втрачається, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу з дискретних вибірок.

Відомо, що найнижча частота квантування повинна бути щонайменше $2\omega_c$, де за ω_c приймається найвища суттєва частота у спектрі безперервного сигналу. Оскільки амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, то при заданій точності відтворення сигналу ми можемо вважати, що він має обмежений спектр[4]. Цю межу спектра ω_c визначають за формулою:

$$|W_{\text{зм.н.ч.}}| \leq \theta_{\text{зад.}}. \quad (3.7)$$

Оскільки частота квантування $\omega_s = \frac{2\pi}{T_c}$ і повинна виконуватись нерівність $\omega_s \geq 2\omega_c$, то допустимий період квантування визначатиметься за формулою

$$T_c \leq \frac{\pi}{\omega_c}. \quad (3.8)$$

Неперервний сигнал може бути описаний із заданою точністю своїми значеннями, виміряними у дискретні моменти часу з інтервалом T_c .

Розрахунок допустимого періоду дискретизації наведено у дод. В.1.

Приймаємо час квантування $T_c = 5$ с.

3.4. Визначення параметрів налаштування цифрового регулятора аналіз якості перехідного процесу системи з ПІД-регулятором

У відповідності до вибраного алгоритму регулювання визначається дискретна передатна функція цифрового ПІД-регулятора:

$$W_{\text{рв.}}(z) = K_p + \frac{K_I T(z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_D(z-1)}{Tz} \quad (3.9)$$

Структурна схема цифрового ПИД-регулятора наведена на рис.3.4.

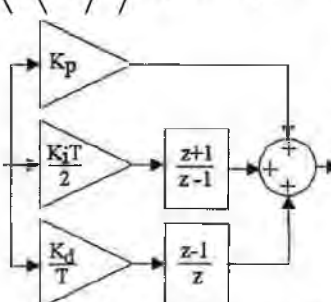


Рис.3.4. Структурна схема цифрового ПИД-регулятора

Функціонально-структурна схема являє собою схему розташування окремих елементів САК, представлених прямокутниками і розташованих відповідно до дії один на одного. [13]. Структурно-функціональну схему автоматизації системи керування температурою в печі сушіння друкарської машини зображено на рис.3.5.

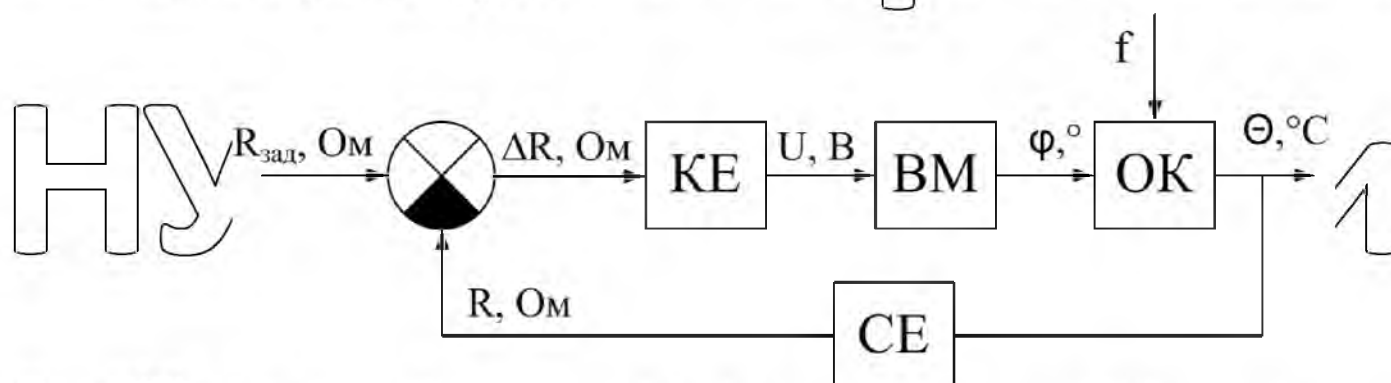


Рис.3.5. Структурно-функціональна схема автоматизації системи керування температурою в печі сушіння друкарської машини: KE – регулятор (цифровий контролер Siemens); BM – виконавчий механізм (Siemens); ОК – об'єкт регулювання (піч сушіння); CE – сприймаючий елемент (термометр опору); $R_{зад}$, Ом – задане значення; ΔR – різниця між заданим і реальним значенням; U , В – напруга регулювання; ϕ , град. – кут повороту; Θ , °С – вихідна температура; R , Ом – опір датчика

На сучасному етапі розвитку автоматизації основним видом регуляторів стають цифрові. Для визначення їх параметрів налаштування можна застосовувати аналітичні графічні методи. При необхідності аналізу процесів у самому цифровому

регуляторі, при дослідженні впливу періоду квантування та дискретного характеру сигналів на динамічні характеристики цифрової системи. Більш точним буде метод синтезу регулятора у Z-перетворенні [17].

У нашому випадку розглядається методика розрахунку параметрів регулювання цифрового ПІД-регулятора при апроксимації неперервної частини системи другого порядку у вигляді послідовного з'єднання двох інерційних ланок:

$$W_{nv}(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (3.10)$$

Із розрахунку параметрів налаштування цифрового ПІД-регулятора наведено у дод. В.2, маємо параметри настройки ПІД-регулятора:

- $K_p = 908$;
- $\frac{K_i \cdot T}{2} = 71$;
- $\frac{K_d}{T} = 454$.

Створюємо модель цифрової системи з ПІД-регулятором в середовищі MATLAB/Simulink (рис. 3.6) та будуємо перехідний процес системи з ПІД-регулятором (рис. 3.7.а) та без нього (рис.3.7.б).

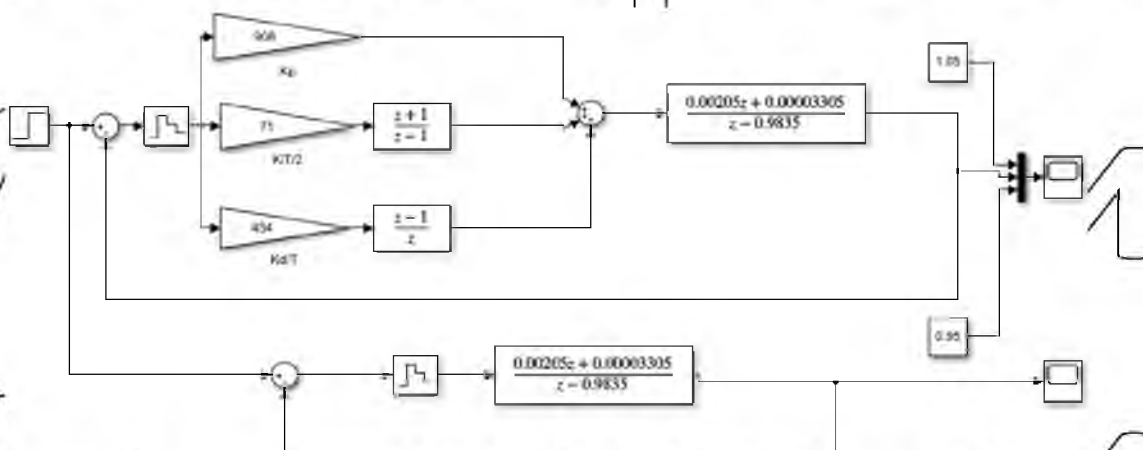


Рис. 3.6. Simulink-модель цифрової системи з ПІД-регулятором

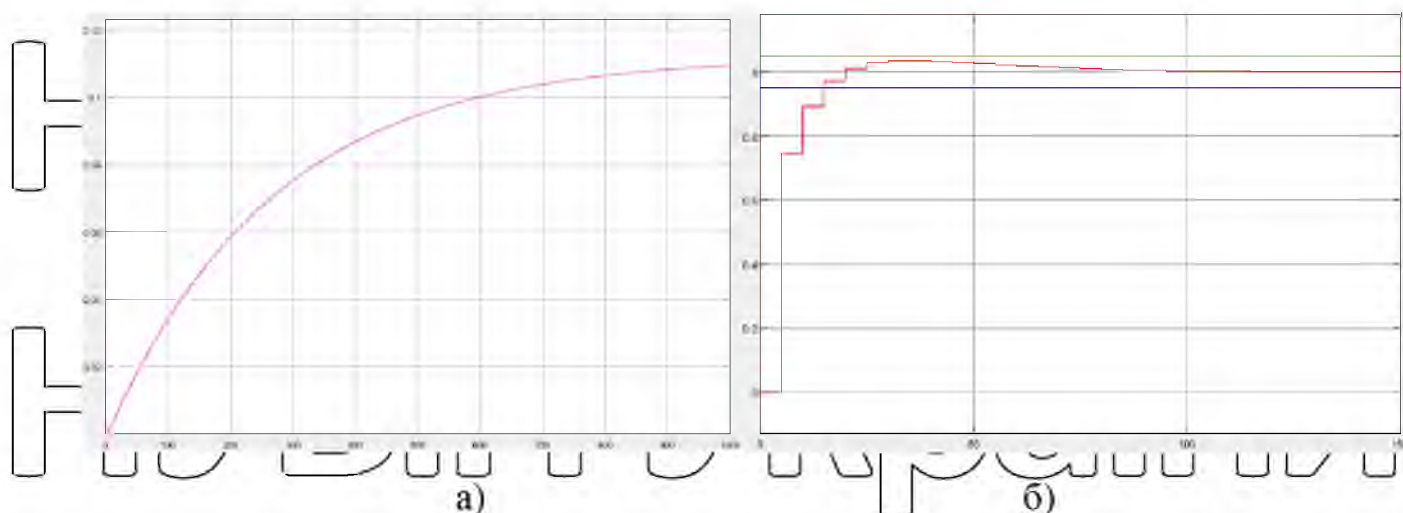


Рис. 3.7. Перехідний процес цифрової системи: а – без регулятора, з ПІД-регулятором

