

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Система автоматичного контролю температури та  
вологості хлібобулочних виробів.

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-  
пМЕ2 спеціальності 141

«Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гордійчук А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 року

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія автоматики, електроніки та телекомунікацій

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

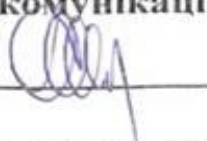
Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри  
автоматики, електроніки та  
телекомунікацій

 О.В. Шефер

“01” квітня 2025 року

## **ЗАВДАННЯ** НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гордійчуку Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема проекту (роботи)** Система автоматичного контролю температури та вологості хлібобулочних виробів

керівник проекту (роботи) Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент,

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2025 року № 306/1-ф.а.

2. **Строк подання студентом проекту (роботи)** 10.06.2025 року.

3. **Вихідні дані до проекту (роботи)** Розробити систему автоматизації контролю температури та вологості; Температурні зони печі; Забезпечити автоматичний режим роботи; матеріали переддипломної практики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** Опис технологічного процесу, основні характеристики автоматизованих систем; опис технологічного обладнання; Опис технологічних інструментів автоматизації

5. **Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)** Функціональна схема автоматизованого контролю; схеми підключення датчиків; структурна та алгоритмічна схеми САК; перехідні процеси САК.

6. **Дата видачі завдання** 01.04.2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Категорія	Відсоток	
1	Опис технологічного процесу ; Особливості виробництва хлібобулочних виробів; Типи систем автоматичного контролю;	22.04.25	I	20%	Пл. 1,2,3
2	Функціональна схема автоматизації; Алгоритм роботи системи; Вибір технічних засобів автоматизації;	08.05.25	II	40%	Пл. 4,5
3	Технічні вимоги; Розробка структурної схеми АСУ пічі; Оцінка енергоефективності; Обґрунтування вибору обладнання;	22.05.25	III	60%	Пл. 6,7,8
4	Енергетичні розрахунки; Визначення основних параметрів; Висновки;	30.05.25	IV	80%	Пл. 9,10,11
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра;	10.06.25	V	100%	

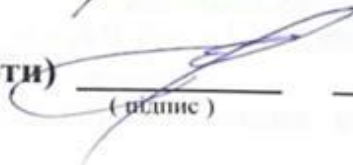
Студент

  
(підпис)

Гордійчук А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Темою кваліфікаційної роботи бакалавра є «Система автоматичного контролю температури та вологості хлібобулочних виробів»

Робота містить 71 сторіноку, 2 ілюстрації, 3 таблиці, 7 схем, 4 графіки та 15 використаних джерел.

У пояснювальній записці представлено опис технологічного об'єкта — побутової хлібопічки. Розроблено функціональну схему автоматизації, контури регулювання та алгоритми управління режимами роботи печі. Також підготовлено пакет конструкторських документів.

Мета дипломного проекту полягає у розробці системи автоматичного контролю температури та вологості хлібобулочних виробів.

Ключові слова: автоматизація, хлібовипічна піч, функціональна схема автоматизації, контур регулювання, алгоритм, контролер, схема електрична принципова.

У першому розділі було проаналізовано вплив температури й вологості на етапах виробництва хлібобулочних виробів. Розглянуто сучасні системи контролю параметрів середовища та порівняно їх характеристики.

У другому розділі було розроблено схему автоматизації, описано завдання системи, алгоритм її роботи та обґрунтовано вибір технічних засобів, датчиків DS18B20 і DHT22.

У третьому розділі було проаналізовано характеристики виконавчих механізмів і засобів вимірювань. Описано принципи побудови автоматичних систем регулювання та забезпечення їх надійності в умовах виробництва.

У четвертому розділі було розроблено схеми автоматичного регулювання температури та вологості, проведено аналіз стійкості системи, побудовано та скориговано систему керування для покращення її динамічних характеристик.

## ABSTRACT

The topic of the bachelor's qualification work is “System of automatic control of temperature and humidity of bakery products”

The work contains 71 pages, 2 illustrations, 3 tables, 7 diagrams, 4 graphs and 15 sources used.

The explanatory note presents a description of the technological object - a household bread oven. A functional automation scheme, control circuits and algorithms for controlling the oven operating modes have been developed. A package of design documents has also been prepared.

The purpose of the diploma project is to develop a system of automatic control of temperature and humidity of bakery products.

Keywords: automation, bread oven, functional automation scheme, control circuit, algorithm, controller, electrical schematic diagram.

The first section analyzed the influence of temperature and humidity on the stages of bakery products production. Modern systems for monitoring environmental parameters were considered and their characteristics were compared.

In the second section, an automation scheme was developed, the tasks of the system, the algorithm of its operation were described, and the choice of technical means, DS18B20 and DHT22 sensors were justified.

In the third section, the characteristics of actuators and measuring instruments were analyzed. The principles of building automatic control systems and ensuring their reliability in production conditions were described.

In the fourth section, schemes for automatic temperature and humidity control were developed, a stability analysis of the system was conducted, and a control system was built and adjusted to improve its dynamic characteristics.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕМПЕРАТУРО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ</b> .....	9
1.1 Особливості температурно-вологісного режиму на етапах виробництва хлібобулочних виробів .....	9
1.2 Вимоги до параметрів середовища на кожному з етапів .....	11
1.3 Огляд сучасних систем автоматичного контролю температури та вологості .....	12
1.4 Порівняльний аналіз технологічних рішень контролю температури та вологості .....	14
<b>ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ</b> .....	16
<b>РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ</b> .....	17
2.1 Схема автоматизації.....	17
2.2 Задачі автоматизації.....	19
2.3 Алгоритм роботи системи .....	20
2.4 Вибір технічних засобів автоматизації .....	23
<b>ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ</b> .....	26
<b>РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ</b> .....	27
3.1. Параметри та умови експлуатації виконавчих механізмів .....	27
3.2. Засоби контролю та вимірювань .....	28
3.3 Принципи побудови систем автоматичного регулювання .....	31
3.4 Надійність та стійкість автоматизованих систем до зовнішніх впливів .....	34
<b>ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ</b> .....	37
<b>РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ</b> .....	38
4.1 Автоматична система стабілізації температурного режиму.....	39
4.2 Функціональна схема системи автоматичного контролю (САК).....	41
4.3 Аналіз стійкості системи автоматичного контролю.....	42
4.4 Розробка пристроїв корекції для системи автоматичного контролю (САК) .....	44
4.5 Аналіз характеристик скорегованої системи .....	48
4.6 Система автоматичного регулювання вологості .....	48
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	52
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	53
<b>ДОДАТКИ</b> .....	53

## ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого технологічного прогресу автоматизація виробничих процесів набуває вирішального значення для ефективної та стабільної роботи підприємств харчової промисловості. Особливої уваги заслуговує хлібопекарська галузь, яка є основою продовольчої безпеки держави та задовольняє щоденні потреби населення в одному з найважливіших продуктів харчування. Зважаючи на підвищення вимог до якості продукції, посилення конкуренції та необхідність дотримання санітарно-гігієнічних норм, все більшої актуальності набуває впровадження сучасних автоматизованих рішень для моніторингу та управління технологічними параметрами.

Одним із ключових чинників, що визначають якість хлібобулочних виробів, є параметри температури та вологості на всіх етапах виробництва. Від замішування тіста й бродіння до розстоювання, випікання, охолодження та зберігання — ці умови мають суттєвий вплив на зовнішній вигляд продукції, її текстуру, смакові характеристики та термін зберігання. Порушення режимів мікроклімату навіть на окремих фазах технологічного процесу може призвести до втрати товарного вигляду, неякісної структури м'якушки, зниження споживчих властивостей та скорочення строку реалізації продукції. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні надійної системи контролю, яка забезпечить стабільність умов виробництва та мінімізує ризики втрат.

На практиці багато хлібопекарських підприємств досі використовують застарілі системи, де контроль температури та вологості здійснюється вручну або з мінімальним рівнем автоматизації. Такий підхід не забезпечує належної точності, швидкості реагування та гнучкості при зміні зовнішніх чи внутрішніх факторів. Людський фактор у процесі ручного регулювання часто стає джерелом помилок, що негативно впливає на якість кінцевої продукції.

Саме тому зростає потреба у впровадженні високотехнологічних

автоматизованих систем, здатних самостійно відслідковувати параметри середовища, реагувати на їх зміни та забезпечувати підтримання оптимальних режимів у режимі реального часу.

Системи автоматизованого контролю температури й вологості мають низку важливих переваг. Насамперед, вони сприяють стабілізації виробничих процесів, що позитивно позначається на якості готової продукції. Крім того, такі системи знижують залежність від людського фактору, оптимізують витрати на енергоресурси та дають можливість проводити глибоку аналітику — від накопичення статистичних даних до прогнозування відхилень і запобігання аварійним ситуаціям.

Метою цієї кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка системи автоматичного контролю температури та вологості у хлібопекарському виробництві, що дозволить гарантувати стабільну якість продукції, ефективно використання ресурсів та відповідність сучасним стандартам. У межах дослідження буде проаналізовано наявні методи вимірювання параметрів мікроклімату, розглянуто принципи функціонування сенсорних систем, а також обрано оптимальні засоби автоматизації для впровадження такої системи.

Отже, розробка й реалізація сучасної автоматизованої системи контролю температури та вологості є не лише актуальним напрямом дослідження, а й важливим кроком до підвищення конкурентоспроможності хлібопекарської галузі в умовах цифрової економіки.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕМПЕРАТУРО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1 Особливості температурно-вологісного режиму на етапах виробництва хлібобулочних виробів

Температурно-вологісний режим відіграє ключову роль на всіх етапах виробництва хлібобулочних виробів. Правильне регулювання температури та вологості впливає на якість тіста, смак, аромат, об'єм, текстуру та збереження готових виробів. Нижче розглянуто особливості температурно-вологісного режиму на основних етапах технологічного процесу:

#### 1. Замішування тіста

- Температура тіста: 26 – 30 °С (в залежності від виду хліба).
- Вологість середовища: не має суттєвого значення, але вологість інгредієнтів впливає на гідратацію.

Особливості:

- Температура тіста після замішування має бути стабільною — вона впливає на активність дріжджів.
- За надто низької температури — тісто буде повільно бродити; за високої — можуть загинути дріжджі.

#### 2. Бродіння тіста

- Температура повітря в камері бродіння: 28 – 30 °С.
- Вологість повітря: 75 – 85 %.

Особливості:

- Підвищена вологість запобігає утворенню кірки на поверхні тіста.

- Оптимальна температура сприяє активному розмноженню дріжджів, виділенню газів і розпушенню тіста.

### 3. Розділення та відлежування

- Температура: 25 – 30 °С.
- Вологість: до 75 – 80 %.

#### Особливості:

- Після поділу тістових заготовок потрібен короткий період відпочинку, під час якого глютен розслабляється.
- Висока вологість запобігає пересиханню заготовок.

