

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “Автоматизація хлібопекарної печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340”

Виконав: студент гр. Акт-42Сп
Спеціальності 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка”

(шифр і назва)

Петришин Олег Миронович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.

(Прізвище та ініціали)

ЛЬВІВ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Спеціальність 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
д.т.н., проф. А.М. Тригуба
“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Петришин Олег Миронович

1. Тема роботи: Автоматизація хлібопекарної печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу випікання хліба; 2. Функціональні ознаки системи автоматизації хлібопекарної печі; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу випікання хліба як об’єкта керування

2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації технологічного процесу та технічних засобів автоматизації

3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: Тема, автор, керівник роботи Хлібопекарна піч ПХС – 25. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами хлібопекарної печі. Технологічна карта процесу випікання хліба. Спрощена функціональна схема автоматизації хлібопекарної печі. Програма для реалізації ПІД регулятора в контурі регулювання температури в І-й зоні печі. Програма для реалізації ПІД регулятора в контурі регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря в І-й зоні печі. Схема підключення термоперетворювача опору з уніфікованим вихідним сигналом. Структурна схема досліджуваної САР температури в першій зоні хлібопекарної печі в середовищі Simulink. Перехідний процес у САР із ПІ-регулятором при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10% ходу РО.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій		
4	Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки		

7. Дата видачі завдання 8 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приймає
1	Написання першого розділу та означення головних завдань роботи	08.09.24-25.12.24	
2	Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків	26.12.24-01.02.25	
3.	Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи	02.02.25-11.04.25	
4.	Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці	12.04.25-21.04.25	
5.	Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи	22.04.25-21.05.25	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації	22.05.25-01.06.25	
7.	Завершення роботи в цілому	02.06.25-16.06.25	

Студент _____ Петришин О.М.
(підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація хлібопекарної печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340. Петришин О. М. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Львів, ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025.

68 с. текст. част., 44 рис., 8 табл., 26 літ. джерел.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У першому розділі проведено аналіз технології випікання хліба, визначено основні параметри процесу та їх допустимі відхилення. Обґрунтовано вибір координат контролю, регулювання, сигналізації та захисту..

У другому розділі запропоновано функціональну схему автоматизації, виконано вибір засобів автоматизації, зокрема первинних перетворювачів, виконавчих механізмів та контролера. Розроблено програму функціонування системи автоматичного керування та описано принципову електричну схему зовнішніх з'єднань контролера.

У третьому розділі здійснено розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в першій зоні печі. Отримано динамічну модель об'єкта, визначено оптимальні параметри регулятора. Проведено дослідження перехідних процесів і оцінено якість регулювання відповідно до встановлених критеріїв.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, мікропроцесорний контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто питання автоматизації технологічного процесу випікання хліба в хлібопекарній печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340. Проведено аналіз технології випікання, визначено основні параметри процесу та їх допустимі відхилення. Обґрунтовано вибір координат контролю, регулювання, сигналізації та захисту. Запропоновано функціональну схему автоматизації, виконано вибір засобів автоматизації, зокрема первинних перетворювачів, виконавчих механізмів та контролера. Розроблено програму функціонування системи автоматичного керування та описано принципову електричну схему зовнішніх з'єднань контролера. Здійснено розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури в першій зоні печі. Отримано динамічну модель об'єкта, визначено оптимальні параметри регулятора. Проведено дослідження перехідних процесів і оцінено якість регулювання відповідно до встановлених критеріїв.

THE SUMMARY

The bachelor's qualification work considers the issue of automation of the technological process of baking bread in a bakery oven of the ПХС-25 type using a Modicon M340 microprocessor controller. An analysis of the baking technology was carried out, the main parameters of the process and their permissible deviations were determined. The choice of control, regulation, signaling and protection coordinates was justified. A functional automation scheme was proposed, automation means were selected, in particular primary converters, actuators and a controller. A program for the functioning of the automatic control system was developed and a schematic electrical diagram of the external connections of the controller was described. The calculation and modeling of the automatic temperature control system in the first zone of the oven was carried out. A dynamic model of the object was obtained, the optimal parameters of the controller were determined. A study of transient processes was carried out and the quality of regulation was assessed in accordance with the established criteria.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналіз технологічного процесу випікання хліба як об'єкта керування	9
1.1. Основи технологічного процесу випікання хліба	9
1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах.....	12
1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта.....	13
1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень	14
1.5. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами хлібопекарної печі	16
2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації технологічного процесу та технічних засобів автоматизації	17
2.1. Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання.....	17
2.2. Визначення функціональних ознак систем автоматизації.....	18
2.3. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта.....	18
2.4. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів	19
2.5. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації	21
2.6. Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера Modicon M340.....	24
2.7. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера Modicon M340.....	36
3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання.....	45
3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання	45
3.2. Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора	50
3.3. Дослідження САР регулювання температури в першій зоні печі.....	54
3.4. Опис функціональної схеми автоматизації.....	58
3.5. Специфікація на технічні засоби автоматизації.....	60
4. Охорона праці	63
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....	63
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці.....	64
4.3. Пожежна безпека.....	66
5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації.....	68
Висновок.....	72
Список використаних джерел.....	75

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку харчової промисловості підвищення якості продукції, зниження енергоспоживання та забезпечення стабільності технологічного процесу є ключовими факторами конкурентоспроможності підприємств. Особливе місце серед харчових виробництв займає хлібопекарна галузь, яка є однією з найважливіших складових продовольчої безпеки держави. Хліб — стратегічний продукт, а його виробництво потребує чіткого дотримання температурно-технологічних режимів. Саме тому автоматизація процесу випікання хліба набуває особливої актуальності. Автоматизація технологічних процесів є одним з вирішальних факторів підвищення продуктивності і покращення умов праці, підвищення якості і розширення асортименту продукції.

На даному етапі розвитку в харчовій промисловості застосовують складні і трудомісткі технології, які потребують розробки комплексної автоматизації даних підприємств. Впровадження прогресивних технологій, механізації і автоматизації окремих виробничих процесів має забезпечувати необхідну якість виробів готової продукції, підвищити продуктивності праці на хлібо заводах, економію сировини та матеріалів.

На даний час без сучасних систем автоматичного регулювання неможливо стабільно підтримувати на заданому рівні температуру в камерах хлібопекарної печі, що могло б призводити до виробництва продукції з незадовільними якісними показниками.

В бакалаврській роботі необхідно розробити автоматизовану систему керування технологічним процесом випікання хліба. Для розробки системи керування процесом випікання хліба у хлібопекарній печі ПХС-25 застосуємо мікропроцесорний контролер Modicon M340.

Використання сучасних мікропроцесорних контролерів, зокрема контролера Modicon M340, дозволяє не лише підтримувати стабільні параметри температури та вологості у різних зонах печі, але й оперативно реагувати на зміни технологічного середовища, забезпечуючи гнучкість, точність і надійність системи керування. Це дає змогу покращити якість готової продукції, знизити витрати

енергоносіїв та скоротити участь обслуговуючого персоналу в управлінні процесом.

Метою даної роботи є розроблення системи автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340, яка забезпечує ефективне регулювання температурних режимів у пічних зонах відповідно до вимог технологічного процесу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес випікання хліба в промисловій печі типу ПХС-25.

Предметом дослідження є методи та технічні засоби автоматизації, алгоритми керування, а також програмне та апаратне забезпечення мікропроцесорної системи керування на базі контролера Modicon M340.

Таким чином, робота спрямована на підвищення ефективності та стабільності хлібопекарного виробництва шляхом впровадження сучасних технологій автоматизації.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПІКАННЯ ХЛІБА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1.Основи технологічного процесу випікання хліба

Випікання хліба є заключним етапом перетворення заготовки тіста в хлібобулочний виріб, придатний для споживання. Саме на цьому етапі остаточно формується об'єм виробу та закріплюється його форма, утворюється скоринка і м'якуш, поверхня хліба набуває привабливого забарвлення, формується смак і аромат.

Перетворення заготовки тіста у придатний для споживання виріб пов'язані з теплофізичними, мікробіологічними, колоїдними, біохімічними та хімічними процесами, що відбуваються у ній під час випікання. В основі всіх процесів лежать фізичні явища - прогрівання тіста, що викликає зовнішній обмін вологою між тістом і пароповітряним середовищем пекарної камери печі, і внутрішній тепловий та масообмін в тісті.

На початковому етапі випікання маса тіста трохи збільшується. Це обумовлене поглинанням води в результаті конденсації водяної пари з пекарної камери. Після припинення конденсації починається процес формування сухої скоринки, обумовлене випаровуванням води з прогрітої до 100 °C поверхні. При утворенні скоринки частина води (близько 50%) переходить в м'якуш, оскільки вода при нагріванні різних продуктів завжди передається від більш нагрітих ділянок, якою є скоринка до менш нагрітих, яким є м'якуш. Внаслідок цього вміст води в м'якуші гарячого хліба на 1,5 ... 2,5% більший від вмісту води в тісті. Зневоднена скоринка прогрівається в процесі випікання до 160-180 °C, а температура в центрі м'якушки піднімається до 95-97 °C. Вище цієї температури м'якуш не прогрівається через його високу вологість (45-50%).

Режим випікання визначається тривалістю процесу, температурними режимами в різних зонах пічної камери печі та ступенем зволоження її середовища. Тривалість процесу випікання в основному залежить від маси заготовки, проте не менш важливими критеріями є вид виробу, якість тіста, властивості борошна та конструкція печі. Для дрібно-штучних виробів тривалість випікання коливається

від 8 до 12 хвилин, а для житнього хліба масою 1 кг може становити до 80 хвилин. Для більшості пшеничних і житніх виробів режим випікання проходить в три етапи.

Перший етап відбувається при високій відносній вологості (понад 80%) і порівняно низькій температурі пароповітряного середовища пічної камери (110-120°C). Основна кількість тепла (80-85%) передається тістовій заготівці шляхом випромінювання від нагрітих до 300-400°C стінок і склепіння пекарної камери, решта — конвекцією від пароповітряного середовища пекарної камери, що прогріте до 220-280°C, а також теплопровідністю від поду печі, нагрітого до 180-200°C.

У процесі випікання тістова заготовка прогрівається не одночасно по всій масі, а поступово від поверхневого шару до центра. В міру прогрівання зміна температури відбувається пошарово, тому процеси перетворення тіста в хліб також відбуваються пошарово, — спочатку в зовнішніх, потім у внутрішніх шарах тістової заготівки.

Тістова заготовка, завантажена в нагріту пекарну камеру печі, спочатку має досить низьку температуру, її температура після вистоювання близька до 35-37 °C, а потім вона починає швидко прогріватися. Оскільки її температура є набагато нижча за температуру пекарної камери, то на поверхні хлібної заготовки починається конденсація пари з оточуючого пароповітряного середовища. Процес прогрівання тістової заготовки прискорюється завдяки прихованій теплоті пароутворення. Після того, як температура поверхні досягає 100°C, процес конденсації пари припиняється і починається випаровування вологи з її поверхні, а температура продовжує зростати. Унаслідок випаровування вологи поверхневий шар зневоднюється і при температурі 105-115°C відбувається процес формування скоринки. Цей процес відбувається протягом перших 3-5 хвилин, а температура в центральних шарах тістової заготовки підвищується дуже незначно, навідміну від нижньої поверхні тістової заготовки, яка прогрівається шляхом контакту з гарячим подом печі.

За цей час тістова заготовка значно збільшується в об'ємі. В кінці першого періоду необхідне інтенсивне підведення тепла для підвищення температури до 240-280 °С.

Другий етап протікає при високій температурі і дещо зниженій відносній вологості середовища пічної камери. При цьому утворюється кірка, закріплюється обсяг і форма виробу.

У третьому періоді випікання завершується. Цей період характеризується менш інтенсивним підведенням тепла (180 °С).

Під час прогрівання тістової заготовки втрата вологи відбувається з різною швидкістю. У період інтенсивного прогрівання спочатку спостерігається швидке випаровування вологи з поверхні заготовки, а потім відбувається зниження швидкості випаровування, обумовлене випаровуванням з макро- і мікрокапілярів, а також адсорбційно зв'язаної вологи поверхневих шарів тістової заготовки.

Інтенсивність випаровування вологи ще більше знижується після утворення міцної скоринки, яка фіксує об'єм тістової заготовки, швидкість випаровування стає постійною.

Зважаючи на втрати тістовою заготовкою вологи під час випікання на утворення скоринки, для забезпечення вологості виробів, передбаченої нормативною документацією, вологість тіста, з якого виготовляється тістова заготовка, має перевищувати нормативну вологість хліба з пшеничного борошна на 0,5-0,7 %, а житнього — на 0,7— 1,0 %.

1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах

Розглянемо тунельну хлібопекарну піч ПХС-25з газовим обігрівом пекарної камери. Конструктивні особливості печі показано на рисунку 1.1. На рисунку 1.1. показана хлібопекарна піч ПХС-25, що складається з пекарної камери 2, конвеєра з приводним і натяжними механізмами (на рисунку не показаний), топкового пристрою 3, розподільних каналів і димоходу 1 (вентилятора рециркуляції). В конструкції печі є також запобіжний клапан 5, димова труба 6 і пальник 7.

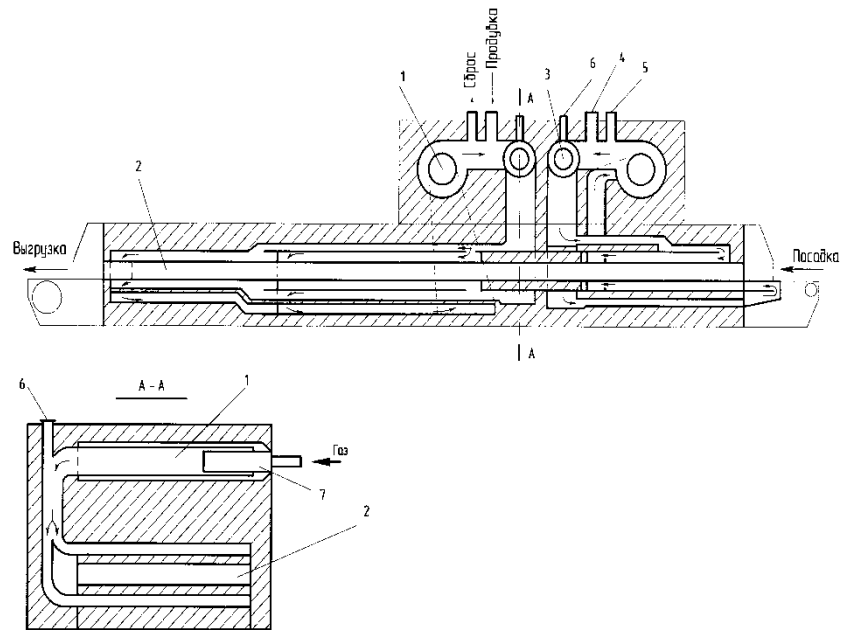


Рис. 1.1. – Хлібопекарна піч ПХС – 25:1 – вентилятор рециркуляції; 2 – пекарна камера; 3 - топковий пристрій; 5 - запобіжний клапан; 6 – димова труба; 7 - пальник

Пекарна камера представляє собою горизонтальний тунель прямокутної форми. Верхня та нижня стінки пекарної камери є одночасно тепло-передавальними стінками газових каналів верхнього та нижнього обігріву камери. Стінки камери виготовлені з металевих листів невеликої товщини). По нижньому металевому листу (основі пекарної камери) переміщається робоча гілка конвеєрної металеві сітки, де розташовані тістові заготовки.

З боку завантаження печі розташована станція натягування сітки конвеєра, яка складається з натяжного барабана та гвинтового пристрою для його переміщення. З боку вивантаження розташований також вантажний натяжний пристрій.

Для обігрівання хлібопекарної камери використовують металеві канали невеликої висоти, розташовані зверху та знизу камери по всій її ширині та довжині. Теплоносії, що нагрівають хлібопекарну камеру, підводяться в канали і відводяться з них в декількох місцях по довжині пекарної камери за допомогою металевих труб.

1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта

Матеріальний баланс

Для розрахунку потужності хлібопекарної печі, врахуємо:

- вагу форми хліба – 0,85 кг.
- ширину поду печі – 2600 мм;
- довжину поду печі – 26000 мм;

Також врахуємо параметри заготовок 210x105мм і відстань між ними буде становити біля 60 мм.

Розрахуємо кількість рядів по довжині поду:

$$n_1 = \frac{26000-60}{210+60} = 92 \text{ ряди} \quad (1.1)$$

Кількість рядів по ширині поду печі:

$$n_1 = \frac{2600-60}{105+60} = 15 \text{ рядів} \quad (1.2)$$

Час випікання хліба - 40 хв.

Обчислюємо продуктивність печі за 1 годину (60 хвилин).

$$P_{\text{год}} = \frac{92 \cdot 15 \cdot 0,85 \cdot 60}{40} = 1759,5 \text{ кг/год} \quad (1.3)$$

Потужність печі за зміну з врахуванням 20 хвилин на перезмінку (8 год. - 20 хв. = 7,67 год.).

$$P_{\text{зм}} = 1759,5 \cdot 7,67 = 13495,37 \text{ кг/зміну} \quad (1.4)$$

Відповідно за добу потужність буде складати:

$$P_{\text{добу}} = 13495,37 \cdot 3 = 40486 \text{ кг} \quad (1.5)$$

Тепловий баланс

Як паливо в печі використовують природний газ. Потужність одного пальника складає 340 кДж/с. В печі використовують два пальника, відповідно потужність буде складати 680 кДж/с. Якщо прийняти, що час випічки складає 40 хвилин, тоді визначаємо необхідну кількість тепла на одну випічку:

$$Q = 680 \cdot 40 \cdot 60 = 1632000 \text{ кДж.} \quad (1.6)$$

Теплотворна здатність для природного газу становить $\Delta H_{n.z.} = 39,8 \text{ кДж/м}^3$.
Визначимо витрату газу на одну випічку:

$$F = \frac{Q}{\Delta H_{n.z.}} = \frac{1632000 \cdot 10^3}{39,8 \cdot 10^6} = 41 \text{ м}^3 \quad (1.7)$$

Визначимо витрату газу за зміну:

$$F = 41 \cdot 11 = 451 \text{ м}^3 \quad (1.8)$$

де 11 – кількість випічок.

Відповідно за добу витрата газу буде:

$$F_{\text{добу}} = 451 \cdot 3 = 1353 \text{ м}^3 \quad (1.9)$$

Технологічна карта процесу наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Технологічна карта процесу

№ п/п	Назва параметр	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Температура в першій (I) зоні печі	°С	240	±5
2	Температура в другій (II) зоні печі	°С	210	±5
3	Розрідження димових газів в першій (I) зоні печі	Па	30	±0.5
4	Розрідження димових газів в другій (II) зоні печі	Па	30	±0.5
5	Витрата газу в трубопроводі в I-ій зоні печі	м³/год	26	±0.8
6	Витрата газу в трубопроводі в II-ій зоні печі	м³/год	18	±0.5
7	Витрата повітря в трубопроводі в I-ій зоні печі	м³/год	260	±8
8	Витрата повітря в трубопроводі в II-ій зоні печі	м³/год	180	±5

1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень

Основними факторами, що характеризують нормальну роботу печі є розрідження в топках і температура в печі. Розрідження в топках регулюється за допомогою шиберів, встановлених у витяжних трубах.

Суворо забороняється експлуатація печі при відхиленні будь-якого з показників, що характеризують її нормальну роботу.

Розглянемо вплив вказаних факторів.

При відхиленні температури в печі від номінального значення відбудеться погіршення якості випеченого хліба, що є не допустимим. При підвищенні температури хліб підгорить, а при недостатній для випікання температурі, хліб буде не допечений.

Зменшення розрідження призведе до викидання димових газів і полум'я із топки в тунель печі та приміщення. Найбільш небезпечний є чадний газ. Перевищене значення розрідження викликає різке засмоктування холодного повітря. Це призведе до зниження економічності процесу горіння за рахунок втрат тепла з відхідними газами.

В початковій стадії на поверхні тістової заготовки конденсується пара з навколишнього середовища, за рахунок чого прискорюється прогрівання тіста. Через деякий проміжок часу температура поверхневого шару тістової заготовки досягає температури точки роси, яка відповідає початку випаровування вологи. Випаровування вологи відбувається при атмосферному тиску і шар тістових заготовок хліба прогрівається до температури 100°C і при цих умовах залишається до кінця випаровування. В подальшому температура виробу зростає до кінця випікання.

В першій зоні хлібопекарної печі, температура є найбільшою і становить $240 \pm 5^{\circ}\text{C}$. У другій зоні значення температури має знаходитися в межах $210 \pm 5^{\circ}\text{C}$. При такій температурі випікання хліба становить 40 хвилин. За час випікання виріб втрачає від 10 до 15% своєї маси.

Обігрівання пекарної камери здійснюється за рахунок рециркуляційних газів, які утворюються з продуктів згорання палива. По системі газопроводів рециркуляційні гази поступають в канали обігріву печі. Для системи обігріву необхідно забезпечити тягу, вакуумом 30 Па. Забезпечення цього вакууму виключає проникнення гарячих димових газів в пічний простір печі.

1.5. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами хлібопекарної печі

Структурна схема взаємозв'язку між технологічними хлібопекарної печі зображена на рисунку 1.2.