Показники якості системи з ПІД-регулятором:

1) Статична похибка:

$$\delta = X_{\text{зад}} - X_{\text{уст}} = 1 - 1 = 0. \quad (3.11)$$

2) Час регулювання:

$$t_p = 100\epsilon.$$

3) Перерегулювання:

$$\sigma = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{уст}}}{X_{\text{уст}}} \times 100\% = \frac{1.036 - 1}{1} \times 100\% = 3.6\%. \quad (3.12)$$

4) Коливальність:

$$n = 0$$

ПІД-регулятор – найбільш ефективний і поширений вид регулятора, забезпечує досить високу точність при управлінні різними процесами.

Відсутність статичної похибки обумовлене наявністю інтегральної складової. Завдяки підключенню диференційної складової ПІД-регулятор досягає покращенню динамічної якості регулювання.

Для ефективної роботи регулятора необхідно коректно підібрати значення його коефіцієнтів. За завданням $t_p < T_{\text{ок}}$; $\sigma < 20\%$; $\delta < 0,01$, $n=0$. Видно, що показники якості повністю задовільняють наші вимоги, тому коефіцієнти ПІД-регулятора обрані вірно, що дозволяє його використання на практиці.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА ЙОГО ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ. SCADA-СИСТЕМА

4.1. Ідентифікація динамічних об'єктів за допомогою нейронних мереж

Ідентифікацію динамічних об'єктів за допомогою нейронних мереж розглянемо на прикладі об'єкта управління, що описується ланкою першого порядку із запізнюванням [12]:

$$W_0(p) = \frac{k_0 \cdot e^{-\tau_0 s}}{T_0 s + 1} \quad (4.1)$$

де: k_0 - коефіцієнт передачі об'єкта; T_0 - постійна часу об'єкта; τ_0 - час чистого запізнювання.

$$W_0(p) = \frac{0.02 \cdot e^{-25s}}{375s + 1} \quad (4.2)$$

Для ідентифікації динамічного об'єкта будемо застосовувати динамічну одношарову лінійну нейронну мережу. Як критерій для порівняння моделей між собою й для оцінки їхньої адекватності об'єктові будемо використовувати інтегральний квадратичний критерій.

Оскільки динамічний об'єкт є неперервним, а нейронні мережі, що його відтворюватимуть, є дискретними, постає питання про вибір такту дискретності (кроку дискретизації) нейронних мереж.

4.2. Формування навчальної множини

З метою дослідження впливу кроку дискретизації на якість динамічної нейромережної моделі об'єкта створимо нейронну мережу з тактом дискретності 5 с. Такт дискретності нейронної мережі повинен відповідати кроку дискретизації навчальних послідовностей. Для формування навчальних послідовностей у ШП Simulink зберемо схему, що наведена на рис. 4.1.

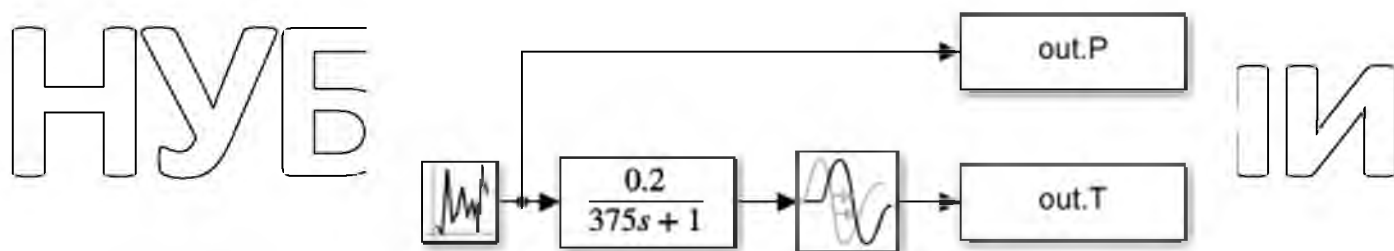


Рис. 4.1. Схема для формування навчальних послідовностей

4.3. Ідентифікація за допомогою динамічної одношарової лінійної нейронної мережі прямого розповсюдження

Для створення й навчання лінійної одношарової нейронної мережі скористаємось GUI-інтерфейсом `NNTool`, що «викликається» у результаті виконання однойменної команди в командному вікні системи `MATLAB`:

```
>> nntool;
```

Як тип нейронної мережі вибираємо `Linear layer (train)` / Лінійний шар (навчання) і задаємо наступні параметри: діапазони вектора входу (`input ranges`); кількість нейронів (`number of neurons`); вектор затримки входу (`input delay vector`); швидкість навчання (`learning rate`)[6].



Рис. 4.2. Створення нейронної мережі за допомогою команди `nntool`

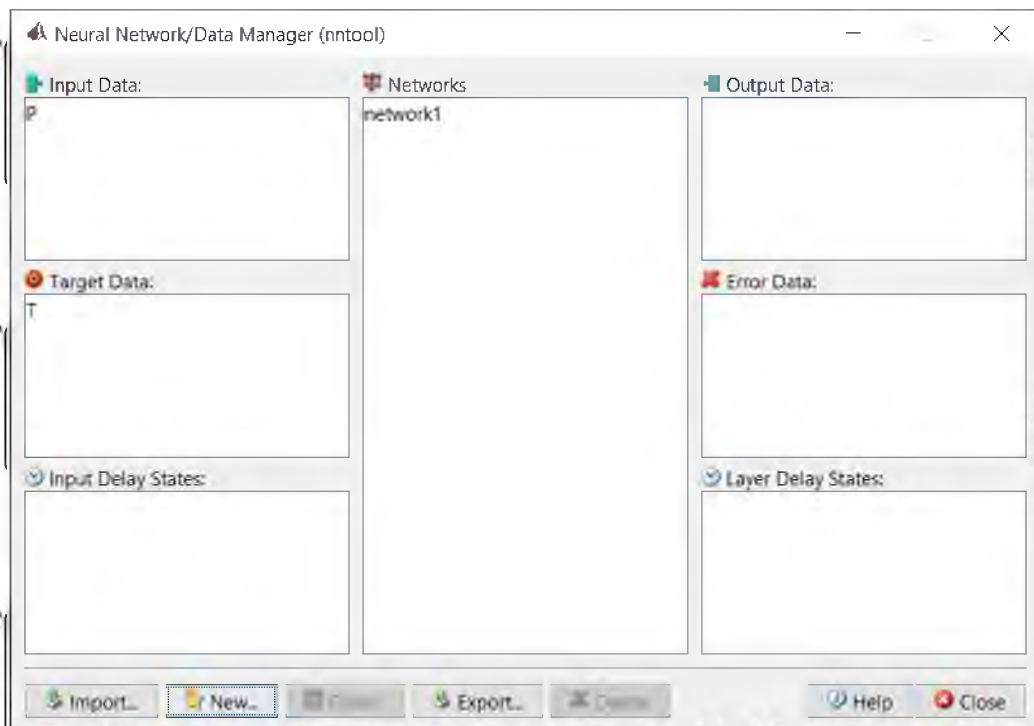


Рис. 4.3. Вікно Network Data Manager

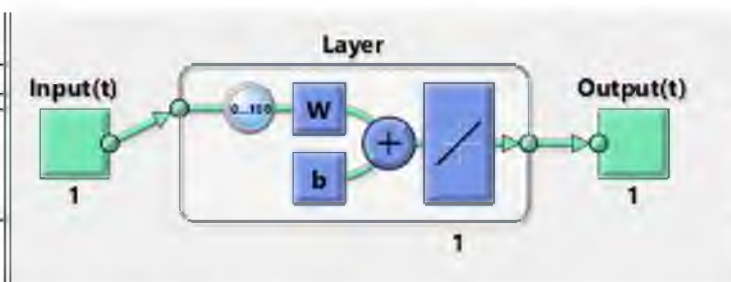


Рис. 4.4. Структура радіальної базисної нейронної мережі: P - вектор входу; $W\{1\}$ - матриці ваг першого шару; $b\{1\}$ - зсув першого шару; T - вектор виходу