### 4. Остаточна розстойка

- Температура в розстоєній камері: 35 – 38 °С.
- Вологість: 75 – 85 %.

#### Особливості:

- Висока вологість критично важлива: вона запобігає підсиханню та сприяє доброму підйому тіста.
- Температура забезпечує оптимальну активність дріжджів перед випіканням.

### 5. Випікання

- Температура печі: 200 – 270 °С (залежно від виду виробу та стадії).
- Вологість в печі:
  - На початку випікання — висока (подавання пари).
  - В кінці — низька, для утворення хрусткої скоринки.

Особливості:

- Подавання пари у перші хвилини випікання забезпечує добрий підйом тіста та глянцеvu скоринку.
- Зниження вологості наприкінці випікання підвищує хрусткість та стабілізує структуру виробу.

6. Охолодження

- Температура середовища: 20 – 25 °С.
- Вологість повітря: 60 – 70 %.

Особливості:

- Необхідне поступове охолодження для уникнення конденсату, який призводить до зволоження та псування скоринки.
- Занадто висока вологість може спричинити розм'якшення скоринки.

## 1.2 Вимоги до параметрів середовища на кожному з етапів

Таблиця 1.1 Вимоги до параметрів середовища на етапах виробництва хлібобулочних виробів

Етап виробництва	Температура середовища	Вологість середовища	Примітки
Замішування тіста	Температура тіста: 26 – 30 °С	—	Температура тістової маси впливає на активність ферментів і дріжджів.
Бродіння тіста	28 – 30 °С	75 – 85 %	Забезпечення активного бродіння, запобігання утворенню скоринки.

Розділення та відлежування	25 – 30 °С	75 – 80 %	Потрібен короткий відпочинок для розслаблення глютену.
Остаточна розстойка	35 – 38 °С	75 – 85 %	Висока вологість сприяє рівномірному підйому, кірка не утворюється.
Випікання	200 – 270 °С (в печі)	Початок: висока (пара), кінець: низька	Пар на початку створює глянець і об'єм; сухе середовище наприкінці — скоринку.
Охолодження	20 – 25 °С	60 – 70 %	Уникають утворення конденсату, який псує скоринку.

### 1.3 Огляд сучасних систем автоматичного контролю температури та вологості

У сучасному харчовому виробництві, зокрема у хлібопекарській галузі, автоматизація процесів контролю температурно-вологісного режиму є ключовою умовою стабільної якості продукції, підвищення ефективності виробництва та зниження енергоспоживання. Впровадження автоматичних систем контролю дозволяє точно підтримувати технологічні параметри, мінімізувати людський фактор і забезпечувати адаптацію до змін навантаження або зовнішніх умов.

#### 1. Типи систем автоматичного контролю

Сучасні системи контролю температури та вологості умовно поділяються на такі типи:

- Локальні системи контролю (автономні)  
Використовуються на окремих ділянках виробництва — наприклад, у камерах розстойки або печах. Містять сенсори, контролер і просту логіку регулювання (ПД-регулятори).
- Централізовані (мережеві) системи  
Об'єднують кілька технологічних зон в єдину інформаційно-керуючу систему. Забезпечують моніторинг і управління з центрального пульта або комп'ютера. Часто інтегруються в SCADA-системи.
- Інтелектуальні системи з адаптивним керуванням  
Засновані на використанні мікроконтролерів, програмованих логічних контролерів (ПЛК) та алгоритмів машинного навчання. Здатні прогнозувати зміни параметрів і самостійно адаптувати режим роботи.

## 2. Основні компоненти сучасних систем

1. Датчики температури та вологості  
Найчастіше використовуються цифрові сенсори (наприклад, SHT21, DHT22, Sensirion SHT3x), термопари типу К, або платинові терморезистори (Pt100).
2. Контролери (ПЛК, мікроконтролери)  
Здійснюють збір даних, обробку та управління виконавчими пристроями (нагрівальні елементи, зволожувачі, вентилятори). Широко застосовуються контролери Siemens S7, Arduino, ESP32, Schneider Electric тощо.
3. Програмне забезпечення  
Для візуалізації, архівації та дистанційного контролю застосовують SCADA-системи (наприклад, WinCC, MasterSCADA, Ignition), мобільні застосунки або веб-інтерфейси.
4. Виконавчі механізми  
Це можуть бути ТЕНи, парогенератори, клапани, вентилятори, які регулюють параметри середовища відповідно до команд контролера.

### 3. Переваги автоматизованого контролю

- Точне підтримання параметрів у межах технологічних допусків;
- Зниження впливу людського фактора;
- Підвищення продуктивності та зниження браку;
- Енергоефективність та зменшення експлуатаційних витрат;
- Можливість архівування даних для аналізу та вдосконалення процесів.

### 4. Приклади використання

- Камери розстойки: автоматичне регулювання температури (35–38 °C) і вологості (до 85 %) для рівномірного підйому тіста;
- Печі з парозволоженням: контроль подачі пари в перші хвилини випікання;
- Системи охолодження: підтримка помірної вологості для уникнення утворення конденсату;
- Розумні пекарські лінії: із повною автоматизацією всіх параметрів — з можливістю дистанційного керування.

## **1.4 Порівняльний аналіз технологічних рішень контролю температури та вологості**

У процесі автоматизації хлібопекарського виробництва використовуються різні технічні та програмні засоби контролю температурно-вологісного режиму. Вибір конкретного рішення залежить від масштабу виробництва, необхідної точності, фінансових ресурсів і вимог до гнучкості системи. У таблиці 1.2 наведено порівняльну характеристику найбільш поширених рішень.

Таблиця 1.2 Порівняльний аналіз технологічних рішень контролю температури та вологості

Критерій	Прості автономні системи	Промислові ПЛК-системи	Інтелектуальні IoT-рішення
Пристрої керування	Механічні або прості цифрові термостати	ПЛК (Siemens, Schneider, OВЕН)	ESP32, Raspberry Pi, STM32 тощо
Типи датчиків	Аналогові (NTC, термопари)	Промислові (Pt100, цифрові)	Цифрові SHT3х, AM2302, BME280
Точність регулювання	Низька–середня	Висока	Середня–висока
Гнучкість налаштувань	Обмежена	Висока (модульна структура)	Висока, можливість адаптивного керування
Інтерфейс користувача	Відсутній або базовий	Панель оператора / SCADA	Веб-інтерфейс, мобільний застосунок
Можливість дистанційного контролю	Немає	Часткова (через SCADA)	Повна (Wi-Fi, MQTT, хмара)
Ціна рішення	Низька	Висока	Середня
Складність впровадження	Мінімальна	Висока (потрібні фахівці)	Середня
Сумісність із сучасними ІТ	Низька	Висока	Висока

## ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

Температурно-вологісний режим є критичним фактором, що впливає на якість хлібобулочних виробів на всіх етапах технологічного процесу — від замішування тіста до його охолодження після випікання. Невідповідність температурно-вологісних параметрів може призвести до зниження якості готової продукції, втрат у виробництві та зростання енергоспоживання.

Аналіз сучасних систем автоматизації показав, що впровадження технологій контролю параметрів середовища значно підвищує ефективність виробничого процесу. Автоматичні, централізовані та інтелектуальні системи забезпечують стабільність режимів, зменшують вплив людського фактора, забезпечують енергоощадність та дають змогу адаптувати виробництво до змін умов.

Порівняльний аналіз існуючих технологічних рішень дозволяє зробити висновок, що вибір оптимальної системи контролю залежить від масштабу виробництва, фінансових можливостей підприємства та необхідного рівня автоматизації. При цьому інтелектуальні IoT-рішення є перспективними завдяки гнучкості, можливості дистанційного моніторингу та високій сумісності з сучасними інформаційними технологіями.

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

### 2.1 Схема автоматизації

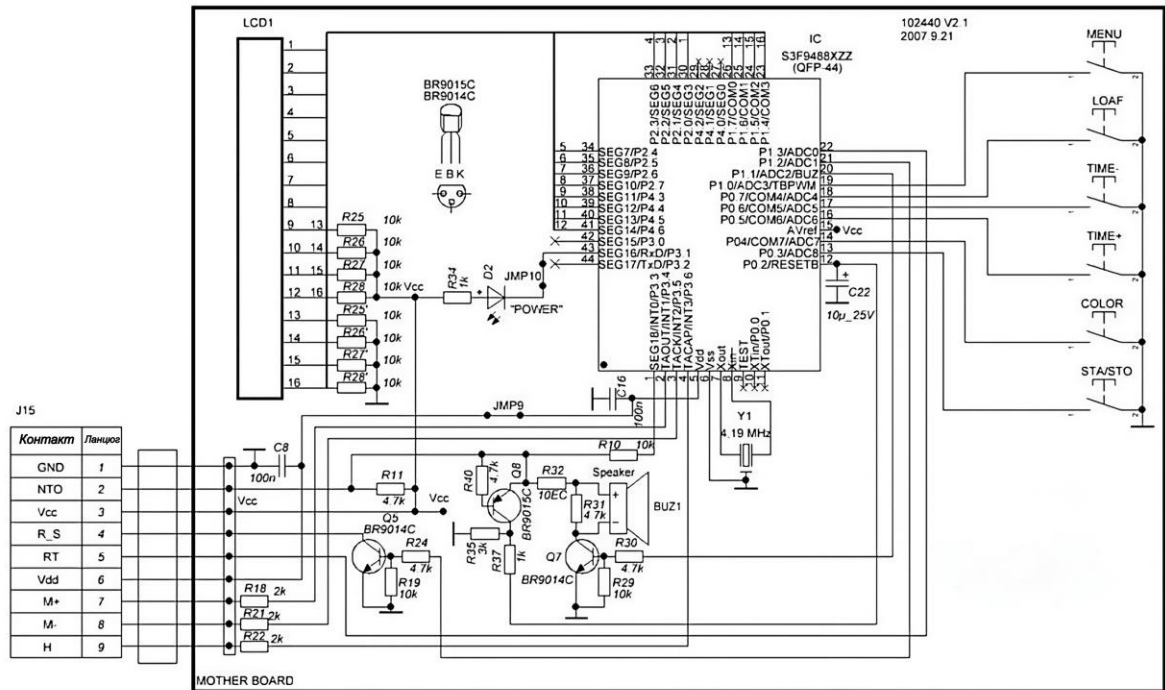


Рис. 2.1 Принципова схема автоматизованого управління хлібопекарською піччю

### Енергоживлення

- Vcc – основна шина живлення.
- C22 (10µF/25V) – фільтруючий конденсатор живлення.
- Y1 (4.19 MHz) – кварцовий резонатор, що задає тактову частоту мікроконтролеру.
- C16, C8 (100nF) – конденсатори розв'язки живлення (гальванічна розв'язка та шумозаглушення).

### Мікроконтролер

- IC: S3F9488XZZ (QFP-44) – центральний елемент системи. Він управляє дисплеєм, клавіатурою, звуковими сигналами, керуванням пристроєм.