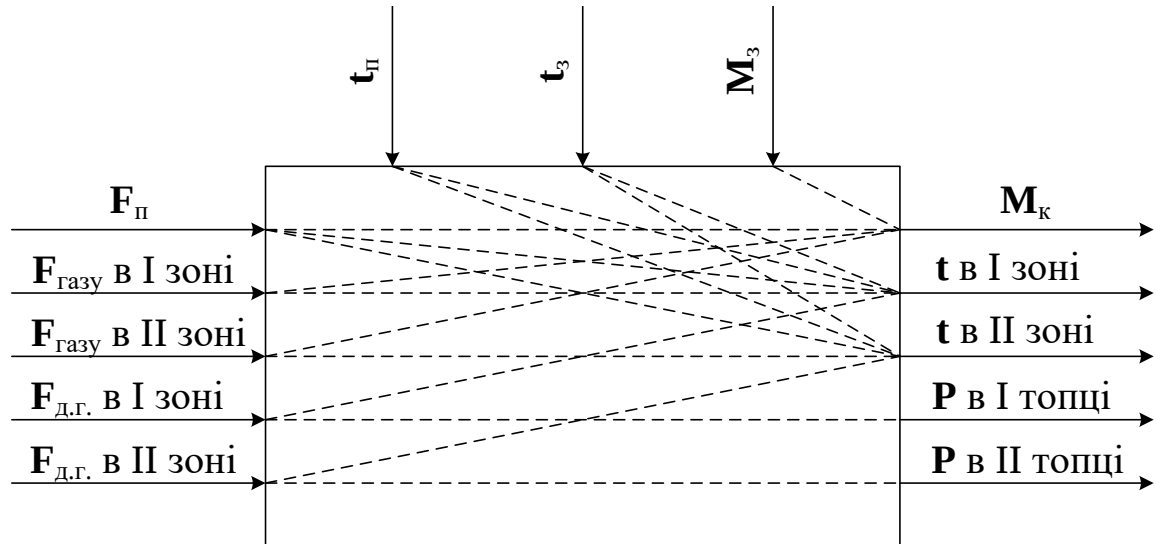


Рис. 1.2. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами хлібопекарної печі

Вхідні величини:

F_{II} - витрата пари;

$F_{г.І}$ - витрата газу в І зоні;

$F_{г.ІІ}$ - витрата газу в ІІ зоні;

$F_{д.г.І}$ - витрата димових газів в І зоні;

$F_{д.г.ІІ}$ - витрата димових газів в ІІ зоні.

Збурення, що діють на технологічний процес:

t_{II} - температура повітря, що подається на спалювання;

t_3 - температура тістових заготовок;

M_3 - вологість тістових заготовок.

Вихідні (регульовані) величини:

M_K - вологість в пекарній камері;

t_I - температура в І зоні печі; t_{II} - температура в ІІ зоні печі;

P_I - розрідження в топці І-ої зони печі;

P_{II} - розрідження в топці ІІ-ої зони печі.

2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання

Функціональна схема систем автоматизації технологічного процесу є документом, що показує функціональну і блокову структуру системи автоматизації технологічного процесу, а також оснащення об'єкта керування приладами і засобами автоматизації. На функціональній схемі спрощено зображають технологічні апарати, що підлягають автоматизації, та технічні засоби автоматизації. Відповідні технічні засоби зображають умовними позначеннями згідно чинних нормативно-технічних документів.

Схемою автоматизації хлібопекарної печі передбачені такі основні контури регулювання, захисту та блокування:

1. Контури регулювання:

- Автоматичне регулювання температури в I-ій зоні печі.
- Автоматичне регулювання температури в II-ій зоні печі.
- Автоматичне регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі.
- Автоматичне регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі.
- Автоматичне регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі.
- Автоматичне регулювання розрідження димових газів в II-ій зоні печі.

2. Контури схем захисту і блокування:

- Контроль наявності полум'я в I-ій зоні печі.
- Контроль наявності полум'я в II-ій зоні печі.
- Контроль тиску газу в I-ій зоні печі.
- Контроль тиску газу в II-ій зоні печі.
- Контроль тиску повітря в I-ій зоні печі.
- Контроль тиску повітря в II-ій зоні печі.

2.2. Визначення функціональних ознак систем автоматизації

Функціональні ознаки системи автоматизації хлібопекарної печі наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Таблиця функціональних ознак системи автоматизації хлібопекарної печі

№ п/п	Обсяг автоматизації Назва параметра	Показ	Реєстрація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок техніко- економічних показників	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
1	Температура в I-ій зоні печі	+							+	+			+
2	Температура в II-ій зоні печі	+							+	+			+
3	Співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі	+							+	+			+
4	Співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі	+							+	+			+
5	Розрідження димових газів в I-ій зоні печі	+							+	+			+
6	Розрідження димових газів в II-ій зоні печі	+							+	+			+
7	Контроль наявності полум'я в I-ій зоні печі								+		+		
8	Контроль наявності полум'я в II-ій зоні печі								+		+		

2.3. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта

На основі виконаного аналізу хлібопекарної печі як об'єкта керування і враховуючи конкретні умови її роботи, синтезуємо схему автоматизації, яка враховує конкретні умови її роботи та забезпечує оптимальні функціональні,

технічні та метрологічні вимоги до неї, а також необхідні показники якості перехідного процесу в кожному з контурів регулювання.

Оптимальна спрощена функціональна схема автоматизації хлібопекарної печі наведена на рисунку 2.1.

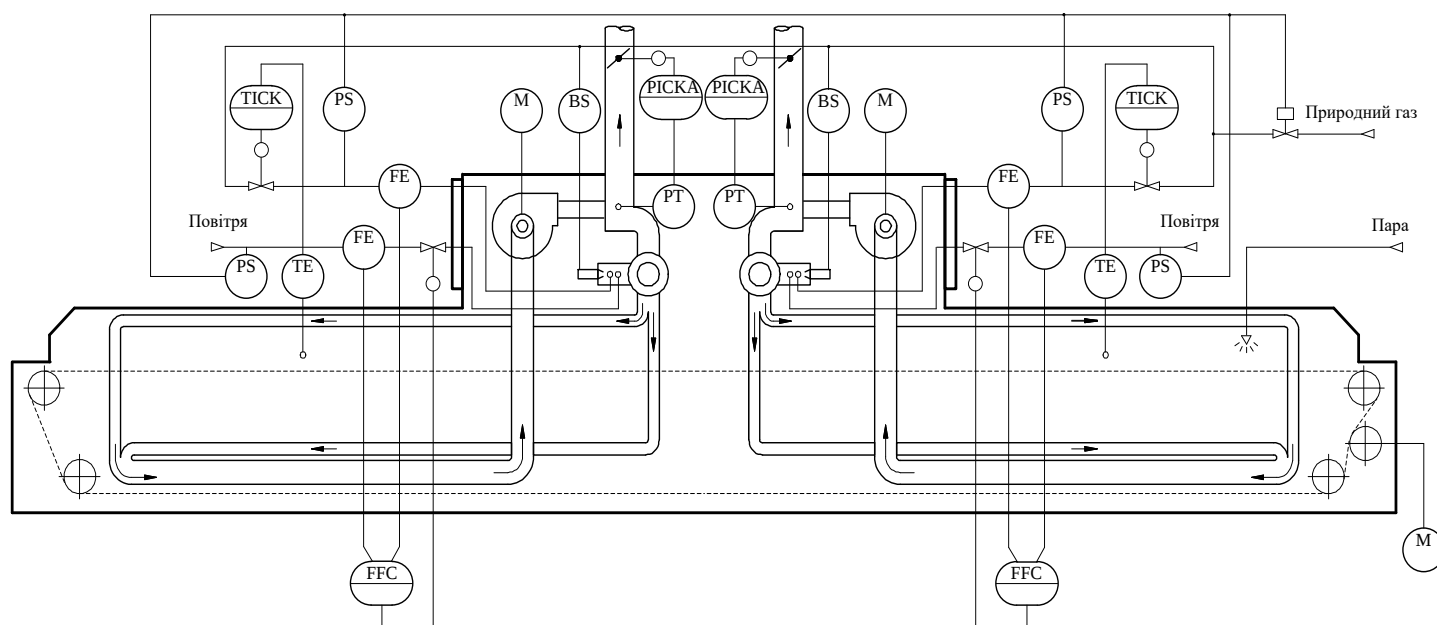


Рис. 2.1. Спрощена функціональна схема автоматизації хлібопекарної печі

2.4. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів

Вибір локальних технічних засобів автоматизації (первинних перетворювачів та виконавчих механізмів) виконано для кожного контуру регулювання та блокування.

Регулювання температури в I-й зоні печі

Для вимірювання температури в I-й зоні хлібопекарної печі використаємо термоперетворювача опору типу ТСП-1088 з номінальною статичною характеристикою (НСХ) 100П (опір при 0 °C становить 100 Ом, матеріал чутливого елемента –платина) класу допуску В. Для отримання уніфікованого сигнал постійного струму 4÷20 мА – застосуємо перетворювач типу SITRANS TH-100.

Регулювання витрати палива

Його здійснюємо за допомогою регулюючого клапана Samson 3213 з електроприводом Samson 5825 із аналоговим входним сигналом 0÷20 мА та напругою живлення 24 В.

Регулювання температури в II-ій зоні печі здійснено аналогічно до контуру регулювання температури в I-ій зоні печі із застосування тих самих технічних засобів.

Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі

Вимірювання витрати палива та повітря виконується за допомогою камерних діафрагм типу ДК-6-40 та давачів різниці тисків Сафір-М 5410, які мають уніфікований вихідний сигнал $4\div 20$ мА. Діапазон вимірювання - $0 \div 4$ кПа. Допустима основна похибка $\pm 0,25$ %.

Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі здійснюється зміною витрати повітря, що подається для спалювання природного газу.

Регулювання витрати повітря здійснюється за допомогою регулюючого клапана Samson 3213 з електроприводом Samson 5825 із аналоговим вхідним сигналом $0\div 20$ мА та напругою живлення 24 В, який встановлено на лінії подачі повітря в першу зону хлібопекарної печі.

Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі здійснено аналогічно до контуру регулювання співвідношення «паливо-повітря» в I-ій зоні печі. Регулюючий клапана Samson 3213 з електроприводом Samson 5825 із аналоговим вхідним сигналом $0\div 20$ мА та напругою живлення 24 В встановлюється на лінії подачі повітря в другу зону хлібопекарної печі.

Регулювання тиску (розрідження) димових газів у I-ій зоні хлібопекарної печі

Розрідження димових газів у першій зоні хлібопекарної печі вимірюють із застосуванням давача розрідження типу Сафір5210 із вихідним аналоговим сигналом $4\ldots 20$ мА. Діапазон вимірювання – до 500 Па. Межі допустимої основної похибки $\pm 0,15$ %.

Регулювання розрідження димових газів здійснюємо за допомогою регулюючої заслінки типу Вентс КП-150 з електроприводом BelimoGM24A-SR із аналоговим вхідним сигналом $0\ldots 10$ В та напругою живлення 24 В.

Регулювання розрідження димових газів у II-ій зоні хлібопекарної печі Таке регулювання здійснюється аналогічно до регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні хлібопекарної печі.

Автоматичне блокування подачі палива

Контроль тиску палива та повітря здійснюємо за допомогою показуючого манометра типу ДМ2005 з контактним пристроєм. Такі манометри застосовують для вимірювання тиску в різних середовищах.

Контроль наявності полум'я в печі доцільно здійснювати із застосуванням запально-захисного пристрою типу ЗЗУ-4 з контролем полум'я за допомогою фотодавача типу ФД-05ГМ. Блокування подачі полум'я здійснюємо за допомогою електромагнітного соленоїдного клапана типу EV220B (65B) .

Вентиляція димових газів у I-ій зоні печі

Вентиляцію забезпечуємо із застосуванням частотного перетворювача типу АСКО ПМ 1-09-10 380В з підключенням асинхронного трифазного двигуна типу АІР 100 S2 потужністю 4 кВт та частотою обертання 3000 об/хв.

Вентиляція димових газів у II-ій зоні печі

Вентиляцію димових газів у II-ій зоні печі здійснюємо за аналогією до вентиляції димових газів в I-ій зоні печі.

Керування транспортерною стрічкою

Для керування транспортерною стрічкою подачі хлібних заготовок застосуємо асинхронний трифазний двигун типу АІР 100 S2і потужністю 4 кВт та частотою обертання 3000 об/хв. Разом з перетворювачем частоти обертання двигуна типу Danfoss VLT MicroDrive FC51 потужністю 3...7.5 кВт, який має та вхідний аналоговий сигнал 4...20 мА.

2.5. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації

Для реалізації опимальної схеми автоматизації хлібопекарної печі застосуємо мікропроцесорний контролер фірми Schneider Electric типу Modicon M340.

Загальний вигляд мікропроцесорного контролера фірми Schneider Electric типу Modicon M340 показаний на рисунку 2.2.



Рис. 2.2. Загальний вигляд мікропроцесорного контролера фірми Schneider Electric типу Modicon M340

Мікропроцесор *Modicon M340* має невеликі габарити, але має достатній об'єм внутрішньої пам'яті і високу продуктивність. В залежності від особливостей технологічного процесу на його роботу можуть накладатися певні обмеження. Мови програмування *Modicon M340* дають змогу вирішення задач будь-якої складності. Висока швидкість обробки у ньому двійкових сигналів поєднується зі здатністю виконувати обрахунки і операції з плаваючою комою.

Стандартні і вдосконалені процесорні модулі платформи автоматизації *Modicon M340* забезпечують повноцінне керування всім його монтажним шасі. Максимальне оснащення становить 11 слотів під установку різних модулів:

- модулі вводу / виводу дискретних сигналів;
- модулі вводу / виводу аналогових сигналів;
- спеціалізовані модулі.

Завдяки великому об'єму пам'яті у процесорі відпадає необхідність оптимізації розробок, тому що процесор на борту має 8 Мбайт пам'яті, де можна зберігати понад 70 тисяч інструкцій програми. В комплекті з процесором поставляється флеш-картка типу SD, яка готова для зберігання архіву програми. Таким чином, необхідності в розширенні пам'яті зазвичай не виникає.

Лицьова панель процесорних модулів BMX P34 2020/2030 містить такі засоби індикації та роз'єми:

1. Гвинт для того, щоб надійно кріпити модуль в слоті (маркування 0) монтажного шасі.

2. Блок індикації, що має 8 або 10 світлодіодних індикаторів. Це залежить від моделі. Типи індикаторів:

- v індикатор RUN (зелений): робота процесорного модуля (виконання програми);
- v індикатор ERR (червоний): несправність процесорного модуля або системи;
- v індикатор I / O (червоний): несправність модулів вводу / виводу;
- v індикатор SER COM (жовтий): обмін по послідовному інтерфейсу Modbus;
- v індикатор CARD ERR (червоний): карта пам'яті відсутня або несправна;
- v індикатор ETH ACT (зелений): обмін по мережі Ethernet TCP / IP;
- v індикатор ETH STS (зелений): стан мережі Ethernet TCP / IP;
- v індикатор ETH 100 (червоний): швидкість передачі даних по мережі Ethernet TCP / IP (10 або 100 Мбіт / с)

Таблиця 2.2

Загальні характеристики процесорних модулів

Характеристика		BMX P34 1000	BMX P34 2000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Макс. кількість	шасі	2	4			
	дискретних вх+вих.	512	1024			
	аналогових вх+вих	128	256			
	лічильних каналів	20	36			
Об'єм RAM	загальний розмір	2048 Кб	4096 Кб			
	для програм, констант, символів	1792 Кб	3584			
	для даних	128 Кб	256 Кб			
Макс. кількість об'єктів	локалізовані внутрішні біти %Mi	16250	32464			
	локалізовані внутр. слова %MWi	32464				
	нелокалізовані внутрішні дані	128 Кб	256 Кб			
вбудовані комунікації	послідовний RS-485/RS-232C	+	+	+	+	-
	Ethernet TCP/IP	-	-	-	+	+
	CANOpen	-	-	+	-	+

Для кожного монтажного шасі BMX XBP pr00 потрібно встановлювати модуль живлення. Вони встановлюються в перші два слоти на кожне монтажне шасі (з маркуванням CPS). Для кожного шасі необхідно скласти таблицю енергоспоживання. Це потрібно для того щоб визначити найбільш відповідний

модуль живлення BMX CPS rrr0. Загальні характеристики процесорних модулів наведено в таблиці 2.2.

Врохувавши всі вимоги до мікропроцесорного засобу і та умови його роботи і визначивши необхідну кількість дискретних і аналогових модулів вводу/виводу для даного технологічного процесу мною було обрано такі модулі:

BMX DDI 1602 – модуль дискретних входів;

BMX DDO 1602 - модуль дискретних виходів;

BMX AMM 0600 – модуль аналогових входів/виходів;

BMX AMI 0410 – модуль аналогових входів;

BMX AMM 0600 – модуль аналогових входів/виходів;

Конфігурація входів та виходів контролера наведена на рисунку 2.3.

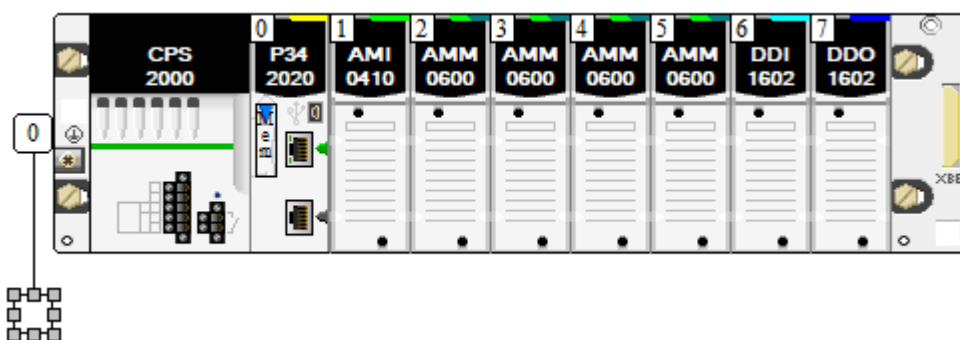


Рис.2.3. Конфігурація входів та виходів контролера в середовищі UnityPro

2.6. Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера ModiconM340

Вигляд програми функціонування контролера показана на нижченаведених рисунках.

На мікропроцесорному контролері M340 реалізовуємо такі системи автоматичного регулювання (САР):

1. Регулювання температури в I-ій зоні печі

Для реалізації контуру регулювання температури в I-ій зоні печі, застосуємо блок INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real, прописуємо аналоговий вхідний сигнал AI_T1 для якого задаємо адресу %IW0.1.0. Вихідний

сигнал (OUT) записуємо у проміжний регістр MW78. Після цього масштабуємо сигнал за допомогою блоку SCALING та прописуємо параметри налаштувань (PARA1), вхідному сигналу (IN) задаємо регістр MW78. На виході (OUT) отримуємо масштабований сигнал, який перезаписуємо у проміжний регістр MW78 (рисунок 2.4).

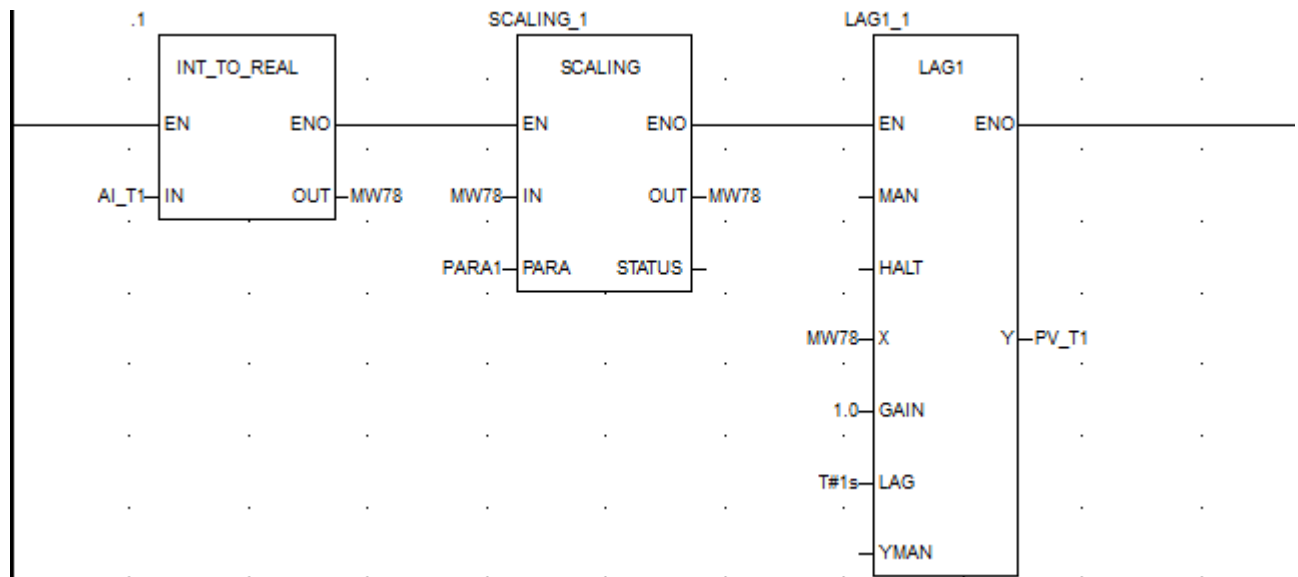


Рис. 2.4. Застосування блоку INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real в контурі вимірювання температури в I-ій зоні печі

Далі реалізуємо алгоритм аперіодичної ланки першого порядку за допомогою блоку LAG1. Задаємо коефіцієнт підсилення 1.0 та сталу часу 1 секунда. Вихід перезаписуємо у регістр PV_T1. Це буде змінна процесу.

Для реалізації ПІД регулятора, застосуємо функціональний блок PIDFF (рисунок 2.5).

Завдання (SP) задаємо за допомогою проміжного регістра SP_T1.

Вибір режиму роботи (MAN_AUTO) здійснюємо проміжним бітом % Man_Auto_T1. Далі прописуємо параметри налаштувань (PARA). Із параметру MA_O, отримаємо поточний режим роботи. Вихідний сигнал (OUT) формуємо в регістр CV_T1. Далі застосовуємо функціональний блок ручного керування MS із вхідним сигналом (IN), записаним у регістрі CV_T1, прописуємо параметри налаштування (PARA) та формуємо вихідний сигнал (OUT) в проміжний регістр CV_T1 (рисунок 2.6).