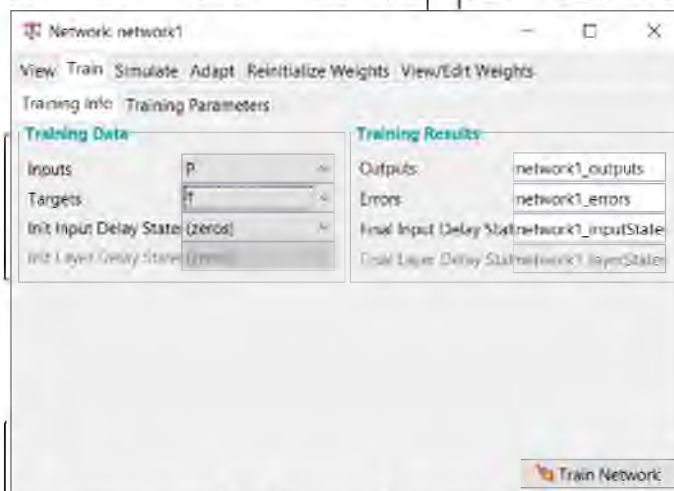


Рис. 4.5. Вікно Training Info (Інформація про навчальні послідовності)

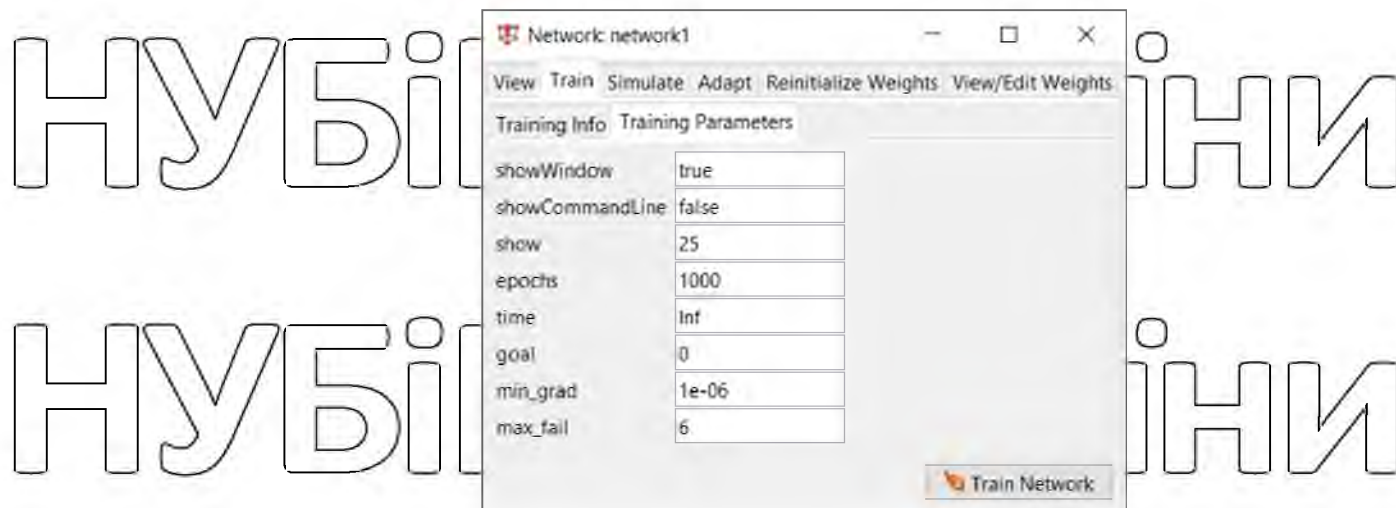


Рис. 4.6. Вікно Training Parameters (Параметри навчання)

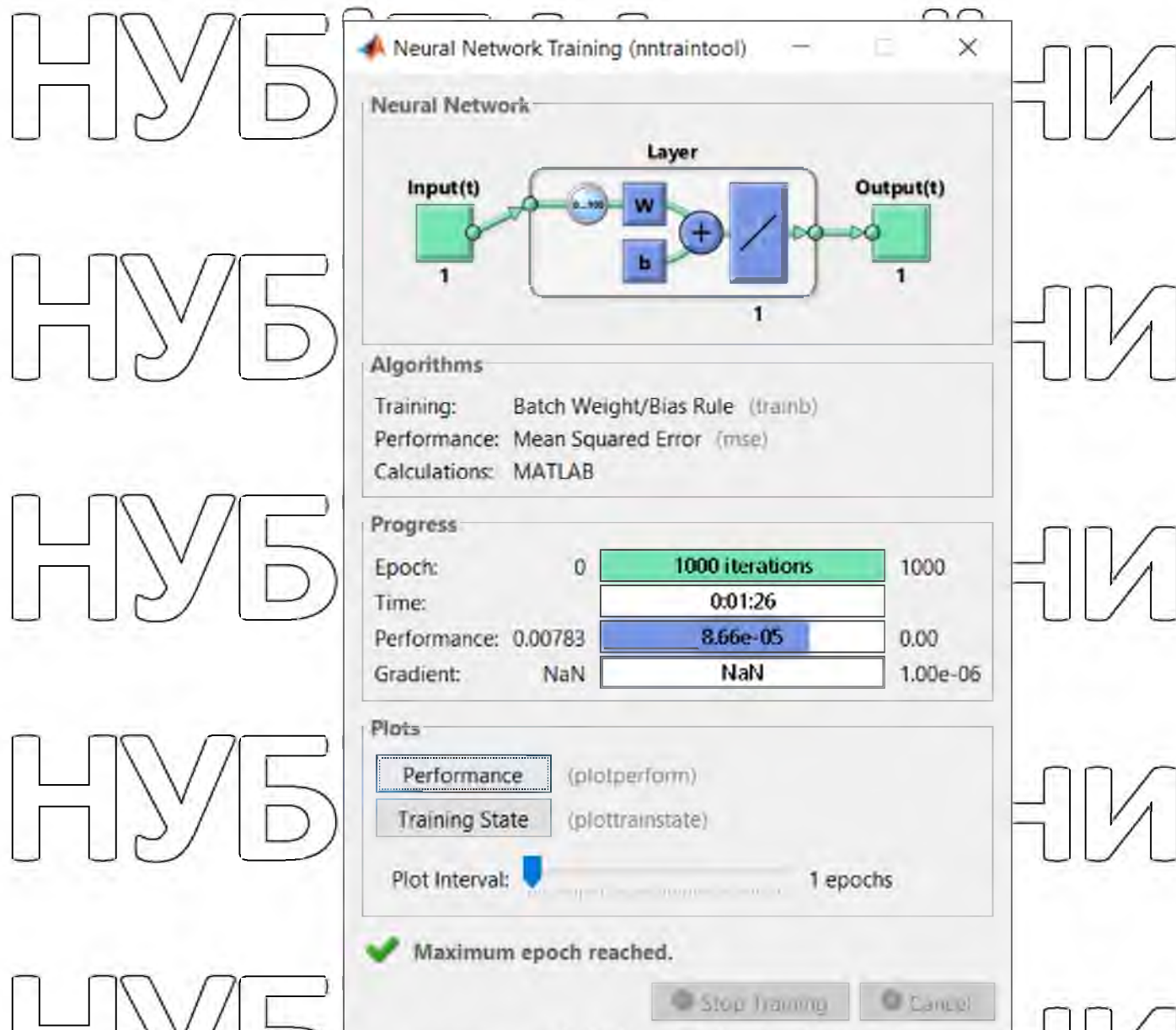


Рис. 4.7. Тестування нейронної мережі й аналіз точності ідентифікації

На рис. 4.8 наведено графік зміни помилки в залежності від числа виконаних циклів навчання.

Цей графік будується автоматично при виконанні функції `train`.