- До нього підключені:
  - LCD1 – сегментний або алфавітно-цифровий дисплей.
  - Кнопки керування (MENU, LOAF, TIME–, TIME+, COLOR, STA/STO) – підключені до портів P1.x
  - BUZ1 (дзвінок / п'єзозумер) – керується транзистором через резистори R30, R31, R32.
  - Світлодіод “POWER” – через резистор R34 та діод D2.

### **LCD-дисплей (LCD1)**

- Підключений до мікроконтролера через численні лінії керування SEG (сегменти).
- Підтягуючі резистори (10кОм) – на кожній лінії SEG.

### **Кнопкова панель**

- Кнопки підключені безпосередньо до портів мікроконтролера. При натисканні відбувається з'єднання з "землею".
- Кнопки:
  - MENU – вибір режиму
  - LOAF – вибір розміру хліба
  - TIME– / TIME+ – встановлення часу
  - COLOR – вибір кольору скоринки
  - STA/STO – старт/стоп програми

### **Звукова сигналізація**

- BUZ1 – активний зумер, підключений через транзистор Q6 (BR9014C).
- R31, R32 – резистори базового струму.
- Q6 відкривається по команді з мікроконтролера – вмикає звук.

### **Транзисторні ключі**

- Q5, Q6 – транзистори BR9014C працюють як ключі для управління різними навантаженнями.
- R11, R24 – обмежувальні резистори на базу.
- R19, R29 – підтягуючі резистори.
- C9 – фільтрація пульсацій.

## 2.2 Задачі автоматизації

Постановка задачі автоматизації контролю температури та вологості хлібобулочних виробів має на меті підвищення якості продукції, зниження витрат енергоресурсів та оптимізацію виробничих процесів. Враховуючи високі вимоги до підтримки стабільних параметрів температури і вологості для збереження якості хлібобулочних виробів, необхідно розробити систему, яка б дозволяла здійснювати моніторинг і автоматичне коригування цих параметрів.

### Основні завдання автоматизації:

1. Збір даних: Визначення температури та вологості у реальному часі в різних зонах виробничого процесу, таких як піч, холодильні камери, та склади для зберігання готової продукції.
2. Контроль параметрів: Автоматичне регулювання температури та вологості для підтримки оптимальних умов для виготовлення та зберігання хлібобулочних виробів.
3. Аналіз даних: Аналіз отриманих даних для виявлення трендів, аномалій та можливих проблем, що можуть вплинути на якість продукції.
4. Інтерфейс для оператора: Розробка зручного інтерфейсу для моніторингу та управління параметрами температури і вологості. Оператор повинен мати можливість вносити корективи, якщо автоматичний контроль не здатен оптимально підтримати параметри.

5. Оповіщення та звітність: Налаштування системи оповіщення про критичні відхилення від заданих параметрів (наприклад, перевищення максимальної температури або низька вологість), а також формування звітів для подальшого аналізу.
6. Інтеграція з іншими системами: Підключення до інших автоматизованих систем підприємства, таких як системи управління виробничими процесами або ERP-системи, для покращення загальної ефективності роботи.

Основною метою цієї автоматизації є зниження людського фактору, підвищення ефективності роботи, забезпечення стабільної якості продукції та оптимізація витрат на енергоресурси.

### **2.3 Алгоритм роботи системи**

Алгоритм роботи системи автоматизації контролю температури та вологості хлібобулочних виробів можна поділити на кілька основних етапів. Нижче наведено опис основних етапів роботи системи, включаючи контроль, обробку даних і реакцію на зміни параметрів:

#### **1. Ініціалізація системи**

- При запуску системи здійснюється перевірка всіх датчиків температури та вологості, а також всіх виконавчих пристроїв (регулятори температури, зволожувачі, вентиляційні системи).
- Перевіряється з'єднання з центральним сервером чи іншою системою управління для збору та аналізу даних.
- Встановлюються початкові значення температури та вологості на основі заданих параметрів для кожної зони (наприклад, для пекарні, складу, холодильних камер).

## 2. Збір даних

- Датчики температури та вологості здійснюють постійний моніторинг параметрів у різних точках виробничого процесу.
- Дані з датчиків передаються в центральний контролер чи сервер системи.
- Створюється журнал, у якому фіксуються показники температури та вологості за певні проміжки часу.

## 3. Аналіз даних

- Система постійно аналізує отримані дані, порівнюючи їх з заданими параметрами (наприклад, оптимальна температура для випікання хліба або збереження готової продукції).
- Якщо параметри виходять за межі встановлених норм (перевищення або зниження температури чи вологості), система визначає аномалії та порушення.

## 4. Контроль та регулювання

- У разі виявлення відхилень від встановлених значень система автоматично коригує параметри:
  - Температура: Включення або вимкнення обігрівачів, охолоджувальних елементів, вентиляції для підтримання стабільної температури.
  - Вологість: Увімкнення зволожувачів чи осушувачів повітря, якщо це необхідно для підтримки оптимальної вологості.
- Система може включити або вимкнути додаткові пристрої в залежності від виявлених відхилень.

## 5. Оповіщення та попередження

- Якщо система не може самостійно коригувати параметри (наприклад, через технічні несправності або великі відхилення), вона автоматично відправляє сповіщення оператору.
- Повідомлення можуть бути надіслані через електронну пошту, SMS або через інтерфейс на екрані монітора.
- Оператор отримує дані про відхилення і може вручну втрутитися в процес або здійснити необхідні корективи.

## **6. Збір звітності та аналіз ефективності**

- Система автоматично генерує звіти за певний період, в яких зазначаються:
  - Часові діапазони, коли параметри вийшли за межі норми.
  - Дії, які були вжиті для коригування параметрів.
  - Прогнозування можливих проблем на основі трендів змін параметрів.
- Звіти передаються керівництву або зберігаються для подальшого аналізу та оптимізації процесів.

## **7. Постійне вдосконалення та адаптація**

- Система на основі зібраних даних аналізує ефективність своїх дій і робить прогнози для подальшого вдосконалення роботи.
- Враховуються зміни в умовах виробництва, зміни в технологічних процесах або сезонні коливання, що можуть впливати на оптимальні параметри для кожної зони.

**Алгоритм роботи системи можна описати в такій послідовності:**

### **1. Ініціалізація:**

- Перевірка працездатності системи і налаштування початкових параметрів.

2. Моніторинг:
  - Постійний збір даних з датчиків температури та вологості.
3. Аналіз:
  - Порівняння з заданими параметрами і виявлення аномалій.
4. Реакція:
  - Автоматичне коригування параметрів або оповіщення оператора.
5. Звітність:
  - Формування звітів і аналіз ефективності системи.
6. Оцінка та вдосконалення:
  - Оцінка роботи системи і внесення необхідних коректив.

## **2.4 Вибір технічних засобів автоматизації**

### **1. Датчики температури**

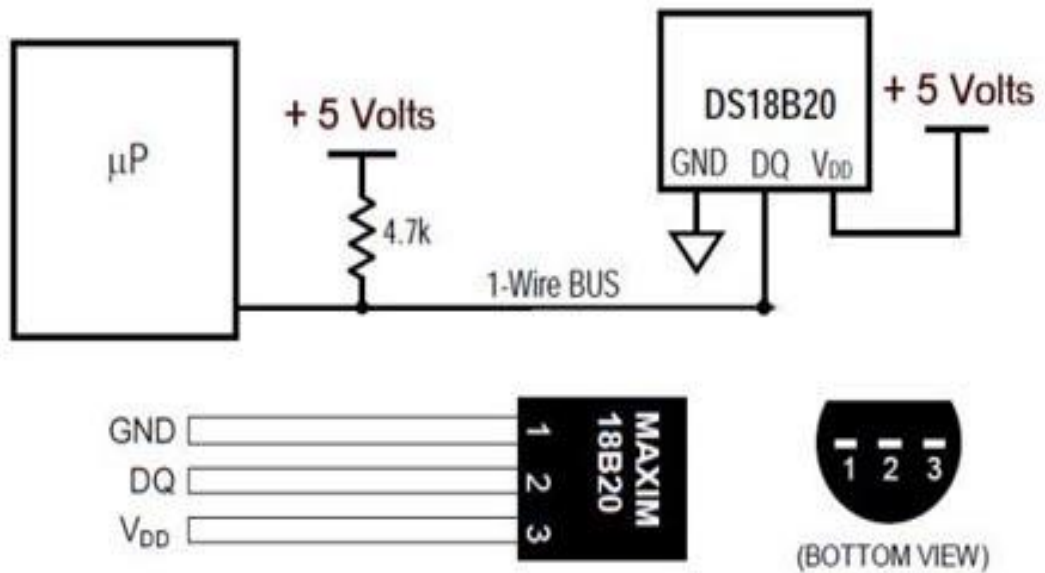
Датчик DS18B20 – це цифровий температурний сенсор, який відзначається простотою використання. Він має лише один вивід для передавання даних, що значно спрощує підключення. Завдяки цьому до одного Arduino можна одночасно підключити велику кількість таких датчиків, не перевантажуючи контакти.

Характеристики:

- Напруга живлення: 3-5,5 В
- Дозвіл: 9/10/11/12 біт
- Точність:  $\pm 0,5$  °C
- Діапазон вимірювальних температур: -55 ...+ 125 °C
- Інтерфейс: 1-Wire
- Довжина провода: 80 см
- Струм: 750 нА в стані спокою і 1 мА при запиті даних
- Діаметр гільзи: 6 мм



Рис. 2.2 – Датчик температури DS18B20



### Typical Connections for the DS18B20

Рис. 2.3 – Схема підключення датчика DS18B20

## 2. Датчик вологості DHT22

Цифровий датчик температури та вологості підвищеної точності. Датчик DHT22 має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням.

### Характеристики:

- виробник: ASAIR
- тип: AM2302 цифровий
- точність: 0.1 °C
- діапазон вимірювання вологості: 0-100%
- діапазон виміру температури: -40 ~ 80 °C
- точність вимірювання вологості:  $\pm 2\%$  RH
- точність вимірювання температури:  $\pm 0.5$  градуса
- напруга живлення: 3.6-6 В
- кількість виводів: 4
- ультранизьке енергоспоживання
- не вимагає обв'язки
- здатний працювати при досить довгому дроті

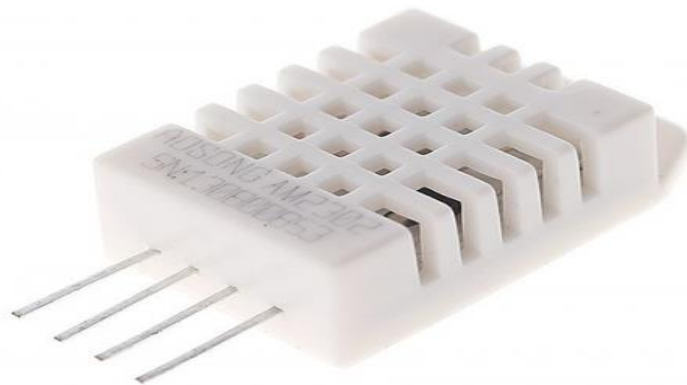


Рис. 2.4 – Датчик вологості DHT22

## ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ

У другому розділі було розроблено концепцію автоматизованої системи контролю температури та вологості, яка є ключовим елементом для забезпечення стабільної якості хлібобулочних виробів. Було визначено основні функціональні вимоги до системи, зокрема: безперервний моніторинг, автоматичне регулювання параметрів, аналіз даних, оповіщення про відхилення та генерація звітності.