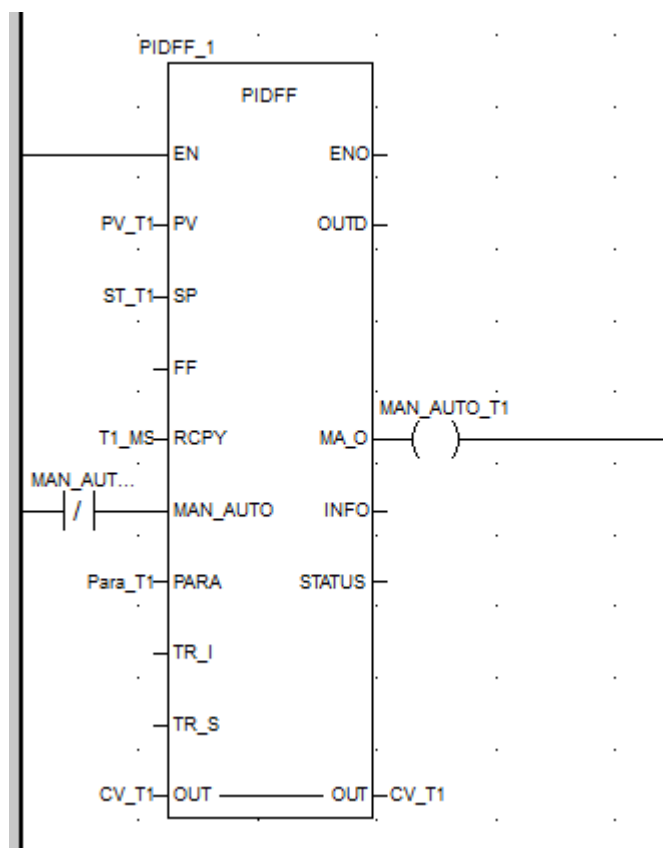


Рис. 2.5. Програма для реалізації ПІД регулятора в контурі регулювання температури в І-й зоні печі

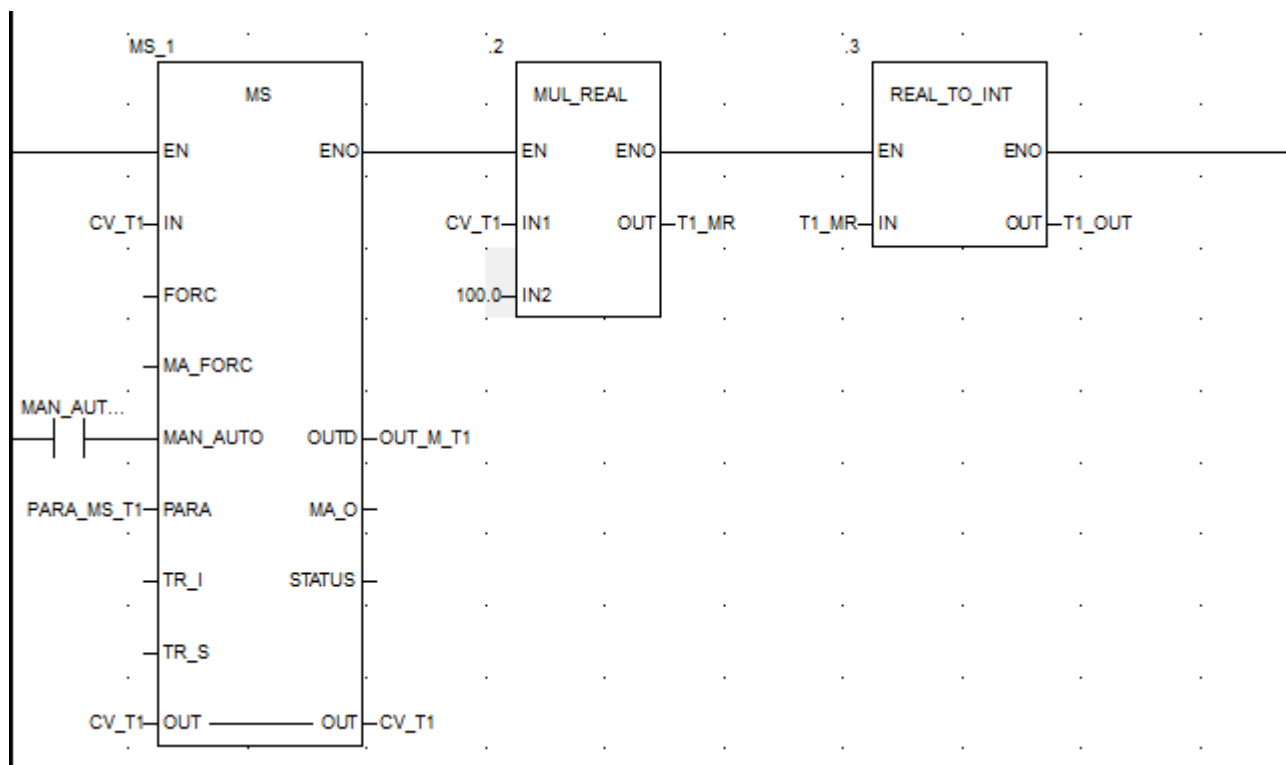


Рис. 2.6. Програма для параметрів налаштування регулятора та формування вихідного сигналу контуру регулювання температури в І-й зоні печі

За допомогою функціонального блоку MUL_REAL, перемножуємо вхідні значення (IN1 та IN2) і на виході (OUT) записуємо результат в проміжний регістр T1_MR.

Далі застосуємо блок REAL_TO_INT для перетворення формату з Real в Integer та отримаємо вихідний аналоговий сигнал (OUT) T1_OUT, для якого задаємо адресу %QW0.1.4.

Також реалізуємо сигналізацію по верхній та нижній межі температури (рисунок 2.7). Для цього застосуємо функціональні блоки COMPARE.

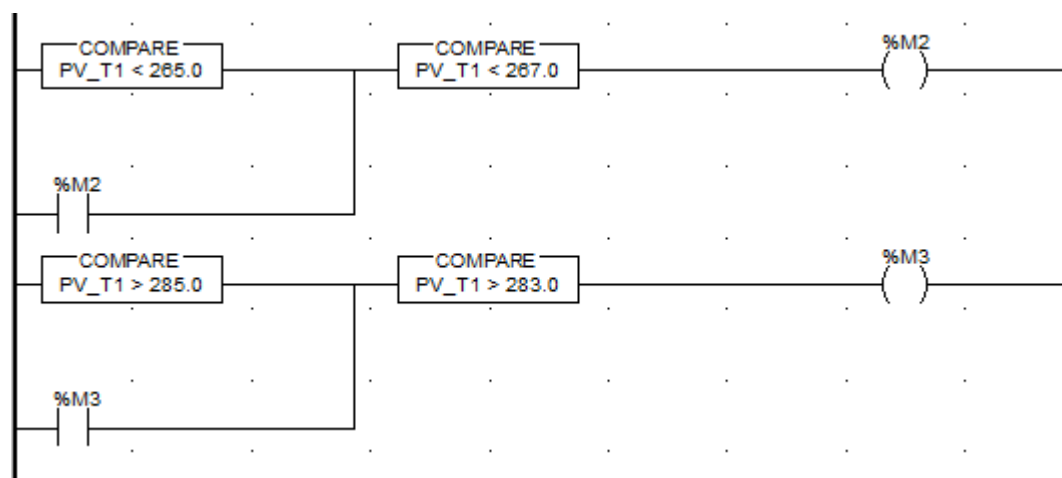


Рис. 2.7. Програма реалізації сигналізації по верхній та нижній межі температури в I-ій зоні печі

2. Регулювання температури в II-ій зоні печі виконано за аналогією до контуру регулювання температури в I-ій зоні печі.

3. Регулювання співвідношення «паливо-повітря» в I-ій зоні печі

Для реалізації контуру регулювання витрати палива в I-ій зоні печі застосуємо блок INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real, прописуємо аналоговий вхідний сигнал (IN) AI0_20 для якого задаємо адресу %IW0.1.2. Вихідний сигнал (OUT) записуємо у проміжний регістр AI0_G. Далі масштабуємо сигнал за допомогою блоку SCALING та прописуємо параметри налаштувань (PARAM) і вхідному сигналу (IN) задаємо регістр AI0_G. На виході (OUT) отримуємо масштабований сигнал, який перезаписуємо у проміжний регістр AI0_G. Далі добуваємо квадратний корінь за допомогою функціонального

блоку K_SQRT із масштабованого сигналу, який перезаписуємо у проміжний регістр AI0_G (рисунок 2.8).

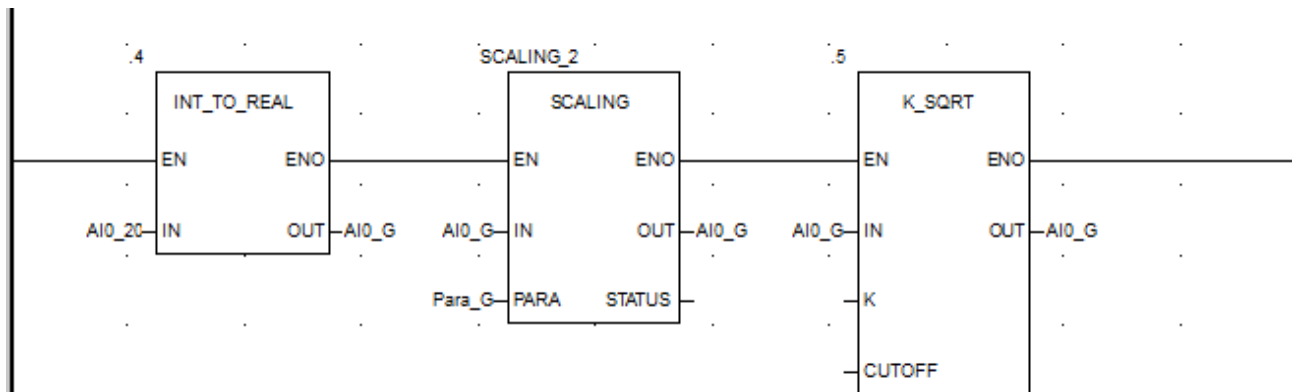


Рис. 2.8. Застосування блоку INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real в контурі вимірювання витрати палива в I-й зоні печі

Дальше реалізуємо алгоритм аперіодичної ланки першого порядку за допомогою блоку LAG1 (рисунок 2.9).

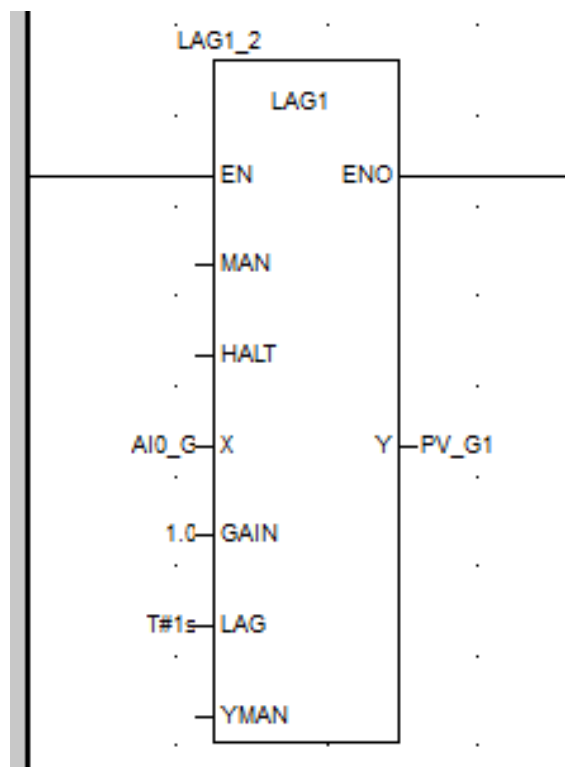


Рис. 2.9. Програма реалізації алгоритму аперіодичної ланки першого порядку за допомогою блоку LAG1 для контуру вимірювання витрати палива

Пропишуємо проміжний регістр AI0_G для вхідного параметру (X), задаємо коефіцієнт підсилення (GAIN) 1.0 та затримку по часі (LAG) 1 секунду. Вихід (Y) перезаписуємо у регістр PV_G1.

Для вимірювання витрати повітря в I-ій зоні печі, застосуємо блок INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real, прописуємо аналоговий вхідний сигнал (IN) AI0_21 для якого задаємо адресу %IW0.1.3. Вихідний сигнал (OUT) записуємо у проміжний регістр AI0_P. Далі масштабуємо сигнал за допомогою блоку SCALING та прописуємо параметри налаштувань (PARAM) і вхідному сигналу (IN) задаємо регістр AI0_P. На виході (OUT) отримуємо масштабований сигнал, який перезаписуємо у проміжний регістр AI0_P. Далі добуваємо квадратний корінь за допомогою функціонального блоку K_SQRT із масштабованого сигналу, який перезаписуємо у проміжний регістр AI0_P (рисунк 2.10).

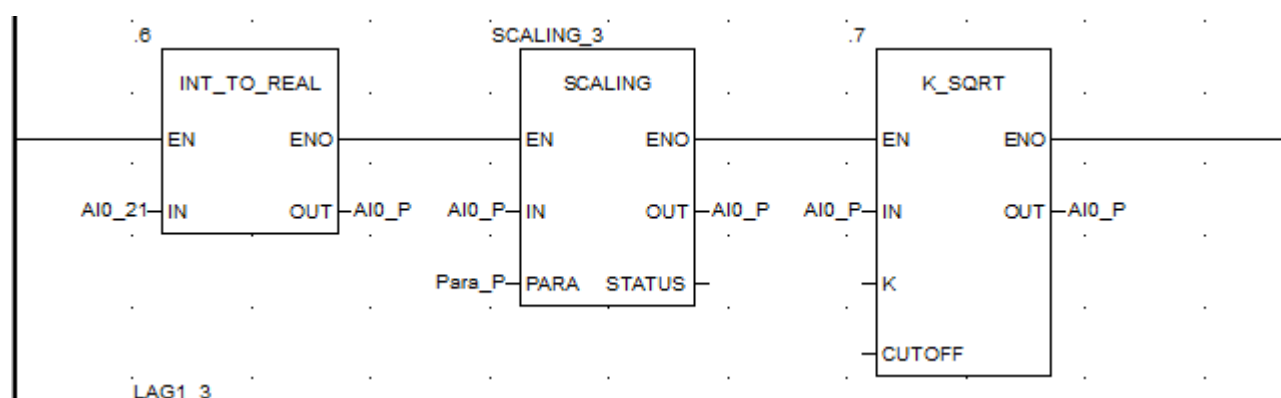


Рис. 2.10. Застосування блоку INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real в контурі вимірювання витрати повітря в I-ій зоні печі

Далі реалізуємо алгоритм аперіодичної ланки першого порядку за допомогою блоку LAG1 (рисунк 2.11).

Пропишуємо проміжний регістр AI0_P для вхідного параметру (X), задаємо коефіцієнт підсилення (GAIN) 1.0 та затримку по часі (LAG) 1 секунду. Вихід (Y) перезаписуємо у регістр PV_P1.

За допомогою функціонального блоку DIV_REAL, виконуємо ділення сигналів записаних у регістрах PV_G1 та PV_P1. Результат записуємо в проміжний регістр PV_spiv

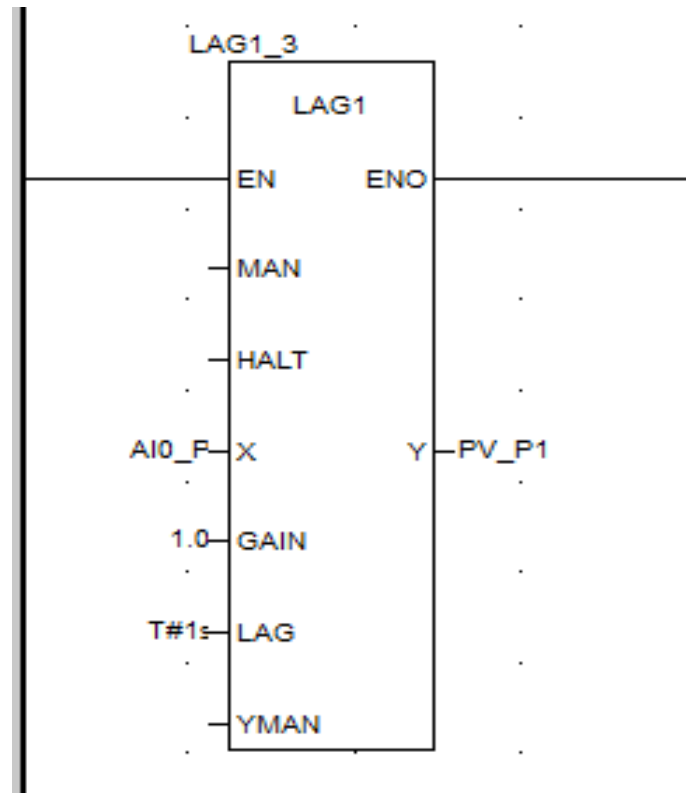


Рис. 2.11. Програма реалізації алгоритму аперіодичної ланки першого порядку за допомогою блоку LAG1 для контуру вимірювання витрати повітря

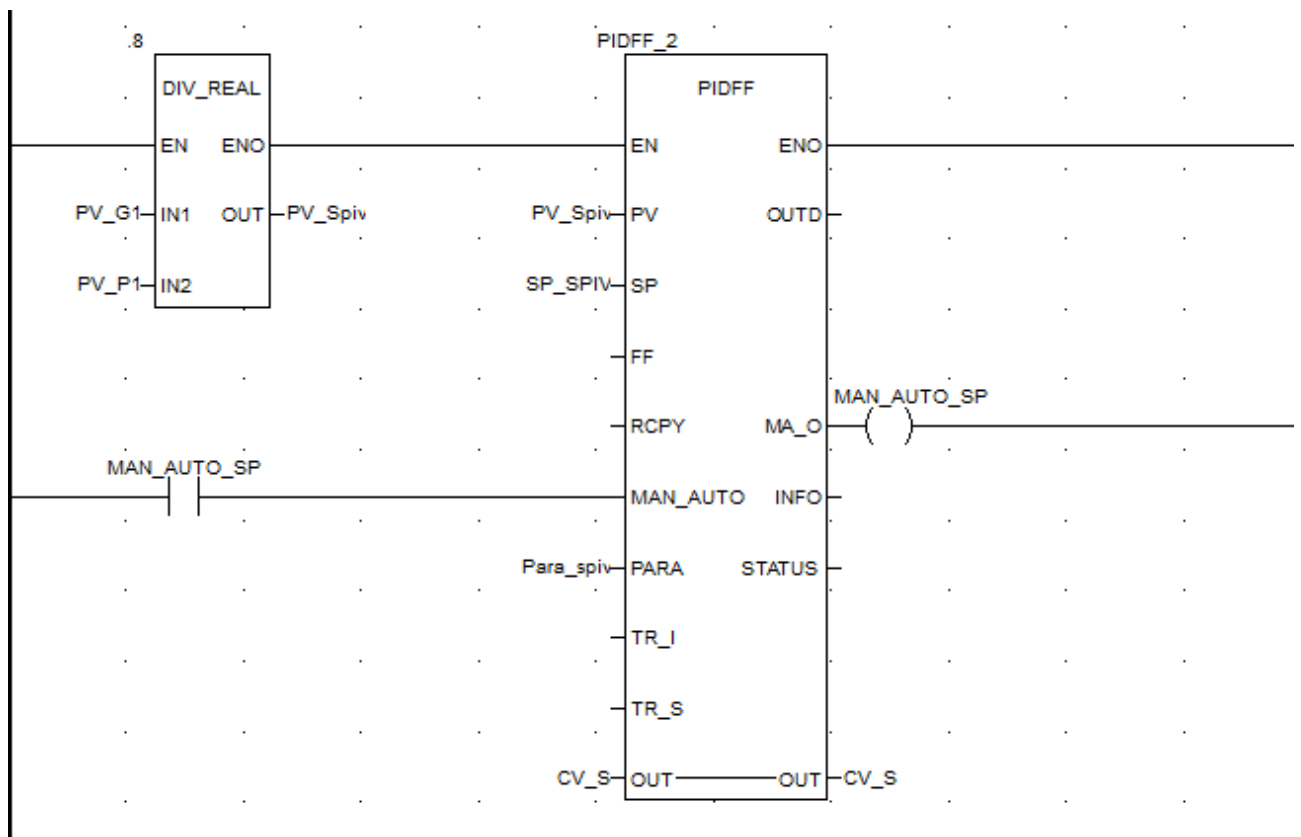


Рис. 2.12. Програма для реалізації ПІД регулятора в контурі регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-й зоні печі

Для реалізації ПІД регулятора, застосуємо функціональний блок PIDFF (рисунок 2.12).

Значення процесу (PV) задаємо із проміжного регістра PV_Spiv. Завдання (SP) задаємо за допомогою проміжного регістра SP_SPIV.

Вибір режиму роботи (MAN_AUTO) здійснюємо проміжним бітом MAN_AUTO_SP. Далше прописуємо параметри налаштувань (PARAM). Із параметру MA_O, отримаємо поточний режим роботи. Вихідний сигнал (OUT) формуємо в регістр CV_S. Далі застосовуємо функціональний блок ручного керування MS із входнім сигналом (IN), записаним у регістрі CV_S, прописуємо параметри налаштування (PARAM) та формуємо вихідний сигнал (OUT) в проміжний регістр CV_S (рисунок 2.13).