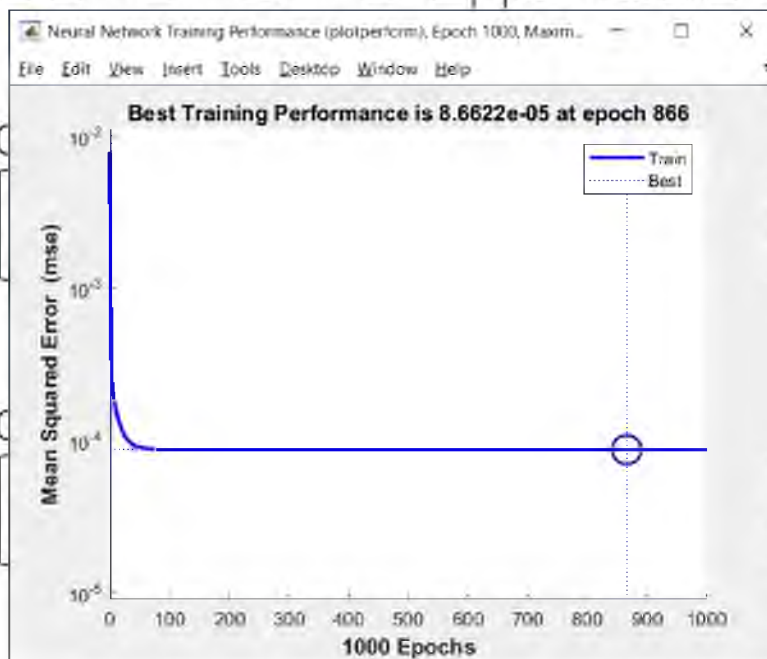


Рис. 4.8. Графік зміни помилки в залежності від числа виконаних циклів навчання.

Спочатку розглянемо ідентифікацію об'єкта (4.2) за допомогою динамічної одношарової лінійної нейрони прямого розповсюдження.

Навчену нейронну мережу експортуємо в робочу область MATLAB і формуємо їїні S-моделі, використовуючи функцію `gensim(net, TS)`. Оскільки створені нейронні мережі є дискретними, значення параметра `TS` при формуванні S-моделі призначаємо рівним такту дискретності мережі. Для тестування нейромережних моделей варто використати схему, наведену на

рис. 4.9

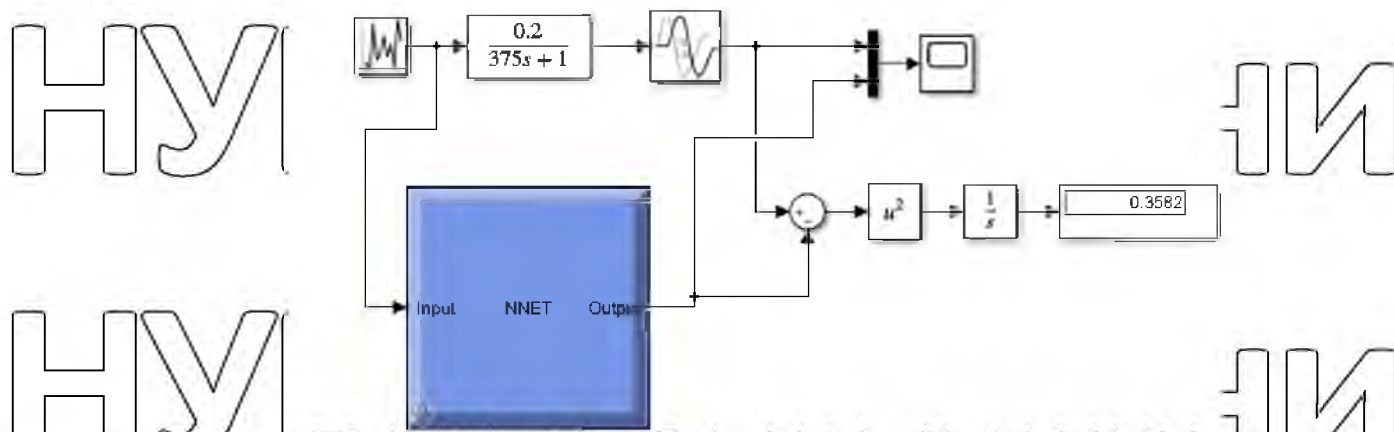


Рис. 4.9 Схема для тестування динамічних нейромережних моделей

На рис.4.10. ми можемо побачити результати ідентифікації нашого об'єкту за допомогою нейронної мережі.

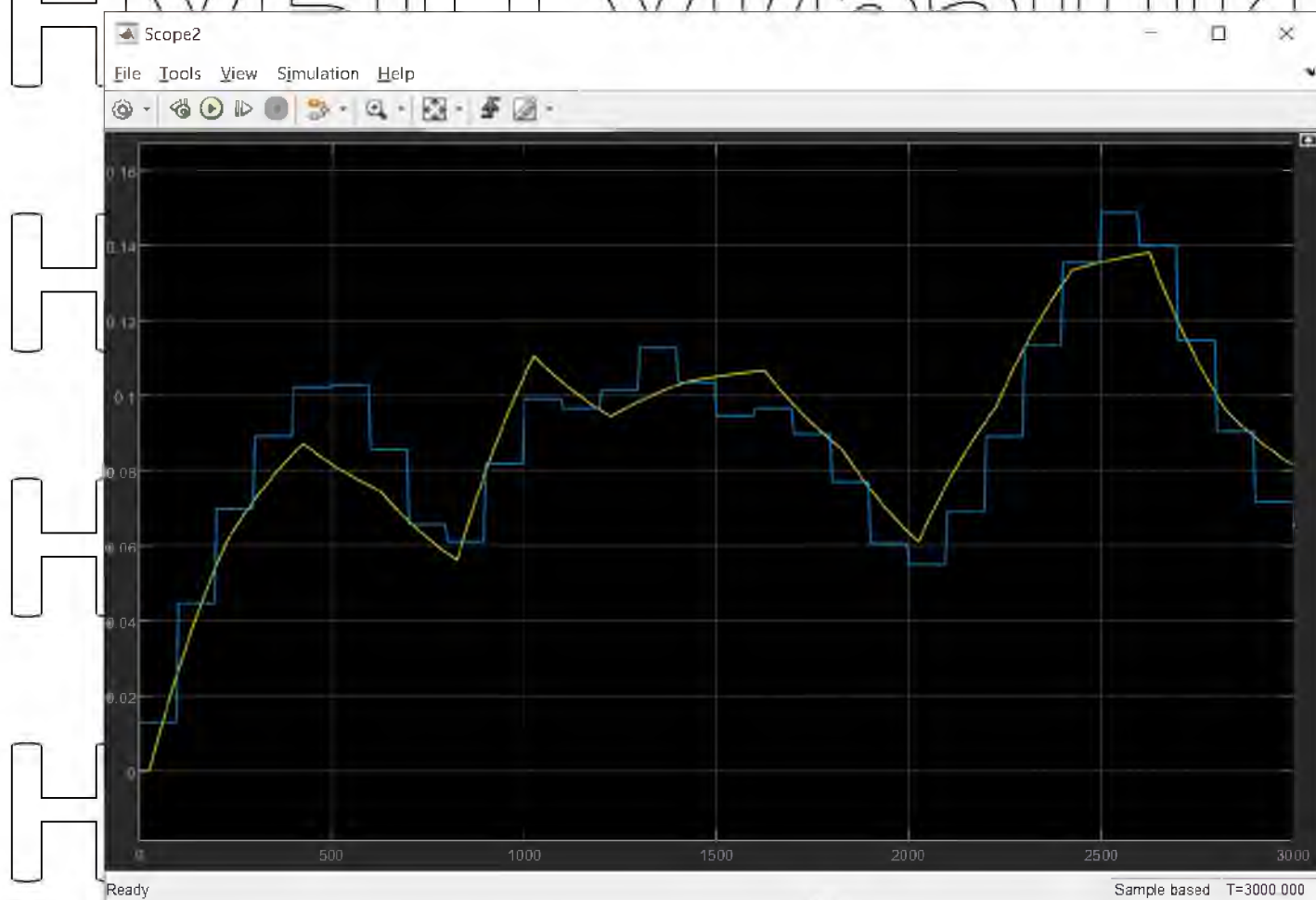


Рис. 4.10. Результати ідентифікації динамічного об'єкту за допомогою динамічної одношарової лінійної нейронної мережі з тактом дискретності 5 с та глибиною лінії затримки на 100 тактів

Нейронні мережі підвищують точність рішення та знижують його суб'єктивність, прискорюють процеси прийняття рішень. Дозволяють досягнути кращої якості роботи та продукції, отримати економічний ефект від їх впровадження, дають можливість самостійно й автоматично навчатися на основі вибірок. Нейронна мережа може виступати чудовим доповненням системи автоматизації, так як є ефективним інструментом для обробки великих баз даних.

4.4. Розроблення SCADA-системи

SCADA – супервізорний контроль і збір даних, система керування і моніторингу, що містить програмне забезпечення та інструменти оператора, які взаємодіють один з одним через глобальні мережі [9].