Сформульовано завдання автоматизації, які охоплюють увесь цикл — від збору інформації до інтеграції з іншими системами підприємства. Запропонований алгоритм роботи системи демонструє поетапну логіку контролю: ініціалізація, збір і аналіз даних, автоматичне регулювання параметрів та інформування оператора у разі критичних відхилень.

Особливу увагу приділено вибору технічних засобів: датчику температури **DS18B20** і датчику вологості **DHT22**, які відзначаються надійністю, високою точністю та низьким енергоспоживанням. Вибір саме цих компонентів дозволяє створити ефективну, економічну та легко масштабовану систему контролю.

У результаті проєктування сформовано основу для подальшої реалізації системи, що дозволяє знизити вплив людського фактора, підвищити енергоефективність і стабільно підтримувати необхідні умови виробничого середовища.

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ



Рис. 3.1 – Функціонально-структурна схема

УОР – узагальнений об'єкт регулювання, КП – керуючий пристрій,  $X(t)$  – вхідний параметр об'єкта,  $Y(t)$  – вихідний параметр,  $Z(t)$  – збурюючий вплив, САК система автоматичного контролю, ЗП – задаючий пристрій, ЕП – елемент порівняння, ВМ – виконавчий механізм, РО – регулюючий орган.

### 3.1. Параметри та умови експлуатації виконавчих механізмів

Виконавчі механізми повинні відповідати наступним основним технічним характеристикам:

#### 1. Потужність приводу (сервомотора, актуатора):

Вона повинна бути достатньою для забезпечення переміщення регулюючого органу (наприклад, заслінки, вентиля, електронагрівача) з необхідною швидкістю у всьому робочому діапазоні.

Наприклад: якщо потрібно змінювати температуру в межах  $20 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 5 хвилин, виконавчий пристрій має забезпечити відповідну швидкість теплоподачі.

#### 2. Взаємна відповідність механічних параметрів:

Лінійне або обертове переміщення виконавчого елемента (наприклад, серводвигуна) повинно точно відповідати величині керувального сигналу, що надходить від контролера. Це передбачає досягнення повної механічної сумісності між виконавчим органом та рухомою частиною регульованого об'єкта (наприклад, механізмом відкриття клапана або заслінки).

### 3. Пропорційність характеристики:

Характеристика виконавчого пристрою повинна бути лінійною або пропорційною вхідному електричному сигналу. Це дозволяє реалізувати адекватне управління — чим більша різниця між заданим і фактичним значенням параметра, тим сильніший вплив здійснює виконавчий орган.

### 4. Мінімізація інерційного відношення:

Відношення кінетичної енергії рухомих компонентів до потужності приводу повинно бути мінімальним. Це означає, що конструкція приводу має характеризуватися низьким моментом інерції, що забезпечує швидку реакцію на зміни керуючого сигналу без затримок.

### 5. Надійність і довговічність:

Виконавчі пристрої повинні витримувати багаторазові цикли вмикання/вимикання, зберігаючи точність і швидкість реагування в умовах високої температури, вологості та можливого забруднення (характерно для хлібопекарського виробництва).

## **3.2. Засоби контролю та вимірювань**

Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) у системі автоматичного регулювання виконують ключову функцію збирання інформації про параметри технологічного процесу. Від точності, швидкодії та стабільності ЗВТ залежить ефективність і надійність роботи всієї системи.

Класифікація засобів вимірювань здійснюється за такими основними ознаками:

**1. За принципом дії та видом використаної енергії:**

- механічні,
- електричні (резистивні, ємнісні, напівпровідникові),
- рідинні (гідравлічні) та газові (пневматичні) системи
- сенсори хімічного класу, зокрема електрохімічні,
- інфрачервоні,
- ультразвукові,
- радіоізотопні.

**2. За формою подання вимірюваної величини:**

- Аналогові пристрої з стрілочною індикацією,
- цифрові (з дисплеєм або передачею даних до контролера).

**3. За характером реєстрації результату:**

- показуючі (визначення значень у моменті часу),
- реєструючі (ведення протоколу або лог-файлу),
- самописні (механічна або цифрова реєстрація),
- інтегруючі (накопичення інформації протягом інтервалу).

**4. За функціональним призначенням:**

- технічні (виробничі),
- лабораторні (високоточні),
- зразкові та еталонні (для калібрування інших ЗВТ).

**5. За місцем експлуатації:**

- щитові (на панелях керування),
- місцеві (вбудовані в установку),
- дистанційні (із передачею даних по провідній або бездротовій мережі).

**6. В залежності від розмірних параметрів:**

- крихітні,

- маленькі,
- звичайні,
- великі.

У межах розробленої системи були застосовані такі ЗВТ:

- **DS18B20** — цифровий термометр з інтерфейсом 1-Wire. Класифікується як електричний, цифровий, технічний, показуючий, малогабаритний.
- **DHT22** — цифровий сенсор температури та вологості. Класифікується як електричний, цифровий, комбінований, технічний, дистанційний, малогабаритний.

Ці сенсори забезпечують необхідну точність і стабільність у системах моніторингу температурно-вологісного режиму хлібобулочних виробів, при цьому сумісні з платформою Arduino Uno, що спрощує їх інтеграцію.

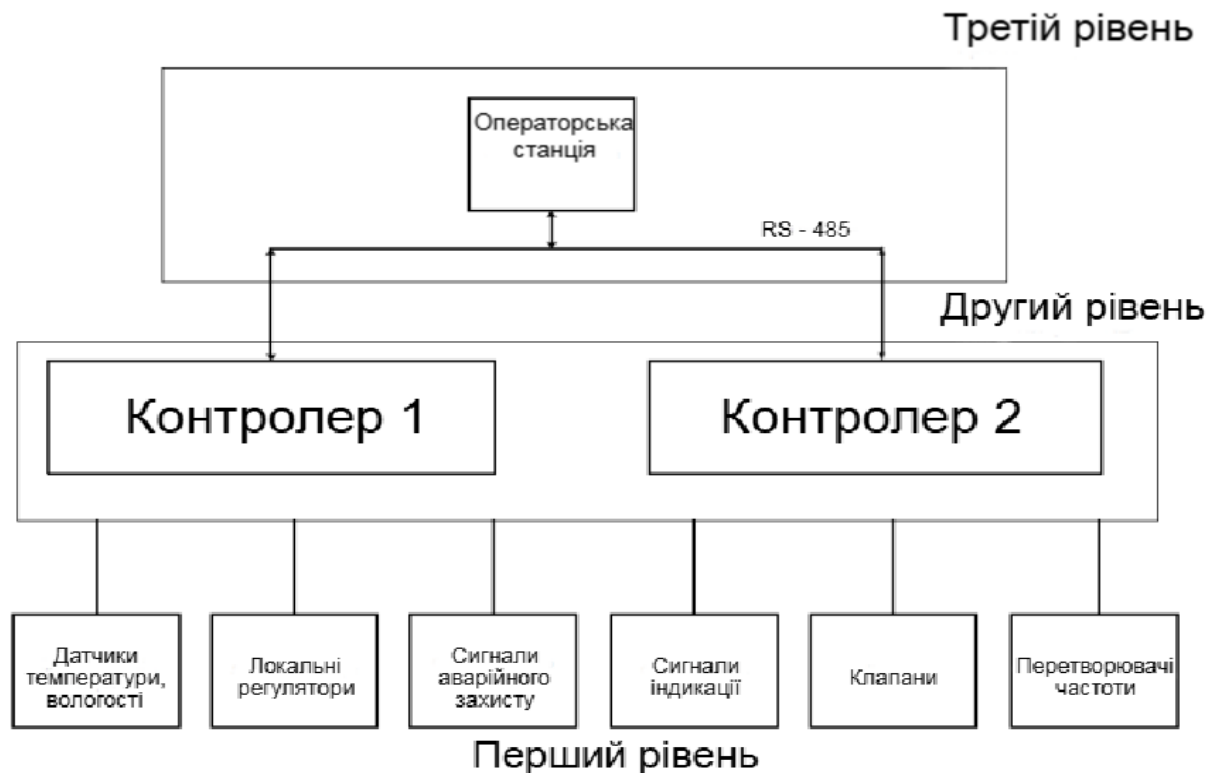


Рис. 3.2 – Схема структури автоматизованої системи управління піччю для хлібобулочних виробів

До складу технічних засобів хлібопекарської печі, окрім регулюючих органів, виконавчих механізмів і датчиків, входять вторинні індикаторні та реєструючі прилади, а також мікропроцесорний контролер, що забезпечує обробку і керування технологічним процесом.

### **3.3 Принципи побудови систем автоматичного регулювання**

Системи автоматичного регулювання (САР) є основою сучасних автоматизованих технологічних процесів, зокрема у галузі харчової промисловості, де стабільність параметрів середовища безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції. У хлібопекарському виробництві до таких параметрів відносять температуру, вологість, тиск, швидкість потоку повітря, тощо. Підтримка цих величин у заданих межах забезпечується завдяки реалізації зворотного зв'язку між поточним станом об'єкта керування та керуючим впливом з боку автоматичної системи.

#### **Основні елементи системи автоматичного контролю (САК)**

Будь-яка система автоматичного регулювання складається з наступних основних функціональних елементів:

- Задавальний пристрій (ЗП): формує бажане (еталонне) значення параметра, наприклад, температура 180 °С або вологість 75 %.
- Вимірювальний елемент: сенсор або вимірювальний пристрій, який зчитує фактичне значення параметра.
- Порівнювальний елемент (елемент відхилення): визначає різницю між фактичним і заданим значенням.
- Регулятор: обчислює величину та напрямок керуючого впливу на основі відхилення.
- Виконавчий орган: технічний пристрій, що фізично змінює параметр у потрібному напрямку (нагрівач, клапан, зволожувач тощо).

Ці компоненти пов'язані в єдину систему зі зворотним зв'язком, яка постійно самостійно коригує хід процесу.

### **Принцип зворотного зв'язку**

**Зворотний зв'язок** — це механізм, за якого інформація про фактичний стан об'єкта повертається до регулятора для корекції керуючого впливу. Якщо, наприклад, температура в печі нижча за задану, система автоматично активує нагрівальні елементи; якщо вища — зменшує їх потужність або відключає.