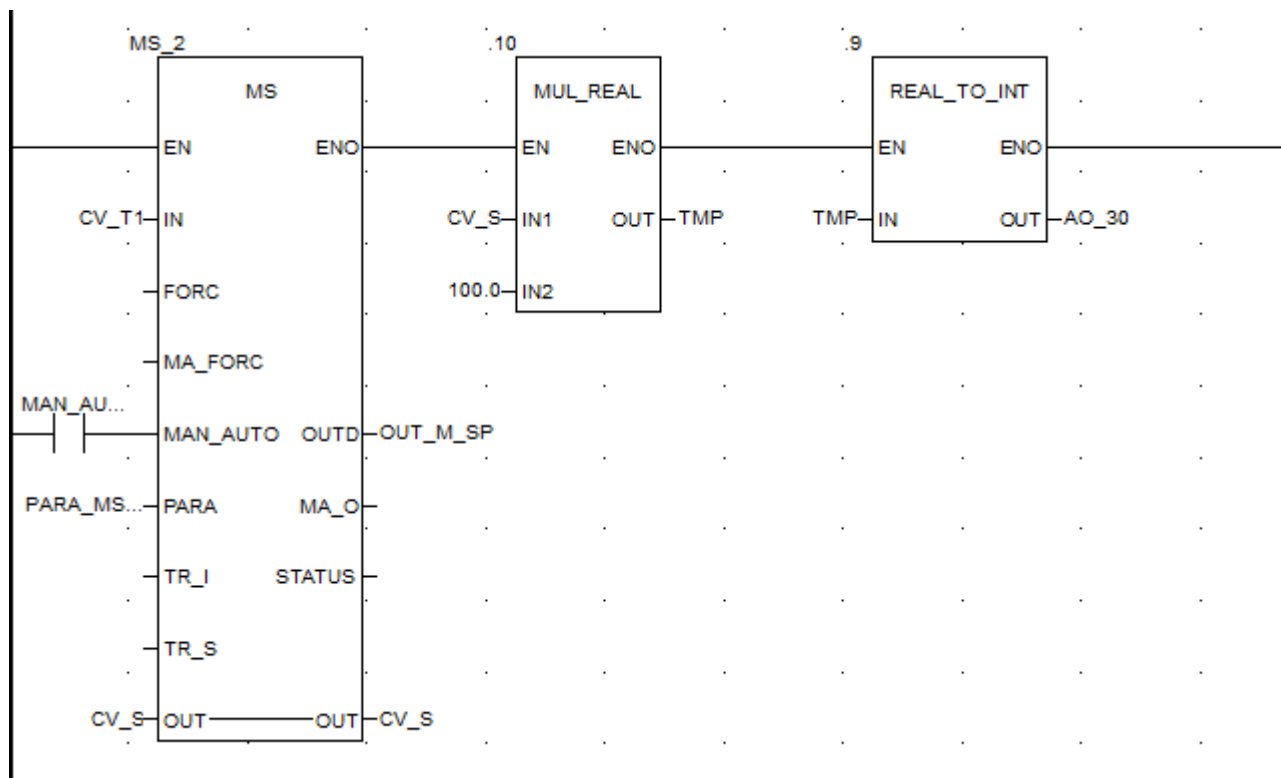


Рис. 2.13. Програма параметрів налаштування регулятора та формування вихідного сигналу

За допомогою функціонального блоку MUL_REAL, перемножуємо входні значення (IN1 та IN2) і привласнюємо результат (OUT) в проміжний регістр TMP.

Далі застосуємо блок REAL_TO_INT для перетворення формату з Real в

Integer та отримаємо вихідний аналоговий сигнал (OUT) AO_30 для якого задаємо адресу %QW0.2.4.

4. Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі здійснено аналогічно до контуру регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі.

5. Захист та блокування подачі палива

Для реалізації контуру захисту та блокування подачі палива, застосуємо нормально закриті контакти вимірювальних приладів для того, щоб при аварії чи розриві лінії, на виході сформувався логічний сигнал «1» і спрацював електромагнітний клапан, для якого запишемо проміжний регістр DO4 із адресою %Q0.6.2. Для контролю полум'я, прописуємо допоміжні регістри DI1 та DI2 із адресами %I0.5.0 та %I0.5.1 відповідно. Для давачів тиску газу та повітря, прописуємо проміжні регістри DI3-DI6 із адресами %I0.5.2-%I0.5.5 (рисунок 2.14).

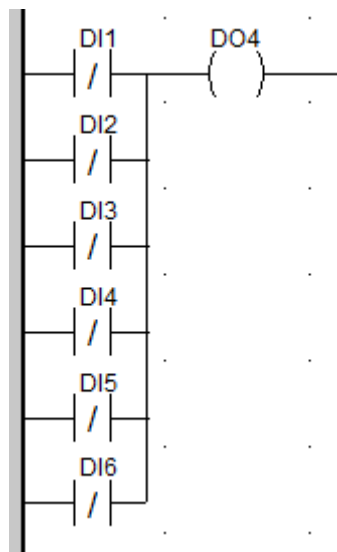


Рис. 2.14. Програма реалізації захисту та блокування подачі палива

6. Регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі

Для реалізації контуру розрідження димових газів в I-ій зоні печі, застосуємо блок INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real, прописуємо аналоговий вхідний сигнал (IN) AI_P1 для якого задаємо адресу %IW0.5.6. Вихідний сигнал (OUT) запишемо у проміжний регістр TEMP. Даліше масштабуємо сигнал за допомогою блоку SCALING та прописуємо параметри налаштувань (PARA) і вхідному сигналу (IN) задаємо регістр TEMP. На виході

(OUT) отримуємо масштабований сигнал, який перезаписуємо у проміжний регістр TEMP_RoZ. Програма функціонування контуру регулювання зображена на рисунку 2.15.

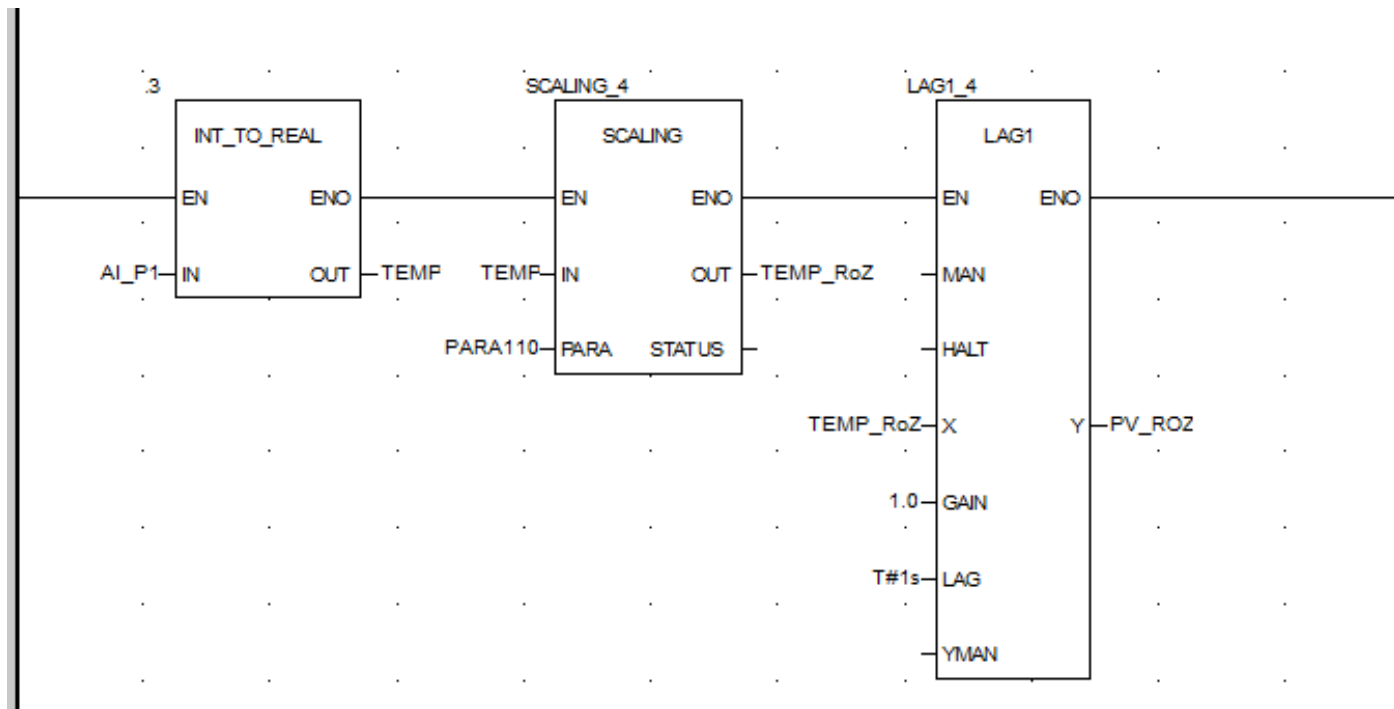


Рис. 2.15. Застосування блоку INT_TO_REAL для перетворення формату з Integer в Real в контурі вимірювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі

Після цього реалізуємо алгоритм аперіодичної ланки першого порядку за допомогою блоку LAG1.

Прописуємо проміжний регістр TEMP_RoZ для входного параметру (X), задаємо коефіцієнт підсилення (GAIN) 1.0 та затримку в часі (LAG) в 1 секунду. Вихід (Y) перезаписуємо у регістр PV_ROZ.

Для реалізації ПІД регулятора, застосуємо функціональний блок PIDFF (рисунок 2.16).

Завдання (SP) задаємо за допомогою проміжного регістра ST_ROZ.

Дальше прописуємо параметри налаштувань (PARA). Вихідний сигнал (OUT) формуємо в регістр CV_ROZ.

За допомогою функціонального блоку MUL_REAL, перемножуємо входні значення (IN1 та IN2) і привласнюємо результат в проміжний регістр Temp_RZ.

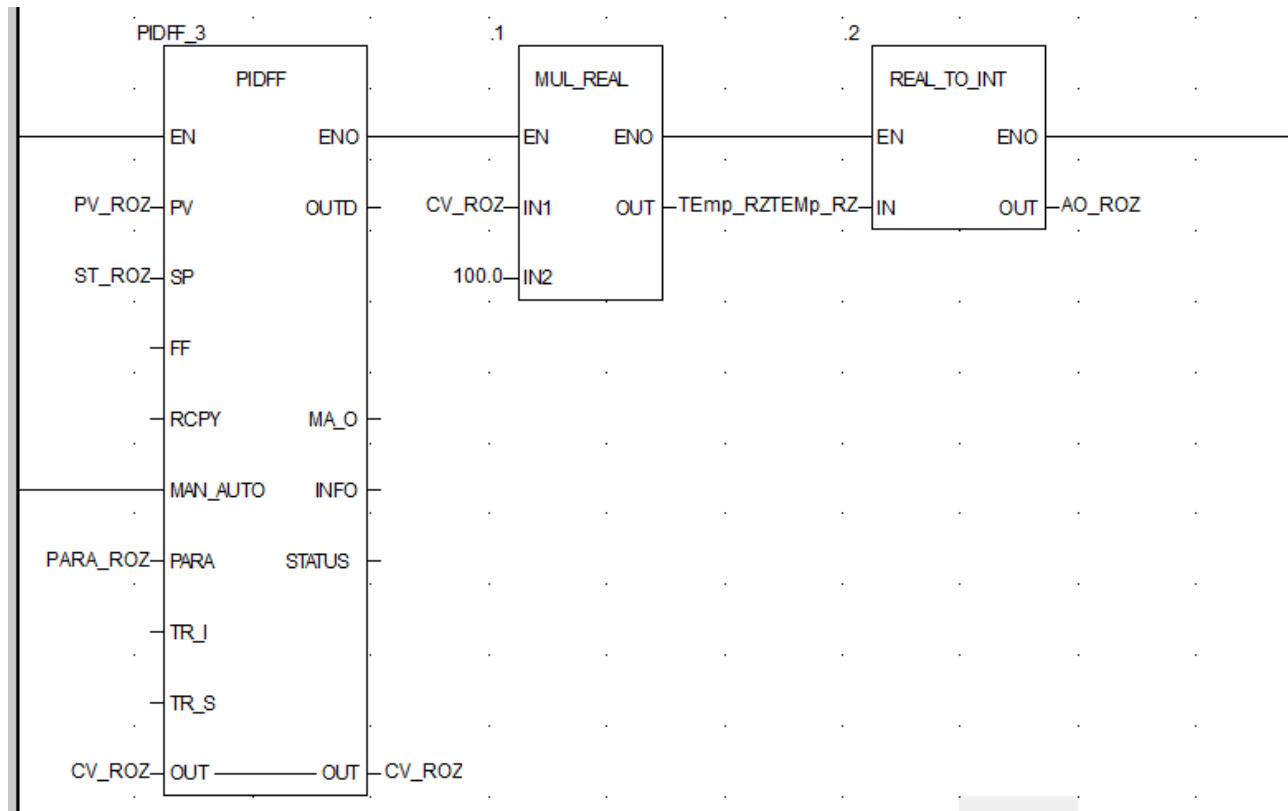


Рис. 2.16. Програма для реалізації ПІД регулятора в контурі регулювання розрідження димових газів в І-ій зоні печі

Далі застосуємо блок REAL_TO_INT для перетворення формату з Real в Integer та отримаємо вихідний аналоговий сигнал (OUT) AO_ROZ для якого задаємо адресу %QW0.3.4.

Також реалізуємо сигналізацію по верхній та нижній межі розрідження. Для цього застосуємо функціональні блоки COMPARE (рисунок 2.17).

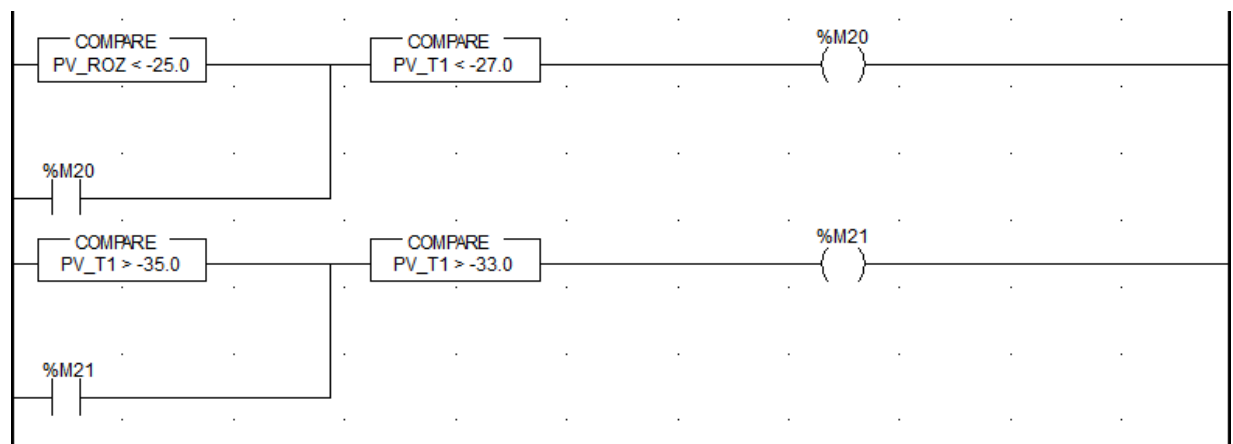


Рис. 2.17. Програма реалізації сигналізації по верхній та нижній межі розрідження димових газів в в І-ій зоні печі

7. Регулювання розрідження димових газів у II-ій зоні печі здійснено аналогічно до регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі.

8. Вентиляція димових газів в I-ій зоні печі

Для управління вентиляторами в I-ій зоні печі, застосуємо нормально розімкнуті контакти. Для запуску двигуна прописуємо проміжний біт %M23 та використаємо котушку «встановити» і призначимо проміжний регістр DO1 із адресою %Q0.6.0. Для зупинки двигуна прописуємо проміжний біт %M24 та використаємо котушку «обнулити» і призначимо проміжний регістр DO1 (рисунок 2.18).

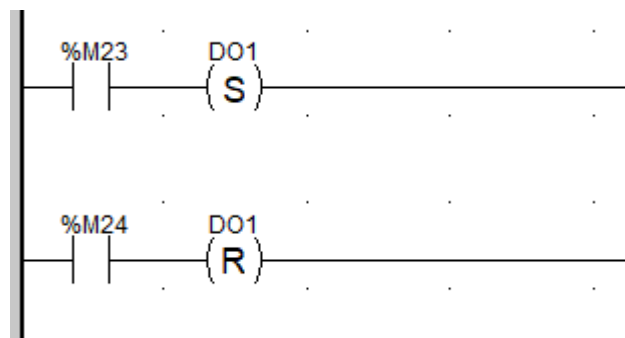


Рис. 2.18. Програма керування вентиляцією димових газів в I-ій зоні печі

9. Вентиляція димових газів в II-ій зоні печі здійснена аналогічно до контуру вентиляції димових газів в I-ій зоні печі.

10. Керування транспортерною стрічкою

Для управління транспортерною стрічкою, застосуємо нормально розімкнуті контакти. Для запуску двигуна прописуємо проміжний біт %M25 та використаємо котушку «встановити» і призначимо проміжний регістр DO3 із адресою %Q0.6.3. Для зупинки двигуна прописуємо проміжний біт %M26 та використаємо котушку «обнулити» і призначимо проміжний регістр DO3.

Також для блокування двигуна при аварії, використаємо реле із частотного перетворювача, прописавши в нормально закритий контакт, проміжний регістр DI7 із адресою %I0.5.6 (рисунок 2.19).

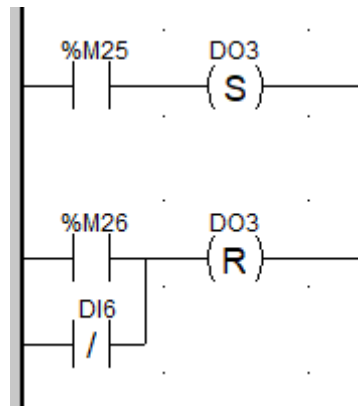


Рис. 2.19. Програма керування транспортерною стрічкою печі

Для керування частотою двигуна, масштабуємо сигнал за допомогою блоку SCALING та прописуємо параметри налаштувань і вхідному сигналу задаємо регістр Motor. На виході отримуємо масштабований сигнал, який перезаписуємо у блок REAL_TO_INT для перетворення формату з Real в Integer та отримаємо вихідний аналоговий сигнал Q7 для якого задаємо адресу %QW0.4.4. Програма керування частотою двигуна наведена на рисунку 2.20.

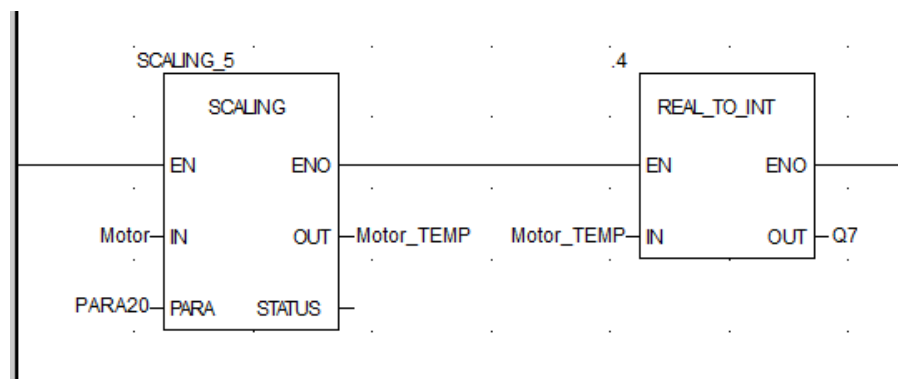


Рис. 2.20. Програма керування частотою двигуна

2.7. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера Modicon M340

У даній бакалаврській роботі розглянуто принципові електричні схеми зовнішніх з'єднань контролера ModiconM340 для кожного контуру регулювання, які наведена рисунках 4.20-4.

1. Контур регулювання температури в I-й зоні печі

Для вимірювання температури застосовуємо термоперетворювач опору ТСП-1088 з модулем перетворення в уніфікований сигнал постійного струму 4-20 мА

типу SitransTH-100, який підключаємо із клеми 2 до аналогового вхідного сигналу модуля розширення АМІ0410 та до клеми 1 підключаємо напругу +24В із блоку живлення. Схема підключення показана на рисунку 2.21.

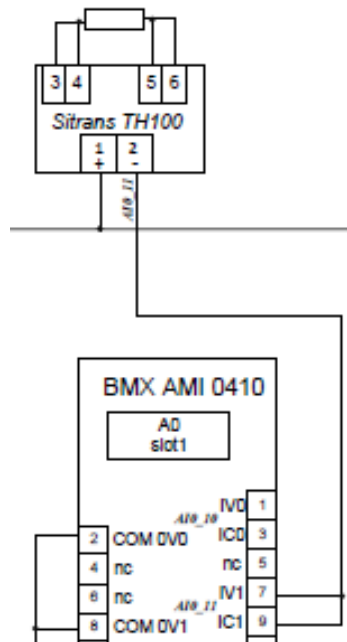


Рис. 2.21. Схема підключення термоперетворювача опору з уніфікованим вихідним сигналом

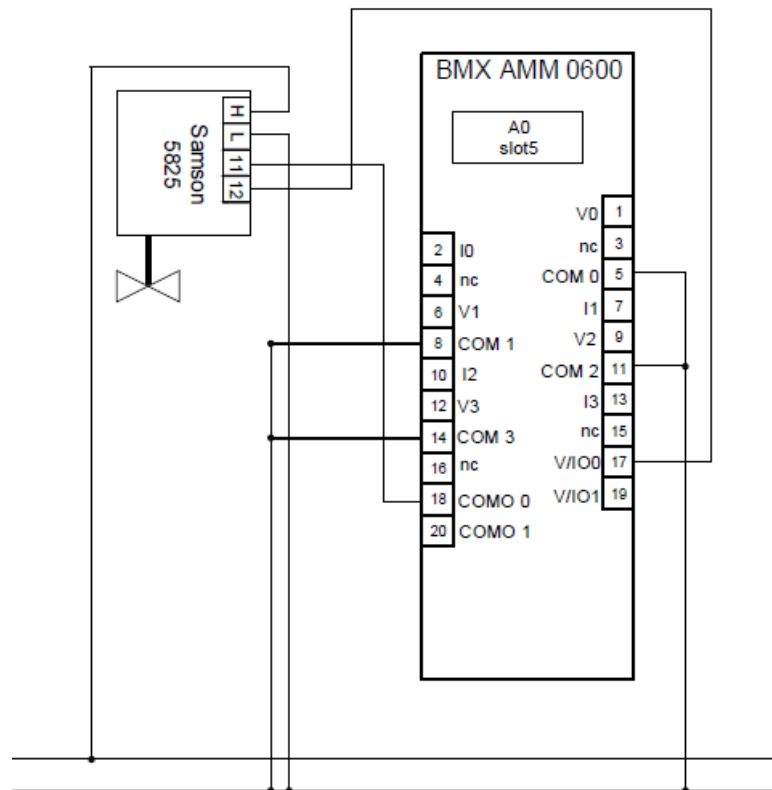


Рис. 2.22. Підключення вихідного аналогового сигналу температури до електричного виконавчого механізму Samson

Із модуля розширення АММ0600, вихідний аналоговий сигнал підключаємо на клеми 11 та 12 електричного виконавчого механізму Samson 5825 та подаємо на клеми Н та L напругу живлення 24В (рисунок 2.22).