Використовуючи системи SCADA, організації можуть керувати своїми промисловими процесами локально або дистанційно та безпосередньо взаємодіяти з такими частинами обладнання, як двигуни, насоси та датчики, із центрального розташування. Системи SCADA дозволяють організаціям контролювати та звітувати про свої процеси на основі даних у реальному часі та архівувати дані для подальшої обробки та оцінки.

Системи SCADA використовуються для:

- контролю процесів локально або віддалено;
- взаємодія з пристроями через програмне забезпечення HMI;
- збір, відстеження та обробка даних;
- журнал подій і даних.

Ці функції дають компаніям кращу видимість їхніх процесів. Дані, які вони збирають, дозволяють їм бачити, як їхня техніка функціонує в режимі реального часу, а також переглядати довгострокові тенденції, щоб визначити можливості покращення. На основі цих даних оператори можуть потім налаштувати роботу свого обладнання за допомогою елементів керування з підтримкою SCADA. Вони можуть вносити зміни як дистанційно, так і на місці, а також налаштовувати операції на рівні установок або окремих процесів.

Завдяки таким функціям, як ці, системи SCADA можуть заощадити організаціям значну кількість часу та грошей. Системи SCADA відіграють центральну роль у тому, як компанії контролюють свою діяльність і використовують свої оперативні дані для прийняття кращих рішень.

Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системах реалізується у вигляді мнемосхем. На мнемосхемах відображається основне обладнання, сигнали, стан регулюючих органів та інші частини системи [18].

Побудова людино-машинного інтерфейсу здійснюється за допомогою графічних елементів [7]. Є три типи графічних елементів:

- Статичні елементи (графічне оформлення екрана)
- Динамічні елементи (форми відображення)
- Графічні об'єкти

Побудуємо систему контролю та управління ТП з урахуванням наявних контрольних точок, ВМ та засобів автоматизації за допомогою програмного середовища TRACE MODE 6.

Створимо систему моніторингу, яка містить один вузол АРМ. У проектуванні будемо використовувати механізм автопобудови каналів TRACE MODE за методом «від шаблонів», який дозволяє створювати канали у вузлі за аргументами шаблонів, де шаблони виступають компонентами екрану та програми.

Створимо три екрани, які відіграють важливу роль у технологічному процесі, а саме: екран функціональної схеми в цілому – мнемосхема сушильної печі (рис. 4.11.), екран параметрів процесу сушіння (рис. 4.12.) і екран параметрів ПІД-регулятора (рис. 4.13.).