Завдяки зворотному зв'язку система здатна компенсувати зовнішні збурення, адаптуватися до змін у навантаженні, температурі навколишнього середовища чи фізичних властивостях матеріалу.

### **Типи систем автоматичного контролю**

САК класифікуються за різними ознаками:

#### 1. За способом дії:

- Пропорційні (P): регулюють пропорційно величині відхилення.
- Пропорційно-інтегральні (PI): враховують не лише відхилення, а й його тривалість.
- Пропорційно-інтегрально-диференціальні (PID): найточніші, враховують також швидкість зміни відхилення.

#### 2. За ступенем автоматизації:

- Аналогові (на базі релейної або транзисторної логіки);
- Цифрові (на базі мікроконтролерів, ПЛК, цифрових алгоритмів керування).

#### 3. За структурою:

- Одноконтурні — регулювання одного параметра;
- Багатоконтурні — одночасне регулювання кількох параметрів.

У хлібопекарській галузі найчастіше використовуються PI- або PID-регулятори, які забезпечують високу точність стабілізації температури й вологості.

### **Впровадження САК у хлібопекарське виробництво**

У практиці хлібопекарських підприємств системи автоматичного регулювання застосовуються для:

- підтримки температури в пекарних камерах, ферментаційних камерах, охолоджувачах;
- контролю вологості в розстоєних камерах та камерах охолодження;
- управління подачею пари на початкових етапах випікання;
- регулювання вентиляції та рециркуляції повітря.

Такі системи підвищують точність і повторюваність процесів, мінімізують втрати сировини та енергоресурсів, підвищують якість і термін зберігання продукції.

### **Теоретичні основи стабільності**

Стійкість САК означає здатність системи повертатися до рівноважного стану після дії збурень. У практичній реалізації важливо досягти не лише стійкості, але й оптимального часу реакції (мінімальної затримки) та відсутності перерегулювання (перевищення параметра понад встановлене значення).

Для оцінки та моделювання таких систем застосовуються:

- передавальні функції об'єктів регулювання;
- частотні характеристики (ЛАЧХ, ЛФЧХ);
- методи аналізу стійкості (критерії Найквіста, Гурвіца, Ляпунова);
- методи оптимізації ПД-параметрів (емпіричні, числові, генетичні алгоритми).

### **Адаптивні та інтелектуальні системи**

Сучасні підходи до побудови САР включають адаптивні регулятори, які здатні змінювати свої параметри в реальному часі залежно від умов роботи, а також нейронні мережі та алгоритми машинного навчання, що дозволяють прогнозувати відхилення параметрів і випереджально реагувати.

### **3.4 Надійність та стійкість автоматизованих систем до зовнішніх впливів**

Надійність автоматизованої системи — це її здатність безвідмовно функціонувати впродовж визначеного часу в умовах конкретного виробничого середовища. У хлібопекарській галузі це середовище характеризується підвищеною вологістю, високими температурами, наявністю борошняного пилу, вібраціями, а також електричними перешкодами. У таких умовах усі елементи автоматизації — датчики, контролери, виконавчі пристрої, джерела живлення — мають бути стійкими до зовнішніх впливів і гарантовано забезпечувати виконання своїх функцій без порушення загальної роботи системи.

Система автоматичного контролю температури та вологості працює у безперервному циклі. Будь-який збій у її функціонуванні може призвести до порушення технологічного режиму, а це, своєю чергою, негативно впливає на якість готової продукції. Наприклад, раптовий вихід з ладу температурного датчика в пекарній камері може призвести до перегріву або недопікання хліба. А збій у керуванні зволоженням — до висихання тіста або утворення твердої

скоринки на поверхні заготовок. Саме тому стійкість до зовнішніх впливів і запобігання несправностям є критично важливими параметрами для систем, що працюють у реальному виробництві.

Серед основних негативних чинників, які впливають на роботу систем автоматизації, варто виділити високу температуру, яка характерна для зон випікання. Більшість мікроконтролерів, датчиків і комутаційних пристроїв мають обмеження щодо робочого діапазону температур. Тому під час проєктування системи важливо передбачити розміщення електронних компонентів за межами гарячих зон або використовувати термостійкі компоненти, розраховані на роботу при підвищених температурах.

Важливим аспектом є і захист від вологи. У розстосованих камерах і в камерах охолодження, а також при подачі пари в піч, вологість повітря може досягати 80–100 %. За таких умов неякісний захист електроніки швидко призводить до окислення контактів, коротких замикань або втрати чутливості сенсорів. Для уникнення подібних проблем слід використовувати герметизовані корпуси з відповідним класом захисту, застосовувати лакове покриття друкованих плат, уникати потрапляння конденсату в зони з електронними схемами.

Не менш важливим фактором є вібрація. Виробниче обладнання, таке як транспортери, вентилятори, заслінки, створює механічні коливання, що можуть призводити до розхитування з'єднань, пошкодження роз'ємів або розгерметизації контактів. Тому важливо використовувати стійкі до вібрацій кріплення, фіксувати з'єднання спеціальними роз'ємами з фіксаторами або навіть застосовувати пайку замість знімних з'єднань у критичних вузлах.

Надійна система автоматизації також повинна мати електричний захист. У промислових умовах можливі скачки напруги, електромагнітні завади, перешкоди від двигунів, комутуючих пристроїв тощо. Щоб запобігти

спотворенню сигналів і пошкодженню обладнання, доцільно застосовувати мережеві фільтри, стабілізатори напруги, імпульсні захисти (TVS-діоди, варистори), а також гальванічну розв'язку для сигнальних ліній. Окремо варто зазначити важливість заземлення всіх металевих корпусів і комутаційних елементів системи.

Окрім фізичного захисту, значна роль належить і програмній стабільності. Програмне забезпечення системи повинно передбачати механізми самодіагностики та обробки помилок. Наприклад, у випадку обриву або несправності датчика температура або вологість не повинні зчитуватися як «0» або «максимум» — це може спричинити небажане спрацювання нагрівальних елементів. Замість цього контролер повинен зафіксувати помилку, активувати захист і вивести повідомлення на дисплей або на пульт оператора.

Ще одним важливим напрямком підвищення надійності є резервування. У складних системах варто передбачити дублювання критичних вузлів: резервний датчик температури, аварійне живлення, запасний канал зв'язку з оператором. Це дозволяє уникнути повної зупинки виробничого процесу при виникненні локальної несправності.

Нарешті, обслуговування та регулярна профілактика є обов'язковими умовами підтримання високої надійності системи. Навіть найкраще сконструйована система з часом потребує очищення, перевірки з'єднань, оновлення програмного забезпечення та калібрування сенсорів.

Таким чином, надійність і стійкість автоматизованої системи контролю температури та вологості в хлібопекарському виробництві досягається через поєднання правильно обраної елементної бази, продуманих конструктивних рішень, ефективного захисту від зовнішніх впливів та якісного програмного забезпечення.

## ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

У цьому розділі було розглянуто основні технологічні інструменти, які використовуються для реалізації системи автоматизації контролю температури та вологості у виробництві хлібобулочних виробів. Проведений аналіз дозволив визначити параметри та умови експлуатації виконавчих механізмів, серед яких ключовими є достатня потужність приводу, лінійна пропорційність характеристик, низька інерційність, надійність і стійкість до умов підвищеної температури та вологості.

Також було розглянуто засоби вимірювальної техніки, що забезпечують точний і своєчасний контроль параметрів технологічного процесу. У межах розробленої системи доцільним виявилось використання сенсорів **DS18B20** та **DHT22**, які забезпечують необхідну точність, стабільність роботи та сумісність з контролером **Arduino Uno**. Це значно спрощує розробку, налагодження і масштабування автоматизованої системи.

Запропонована структурна схема автоматизованої системи управління дозволяє ефективно контролювати температурно-вологісний режим, що є критично важливим для забезпечення якості готової продукції та енергоефективності виробництва.

Таким чином, у даному розділі сформовано технічне підґрунтя для реалізації надійної та ефективної системи автоматизованого контролю, що є важливою складовою сучасного хлібопекарського виробництва.

## РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

На даний момент рівень автоматизації більшості хлібозаводів не забезпечує вирішення поставлених завдань. Значна частина обладнання потребує оновлення або капітального ремонту. Відсутність системи обліку ускладнює точний контроль за обсягом готової продукції, сировини та напівфабрикатів. Багато процесів виконуються вручну, що негативно впливає на якість продукції. Тому, окрім оновлення обладнання, доцільно впровадити сучасну систему автоматизації на основі мікропроцесорної техніки. Це сприятиме зниженню собівартості продукції за рахунок оптимізації витрат сировини й матеріалів, а також більш точного дозування інгредієнтів завдяки впровадженню відповідних регуляторів. Окрім того, це покращить якість продукції, підвищить її вихід і дозволить скоротити кількість обслуговуючого персоналу.

Температура в пекарній камері визначається обсягом спалюваного газу, кількістю повітря, що подається для горіння, та витратою вторинного повітря. Щоб усунути коливання у витраті вторинного повітря, її необхідно стабілізувати відповідно до продуктивності вентилятора. Оптимізація процесу горіння для досягнення необхідної температури при мінімальному споживанні газу можлива шляхом регулювання витрати первинного повітря. Надлишок первинного повітря знижує температуру продуктів згорання, тоді як його нестача призводить до неповного згорання газу і перевитрати палива. Тому важливо підтримувати оптимальне співвідношення між витратами газу та первинного повітря.

Оскільки температура в пекарній камері визначається температурою димових газів, регулювання цього параметра здійснюється через контроль температури димових газів.

Під час випікання пшеничного хліба для забезпечення високої якості виробів необхідно контролювати та регулювати наступні параметри:

- підтримувати необхідну температуру в окремих зонах печі шляхом зміни витрати пального;
- оптимізувати співвідношення паливо-повітря шляхом регулювання подачі повітря;
- контролювати температуру в чотирьох зонах пекарної печі;
- здійснювати захист і сигналізацію параметрів у двох камерах згоряння, зокрема:
  - наявність полум'я;
  - тиск у газопроводах;
  - регулювання подачі повітря відповідно до встановленої пропорції з газом;
- здійснювати регулювання температури в другій зоні печі шляхом зміни подачі пального;
- контролювати співвідношення паливо-повітря у другій топці;
- контролювати швидкість переміщення конвеєрної стрічки;
- контролювати витрати пального та повітря, а також здійснювати обмін даними;
- регулювати рівень викидів димових газів.

#### **4.1 Автоматична система стабілізації температурного режиму**

Автоматизоване регулювання температури печі є ефективним і широко поширеним рішенням у сучасному виробництві, зокрема в харчовій промисловості. У хлібопекарському виробництві випікання різних видів продукції потребує дотримання різних температурних режимів. Для забезпечення оперативної та точної зміни температури доцільно впровадити відповідну систему автоматичного керування, яка сприятиме стабільності процесу та підвищенню якості готової продукції.