2. *Контур регулювання температури в II-ій зоні печі здійснено за аналогією до контуру регулювання температури в I-ій зоні печі.*

3. *Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі*

Для вимірювання витрати газу та повітря використовуємо давачі різниці тисків СафірМ 5410 із вихідним сигналом 4÷20 мА, які підключаємо із клеми 2 до аналогового вхідного сигналу модуля розширення АММ0600 та до 1 клеми підключаємо +24В із блоку живлення, на 5 та 6 клеми даємо перемичку (рисунок 2.23).

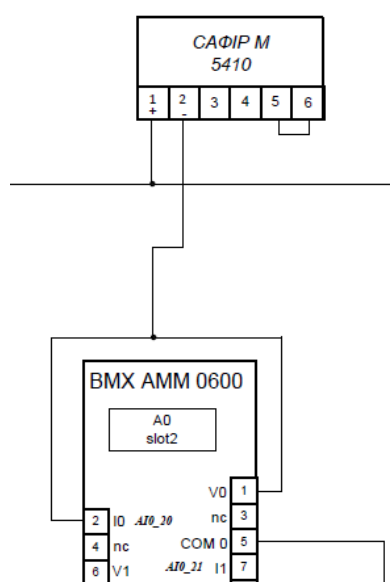


Рис. 2.23. Під'єднання давачів різниці тисків СафірМ 5410 із вихідним сигналом 4÷20 мА

Із модуля розширення АММ0600, вихідний аналоговий сигнал підключаємо на клеми 11 та 12 електричного виконавчого механізму Samson 5825 та подаємо на клеми Н та L напругу живлення 24В (рисунок 2.24).

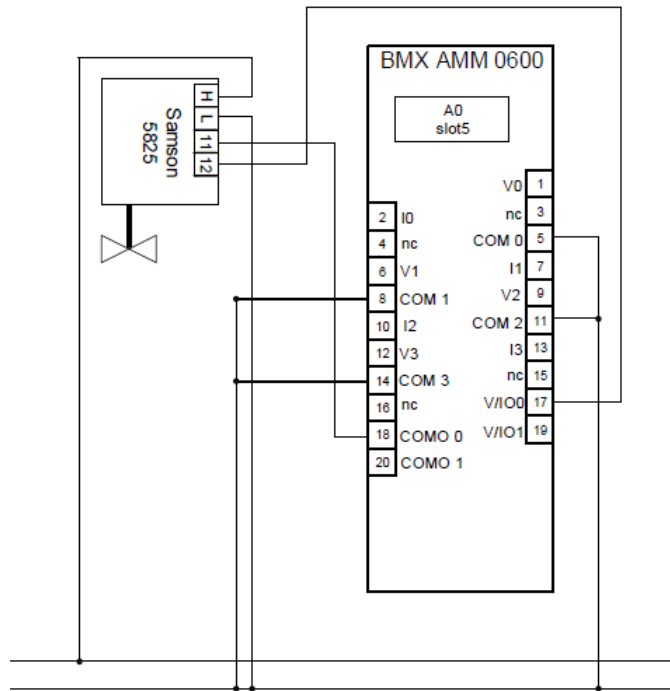


Рис. 2.25. Підключення вихідного аналогового сигналу давачів різниці тисків СафірМ 5410 тисків із вихідним сигналом 4÷20 мА до електричного виконавчого механізму Samson

4. Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі здійснено аналогічно до контуру регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі.

5. Захист та блокування подачі палива

Для контролю тиску газу та повітря використовуємо манометр показуючий з контактним реле ДМ2005 із дискретним вихідним сигналом. На клему С подаємо напругу із блоку живлення +24В, а дискретний вихідний сигнал із клеми NC підключаємо до дискретного модуля розширення DDI 1602. Схеми підключення наведені на рисунку 2.26.

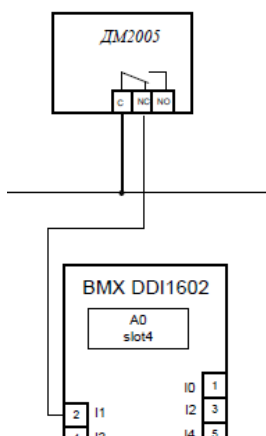


Рис. 2.26. Схема підключення приладів для захист та блокування подачі палива

Для контролю полум'я використовуємо запально-захисний пристрій ЗЗУ-4 на який подаємо на клеми 1 і 2 напругу живлення 24В. Із клеми 4 подаємо дискретний вихідний сигнал до модуля розширення DDI 1602 (рисунок 2.27).

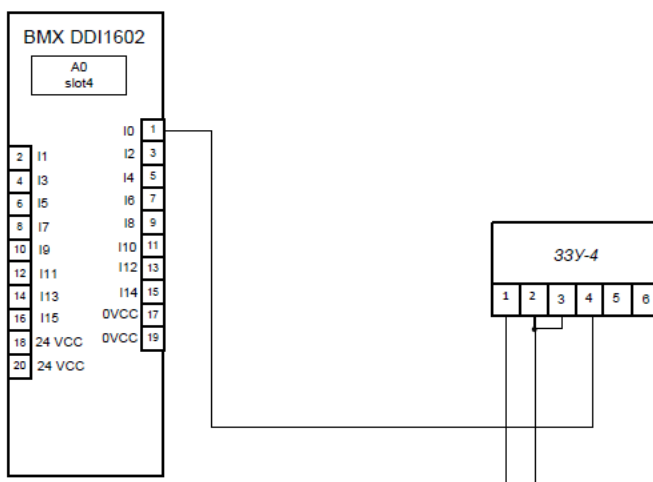


Рис. 2.27. Схема підключення запально-захисний пристрій ЗЗУ-4 для контролю наявності полум'я

Для блокування подачі палива використовуємо електромагнітний клапан EV220В із дискретним входним сигналом. На клему 2 подаємо напругу із блоку живлення 0В, а дискретний входний сигнал із клеми 1 підключаємо до дискретного модуля розширення DDO 1602 (рисунок 2.28).

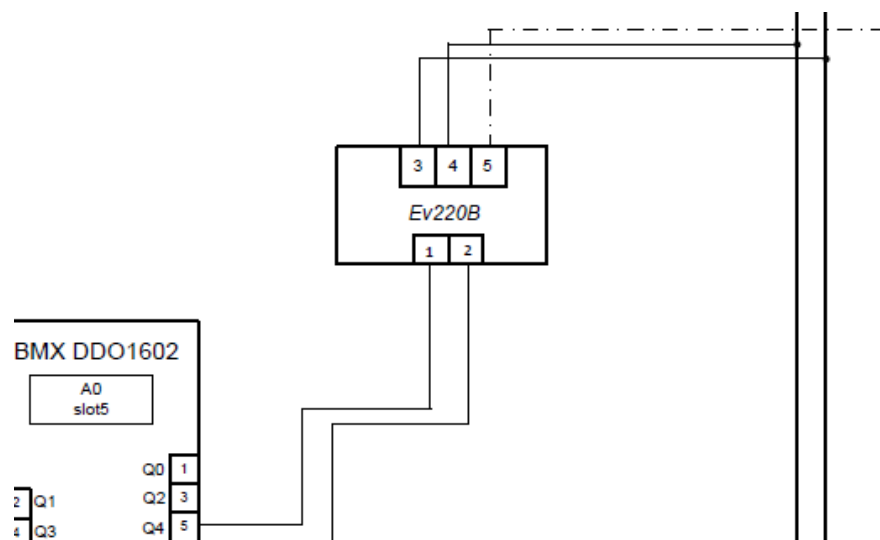


Рис. 2.28. Схема підключення електромагнітного клапана EV220B із дискретним входним сигналом для блокування подачі палива

6. Регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі

Для регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі застосовуємо давач розрідження Сафір5210 із вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА, який підключаємо із клеми 2 до аналогового входного сигналу модуля розширення АММ0600 та до 1 клеми підключаємо +24В із блоку живлення, на 5 та 6 клеми встановлюємо перемичку. Схема підключення – на рисунку 2.29.

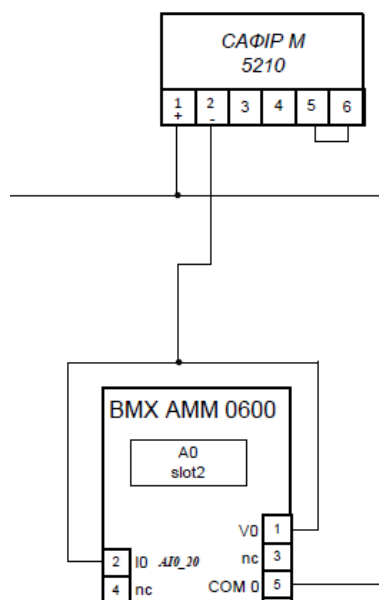


Рис. 2.29. Схема підключення давача розрідження Сафір5210 із вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА

Із модуля розширення АММ0600, вихідний аналоговий сигнал підключаємо до 0В блоку живлення та до клеми 3 електроприводу BelimoGM24A-SR і подаємо на клеми 1 та 2 напругу живлення 24В (рисунок 2.30).

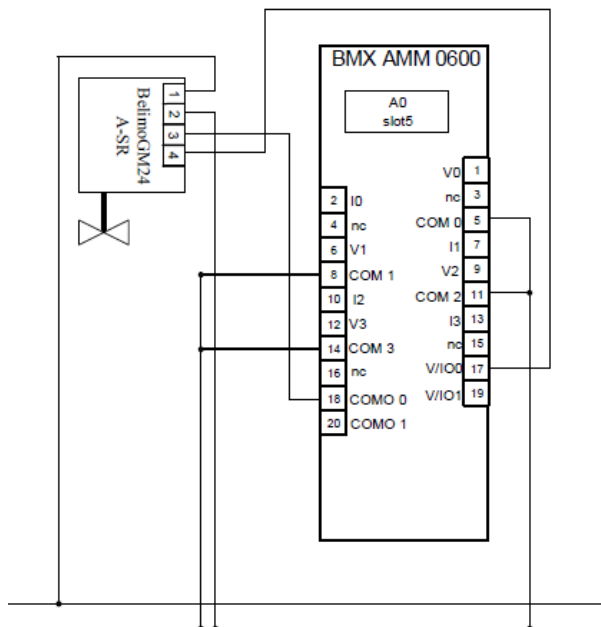


Рис. 2.30. Схема підключення електроприводу BelimoGM24A-SR для регулювання розрідження в I-ій зоні печі

7. Регулювання розрідження димових газів у II-ій зоні печі здійснено аналогічно до контуру регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі.

8. Вентиляція димових газів в I-ій зоні печі

Для роботи вентилятора використовуємо трифазний двигун, підключений до магнітного пускача АСКО ПМ 1-09-10 380В на клеми 2Т1, 4Т2 та 6Т3. Напругу живлення 380В подаємо на клеми 1L1, 3L2 та 5L3. Із дискретного модуля розширення DDO 1602 подаємо дискретний сигнал на клему А2 та клему А1 підключаємо до блоку живлення із напругою 0В (рисунок 2.31) .

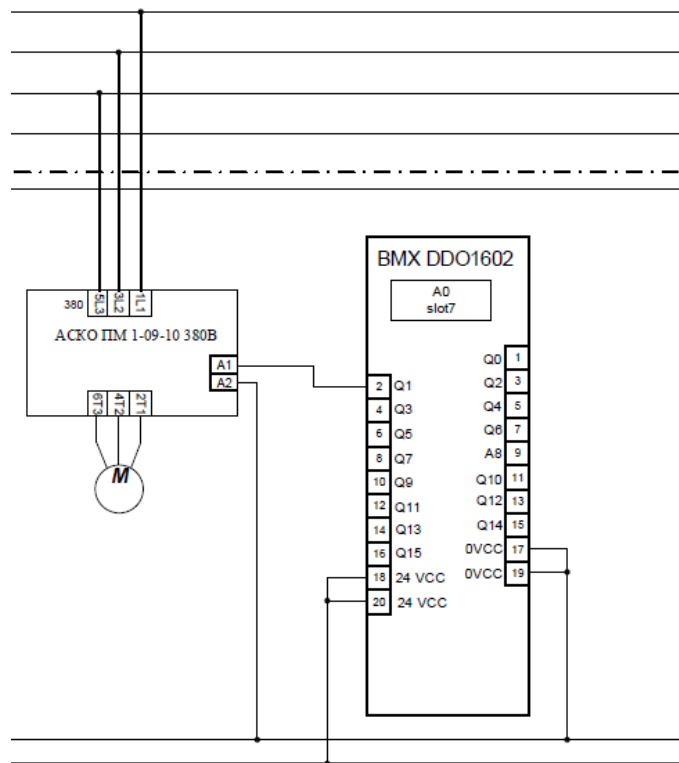


Рис. 2.31. Схема підключення трифазного двигуна до магнітного пускача АСКО ПМ 1-09-10 для вентиляції димових газів в I-ій зоні печі

9. Вентиляцію димових газів в II-ій зоні печі здійснено аналогічно до контуру вентиляції димових газів в I-ій зоні печі.

10. Керування транспортерною стрічкою

Для керування транспортерною стрічкою, використовуємо трифазний двигун, який підключаємо до перетворювача частоти Danfoss VLT Micro Drive FC51 на клемах U, V та W. Напругу живлення 380В подаємо на клемах L1, L2 та L3. Для включення частотного перетворювача, подаємо дискретний вихідний сигнал із модуля розширення DDO 1602 на клему 18 та на клему 20 підключаємо напругу живлення 0В. Для управління частотою, підключаємо аналоговий вихідний сигнал із модуля розширення AMM 0600 на клемах 55 та 60. Із модуля розширення DDI 1602 подаємо сигнал на реле захисту на клему 1 та на клему 2 підключаємо напругу живлення +24В. Схема підключення зображена на рисунку 2.32.

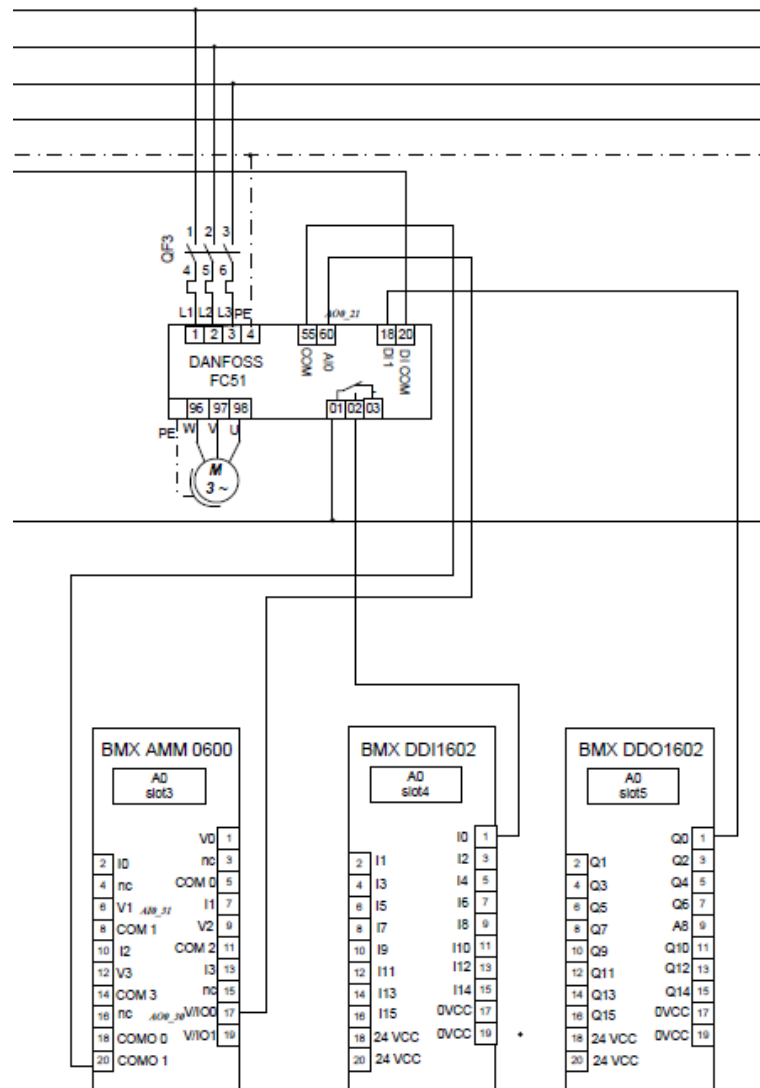


Рис. 2.32. Схема підключення трифазного двигуна, до до перетворювача частоти Danfoss VLT для керування транспортерною стрічкою

3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання

Розрахунок і моделювання проводимо для системи автоматичного регулювання (САР) температури в І-й зоні хлібопекарної печі.

Регулююча дія - зміна положення регулюючого органу (РО) на лінії подачі палива на 10%.

Задане значення регульованої величини – 240 °С.

Основним збуренням є стрибкоподібна зміна розрідження димових газів на 15%.

Експериментальні дані для кривої розгону представлені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Експериментальні дані для крива розгону зміни температури в часі

t,с	0	10	30	45	60	75	90	105	120	135	150	180	240	300
T,С	200	200	203	208	213	221	225	230	235	241	246	250	254	255

Вимоги до якості процесу регулювання:

- ✓ Допустиме максимальне динамічне відхилення $A_1 = 20$ °С.
- ✓ Допустима похибка регулювання $\Delta = 2$ °С.
- ✓ Допустимий час регулювання $t_p = 400$ с.
- ✓ Допустимий ступінь коливальності $m = 0.33$.

Знайдемо математичну модель об'єкта регулювання, що буде описуватись у вигляді рівняння передавальної функції.

Для знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання за даними з таблиці 3.1 будемо експериментальну криву розгону (рисунок 3.1).

За допомогою програмного середовища MATLAB реалізуємо дану криву розгону:

```
clc,clear;
t=[0 10 27 40 52 67 80 95 110 135 150 180 240 300];
y=[200 200 203 208 213 218 225 230 235 241 245 250 254 255];
figure(1);
plot(t,y,'*'); grid;
xlabel('t, c'); ylabel('T, ^oC');
```

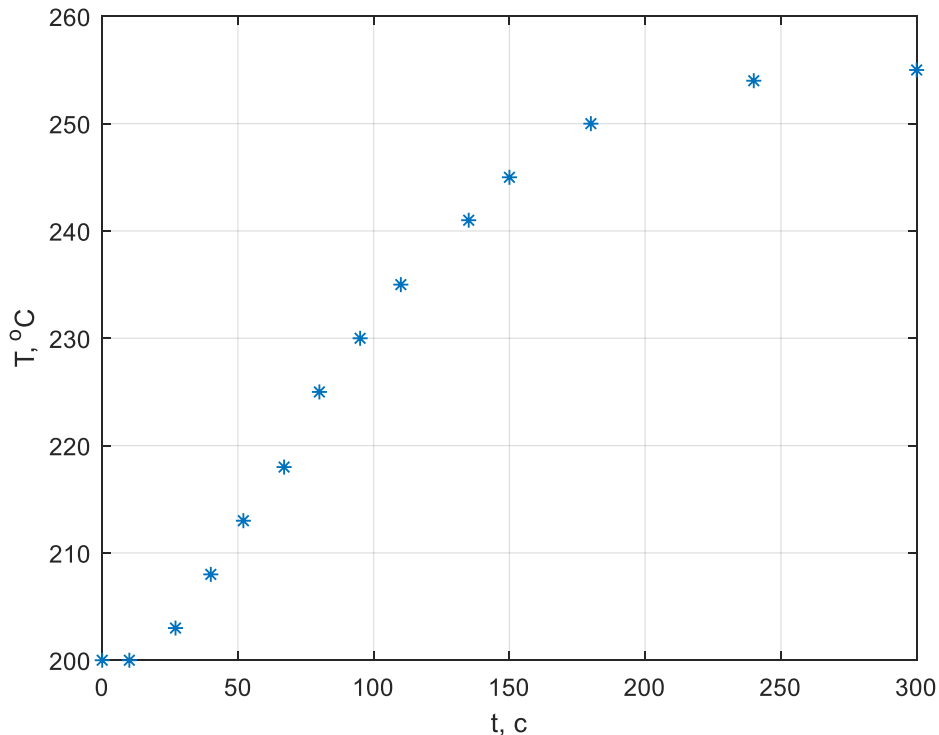


Рис.3.1. Експериментальна крива розгону отримана при зміні відкриття РО на лінії подачі палива на 10 %

Знаходження передавальної функції об'єкта

Розрахунок математичної моделі об'єкта виконуємо в два етапи:

а) знаходимо модель як послідовне з'єднання аперіодичних ланок з однаковими сталими часу.

Оберемо передавальну функцію вигляді:

$$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)^n}$$

де T – стала часу, n – кількість аперіодичних ланок.

б) вибираємо алгоритм знаходження параметрів моделі:

Для зручності розрахунків експериментальну криву розгону об'єкта регулювання $y^e(t)$ перетворимо у нормовану (безрозмірну) криву розгону шляхом ділення її значень на максимальну зміну вихідної величини $\Delta y = y^e(\infty) - y_n$.

$$h^e(t) = \frac{y^e(t) - y_n}{\Delta y}$$

Для цього складемо відповідну програму:

```
clc; clearall; closeall;
t=[0    10   27   40   52   67   80   95  110  135  150  180  240  300];
```

```

T=[250 250 253 258 263 268 275 280 285 291 295 300 304 305];
figure(1);plot(t,T,'*k');xlabel('t,c');ylabel('T,^oC'); title('Крива
розгону');grid;
%нормую экс. криву діленням її значення на макс. зміну вихідної вел.
Tend=305;
dT=Tend-T(1);
Tn=[];
for i=1:length(T)
Tn(i)=(T(i)-T(1))/dT;
end
figure(2);plot(t,Tn,'-k','linewidth',1.5);xlabel('t,c');ylabel('h^{e}(t)');grid;

```

В результаті виконання програми отримано нормовану перехідну функцію $h^e(t)$ (рисунок 3.2).