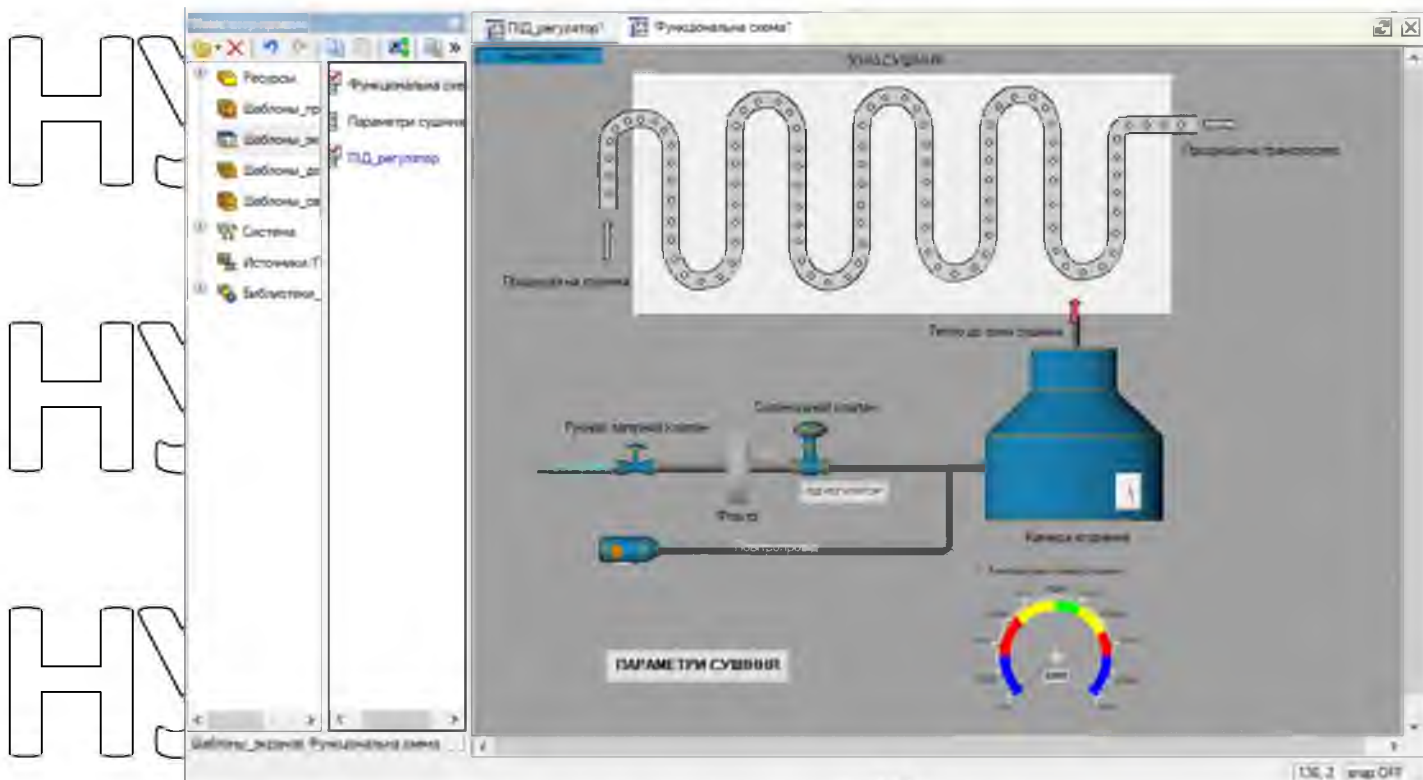


Рис. 4.11. Мнемосхема печи сушіння

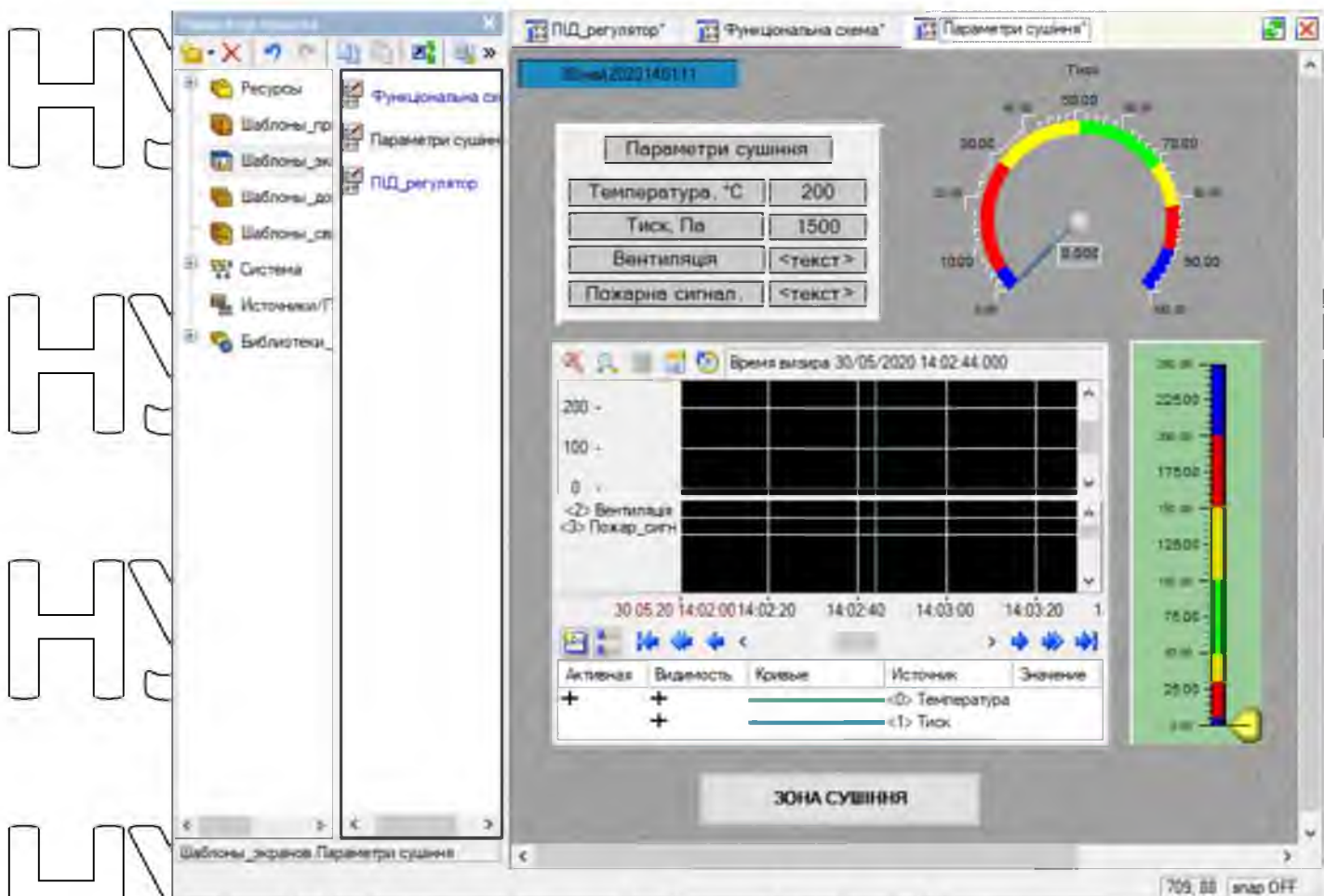


Рис. 4.12. Екран параметрів процесу сушіння

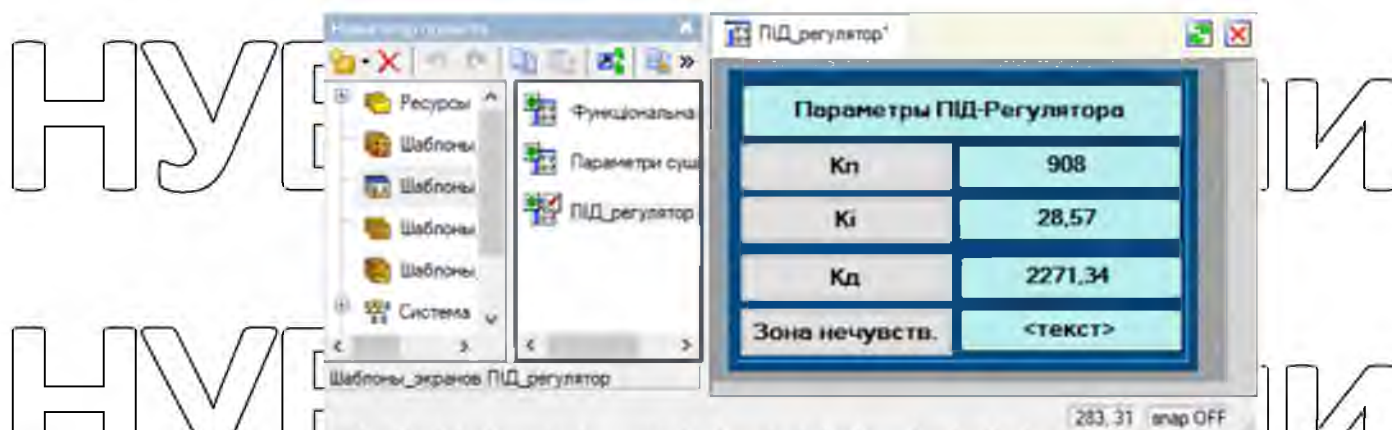


Рис. 4.13. Екран параметрів ПІД-регулятора

Графічна частина проєкту для ARM завершена, настав час розробки математичного забезпечення для проєкту – шаблонів програм.

Складемо дві програми, одна з яких відповідатиме за процес горіння (рис.4.14.), інша за процес сушіння (рис.4.15.).