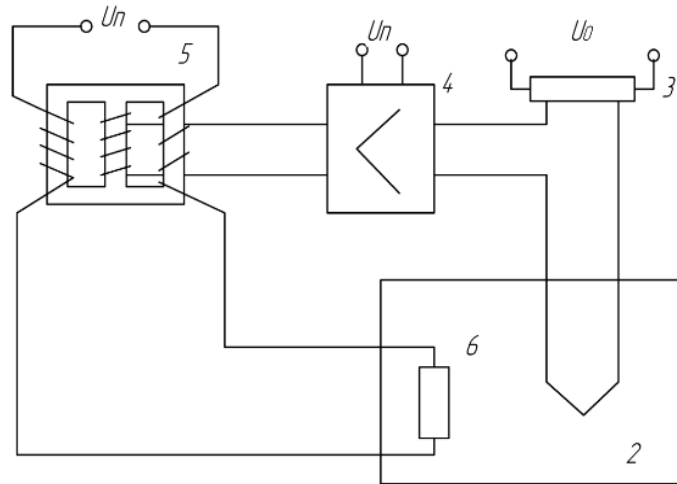


Рис. 4.1 – Схема електричної печі

Згідно з технічними вимогами, у робочій камері електричної печі 1 повинна підтримуватися стабільна температура. Контроль температури здійснюється за допомогою термопарі 2, яка формує термо-ЕРС. Отриманий сигнал порівнюється з опорною напругою, заданою потенціометром 3. Різниця між цими значеннями подається на вхід електронного підсилювача 4, де сигнал посилюється і далі надходить на вихідний магнітний підсилювач 5. Живлення нагрівального елемента 6 здійснюється струмом від магнітного підсилювача, що забезпечує необхідний рівень нагріву печі.

Рівняння, що описують елементи системи, наведено нижче:

Піч електричного типу з вбудованим нагрівальним елементом:

$$\frac{d\theta}{dt} + \theta = K_0 i; \quad (4.1)$$

Магнітний підсилювач:

$$T_1 \frac{di}{dt} + i = K_1 U_y; \quad (4.2)$$

Підсилювач електричного сигналу:

$$U_y = K_2 U; \quad (4.3)$$

Порівняльний елемент:

$$U = -U_Q - U_T; \quad (4.4)$$

Термопара:

$$T_2 \frac{dU_\theta}{dt} + U_T = K_T \theta; \quad (4.5)$$

де:

$K_0$  - параметр передачі сушильного шафи;

$K_1$  - параметр підсилення магнітного підсилювача;

$K_2$  - параметр підсилення електронного підсилювача;

$K_T$  - параметр передачі термопари;

$T_0$  - характеристика часу відгуку об'єкта управління (електричної печі);

$T_1$  - характеристика часу відгуку магнітного підсилювача;

$T_2$  - характеристика часу відгуку термопари;

#### 4.2 Функціональна схема системи автоматичного контролю (САК)

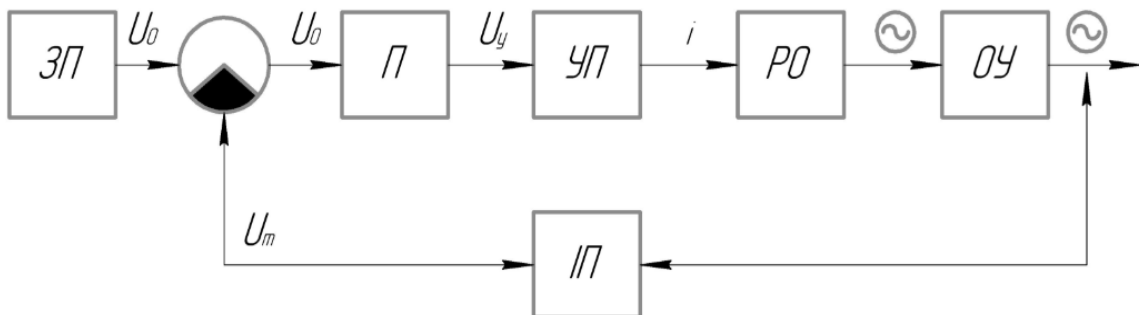


Рис. 4.2 – функціональна схема системи автоматичного контролю (САК)

До функціональної схеми системи автоматичного керування температурою печі входять наступні функціональні елементи:

**ЗП – задавальний пристрій**, який у принциповій схемі реалізується задавальним потенціометром.

**П – підсилювач**, який підсилює сигнал помилки, сформований у порівнювальному елементі. Забезпечує достатній рівень сигналу для подальшої обробки та впливу на регулюючий орган.

**УП – узгоджувальний підсилювач**, підсилювач, який виконує додаткове узгодження рівня та форми сигналу з характеристиками регулюючого органу.

**РП – регулюючий прилад**, пристрій, який виконує фізичну зміну параметра, що керується.

**ОУ – об'єкт управління**, технічний об'єкт, у якому регулюється температура. В даному випадку – піч.

**ІП – інформаційний перетворювач**, пристрій, що знімає інформацію з об'єкта управління і перетворює її у відповідний електричний сигнал.

### **4.3 Аналіз стійкості системи автоматичного контролю**

Для оцінки стійкості розглянутої системи застосуємо балочний ритмічний критерій стійкості.

Цей метод дозволяє не лише встановити, чи є система стійкою, а й кількісно оцінити запас її стійкості за фазою та амплітудою.

Надалі логарифмічні характеристики, наведені в цьому розділі, будуть використані для розробки коригувального пристрою у випадку, якщо система не відповідатиме встановленим технічним вимогам.

Параметри оцінки ефективності регулювання:



Рис. 4.3 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) та логарифмічна фазочастотна характеристика (ЛФЧХ) вихідної системи автоматичного контролю (САК).

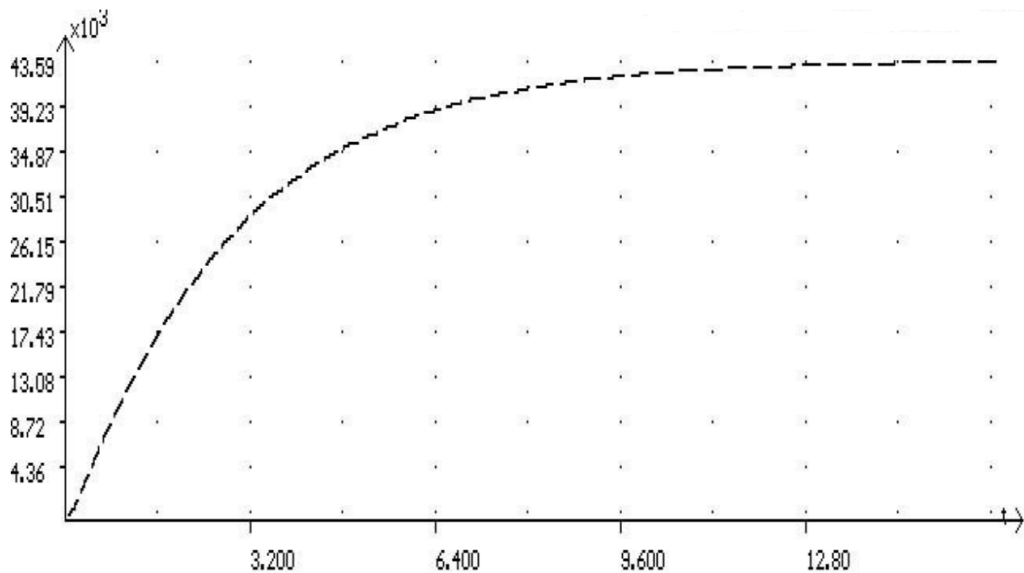


Рис. 4.4 – Перехідна реакція вихідної системи автоматичного контролю (САК).

Вихідна система у розімкненому стані є стійкою, оскільки її логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) перетинає вісь

частот раніше, ніж логарифмічна фазочастотна характеристика (ЛФЧХ) досягає значення фазового зсуву -  $\pi$ .

Хоча система залишається стійкою, вона не відповідає встановленим вимогам щодо величини перерегулювання та тривалості перехідного процесу.

#### 4.4 Розробка пристроїв корекції для системи автоматичного контролю (САК)

Виходячи з показників якості перехідного процесу, будемо Логарифмічну ампліудно-частотну характеристику (ЛАЧХ). Якість регулювання в основному визначається у діапазоні середніх частот, де розташована частота зрізу  $\omega_{cp}$ .

Вибір цієї частоти здійснюється з урахуванням вимог до швидкодії системи ( $T_p$ ) та величини перерегулювання ( $\sigma$ ).

$$\omega_{cp} = \frac{\beta\pi}{T_p}; \quad (4.6)$$

Параметр  $\beta$  залежить від величини перерегулювання  $\sigma$  і визначається за допомогою довідкових номограм. Для розглянутої системи, де  $\sigma = 20\%$ , а час переходу  $T_p = 1$  с;  $\beta$  з довідника беремо рівне 1,7 отже,

$$\omega_{cp} \frac{7 \cdot 3,14}{1} = 5,341 \text{ (с}^{-1}\text{)}; \quad (4.7)$$

$$\omega_{K2} = 2 \dots 4\omega_{cp} = 10,682 \dots 21,363 \text{ (с}^{-1}\text{)} \text{ приймаємо } 10; \quad (4.8)$$

$$\omega_{K1} = \omega_{cp} \frac{\omega_{K2}^2}{\omega_{K2}} = 1,902 \text{ (с}^{-1}\text{)} \text{ приймаємо } 0,8; \quad (4.9)$$

Дослідження показали, що нахил бажаної логарифмічної ампліудно-частотної характеристики (ЛАЧХ) поблизу  $\omega_{cp}$  має становити -20 дБ/дек. В області низьких частот для бажаної логарифмічна ампліудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) також зберігає нахил -20 дБ/дек. На високих частотах бажана логарифмічна ампліудно-частотна

характеристика (ЛАЧХ) збігається з вихідною, оскільки високочастотна динаміка не робить суттєвого впливу на характеристики системи.