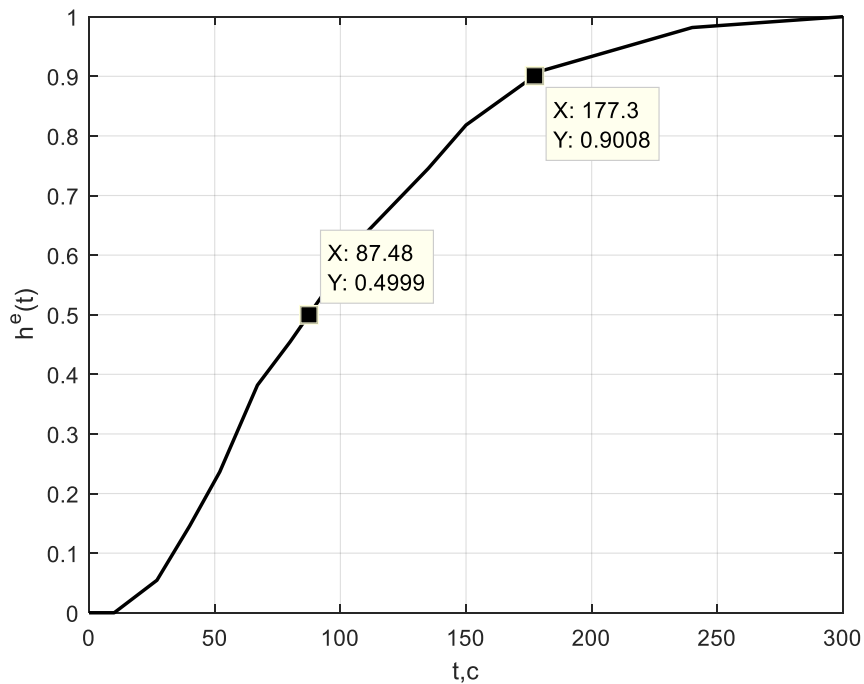


Рис. 3.2. Нормована експериментальна перехідна функція об'єкта регулювання

З графіка (рисунок 3.2) визначимо значення часу при значеннях вихідної величини на 0.5 і 0.9 за допомогою вкладки “Datacursor” в Figure.

$$t_{05} = 87.48 \text{ с};$$

$$t_{09} = 177.3 \text{ с};$$

$$t_{05}/t_{09} = 0.4934.$$

Із таблиці 3.2 виберемо найближче значення відношення t_{05}/t_{09} до отриманого:

Таблиця 3.2

Експериментально розраховані значення t_{05}/T , t_{09}/T і t_{05}/t_{09}

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_{05}/T	1.68	2.67	3.67	4.67	5.67	6.67	7.67	8.69	9.69
t_{09}/T	3.89	5.32	6.68	7.99	9.27	10.53	11.77	12.99	14.21
t_{05}/t_{09}	0.43	0.5	0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68

Для . $\frac{t_{05}}{t_{09}} = 0.4934 \approx 0.5$ виберемо значення $n=3$.

Для $n=3$ з таблиці 5.2 визначаю відношення t_{05}/T і t_{09}/T . З цих відношень знаходжу сталу часу T .

Доповнимо нашу програму для визначення розрахункових значень:

```
%розрахункові значення
t05 =87.48; t09=177.3; t0509=t05/t09,
T1=t05/2.67
T2=t09/5.32
Ts=(T1+T2)/2

dx=10; n=3;tau=10;
k=dT/dx
```

Стала часу T :

$t_{05}/T = 1.68$; $t_{09}/T = 3.89$;
 $T1 = 87.48/2.67 = 32.7640\text{с}$;
 $T2 = 177.3/5.32 = 33.3271\text{с}$;
 $T = (T1+T2)/2 = 33.0456\text{с}$.

Коефіцієнт передачі об'єкта регулювання становить:

$k = 3.6667\text{ }^{\circ}\text{C}/\% \text{ ходу РО}$;

Отже, наближена передавальна функція об'єкта регулювання має вигляд:

$$W(p) = \frac{3.6667e^{-10p}}{(33.3p + 1)^2}$$

Для отриманих значень n, T знаходжу перехідну функцію:

$$h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \cdot \left(\frac{1}{0!} \cdot \left(\frac{t}{T} \right)^0 + \frac{1}{1!} \cdot \left(\frac{t}{T} \right)^1 \right) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \cdot \left(1 + \frac{t}{T} \right)$$

де $T=33.3$

Експериментальну і розраховану криві розгону будуюмо за допомогою програмного середовища Matlab.

```
clc; clearall; closeall;
t=[0 10 27 40 52 67 80 95 110 135 150 180 240 300];
T=[250 250 253 258 263 268 275 280 285 291 295 300 304 305];
figure(1);plot(t,T,'*k');xlabel('t,c');ylabel('T,^{\circ}C'); title('Крива
розгону');grid;
%нормую екс. криву діленням її значення на макс. зміну вихідної вел.
Tend=305;
dT=Tend-T(1);
Tn=[];
for i=1:length(T)
Tn(i)=(T(i)-T(1))/dT;
end
figure(2);plot(t,Tn,'-k','linewidth',1.5);xlabel('t,c');ylabel('h^{e}(t)');grid;
```

```

%розрахункові значення
t05 =87.48; t09=177.3;  t0509=t05/t09,
    T1=t05/2.67
    T2=t09/5.32
%Ts=(T1+T2)/2
    Ts=33;
dx=10; n=3;tau=10;
k=dT/dx
h=[]; i=1;
for k=1:length(t);

if t(k)<tau
    h(i)=0;
end
if t(k)>=tau
    sum = 0;
    for j=0:1:n-1;
    sum = sum + ((t(k)-tau)./Ts).^j./factorial(j);
    end
    h(i)=1-exp(-(t(k)-tau)./Ts).*sum;
end
    i=i+1;

end
T_roz=h*dT+T(1);
%похибка
dz=abs((h-Tn))*100;
%max
[dmax i]=max(dz)
figure(3);plot(t,T_roz,'- b',t,T,'og');grid;xlabel('t,c');ylabel('T,^oC');

```

Результати виконання програми наведені на рисунку 3.3.

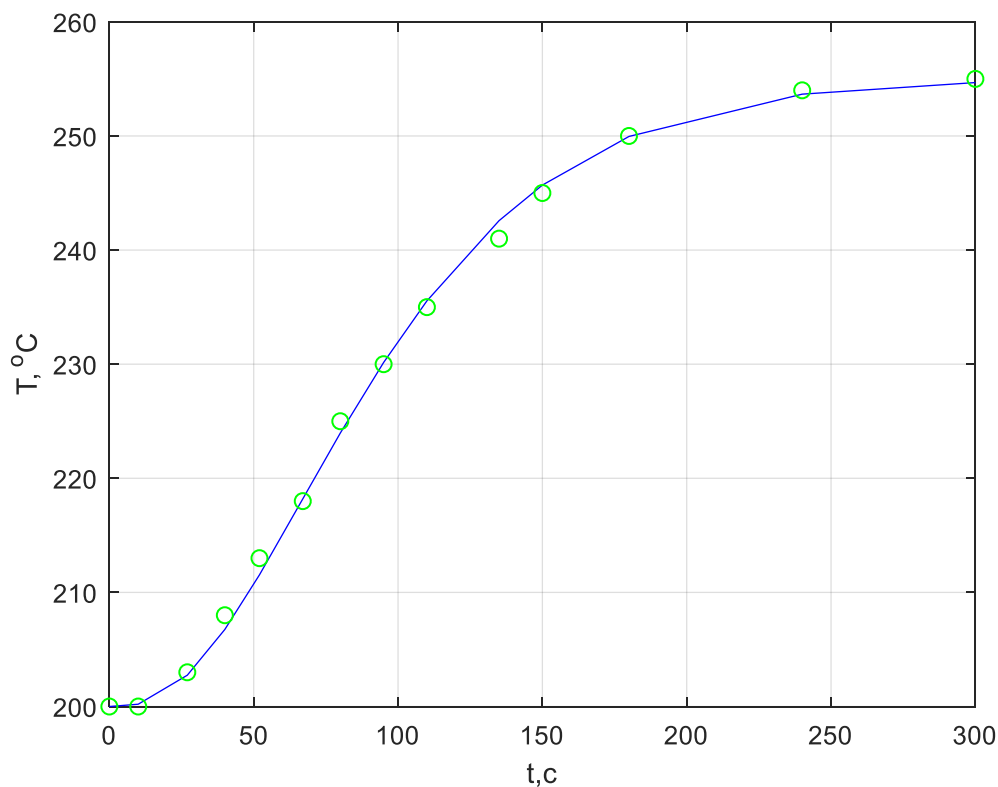


Рис. 3.3. Порівняння кривих розгону, отриманих зміною регулюючої дії на 10% ходу РО.: „o” – експериментальна крива розгону; „-” – знайдена аналітично

Максимальна зведена похибка дорівнює: $\Delta_{max}=2.86\%$

Стала часу об'єкта регулювання: $T=33.0456\text{ с.}$

Коефіцієнт передачі: $k_a=3.6667^\circ\text{C}/\%\text{ходу РО};$

Мною обрано функцію передачі у вигляді $W(p) = \frac{1}{(Tp+1)^n}$. Коефіцієнт передачі $k_a=3.6667^\circ\frac{\text{C}}{\%}$ ходу РО, а сталу часу об'єкта регулювання становить $T=33.0456$. Кількість аперіодичних ланок $n=3$. Тоді функція передачі буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{3.6667e^{-10p}}{(33.0456p + 1)^3}$$

3.2 Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора

САР повинна забезпечити стійкість процесу регулювання, а також якісні показники. Якість процесу регулювання для стабілізуючих САР оцінюють за перехідною функцією при нанесенні подачі на вхід одиничного стрибкоподібного збурення.

Основними показниками якості є: час регулювання, максимальне динамічне відхилення, ступінь коливальності і похибка регулювання.

В залежності від особливостей технологічного процесу до показників якості регулювання можуть висуватися і інші вимоги.

Максимальне динамічне відхилення - найбільше відхилення значення амплітуди регульованого параметра до заданого.

Ступінь коливальності - число коливань регульованої величини за час регулювання.

Похибка регулювання - різниця між значенням регульованої величини після закінчення перехідного процесу і заданим значенням.

Для розрахунку оптимальних значень параметрів налаштування регулятора застосовують метод розширених частотних характеристик.

$$p = -mw \pm iw, \quad (3.1)$$

де w – кругова частота; $m = \alpha / \beta$ – ступінь коливальності; α – абсолютне значення дійсної частини комплексного кореня характеристичного рівняння; β – значення уявної частини комплексного кореня цього ж рівняння.

Умова забезпечення заданого запасу стійкості формується амплітудно-фазовим критерієм стійкості Найквіста, в якому застосовують розширені частотні характеристики розімкнутої САР:

$$W_{pc}(m, iw) = W_{op}(m, iw)W_p(m, iw) = -1 \quad (3.2)$$

де $W_{op}(m, iw)$ – розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання; $W_p(m, iw)$ – розширена АФХ регулятора.

Для регулювання температури в І-й зоні хлібопекарної печі вибираємо регулятор з ПІ-законом регулювання.

Розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора

Функція передачі ПІ-регулятора має вигляд

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{i3}p} \quad (3.3)$$

де k_p – коефіцієнт передачі регулятора; T_{i3} – час ізодрому;

Побудова розширеної фазочастотної характеристики (ФЧХ) досліджуваного об'єкта регулювання та знаходження частоти зрізу ω^* , ω^{**} здійснюється за програмою:

```
clearall; clc;
T1=33.045; k=3.66; m=0.33; tau=10;
w=[0:0.001:0.035];
p=-m*w+i*w;
Wop=k.*exp(-tau*p)./((T1.*p+1).^3);
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
plot(w, fi, w, a, w, b); grid;
xlabel('w, rad/sec');
ylabel('fi, rad')
```

Результатом виконання програми є графік розширеної фазочастотної характеристики об'єкта регулювання (рис. 3.4). З графіка на рисунку 3.4 визначаємо частоти зрізу: $\omega^* = 0.01085$ рад/с; $\omega^{**} = 0.02907$ рад/с.

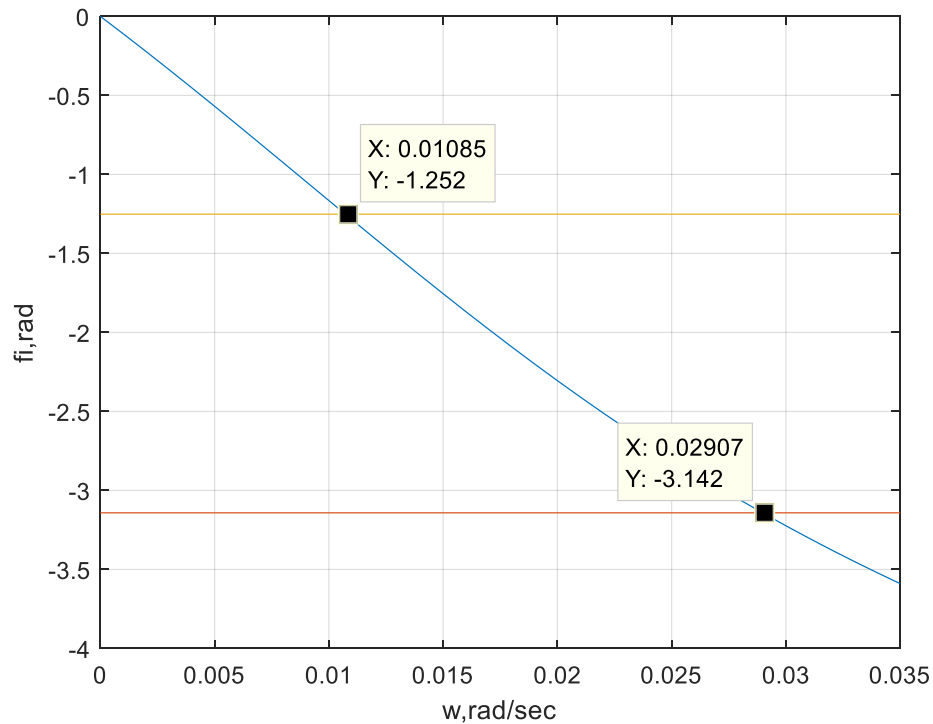


Рис. 3.4. Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання

Знайдемо оптимальні параметри налаштування регулятора за програмою:

```
clearall; clc;
w0=0.001;
wti=0.01085 ; %робоча для інтегруючого
wkp=0.02907 ; %робоча для пропорційного
Tl=33.045; k=3.66; m=0.33; tau=10;

w=0.01085:0.001:0.02907 ; p=-m*w+i*w;
W=k.*exp(-tau*p) ./ ( (Tl.*p+1) .^3);
A_op=abs(W);
Fi_op=phase(W);

kpti=-w.*(m*m+1).*sin(Fi_op)./A_op;
kp=(-cos(Fi_op)-m.*sin(Fi_op))./A_op;

for q=1:length(w);
    t=0:1:600;
    w1=tf(k,[Tl 1]);w2=tf(1,[Tl 1]);w3=tf(1,[Tl 1]);
```

```

Wop=w1*w2*w3;
Wap=tf(kp(q),1)+tf(kpti(q),[1 0]);
Wcap=Wop/(1+Wop*Wap);
y=step(Wcap,t)*10;
y=abs(y);
I2=trapz(t,y.^2);
z(q)=I2;
end
[I1min q]=min(z);
w=w(q); %оптимальна частота
p=-m*w+i*w;
W=k.*exp(-tau*p)./(Tl.*p+1).^3;
A_op=abs(W);
Fi_op=phase(W);
kpti_opt=-w.*(m*m+1).*sin(Fi_op)./A_op;
kp_opt=(-cos(Fi_op)-m.*sin(Fi_op))./A_op;
w=0:0.0005:wkp;
figure(1); plot(kp_opt,kpti_opt,'or',kp,kpti,'-k'); grid;
xlabel('k_p'); ylabel('k_p/T_i_з'); title('Границя запасу стійкості ПІ регулятора');
figure(2); plot(kp,z,'-k',kp(q),z(q),'or'); grid;
xlabel('k_p'); ylabel('Друга');

```

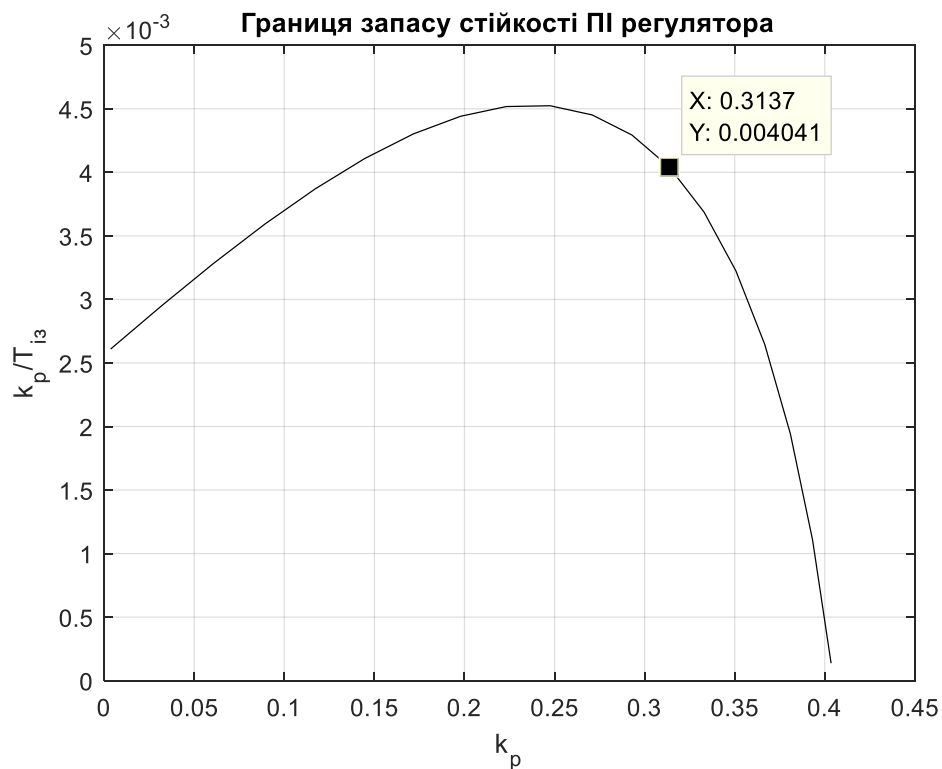


Рис. 3.5. Границя області заданого запасу стійкості САР із ПІ-регулятором

Результатом виконання програми є графік границі запасу стійкості САР (рисунок 3.5) та графік залежності другої інтегральної оцінки від коефіцієнта передачі регулятора (рисунок 3.6).

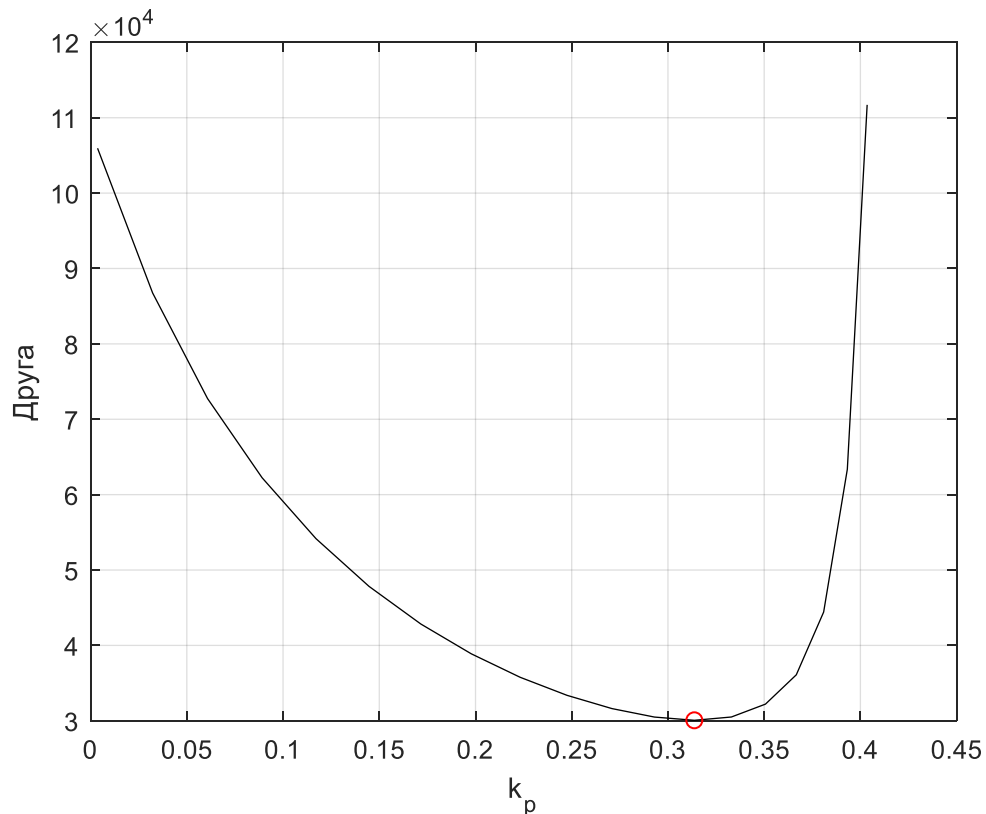


Рис.3.6. Графік залежності другої інтегральної оцінки від коефіцієнта передачі регулятора

В результаті отримаємо такі оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора:

$$k_{p \text{ опт.}} = 0.3137 \% \text{ роб. ходу } PO/^{\circ}C, \left(\frac{k_p}{T_{iz}} \right)_{\text{опт.}} = 0.004041 \frac{\% \text{ роб. ходу } PO}{с \cdot ^{\circ}C}$$

Отже, функція передачі ПІ-регулятора:

$$W_{AP}(p) = 0.3137 + \frac{0.004041}{p}.$$

3.3. Дослідження САР регулювання температури в першій зоні печі

У середовищі Simulink складено модель контуру регулювання температури у І-й зоні хлібопекарної печі з врахуванням оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора та моделі досліджуваного об'єкта каналом регулюючої дії. Структурна схема САР у середовищі Simulink наведена на рисунку 3.7.