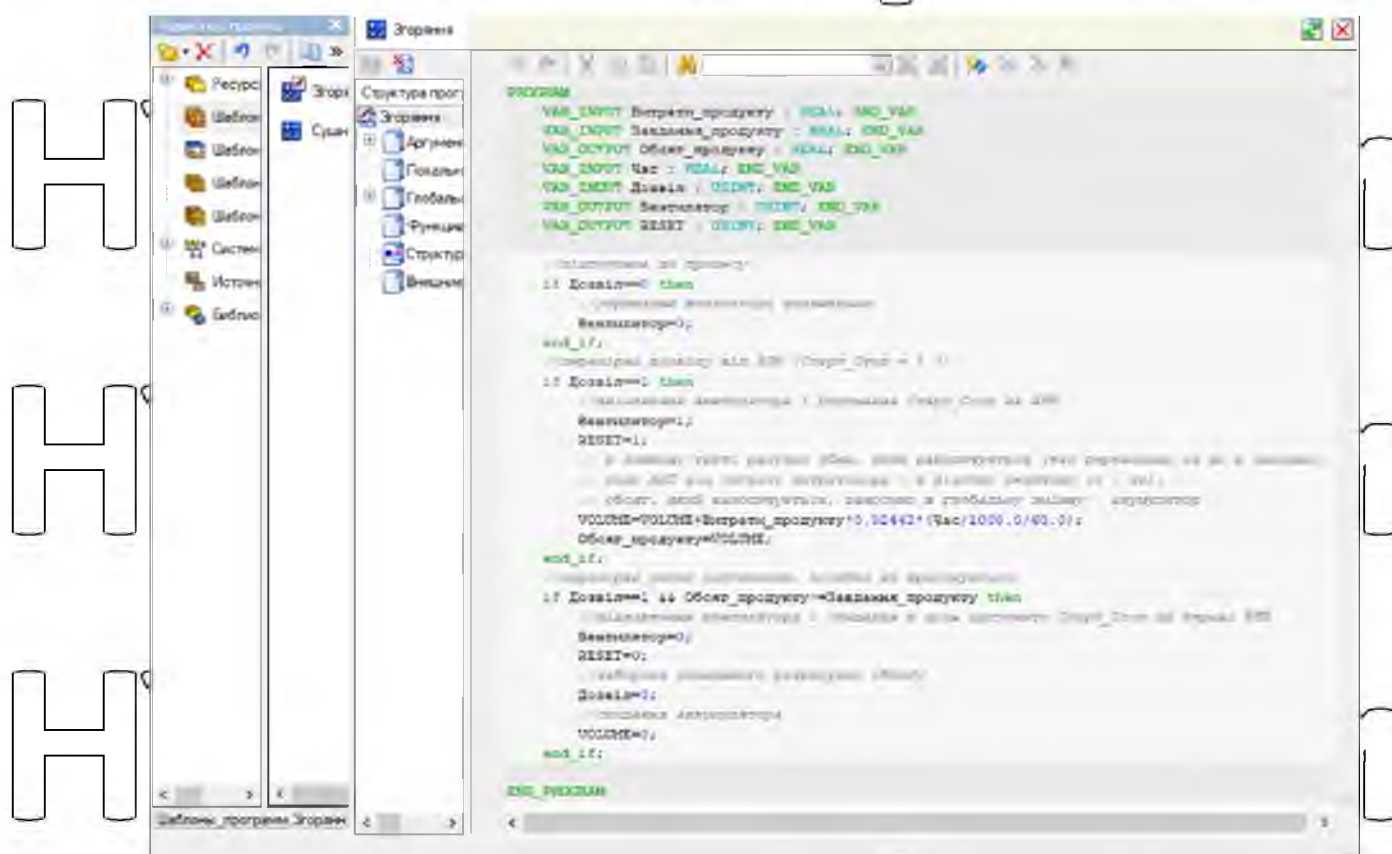


Рис. 4.14. Програма процесу згоріння

НУБІП України

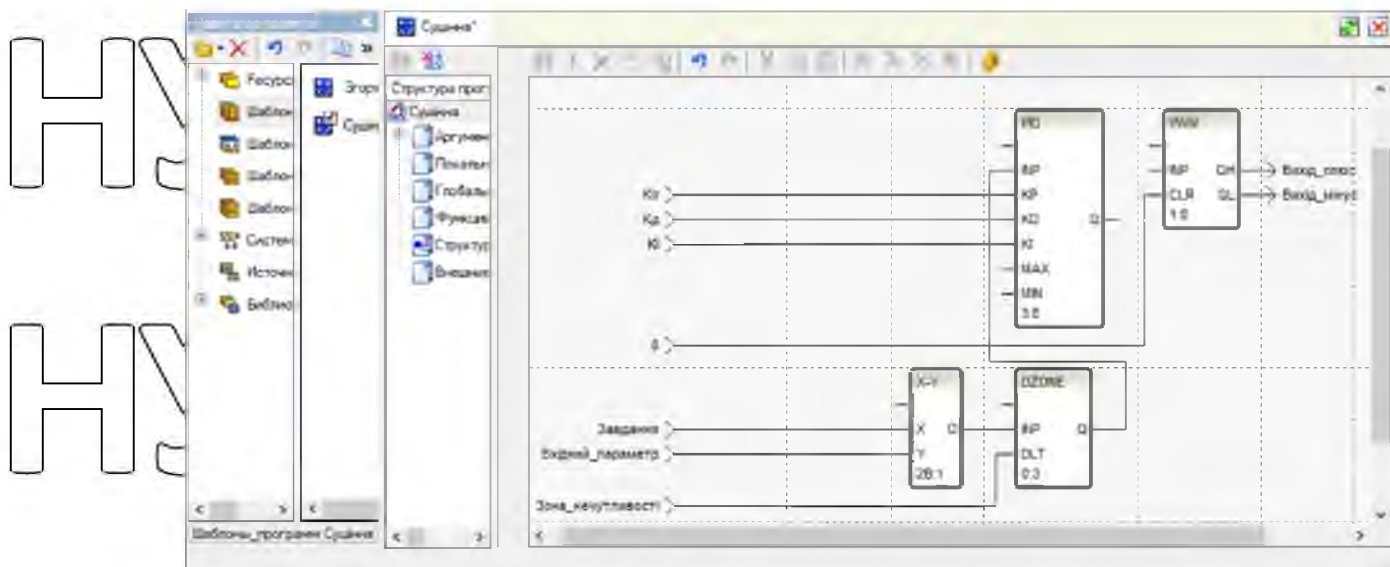


Рис. 4.15 Програма процесу сушіння

На завершення проєкту проводимо настройку архіву і звіту привогу в АРМ.

Система SCADA допомагає підвищити ефективність діяльності підприємства, скоротити простої, забезпечити якість продукції, дає змогу збирати дані в режимі реального часу з датчиків, розташованих по всьому об'єкту. Тому використання SCADA на практиці є доцільним.

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Вибір автоматичних вимикачів

Обираємо, згідно умов наведених у дод. Д.1, автоматичний вимикач Siemens

1р В 40А 6кА 5SL6140-6 (рис.5.1.) для QF1 з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.} = 230В$, $I_{н.ав.} = 40А$ та ступенем захисту IP20, комутаційна здатність – 10000 циклів.



Рис. 5.1. Автоматичний вимикач Siemens 1р В 40А 6кА 5SL6140-6

Вибираємо автоматичний вимикач Siemens 3р С 20А 6кА 400V 5SL6320-7 (рис.5.2.) з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.} = 400В$; $I_{н.ав.} = 20А$.



Рис. 5. 2. Автоматичний вимикач Siemens 3р С 20А 6кА 400V 5SL6320-7

5.2. Вибір магнітних пускачів

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, також вони використовуються для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням.

Згідно розглянутих умов в дод. Д.2 вибираємо електромагнітний пускач АсКо УкрЕМ ПМ 1-12-10 (рис.5.3) із наступними технічними характеристиками $U_{н.н.} = 380\text{В}$; $I_{н.н.} = 12\text{А}$; $U_{н.р.} = 220\text{В}$.



Рис. 5.3. Електромагнітний пускач АсКо УкрЕМ ПМ 1-12-10

Характеристики пускача:

- Ступінь захисту: IP20;
- Зносостійкість електрична, циклів: 1500000;
- Зносостійкість механічна, циклів: 10000000;
- Температура експлуатації, °С: -15...+45.

5.3. Вибір проводів керуючої мережі

Умови вибору проводів наведено у дод. Д.3.

Для живлення двигуна обираємо чотирьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $2,5\text{ мм}^2$ марки ВВГ (рис.5.4).



Рис. 5.4. Кабель ВВГ нгд 4х2,5

Так як номінальний струм живлення датчику складає $0,2\text{ А}$ обираємо обираємо двухжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5\text{ мм}^2$ марки ВВГ (рис.5.5).

НУБІГ



Рис. 5.5. Кабель ВВГПнгд 2х1,5

Для живлення установки обираємо пятижильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 10 мм^2 марки ВВГ (рис. 5.6.).



Рис. 5.6. Кабель ВВГПнгд-5х10

НУБІГ

5.4. Розробка електричних схем автоматизації

Розроблено такі схеми автоматизації:

1. Принципова електрична схема САК температурою в печі сушіння друкарської машини (Додаток Д.4).

2. Електрична схема з'єднань САК температурою в печі сушіння друкарської машини (Додаток Д.5).

3. Електрична схема підключень САК температурою в печі сушіння друкарської машини (Додаток Д.6).

4. Зовнішній вид шафи керування (Додаток Д.7).

НУБІП

НУБІП

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Автоматизація технологічних процесів забезпечує підвищення продуктивності, збільшення виробництва, зниження витрат праці, собівартості та енергоспоживності продукції, зменшення періоду окупності [15].

Зведені кошторисні витрати є основним показником фондovіддачі при розвитку автоматизації. Вони враховують частку інвестицій на рік і річні експлуатаційні витрати. Для розрахунку консолідованих витрат використовується формула:

$$V_{зв} = C + E_n \cdot K, \quad (6.1)$$

де: $V_{зв}$ - зведені витрати, грн./рік;

K - капітальні витрати, грн.;

C - річні експлуатаційні витрати, грн./рік;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності інвестицій.

Експлуатаційні витрати включають:

- витрати на оплату енергоресурсів (C_e);
- утримання основних засобів виробництва (C_y);
- оплату праці персоналу (C_3);
- інші прямі витрати (C_d).

Відрахування на амортизацію вираховуються від балансової вартості обладнання і засобів автоматизації у відсотках. Для обрахунку в роботі приймаємо $C_a = 14,2\%$.

Вартість поточного ремонту обладнання також визначається у відсотках від балансової вартості.

Витрати на електроенергію визначаються виходячи з суми витрат на електроенергію і її тарифів. Для цілей виробництва ми приймаємо 1.4 грн./рік.

$$C_c = P \cdot T \cdot 4 \text{ грн./рік}, \quad (6.2)$$

де: P - потужність промислового об'єкта, кВт; T - кількість годин роботи на рік, год.

Економію часу при автоматизації приймаємо $\Delta\Pi = 0,3 = 30\%$. Таким чином річні експлуатаційні витрати складатимуть:

$$C = C_3 + C_y + C_e + C_d \quad (6.3)$$

Інші прямі витрати приймають рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Отже:

$$C = \sum C_i \cdot 0,01 \quad (6.4)$$

При визначенні інвестицій необхідно враховувати всі сумісні витрати, а саме:

- витрати на встановлення технічних засобів (K_M);
- торговельні транспортно-складські витрати (K_{TT});
- вартість технічних засобів автоматизації (K_3);
- інші капітальні витрати, пов'язані із впровадженням автоматизації (K_i).

Витрати на придбання визначаються за номенклатурними довідниками та іншими довідниками.

Торговельно-транспортні витрати беруть рівними 11% від вартості технічних засобів:

$$K_{TT} = 0,11 \cdot K_3 \quad (6.5)$$

Вартість монтажних робіт повинна визначатися сьогодишніми цінами на монтажні роботи. Орієнтовно вартість монтажу становить 15... 20% від вартості технічних засобів, що встановлюються:

$$K_M = 0,15 \dots 0,20 \cdot K_3 \quad (6.6)$$

Для нашого випадку приймаємо середнє значення - 17 %.

Інші витрати приймають рівними 2% від загальної суми капітальних вкладень:

$$K_i = 0,02 \cdot K_3 \quad (6.7)$$

Отже капіталовкладення будуть розраховуватись:

$$K = K_3 + K_{TT} + K_M + K_i \quad (6.8)$$

В даному випадку загальна вартість технічних засобів автоматизації буде розраховуватись як сума всіх технічних засобів:

$$K_3 = \sum K_{ТЗ} \quad (6.9)$$

Таблиця 6.1

Загальна вартість технічних засобів автоматизації

№	К-сть	Найменування	Ціна 1 шт., грн.	Ціна сумарна, грн.
1	2	Терморегулятор Siemens RWF55.50A9	19 399	38 798
2	2	Датчик температури	1 250	2 500
3	2	Датчик тиску Dungs LGW 3	1 630	3 260
4	3	Електродвигун Siemens 1LE1002-1AC42-2AA4-Z	8000	24 000
5	3	Перемикач режиму роботи Harmony XB5AK123M5	706	2 118
6	3	Пост кноповий, XAL-B215	160	480
7	1	Автоматичний вимикач, Siemens 1р В 40А 6кА 5SL6140-6	208	208
8	3	Автоматичний вимикач, Siemens 3р С 20А 6кА 400V 5SL6320-7	330	990
9	3	Електромагнітний пускач АсКо УкрЕМ ПМ 1-12-10	270	810
10	9	Проміжне реле SIEMENS 3TK 2804-0AG2/AC110V	205	1 845
11	2	Манометр Wika 233.30.160	2000	4000