За отриманими даними визначено, що коригуючим елементом є дві інтегродиференціюючі ланки, а їх передавальна функція має вигляд:

$$W_{k(p)} = \frac{(25p + 1) \cdot (0,2p + 1)}{(1,25p + 1) \cdot (0,1p + 1)}; \quad (4.10)$$

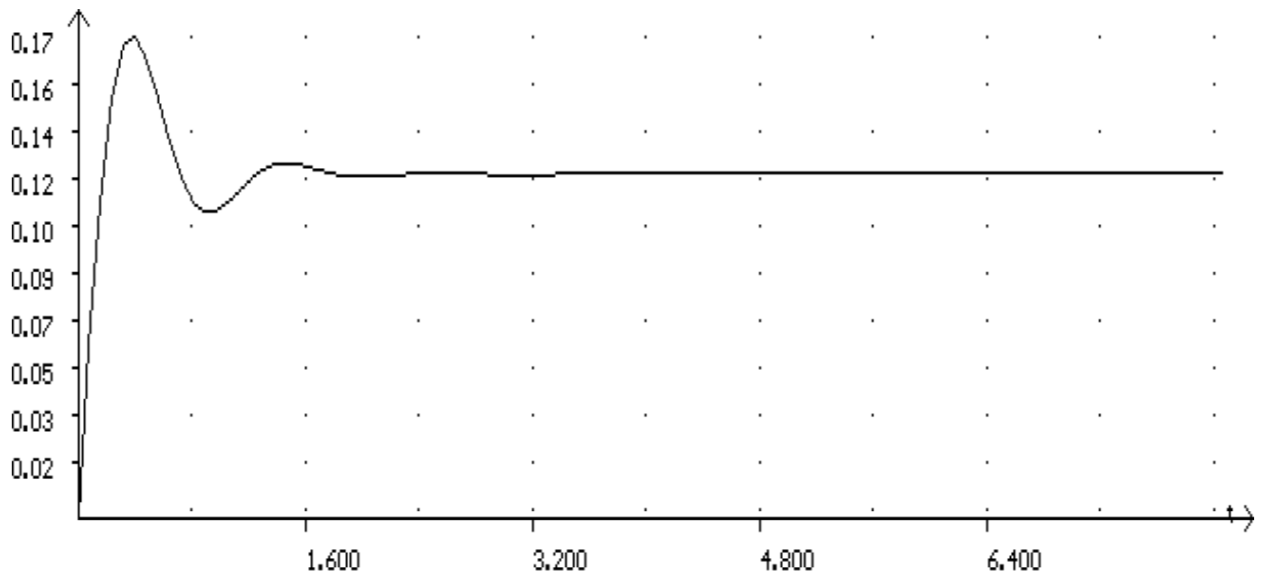


Рис. 4.5 – Перехідний процес скоригованої

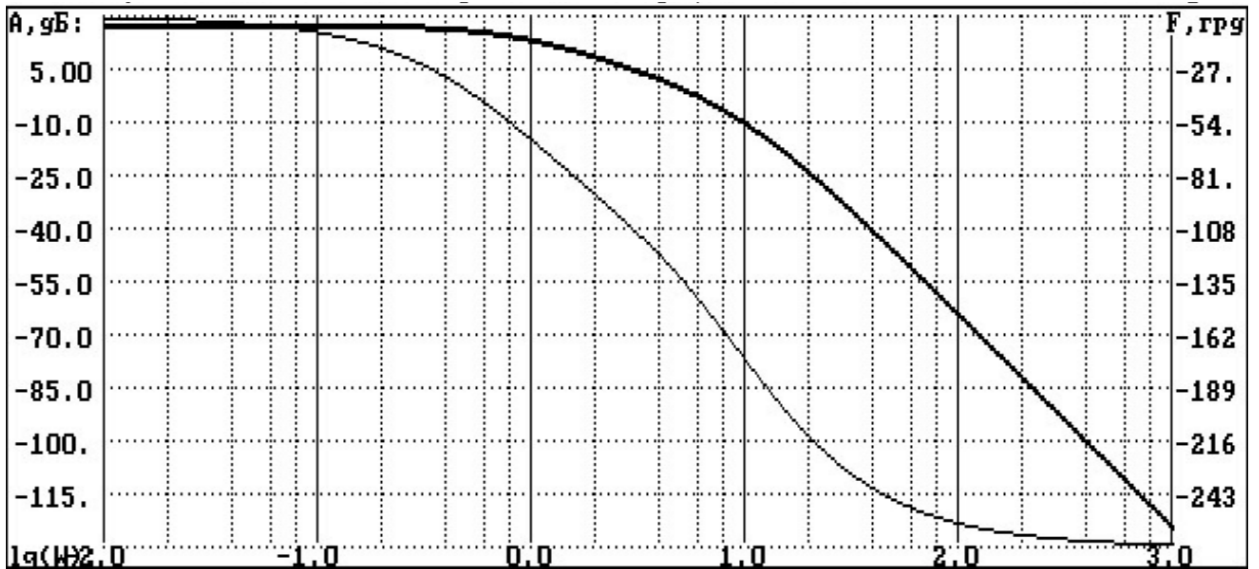


Рис. 4.6 – Логарифмічна ампліудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) і логарифмічна фазочастотна характеристика (ЛФЧХ) скоригованої системи автоматичного контролю (САК)

В якості ланки будемо використовувати пасивні чотириполіусники постійного струму

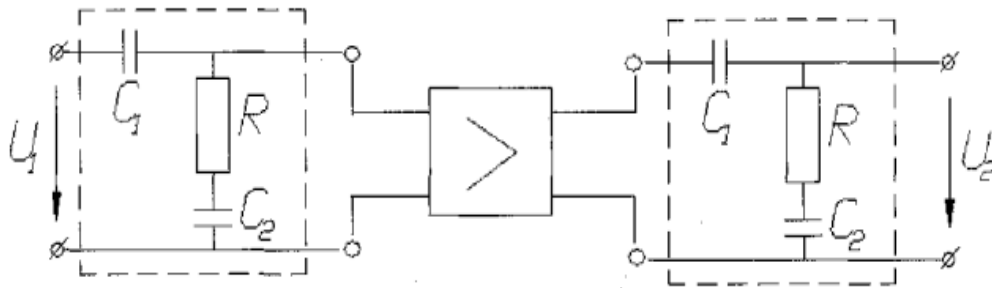


Рис. 4.7 – Електрична принципова схема компаратора з RC-ланцюгами на вході

Розрахуємо параметри елементів. Для першого чотириполіусників:

$$T_1 = 25; T_2 = 1,25;$$

$$W_{(p)} = \frac{K_1(T_1 p + 1)}{(T_2 p + 1)}; \quad (4.11)$$

$$K_1 = \frac{C_1}{(C_1 + C_2)}; \quad (4.12)$$

$$T_2 = K_1 \cdot T_1; \quad (4.13)$$

$$T_1 = R \cdot C_2 \cdot K_1 = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1,25}{25} = 0,05; \quad (4.14)$$

Нехай  $C = 1_{(\text{мкФ})}$ , тоді

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{(1 - K_1)}{K_1} = 1 \cdot \frac{0,95}{0,5} = 20_{(\text{мкФ})}; \quad (4.15)$$

$$R = \frac{T_1}{C_2} = \frac{25}{(20 \cdot 10^{-6})} = 1,25_{(\text{МОм})}; \quad (4.16)$$

Для другого чотириполосника:

$$T_3 = 0,2; T_4 = 0,1;$$

$$W_{(p)} = \frac{k_2(T_3 + 1)}{(T_4 p + 1)}; \quad (4.17)$$

$$K_2 = \frac{C_3}{(C_3 + C_4)}; \quad (4.18)$$

$$T_4 = K_2 \cdot T_3; \quad (4.19)$$

$$T_3 = R \cdot C_4; \quad (4.20)$$

$$K_2 = \frac{T_4}{T_3} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5; \quad (4.21)$$

Нехай  $C_3 = 10_{(\text{мкФ})}$ , тоді

$$C_4 = C_3 \cdot \frac{(1 - K_2)}{K_2} = 10 \cdot \frac{0,5}{0,5} = 10_{(\text{мкФ})}; \quad (4.22)$$

$$R = \frac{0,2}{10 \cdot 10^{-6}} = 20_{(\text{мкФ})}; \quad (4.23)$$

Для реалізації необхідного коефіцієнта підсилення в коригуючій ланці слід змінити загальний коефіцієнт підсилення системи.

Це можна здійснити, коригуючи коефіцієнт підсилення в будь-якій іншій ланці, залежно від технічної можливості його налаштування.

#### 4.5 Аналіз характеристик скорегованої системи

Скоригована система залишилася стійкою, а запас стійкості за фазою та амплітудою майже відповідає необхідним вимогам.

Аналіз перехідної характеристики дозволяє визначити основні показники якості системи автоматичного контролю (САК).є

Після корекції час регулювання  $T_p$  майже досягає заданого значення:  $T_p=1,2$  с при необхідному  $T_p = 1$  с.  
Перерегулювання становить **17%**.

Отже, можна зробити висновок, що корекція системи була успішною.

#### 4.6 Система автоматичного регулювання вологості

Якість хліба значною мірою визначається режимами кожного етапу технологічного процесу, але ключовим для формування його смакових характеристик є випікання.

Під впливом інтенсивного нагрівання при температурі 200–280 °С тісто поступово перетворюється на хліб. Параметри випікання залежать від сорту борошна, вологості тіста, маси та форми виробу, способу випікання, а також характеристик газового середовища в печі. Час випікання менший для виробів із пшеничного борошна, з підвищеною вологістю тіста та меншою масою.

Висока температура та вологість повітря в камері прискорюють процес випікання. Тепло передається виробам термовипромінюванням, конвекцією та кондукцією, при цьому випромінювання забезпечує у 5 – 6 разів більше теплопередачі, ніж конвекція.

У процесі випікання відбуваються різні взаємопов'язані явища, зумовлені нагріванням тіста та теплообміном. Спочатку тістова заготівка швидко збільшується в об'ємі, а всередині виробу формується три шари:

- зовнішній – коринка,
- середній – підкоринковий шар,
- внутрішній – пориста м'якушка.

На початковій стадії випікання на поверхні тіста конденсується пара з навколишнього середовища, що прискорює його прогрів. Далі температура поверхневого шару досягає точки роси, що відповідає початку випаровування вологи. При атмосферному тиску цей шар прогрівається до 100 °С і залишається на цій температурі до повного випаровування вологи, після чого температура всього виробу поступово зростає до кінця випікання.

Через різницю температур між коринкою та внутрішніми шарами виникає температурний градієнт, що спричиняє тепловий потік від зовнішніх шарів до центру виробу. Також відбувається вологообмін, унаслідок чого маса тіста зменшується до завершення випікання.

Окрім теплових процесів, під час випікання проходять мікробіологічні та біохімічні зміни, які впливають на структуру, смак та аромат хліба.

Мікробіологічні процеси змінюються в міру нагрівання тіста. Дріжджі активізують інтенсивне спиртове бродіння при 35 °С, яке триває до 40 °С. Далі процес поступово сповільнюється, а при 45 °С його інтенсивність різко знижується. При 60 °С дріжджі повністю гинуть.

Біохімічні процеси тісно пов'язані з бродінням, спричиненим дріжджами та молочнокислими бактеріями. У результаті їхньої дії накопичуються спирт, молочна кислота та інші ферменти, що формують смак і аромат виробу.

Ферменти борошна продовжують гідролітичне розщеплення його компонентів до кінця випікання, що доповнюється кислотним гідролізом.

Ферментативні процеси сприяють збільшенню кількості водорозчинних вуглеводів у тісті. Одночасно відбувається денатурація білків, тому вміст водорозчинних азотистих сполук у готовому хлібі значно менший, ніж у тісті. Подальший прогрів виробу забезпечує закріплення структури м'якушки, надаючи їй еластичність і пружність.