Функція передачі ОР каналом збурення:

$$W_z(p) = \frac{0.95}{(35p + 1)(18p + 1)}$$

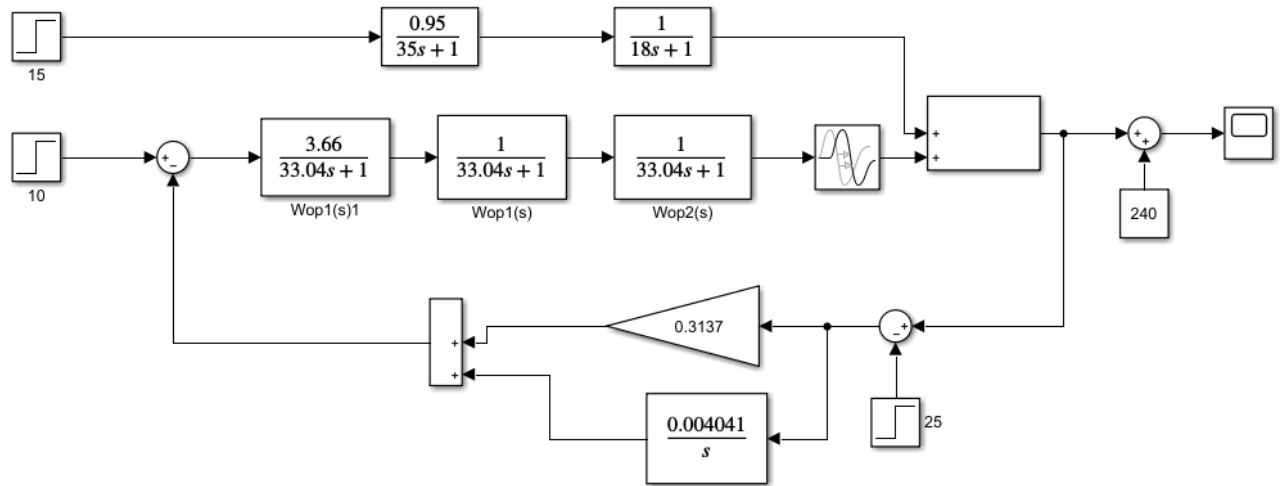


Рис.3.7. Структурна схема досліджуваної САР температури в першій зоні хлібопекарної печі в середовищі Simulink

Змодельємо перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10% ходу РО (рисунок 3.8).

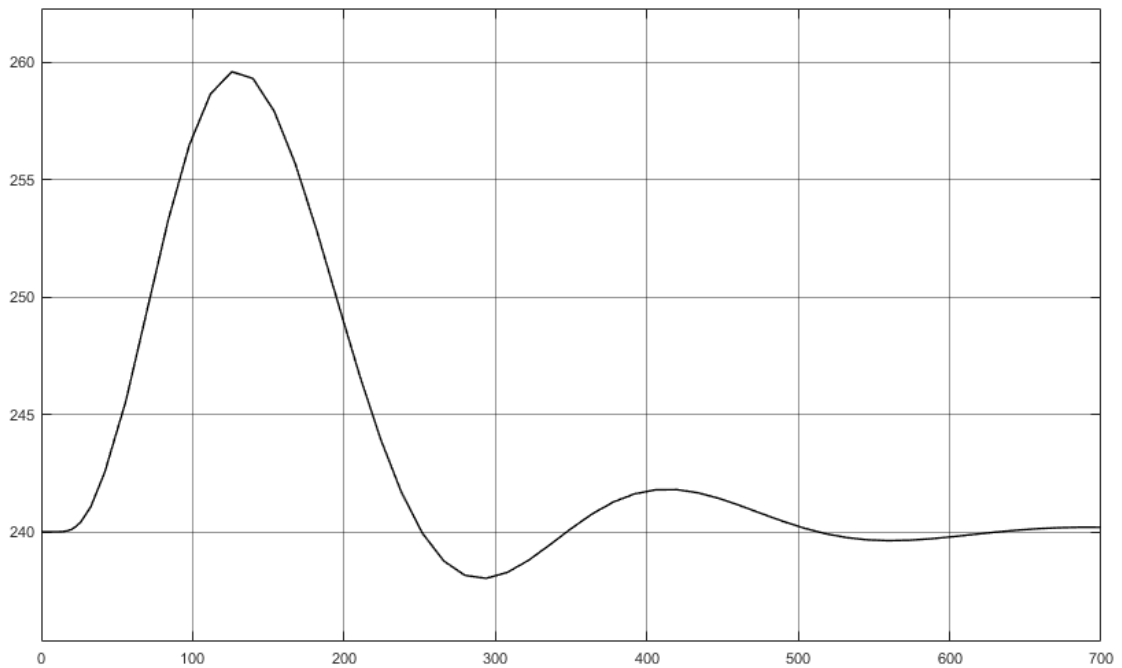


Рис.3.8. Перехідний процес у САР із ПІ-регулятором при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10% ходу РО

З отриманого перехідного процесу визначаємо показники якості до процесу регулювання температури і порівнюємо їх з допустимими заданими значеннями:

- максимальне динамічне відхилення: $A_1 = 19.6 \text{ }^\circ\text{C}$;
- час регулювання $t_p = 294 \text{ c}$ при допустимій похибці регулювання $\Delta = 2^\circ\text{C}$.

За отриманою кривою розгону робимо висновок, що при застосуванні ПІ-регулятора для даної САР всі вимоги по якості перехідного процесу виконуються.

Змодельуємо перехідний процес у САР при дії на нього збурення. Збуренням є зміна розрідження димових газів на 15%. Результати дослідження наведені на рисунку 3.9.

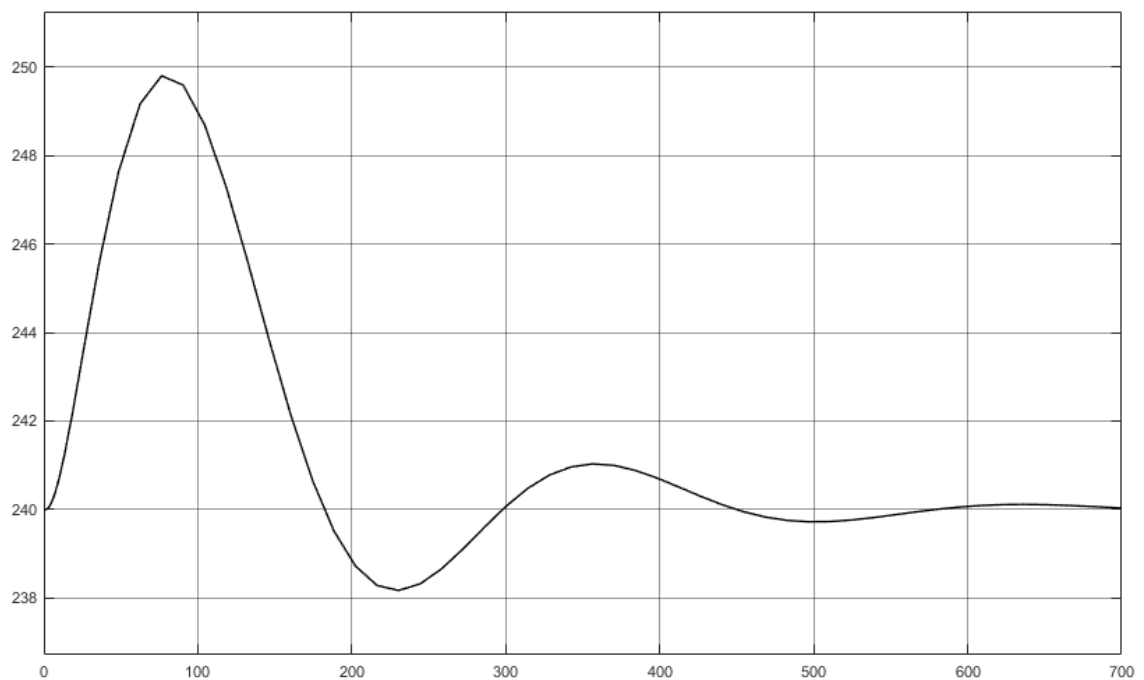


Рис.3.9. Перехідний процес в одноконтурній САР з ПІ-регулятором при зміні розрідження димових газів на 15%

Показники якості, визначені з рисунка 3.9:

- максимальне динамічне відхилення: $A_1 = 9.7 \text{ }^\circ\text{C}$;
- час регулювання: $t_p = 161.2 \text{ c}$ при допустимій похибці регулювання $\Delta = 2^\circ\text{C}$.

З отриманої кривої розгону на рисунку 3.9 видно, що при застосуванні ПІ-регулятора з оптимальними параметрами налаштування всі вимоги до показників якості перехідного процесу виконуються.

Змоделюємо перехідний процес у САР при зміні заданого значення регульованої величини на 25 °С. Перехідний процес зображено на рисунку 3.10.

Показники якості перехідного процесу:

- аксимальне динамічне відхилення: $A_1=5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- час регулювання $t_p=341\text{ с}$ при допустимій похибці регулювання $\Delta=2^{\circ}\text{C}$.

Отже, при застосуванні ПІ-регулятора із оптимальними параметрами налаштування вимоги до показників якості перехідного процесу виконуються.

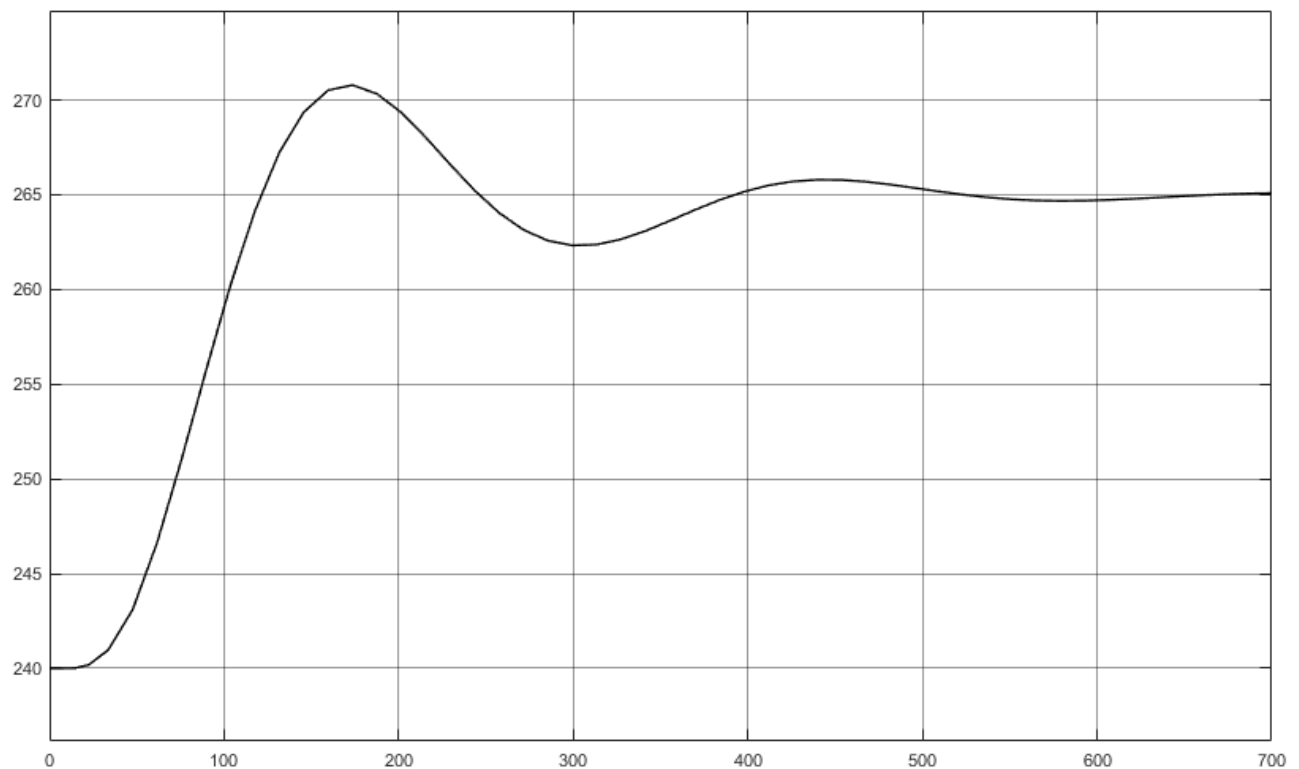


Рис.3.10. Перехідний процес в одноконтурній САР з ПІ-регулятором при зміні заданого значення регульованої величини на 25 °С

За експериментальною кривою розгону при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 10%, отримано передавальну функція ОР у вигляді:

$$W(p) = \frac{3.66e^{-10p}}{(33.04p + 1)^3}$$

Зведена похибка апроксимації кривої розгону - $\delta = 2.86\%$. Отже, модель адекватна

Методом розширених частотних характеристик розраховано оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора. Функція передачі ПІ-регулятора:

$$W_{AP}(p) = 0.3137 + \frac{0.004041}{p}$$

За складеною в середовищі Simulink структурною схемою виконано моделювання перехідних процесів при зміні значення регульованої величини, дії збурення та при стрибкоподібній зміні регулюючої дії.

Показники якості перехідного процесу наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Показники якості перехідного процесу

Канал дослідження	$A_1, ^\circ\text{C}$	t_p, c
Регулююча дія	19.6	294
Збурююча дія	9.7	161.2
Зміна завдання	5.8	341

Отже, досліджена САР задовольняє вимоги по якості перехідного процесу.

3.4.Опис функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації технологічного процесу в хлібопекарній печі містить такі контури регулювання:

- Регулювання температури в І-й зоні печі.
- Регулювання температури в ІІ-й зоні.
- Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в І-й зоні печі.
- Регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в ІІ-й зоні печі.
- Регулювання розрідження димових газів у І-й зоні печі.
- Регулювання розрідження димових газів у ІІ-й зоні печі.
- Автоматичне блокування подачі газу.
- Вентиляція димових газів у І-й зоні печі.
- Вентиляцію димових газів у ІІ-й зоні печі.

- Керування транспортерною стрічкою.

Нижче наводимо опис контурів системи автоматизації.

Контур регулювання температури в I-ій зоні печі

Для вимірювання температури в першій зоні хлібопекарної печі застосовано термоперетворювач опору ТСП-1088 (поз. 1-1) з модулем перетворення в уніфікований сигнал постійного струму типу SitransTH-100 (поз. 1-2), який підключено до аналогового вхідного сигналу модуля розширення АМІ0600.

Вихідний аналоговий сигнал поступає до електричного виконавчого механізму Samson 5825 (поз. 1-3).

Контур регулювання температури в II-ій зоні печі - за аналогією до контуру регулювання температури в I-ій зоні печі.

Контур регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі

Для вимірювання витрати палива та повітря використано камерні діафрагми (поз. 3-1 та поз. 3-3 відповідно) та давачі різниці тисків Сафір-М 5410 (поз. 3-2 та поз. 3-4 відповідно), які під'єднані до аналогового вхідного сигналу модуля розширення АММ0600. Із цього модуля вихідний аналоговий сигнал подається до електричного виконавчого механізму Samson 5825 (поз. 3.5).

Контур регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі здійснено за аналогією до контуру регулювання цього співвідношення в I-ій зоні печі.

Контур автоматичного блокування подачі палива

Для контролю тиску палива (природного газу) та повітря застосовано показуючий манометр з контактним реле типу ДМ2005(поз. 7-1, 7-2, 7-3 та 7-4) із дискретним вихідним сигналом, який підключається до модуля розширення DDI 1602.

Для контролю наявності полум'я використовуємо запально-захисний пристрій ЗЗУ-4 з фотодавачем ФД-05ГМ(поз. 7-5 та поз. 7-6). Вихідні сигнали з них подаємо на дискретний вихідний сигнал до модуля розширення DDI 1602.

Для блокування подачі газу застосовано електромагнітний клапан EV220B (поз. 7-8) із дискретним вхідним сигналом.

Контур регулювання розрідження димових газів в I-й зоні печі

Для регулювання розрідження, застосовано давач розрідження Сафір5210(поз. 5-1) із вихідним аналоговим сигналом, який підключаємо до модуля розширення АММ0600.

Із модуля розширення АММ0600, вихідний аналоговий сигнал поступає до електроприводу BelimoGM24A-SR(поз. 5-2).

Контур регулювання розрідження димових газів в II-й зоні печі – за аналогією до контуру розрідження димових газів в I-й зоні печі.

Контури вентиляції в I-й зоні печі і в II-й зоні печі

Для роботи вентилятора використовуємо трифазний двигун, підключений до магнітного пускача АСКО ПМ 1-09-10 живленням 380В.

Контур роботи транспортерної стрічки

Для керування транспортерною стрічкою використовуємо трифазний двигун, який підключено до перетворювача частоти Danfoss VLT MicroDrive FC51.

3.5. Специфікація на технічні засоби автоматизації

Специфікація на технічні засоби автоматизації наведена в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Специфікація на технічні засоби автоматизації

№ п/п	№ поз.	Назва параметра і номінальне значення	Місце встановлення	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип	К-ть
1	1-1 2-1	Температура 240 °С 210 °С	По місцю	Термоперетворювач опору платиновий із номінальною статичною характеристикою (НСХ) 100П. Клас допуску А. Кількість чутливих елементів 1. Діапазон вимірювання - 200÷500°С	ТСП-1088	2
2	1-2 2-2		По місцю	Перетворювач температури Siemens. Вхідний сигнал: вихідні дані з термоперетворювача опору з НСХ 100 П.; Діапазон вимірювання :200 до 500 °С Вихідний сигнал: 4-20 мА.	SITRANS TH-100	2

3	1-3 2-3 3-5 4-5		По місцю	Електропривід із аналоговим вхідним сигналом $0 \div 20$ мА та напругою живлення 24В.	Samson 5825	4
4	1-4 2-4 3-6 4-6		По місцю	Регулюючий клапан із діаметром умовного проходу $D_y=40$ мм. Робоче середовище - природний газ і повітря.	Samson 3213	4
5	3-1 4-1		По місцю	Діфрагма камерна. Умовний тиск $P_y=0.6$ МПа; умовний діаметр $D_y=20$ мм. Робоче середовище – природний газ.	ДК-6-20	2
6	3-2 4-2 3-4 4-4	Витрата $26 \text{ м}^3/\text{год}$ $18 \text{ м}^3/\text{год}$ $260 \text{ м}^3/\text{год}$ $180 \text{ м}^3/\text{год}$	По місцю	Вимірювальний перетворювач різниці тисків з блоком живлення типу БП2-36-0.2-АС. Вихідний сигнал 4-20 мА. Верхня межа вимірювання 4 кПа; Межа допустимої похибки 0.25%	Сафір-М модель 5410	4
7	3-3 4-3		По місцю	Камерна діафрагма діаметром умовного проходу $D_y=40$ мм.Робоче середовище - повітря.	ДК-6-40	2
8	7-1 7-2 7-3 7-4		По місцю	Манометр показуючий, з контактним пристроєм для вимірювання тиску. Верхня межа 1.6 кПа. Клас точності 1,0. Ступінь захисту IP53. Живлення 24В. Значення комутуючого струму до 0,5А.	ДМ2005	4
9	7-5 7-6		По місцю	Запалювально-захисний пристрій. Контроль полум'я в пальнику фотодавачем ФД-05ГМ. Тиск газу (0,001 - 0,25) МПа. Теплова потужність 80 кВт.	33У-4	2
10	7-8		По місцю	Електромагнітний (соленоідний) клапан. Діапазон тиску 0,25-10 кПа. Час повного відкриття – 2с, закриття – 3с. Робоча температура від -25 до 90°C	EV220B (65B)	1
11	5-1 6-1	Розрідження 30 Па 30 Па	По місцю	Давач розрідження із вихідним аналоговим сигналом 4-20 мА. Діапазон вимірювання $-500 \div 500$ Па. Межі допустимої основної похибки $\pm 0,15$ %.	Сафір 5210	2

12	5-3 6-3		По місцю	Регулююча заслінка із діаметром умовного проходу $D_y=150\text{мм}$.	Вентс КР-150	2
13	5-2 6-2		По місцю	Електропривід із аналоговим вхідним сигналом $0\div 10\text{ В}$ та напругою живлення 24 В . Споживана потужність $4,5\text{ Вт}$. Точність позиції $\pm 5\%$.	BelimoG M24A-SR	2
14	8-1 9-1 10-1		По місцю	Асинхронний трифазний електродвигун. Потужність – 4 кВт . Частота обертання – 3000 об/хв .	АИР 100 S2	3
15	10-2		По місцю	Перетворювач частоти із потужністю $3\div 7.5\text{ кВт}$ та вхідним аналоговим сигналом $4\div 20\text{ мА}$	Danfoss VLT MicroDrive FC51	1
16	8-2 9-2		По місцю	Магнітний пусковий пристрій із номінальною напругою котушки – 24 В . Номінальна напруга по ізоляції до 660 В . Номінальний струм 10 А .	АСКО ПМ 1-09-10 380В	2
17				Блок живлення контролера ModiconM340. Вхідна напруга живлення 220 В .	BMXCPS 2000	1
18				Модуль процесора контролера ModiconM340, який підтримує 1025 дискретних входів та виходів на корзину і 256 аналогових входів та виходів.	BMXP342 020	1
19				Модуль аналогових вхідних та вихідних сигналів контролера ModiconM340, який у своїй структурі має 4 вхідних канали і 2 вихідних.	BMXAM M0600	4
20				Модуль вводу аналогових сигналів для термоперетворювачів опору	BMX AMI 0410	1
21				Модуль дискретних вхідних сигналів контролера ModiconM340	BMXDDI 1602	1
22				Модуль дискретних вихідних сигналів контролера ModiconM340	BMXDDO 1602	1

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

В процесі автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25 значну увагу слід приділити питанням виробничої санітарії та гігієни праці, адже умови роботи персоналу на хлібопекарських підприємствах безпосередньо впливають на їхню продуктивність, безпеку та якість готової продукції. Хлібопекарські виробництва характеризуються наявністю підвищених температур, вологи, можливого утворення борошняного пилу, шуму від роботи вентиляційних систем, редукторів, печей та іншого обладнання.