12	2	Манометр самописний, МТС-712-М1	1900	3800
Всього:				82 809

$$K_3 = 82\,809 \text{ (грн.)} \quad (6.10)$$

Торгівельно-транспортні витрати будуть становити:

$$K_{\text{ТТ}} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 82\,809 = 9\,108,99 \text{ (грн.)} \quad (6.11)$$

Витрати на монтаж технічних засобів становить:

$$K_{\text{М}} = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 82\,809 = 14\,077,53 \text{ (грн.)} \quad (6.12)$$

Решта капітальних витрат буде:

$$K_i = 0,02 \cdot 82\,809 = 1\,656,18 \text{ (грн.)} \quad (6.13)$$

Визначаємо суму капітальних вкладень:

$$K = 82\,809 + 9\,108,99 + 14\,077,53 + 1\,656,18 = 107\,651,7 \text{ (грн.)} \quad (6.14)$$

Після цього знаходимо відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 107\,651,7 = 15\,286,54 \text{ (грн.)} \quad (6.15)$$

Витрати на поточний ремонт становлять:

$$C_{\text{пр}} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 107\,651,7 = 19\,377,306 \text{ (грн.)} \quad (6.16)$$

Утримання основних засобів виробництва складуть:

$$C_{\text{у}} = C_a + C_{\text{пр}} = 15\,286,54 + 19\,377,306 = 34\,663,846 \text{ (грн.)} \quad (6.17)$$

Витрати на енергоресурси будуть становити:

$$C_e = P_{\text{пот}} \cdot \Gamma \cdot 1,4. \quad (6.18)$$

де $P_{\text{пот}}$ - потужність виконавчих механізмів, кВт, $P_{\text{пот}} = 1,5$ кВт; Γ - кількість годин роботи, $\Gamma = 300 \cdot 24 = 7200$ (год) піч працює 300 днів на рік.

Отже:

$$C_e = 1,5 \cdot 7200 \cdot 1,4 = 15\,120 \text{ (грн.)} \quad (6.19)$$

Витрати на оплату праці персоналу, який зв'язаний з експлуатацією систем автоматики (в нашому випадку 1 оператор) становить:

$$C_3 = \Gamma \cdot 1 \cdot 400 \cdot 300 = 120\,000 \text{ (грн.)} \quad (6.20)$$

де: 1 - кількість операторів, чол.; 1 - кількість змін на добу; 400 - середня заробітна плата робітника за добу; 300 - кількість робочих днів.

Отже річні експлуатаційні витрати будуть становити:

$$C = C_y + C_e + C_z = 34\,663,846 + 15\,120 + 120\,000 = 169\,783,846 \text{ (грн.)} \quad (6.21)$$

Знайшовши річні експлуатаційні витрати і капітальні вкладення можна знайти загальні зведені витрати:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K = 169\,783,846 + 0,15 \cdot 107\,651,7 = 185\,931,6 \text{ (грн.)} \quad (6.22)$$

Тоді чистий прибуток буде визначатися за формулою:

$$\Pi = \Delta C_z + \Delta C_e \text{ (років)}, \quad (6.23)$$

де ΔC_z - прибуток за рахунок економії заробітної платні, грн.

ΔC_e - прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

$$\begin{aligned} \Delta C_z &= C_z - (1,2 \cdot \Gamma \cdot n_{роб} \cdot 4) = \\ &= 120\,000 - (1,2 \cdot 7200 \cdot 1 \cdot 1,4) = 107\,904 \text{ (грн.)} \end{aligned} \quad (6.24)$$

$$\Delta C_e = C_e - (P \cdot \Gamma \cdot 4 \cdot \Delta\Pi) =$$

$$= 15\,120 - (1,5 \cdot 7200 \cdot 1,4 \cdot 0,3) = 10\,584 \text{ (грн.)} \quad (6.25)$$

Чистий прибуток складемо:

$$\Pi = 107\,904 + 10\,584 = 118\,488 \text{ (грн.)} \quad (6.26)$$

Обраховуємо термін окупності установки за формулою:

$$T_{окуп} = \frac{K}{\Pi} = \frac{107\,651,7}{118\,488} \approx 1 \text{ рік} \quad (6.27)$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень буде складати:

$$E = \frac{1}{T_{окуп}} = 1. \quad (6.28)$$

$$E(1) > E_n(0,15). \quad (6.29)$$

Отже, з вище приведених розрахунків ми бачимо, що чистий прибуток складає 118 488 грн., а саме установка автоматики окупиться приблизно за рік.

Отже, піч сушіння друкарської машини автоматизувати доцільно.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи створено і досліджено комп'ютерно-інтегровану систему керування температурою. Проведено аналіз печі, розглянуто її технологічну та електротехнічну частину.

Досліджена у роботі імітаційна модель печі сушіння друкарської машини дозволяє проводити дослідження систем керування без ризику значних економічних втрат.

Проведено дослідження об'єкта за допомогою динамічної одношарової лінійної нейронної мережі у середовищі MATLAB. Нейронна мережа дозволяє досягнути кращої якості роботи та продукції, отримати економічний ефект від їх впровадження.

Розроблена SCADA-система печі сушіння з урахуванням наявних точок контролю, виконавчих механізмів і апаратних засобів. SCADA допомагає підвищити ефективність діяльності підприємства, скоротити простой, забезпечити якість продукції, дає змогу збирати дані в режимі реального часу з датчиків. Тому використання SCADA на практиці є доцільним.

Отже, впровадження даної системи дало нам змогу максимізувати ефективність виробництва за допомогою мінімізації витрат на паливо та енергоресурси.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / О. В. Барало, П. Г. Самоїленко, С. Є. Гранат, В. О. Ковальов. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

2. Використання вентиляторів із перетворювачами частоти [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vents.ua/ua/catalog/operation-of-fans-with-frequency-converters>.

3. Гоголюк П. Ф. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. Друге видання, перероблене. / П. Ф. Гоголюк, Т. М. Гречин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.

4. Головінський Б. Л. Теорія автоматичного управління / Б. Л. Головінський, Ю. В. Шуруб, В. П. Лисенко. – Київ: ВЦ НУБІП України, 2012. – 240 с.

5. Ідентифікація і моделювання технологічних процесів / В. П. Лисенко, Є. В. Чернишенко, В. М. Решетюк та ін. – Київ: АграрМедіа Груп, 2016. – 620 с.

6. Інтелектуальні системи керування біотехнічними об'єктами / В. Лисенко, Н. Заєць, М. Гачковська, О. Савчук. – К.: КомПрінт, 2019. – 549 с.

7. Кашкар'юв А. О. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Комп'ютерно-інтегровані технології в електрифікації та автоматизації сільського господарства" / А. О. Кашкар'юв. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – 66 с.

8. Когутяк М. І. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління: практичні заняття / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – 82 с.

9. Кушков В. М. Людино-машинні інтерфейси Конспект лекцій для студентів напрямку 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання / В. М. Кушков. – Київ: НУХТ, 2012. – 100 с.

10. Лисенко В. П. Методичні вказівки до розробки випускної бакалаврської роботи для студентів напрямку підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / В. П. Лисенко, В. М. Решетюк, В. О. Мірошник. – Київ, 2014. – 128 с.

11. Лисенко В. П. Моделювання технологічних процесів / В. П. Лисенко, Є. В. Кузьменко, В. М. Решетюк. – Київ: Вища школа, 2010.

12. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Штепа В.М., Заєць Н.А. та ін. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, вентки нейронні мережі, генетичний алгоритм – К: НУБІП України, 2014. – 336с.

13. Пастушенко В. Й. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №14-15 з дисципліни "Основи комп'ютерно-інтервованого управління" / В. Й. Пастушенко, А. М. Стеценко. – Рівне: НУВГП, 2014. – 51 с.

14. Перетворювачі частоти Basic Drive FC-101 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vents.ua/ua/catalog/basic-drive-fc101>.

15. Розрахунок економічної ефективності АСУ ТП [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5740232/page.18/>.

16. ТОВ «Кен-Пак» провідний виробник в галузі упаковки для напоїв в Центральній і Східній Європі [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://goo.su/1CFw>.

17. Цифрові системи керування / Б. Л.Головінський, Ю. В. Шуруб, А. О. Дудник, В. П. Лисенко. – Київ: ВЦ НУБІП України, 2016. – 108 с.

18. Що таке SCADA системи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://myscada.com.ua/ua/blog/что-takoe-scada>.

19. Can Pack [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://przemekosko12.pl/>.

20. CAN-PACK SA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.canpack.eu/?page_id=252&lang=en_us.

21. Siemens компактний універсальний контролер [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.siemens-ru.com/doc/Siemens-RWF55.pdf>.

22. OPERATING AND MAINTENANCE MANUAL FOR PIN OVEN – Poland: Greenbank Technology Limitd. – 210 с.

НУБІП України