Основними санітарно-гігієнічними чинниками, які впливають на умови праці в зоні експлуатації печі ПХС-25, є:

- Температурний режим. Робоча зона біля печі має підвищену температуру повітря (іноді понад 35 °С), що може призводити до перегрівання організму працівника. Це потребує забезпечення належної вентиляції, застосування теплової ізоляції поверхонь печі та обмеження часу безперервного перебування персоналу поблизу обладнання.
- Вологість повітря. Через процес випікання та випаровування з тіста в робочій зоні може бути підвищена вологість. Оптимальні параметри мікроклімату мають підтримуватись шляхом механічної вентиляції або встановлення припливно-витяжних систем.
- Пилоутворення. Під час подачі тіста, борошна або прибирання можливе утворення борошняного пилу, який подразнює дихальні шляхи. Це вимагає регулярного вологого прибирання та застосування пиловловлювальних пристроїв.
- Освітлення. Робоче місце має бути забезпечене достатнім природним і штучним освітленням відповідно до вимог ДБН та СНиП. Недостатнє освітлення може сприяти виробничому травматизму.
- Шумове навантаження. Джерелами шуму можуть бути редуктори, витяжні системи, електродвигуни. За необхідності слід вживати заходів щодо

шумоглушіння та надати працівникам засоби індивідуального захисту (наушники або беруші), якщо рівень шуму перевищує 80 дБ.

- Забезпечення побутових умов. На підприємстві має бути організований санітарно-побутовий блок — роздягальні, душові, санвузли та приміщення для прийому їжі, які повинні відповідати санітарним нормам.

Загалом, стан виробничої санітарії на підприємстві з хлібопекарською піччю типу ПХС-25 повинен оцінюватися систематично. Забезпечення відповідних умов праці згідно з Державними санітарними нормами (ДСН 3.3.6.042-99, ДСанПіН 3.3.2.007-98) сприяє зменшенню виробничих ризиків, запобіганню професійним захворюванням та покращенню ефективності роботи персоналу.

З урахуванням автоматизації та впровадження мікропроцесорного контролера Modicon M340, також зменшується необхідність постійного перебування оператора поблизу джерел теплового та шумового навантаження, що позитивно впливає на загальні гігієнічні умови праці.

4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Автоматизація хлібопекарної печі типу ПХС-25 із застосуванням мікропроцесорного контролера Modicon M340 дозволяє суттєво знизити фізичне навантаження на обслуговуючий персонал та підвищити рівень безпеки виробництва. Однак для забезпечення належного рівня охорони праці недостатньо лише впровадження технічних рішень — необхідно також дотримуватись комплексу організаційно-технічних заходів.

У першу чергу, всі роботи з монтажу, налаштування, експлуатації та обслуговування обладнання мають виконуватись відповідно до вимог чинного законодавства України з охорони праці, зокрема Закону України "Про охорону праці", а також галузевих норм і стандартів.

Організаційні рекомендації:

- Працівники, які обслуговують печі та автоматизовану систему керування, повинні пройти навчання та перевірку знань з охорони праці, а також

інструктажі: вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий.

- Для обслуговування системи керування мають бути призначені відповідальні особи з відповідною кваліфікацією та допуском до роботи з електроустановками (наприклад, група з електробезпеки не нижче III).
- Необхідно розробити інструкції з охорони праці для операторів, наладчиків, електромонтерів, які працюють з обладнанням, у тому числі на випадок аварійних ситуацій.
- Заборонено перебування сторонніх осіб у зоні роботи печі та розміщення на робочому місці зайвих предметів, що можуть спричинити травми або загоряння.

Технічні рекомендації:

- Усі електротехнічні пристрої мають бути заземлені та захищені від коротких замикань і перенапруги. Силові кабелі мають бути прокладені в захисних коробах або гофротрубах.
- На корпусі печі та шафі управління контролером необхідно встановити знаки безпеки (висока температура, електрична небезпека тощо).
- Передбачити аварійне вимкнення всієї системи автоматизації шляхом встановлення кнопки "Стоп" на видимому та доступному місці.
- Конструкція печі повинна забезпечувати теплову ізоляцію та недопущення контакту персоналу з гарячими поверхнями. Робочі місця слід обладнати захисними бар'єрами або ручками, які не нагріваються.
- У зонах з можливим утворенням пилу або парів необхідно передбачити ефективну вентиляцію з достатнім повітрообміном.
- Забезпечити наявність засобів індивідуального захисту (термостійкі рукавиці, спецодяг, респіратори, захисне взуття).
- Регулярне технічне обслуговування та калібрування системи автоматизації з обов'язковим веденням журналів перевірки.

Таким чином, реалізація вказаних організаційно-технічних заходів дозволяє суттєво зменшити виробничі ризики, запобігти виникненню аварій та

надзвичайних ситуацій, а також забезпечити високий рівень безпеки та збереження здоров'я працівників при експлуатації автоматизованої хлібопекарної печі.

4.3. Пожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки при автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25 є одним з найважливіших аспектів охорони праці, з огляду на наявність джерел підвищеної температури, горючих матеріалів, електричного обладнання та борошняного пилу, який у високих концентраціях здатен утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям.

Піч типу ПХС-25, як теплотехнічний апарат, що працює при високих температурах, належить до потенційно пожежонебезпечного обладнання. Тому на етапі проектування системи автоматизації слід передбачити комплекс заходів, які мінімізують ризики виникнення пожежі.

Основні вимоги та заходи пожежної безпеки:

- Усі електричні з'єднання, шафи керування та мікропроцесорні пристрої повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), мати належне заземлення та бути захищеними від короткого замикання і перегріву.
- Встановлення автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення (ПЗВ) на живлення печі та системи автоматизації дозволяє оперативно припинити подачу електроенергії у разі виникнення аварійної ситуації.
- Система має бути обладнана засобами контролю температури у печі, які у випадку перевищення допустимих меж можуть подавати сигнал на аварійне вимкнення або запускати аварійне охолодження.
- У приміщенні, де встановлена піч, слід передбачити вентиляційну систему для запобігання накопиченню пари, пилу та тепла. Наявність борошняного пилу в повітрі потребує регулярного прибирання з використанням пиловловлювального обладнання.

- Необхідно дотримуватись категорійності приміщення за вибухопожежною небезпекою відповідно до ДБН В.1.1-7:2016. За потреби – використовувати вибухозахищене обладнання.
- Поблизу печі заборонено зберігати легкозаймисті речовини та матеріали, а також не допускається використання відкритого вогню.
- Робоче приміщення повинно бути оснащено первинними засобами пожежогасіння, зокрема вогнегасниками порошкового типу (марки ВП-5, ВП-9), які придатні для гасіння електрообладнання та горючих речовин. Вогнегасники мають бути справними, з відповідним маркуванням і перевіреними термінами придатності.
- У зоні розміщення печі необхідно встановити наочні інструкції з пожежної безпеки, евакуаційні схеми, позначити шляхи виходу.
- Обслуговуючий персонал повинен бути ознайомлений із правилами пожежної безпеки, пройти інструктаж та навчання з дій у разі пожежі, вміти користуватись засобами пожежогасіння.
- Рекомендується встановити автоматичну пожежну сигналізацію з датчиками температури або диму в приміщенні, де розміщене обладнання.

Дотримання вищезазначених вимог дозволить мінімізувати ймовірність виникнення пожежі при експлуатації автоматизованої хлібопекарної печі, захистити персонал і технічні засоби, а також забезпечити відповідність чинним нормам пожежної безпеки у харчовій промисловості.

5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Проектування системи автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340 спрямоване на підвищення ефективності, енергоощадності, точності регулювання та безпеки теплотехнічного процесу. Економічна доцільність упровадження даної системи обґрунтовується сукупністю капітальних витрат на обладнання, оплату праці, супутні витрати та очікуваним економічним ефектом у результаті впровадження. У склад автоматизованої системи входять високоточні термоперетворювачі, датчики тиску, електроприводи, регулюючі клапани, контролери, модулі введення/виведення сигналів, частотний перетворювач, а також допоміжне обладнання. Придбання якісних компонентів дозволяє реалізувати надійну систему автоматичного регулювання температури, тиску, тяги й витрати енергоносіїв у печі, що суттєво знижує витрати на експлуатацію.

Основні статті витрат включають:

1. Придбання технічних засобів автоматизації, згідно із специфікацією:

- Контролер Modicon M340 із модулями введення/виведення, блоком живлення та CPU (BMXCPS2000, BMXP342020, BMXAMM0600, BMXAMI0410, BMXDDI1602, BMXDDO1602) – дозволяє реалізувати багатоканальну систему з підтримкою аналогових та дискретних сигналів.
- Датчики температури (ТСП-1088, SITRANS TH-100), тиску (Сафір 5410, Сафір 5210), витрати (ДК-6-20, ДК-6-40), манометри, запалювальні пристрої (ЗЗУ-4), виконавчі механізми (Samson 5825, Belimo GM24A-SR, АІР 100 S2) і частотний перетворювач Danfoss FC51.
- Регулюючі органи (Samson 3213, регулюючі заслінки Вентс КР-150, соленоїдний клапан EV220В).
- Пускозахисна апаратура (пускачі АСКО, джерела живлення).

2. Оплата праці фахівців:

- Інженер з автоматизації — проектування функціональної схеми, налаштування контролера, програмування.
- Монтажна бригада — встановлення обладнання, підключення, наладка.
- Розробник ПЗ — створення алгоритмів, верифікація, тестування.

3. Інші витрати:

- Вартість монтажних матеріалів (кабелі, кріплення, роз'єми, шафи).
- Тестування та пусконаладжувальні роботи.
- Витрати на технічну документацію та навчання персоналу.

Загальна вартість обладнання становить 308 600 грн. Найдорожчими компонентами є електроприводи Samson 5825 (31 200 грн), запальовально-захисні пристрої ЗЗУ-4 (30 000 грн), регулюючі клапани Samson 3213 (26 000 грн), модулі аналогових сигналів Modicon BMXAMM0600 (20 400 грн) та асинхронні електродвигуни АІР 100 S2 (18 600 грн).

У таблиці 5.1 подано розрахунок вартості обладнання системи автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25. Вартість подана в грн, для кожної позиції врахована кількість та орієнтовна ціна за одиницю.

Таблиця 5.1

Розрахунок вартості обладнання системи автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25.

№	Назва засобу	Тип/Модель	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Термоперетворювач опору платиновий	ТСП-1088	2	600	1 200
2	Перетворювач температури	Siemens SITRANS TH-100	2	1 800	3 600
3	Електропривід із аналоговим керуванням	Samson 5825	4	7 800	31 200
4	Регулюючий клапан	Samson 3213	4	6 500	26 000
5	Діафрагма камерна	ДК-6-20	2	700	1 400
6	Перетворювач різниці тисків	Сафір-М 5410	4	3 200	12 800
7	Камерна діафрагма	ДК-6-40	2	850	1 700
8	Манометр показуючий	ДМ2005	4	750	3 000

№	Назва засобу	Тип/Модель	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
9	Запалювально-захисний пристрій	ЗЗУ-4	2	15 000	30 000
10	Електромагнітний клапан	EV220B (65B)	1	2 300	2 300
11	Датчик розрідження	Сафір 5210	2	2 700	5 400
12	Регулююча заслінка	Вентс КР-150	2	1 300	2 600
13	Електропривід заслінки	Belimo GM24A-SR	2	2 100	4 200
14	Асинхронний трифазний електродвигун	АИР 100 S2	3	6 200	18 600
15	Перетворювач частоти	Danfoss FC51	1	8 500	8 500
16	Магнітний пускач	АСКО ПМ 1-09-10	2	750	1 500
17	Блок живлення контролера	BMXCPS2000	1	4 500	4 500
18	Процесор контролера	Modicon BMXP342020	1	9 200	9 200
19	Модуль аналогових вхід/вихід	Modicon BMXAMM0600	4	5 100	20 400
20	Модуль аналогових входів для термоперетворювачів	Modicon BMX AMI0410	1	4 300	4 300
21	Модуль дискретних входів	Modicon BMXDDI1602	1	2 100	2 100
22	Модуль дискретних виходів	Modicon BMXDDO1602	1	2 200	2 200
	Разом				308 600

Таблиця 5.2

Витрати на реалізацію проєкту автоматизації

№	Стаття витрат	Опис/Примітка	Сума, грн
1	Вартість обладнання	Згідно з попередньою таблицею	308 600
2	Оплата праці інженера-програміста	Розробка ПЗ, конфігурування контролера (20 днів по 1000 грн)	20 000
3	Монтажні роботи	Прокладання кабелів, встановлення датчиків та виконавчих механізмів	15 000
4	Вартість витратних монтажних матеріалів	Кабель, DIN-рейки, клемники, кріплення, роз'єми тощо	7 500
5	Пусконаладжувальні роботи	Налаштування, тестування, перевірка логіки керування	10 000
6	Податки, непередбачувані витрати (5%)	Резерв на ризики, округлення, транспортні витрати	17 800
	Разом		378 900 грн

Очікуваний економічний ефект проявляється у таких напрямках:

- Зниження витрат палива на 8–12% завдяки точному регулюванню подачі повітря й газу.
- Скорочення простоїв і аварій за рахунок контролю температури, тиску, полум'я, розрідження та інших критичних параметрів.
- Оптимізація виробничого процесу, що дозволяє підвищити якість випічки та знизити відсоток браку.
- Зменшення експлуатаційних витрат на обслуговування системи – за рахунок надійності сучасної елементної бази.
- Енергозбереження за рахунок використання частотного перетворювача, який забезпечує плавний пуск і регулювання обертів електродвигунів.
- Покращення умов праці, що опосередковано впливає на зниження витрат, пов'язаних з безпекою і медичними втратами.

У результаті автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25 очікуються наступні економічні переваги:

- Зменшення витрат на енергоносії до 10–12% завдяки точному регулюванню температури.
- Зменшення втрат сировини через стабільні режими випікання ($\approx 5\%$ економії).
- Підвищення продуктивності печі на 10–15% завдяки оптимізації режимів.
- Зменшення кількості персоналу: заміна ручного регулювання на автоматичне.
- Окупність проєкту — очікується протягом 6–9 місяців.

Проєкт автоматизації є економічно доцільним, оскільки загальні капіталовкладення в межах 378 900 грн забезпечують: стабільну та безпечну роботу печі; економію ресурсів і трудових витрат; підвищення якості готової продукції. Інвестиції в автоматизацію окупаються менше ніж за 1 рік, що відповідає сучасним вимогам ефективності хлібопекарного виробництва.

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі розроблено оптимальну схему автоматизації хлібопекарної печі типу ПХС-25 з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340.

В роботі виконано опис технологічного процесу випікання хліба, наведено температурні режими випікання в кожній зоні хлібопекарної печі та проаналізовано технологічний процес як об'єкт автоматичного керування. За проведенням аналізом та поставленими вимогами до якості готового продукту було розроблено функціональну схему автоматизації хлібопекарної печі.

Схемою автоматизації хлібопекарної печі передбачені такі основні контури регулювання, захисту та блокування:

1. *Контури регулювання:* Автоматичне регулювання температури в I-ій зоні печі; Автоматичне регулювання температури в II-ій зоні печі; Автоматичне регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в I-ій зоні печі; Автоматичне регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» в II-ій зоні печі; Автоматичне регулювання розрідження димових газів в I-ій зоні печі; Автоматичне регулювання розрідження димових газів в II-ій зоні печі.

2. *Контури схем захисту і блокування:* Контроль наявності полум'я в I-ій зоні печі; Контроль наявності полум'я в II-ій зоні печі; Контроль тиску газу в I-ій зоні печі; Контроль тиску газу в II-ій зоні печі; Контроль тиску повітря в I-ій зоні печі; Контроль тиску повітря в II-ій зоні печі.

Систему автоматизації технологічного процесу розроблено на базі сучасного мікропроцесорного контролера фірми Shneider Electric типу Modicon M340. Застосування даного контролера забезпечує регулювання всіх параметрів технологічного процесу.

У роботі виконано обґрунтований вибір локальних технічних засобів автоматизації для кожного контуру регулювання та блокування хлібопекарної печі.

Для вимірювання температури використано термоперетворювачі опору типу ТСП-1088 з перетворювачами сигналу SITRANS TH-100. Регулювання витрати палива і повітря, а також співвідношення "паливо–повітря" здійснюється за

допомогою клапанів Samson 3213 з електроприводами Samson 5825. Витрати контролюються діафрагмами ДК-6-40 та диференційними давачами Сафір-М 5410.

Регулювання розрідження димових газів забезпечується заслінками Вентс КП-150 з приводами Belimo GM24A-SR та давачами Сафір 5210. Для блокування подачі палива використовуються манометри ДМ2005, фотодатчики ФД-05ГМ та соленоїдні клапани EV220B.

Вентиляція реалізована за допомогою частотного перетворювача АСКО ПМ 1-09-10 та асинхронного двигуна АІР 100 S2. Керування транспортерною стрічкою здійснюється аналогічним двигуном у парі з перетворювачем Danfoss FC51.

У результаті розробки програми функціонування мікропроцесорного контролера Modicon M340 реалізовано низку систем автоматичного регулювання технологічних параметрів печі. Зокрема, створено алгоритми для регулювання температури в першій та другій зонах печі, керування співвідношенням витрат «паливо–повітря», розрідженням димових газів, вентиляцією та транспортувальною стрічкою. Програмні рішення включають масштабування аналогових сигналів, фільтрацію через аперіодичні ланки, реалізацію ПД-регуляторів, ручне керування, сигналізацію аварійних станів і забезпечення захисту обладнання. Це дозволяє забезпечити стабільну й безпечну роботу печі в автоматичному режимі, а також адаптацію до змін у процесі.

В роботі виконано розрахунок та дослідження контуру регулювання температури в першій зоні хлібопекарної печі. Перехідні процеси САР досліджувалися трьома каналами: за зміною регулюючої дії на 10 %; за зміною збурюючої величини на 15% та за зміною завдання регулятора на 25 °С. У разі регулюючої дії амплітуда динамічного відхилення становила 19.6 °С, а час перехідного процесу — 294 с. Це відповідає висунутим вимогам до якості: відхилення не перевищує допустиме значення у 20 °С, а час регулювання менший за максимально допустимі 400 с.

При збурюючій дії амплітуда становила 9.7 °С, а час врегулювання — 161.2 с, що також повністю відповідає встановленим критеріям якості процесу.

Під час зміни завдання система реагувала із динамічним відхиленням 5.8°C , а час регулювання склав 341 с, що не перевищує допустимий рівень у 400 с.

Отже, за всіма трьома типами впливів спостерігалось дотримання вимог до максимально допустимого відхилення, часу регулювання та точності. Похибка регулювання не перевищила допустиме значення у 2°C , а коливальність не перевищила припустиме значення $m = 0.33$. Це свідчить про задовільну якість процесу регулювання і відповідність системи критеріям динамічної стабільності.

Виконано детальний опис функціонування всіх контурів регулювання в хлібопекарній печі та наведено специфікацію технічних засобів автоматизації, які необхідні для реалізації даної системи автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Барановський А.І. Автоматизація технологічних процесів у харчовій промисловості: Підручник. — К.: Центр учбової літератури, 2018. — 412 с.
3. Безвесільна О.М., Толочко Т.О. "Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
4. Бурау Н. І., Півторак Д. О. "Теорія автоматичного управління: практикум". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 57 с.
5. Герасимчук М.І., Коваленко В.О. Технологічне обладнання хлібопекарських підприємств. — Львів: Афіша, 2017. — 368 с.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. Грінберг Л. М., Коган В. І. Автоматизація технологічних процесів харчової промисловості. – К.: Вища школа, 2016. – 320 с.
8. ДСТУ EN ISO 13849-1:2019. Безпека машин. Частини систем управління, пов'язані з безпекою.
9. Електронний каталог *SchneiderElectricModiconM340*
10. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
11. Іванченко О.С. Мікропроцесорні засоби автоматизації промислових процесів. — Харків: ХНУМГ, 2019. — 284 с.
12. Каталог технічних рішень Danfoss. Частотні перетворювачі серії VLT. – 2022. – [Електронний ресурс]. – <https://www.danfoss.com>
13. *Каталог фірми SchneiderElectric, 2017.*<http://www.schneider-electric.com>
14. Ковальчук М. О. Моделювання і проектування САР у харчовій промисловості: навч. посіб. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 180 с.
15. Леонтьєв О. Є. "Теорія автоматичного керування: навчальний посібник". – Суми: Сумський державний університет, 2024.
16. Наказ Держгірпромнагляду № 21 від 01.02.2005 р. "Правила охорони праці для працівників молочної промисловості".
17. Наказ МНС № 1417 від 30.12.2014 "Правила пожежної безпеки в Україні". – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-1>
18. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
19. Пархоменко І. В. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. – Харків: ХНАМГ, 2020. – 234 с.

20. Петроченко С.В. Автоматизація та управління харчовими виробництвами. — Одеса: ОНАХТ, 2016. — 350 с.
21. Пінчук О.М., Кучеренко В.І. Контролери Schneider Electric: структура, програмування, приклади. — К.: Видавництво Ліра-К, 2020. — 298 с.
22. Сидоренко В. В. Основи автоматизації технологічних процесів. — Львів: Новий світ–2000, 2021. — 276 с.
23. Тихонов С.І. Моделювання систем автоматичного керування у середовищі MATLAB/Simulink. — Харків: НТУ "ХПІ", 2021. — 292 с.
24. Цапко В.М., Якименко Ю.І. Основи автоматизації харчових виробництв. — К.: НУХТ, 2019. — 376 с.
25. Samson AG. Контрольні клапани з електропневматичними перетворювачами. — Технічна документація. — 2021. — <https://www.samson.de>
26. Schneider Electric. Modicon M340 Automation Platform - Hardware and Software Reference Manual. — Schneider Electric, 2020. — [Електронний ресурс]: <https://www.se.com/>