Тривалість і інтенсивність цих процесів значною мірою залежать від режиму випікання, а такі характеристики м'якушки, як еластичність, стискуваність і пружність, визначаються гідротермічними та тепловими параметрами робочої камери печі.

#### **Фактори, що впливають на режим випікання:**

1. якість сировини;
2. вид виробу;
3. маса та форма тістових заготовок;
4. конструкція печі та інші параметри.

#### **Основні параметри режиму випікання:**

1. Температура газового середовища;
2. Вологість у печі;
3. Час випікання.

Режим випікання для пшеничного хліба вищого гатунку (АСКТП):

#### **Випікання здійснюється в температурних зонах:**

- I зона – 275 °C
- II зона – 245 °C

- III зона – 205 °C
- IV зона – 185 °C

Табл. 4.1 – Номінальні значення технологічних параметрів і допустимі відхилення в процесі випікання

Параметр	Од. вимірювання	Ном. значення	Допустиме відхилення
Температура I зони печі	°C	275	±5
Температура II зони печі	°C	245	±5
Температура III зони печі	°C	205	±5
Температура IV зони печі	°C	185	±5
Температура на виході з камери згорання 1-го купола	°C	380	±2,5
Температура на виході з камери згорання 2-го купола	°C	220	±2,5
Температура димових газів в рециркуляційних каналах 1-го купола	°C	350	±5
Температура димових газів в рециркуляційних каналах 2-го купола	°C	210	±5
Тиск в трубопроводі подачі газу до 1, 2 куполів	Па	2200	±100
Витрата газу до 1, 2 куполів при максимально відкритому клапану	м <sup>3</sup> /год	50	±2
Витрата газу при мінімальному відкритті клапану	м <sup>3</sup> /год	70	±2
Витрата вторинного повітря	м <sup>3</sup> /год	10900	±100
Вологість в пекарній камері	%	80	±5

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було всебічно досліджено питання автоматизації контролю температурно-вологісного режиму на підприємствах хлібопекарської промисловості. Актуальність теми обумовлена високими вимогами до якості готової продукції, енергоефективності виробництва та необхідністю зниження впливу людського фактора в технологічному процесі.

На основі аналізу технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів встановлено, що температурно-вологісний режим є критичним параметром, який суттєво впливає на органолептичні властивості хліба, його зовнішній вигляд, структуру м'якушки, строк придатності та загальну якість. Відповідно, впровадження автоматизованих систем контролю дозволяє досягти стабільності параметрів, підвищити ефективність технологічного процесу та зменшити втрати продукції.

У роботі здійснено порівняльний аналіз існуючих рішень щодо контролю температури та вологості, визначено їх переваги, недоліки та перспективи вдосконалення. Було розроблено функціональну модель автоматизованої системи, яка забезпечує: моніторинг параметрів у режимі реального часу, автоматичне регулювання, повідомлення про відхилення, формування звітності, а також можливість інтеграції з іншими інформаційними системами.

Завдяки використанню сучасних сенсорів **DS18B20** та **DHT22**, а також мікроконтролерної техніки, запропонована система є економічно доцільною, точною, надійною та легко масштабованою. Алгоритм її роботи передбачає адаптацію до змін середовища, що відповідає вимогам Індустрії 4.0.

Результати проведених досліджень підтверджують, що впровадження автоматизованої системи контролю температури та вологості сприяє покращенню якості хлібобулочних виробів, зниженню енергоспоживання, зменшенню виробничих витрат і підвищенню конкурентоспроможності підприємства. Надалі доцільно розвивати напрямок використання інтелектуальних систем керування з елементами машинного навчання для подальшої оптимізації процесів хлібопекарського виробництва.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-temperature-ds18b20>
2. <https://arduino.ua/prod301-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht22i>
3. M. R. Islam, M. S. Mahmud, et al. Internet of Things (IoT) for Food Industry: A Review. // Journal of Food Engineering, 2021.
4. Солдаткін О.В., Резнік Ю. С. Системи автоматичного керування: теорія та практика. — К.: Наука і техніка, 2019. — 398 с.
5. Сидоренко В. І., Петренко А. С. Автоматизація технологічних процесів у харчовій промисловості. — Центр учбової літератури, 2020. — 320 с.
6. Загребя А. І., Литвиненко В. А. Сенсори у системах автоматизації: навч. посіб. — Львів: Видавництво ЛНТУ, 2021. — 200 с.
7. Werner Mühlbauer and Joachim Müller, Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Drying Atlas, 10.1016/B978-0-12-818162-1.00020-1, (2020).
8. R. Khosrow-Pour (Ed.) Handbook of Research on Industrial Applications for Control and Automation. — IGI Global, 2019.
9. Codex Alimentarius: General Principles of Food Hygiene — WHO/FAO, останнє видання.
10. A.K. Dubey, S. Kumar, G. K. Singh. (2023). Smart Food Processing and Quality Control Systems Based on IoT and AI. In: IoT and AI for Smart Agriculture and Food Technology. Springer, Singapore
11. Лісовенко О.Т. Технологічне обладнання хлібозаводів та шляхи його вдосконалення. — К.: Техніка, 2015 — 208 с.
12. Соломенко М.М. Автоматичні методи контролю та управління деякими технологічними параметрами хлібопекарського виробництва. — М.: Машинобудівання, 2019. — 2000 с.
13. Володарський А.В. Досконалі топельні печі в хлібопекарській промисловості. - М.: Машинобудування, 2018. - 135 с.
14. Техніка проектування систем автоматизації технологічних процесів/ За ред. Шипетіна А.І. - М.: Машинобудування, 1976. - 495 с
15. Автоматизація в промисловості: наук.-техн. журнал. — Київ: Інфотех, 2023. — №4. — С. 22–29.

**ДОДАТКИ**

## **PART 1 OVERVIEW OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME AND AUTOMATION SYSTEMS**

### **1.1 Features of the temperature and humidity regime at the stages of bakery product production**

Temperature and humidity conditions play a key role at all stages of bakery production. Proper temperature and humidity control affects the quality of the dough, taste, aroma, volume, texture and shelf life of the finished products. The following are the features of the temperature and humidity conditions at the main stages of the technological process:

#### 1. Kneading dough

- Dough temperature: 26 – 30°C (depending on the type of bread).
- Ambient humidity: not significant, but ingredient humidity affects hydration.

Features:

- The temperature of the dough after kneading must be stable — it affects the activity of the yeast.
- If the temperature is too low, the dough will ferment slowly; if it is too high, the yeast may die.

#### 2. Dough fermentation

- Air temperature in the fermentation chamber: 28 – 30 °C.
- Air humidity: 75 – 85 %.

Features:

- Increased humidity prevents the formation of a crust on the surface of the dough.

- The optimal temperature promotes active yeast reproduction, gas production and dough loosening.

### 3. Separation and incubation

- Temperature: 25 – 30 °C.
- Humidity: до 75 – 80 %.

Features:

- After dividing the dough pieces, a short resting period is required during which the gluten relaxes.
- High humidity prevents workpieces from drying out.

### 4. Final proofing

- Temperature in the proofing chamber: 35 – 38 °C.
- Humidity: 75 – 85 %.

Features:

- High humidity is critical: it prevents drying out and promotes good dough rising.
- Temperature ensures optimal yeast activity before baking.

### 5. Baking

- Oven temperature: 200 – 270°C (depending on the type of product and stage).
- Вологість в печі:
  - At the beginning of baking - high (steam supply).
  - At the end - low, to create a crispy crust.

Features:

- Adding steam in the first minutes of baking ensures good dough rise and a glossy crust.
- Reducing humidity at the end of baking increases crispiness and stabilizes the product structure.

## 6. Cooling

- Ambient temperature: 20 – 25 °C.
- Air humidity: 60 – 70 %.

Features:

- Gradual cooling is necessary to avoid condensation, which leads to moisture and spoilage of the crust.
- Too much humidity can cause the crust to soften.

### 1.2 Requirements for environmental parameters at each stage

Table 1.1 Requirements for environmental parameters at the stages of bakery product production

Stage of production	Ambient temperature	The humidity of the environment	Notes
Kneading the dough	Dough temperature: 26 – 30 °C	—	The temperature of the dough affects the activity of enzymes and yeast.
Dough fermentation	28 – 30 °C	75 – 85 %	Ensuring active fermentation, preventing crust formation.
Separation and incubation	25 – 30 °C	75 – 80 %	A short rest is needed to relax the gluten.

Final proofing	35 – 38 °C	75 – 85 %	High humidity promotes uniform rising, and a crust does not form.
Baking	200 – 270 °C (in the oven)	Start: high (pair), end: low	Steam at the beginning creates shine and volume; dry medium at the end creates a crust.
Cooling	20 – 25 °C	60 – 70 %	Avoid the formation of condensation, which spoils the crust.

### 1.3 Overview of modern automatic temperature and humidity control systems

In modern food production, in particular in the bakery industry, automation of temperature and humidity control processes is a key condition for stable product quality, increased production efficiency and reduced energy consumption. The introduction of automatic control systems allows you to accurately maintain technological parameters, minimize the human factor and ensure adaptation to changes in load or external conditions.

#### 1. Types of automatic control systems:

Modern temperature and humidity control systems are conventionally divided into the following types:

- Local control systems (standalone)

Used in individual production areas - for example, in proofing chambers or ovens. Contain sensors, a controller and simple control logic (PID controllers).

- Centralized (network) systems

Combine several technological zones into a single information and control system. Provide monitoring and control from a central console or computer. Often integrated into SCADA systems.

- Intelligent systems with adaptive control

Based on the use of microcontrollers, programmable logic controllers (PLCs) and machine learning algorithms. Able to predict changes in parameters and independently adapt the operating mode.

## 2. Main components of modern systems

### 1. Temperature and humidity sensors

The most commonly used are digital sensors (e.g. SHT21, DHT22, Sensirion SHT3x), type K thermocouples, or platinum thermistors (Pt100).

### 2. Controllers (PLC, microcontrollers)

They collect data, process it, and control actuators (heating elements, humidifiers, fans). Siemens S7, Arduino, ESP32, Schneider Electric controllers, etc. are widely used.

### 3. Software

SCADA systems (e.g. WinCC, MasterSCADA, Ignition), mobile applications or web interfaces are used for visualization, archiving and remote control.

### 4. Executive mechanisms

These can be heating elements, steam generators, valves, fans that regulate the parameters of the environment according to the controller's commands.

## 3. Advantages of automated control

- Accurate maintenance of parameters within technological tolerances;

- Reducing the impact of the human factor;
- Increasing productivity and reducing scrap;
- Energy efficiency and reducing operating costs;
- Ability to archive data for analysis and process improvement.

#### 4. Usage examples

- Proofing chambers: automatic temperature control (35 – 38°C) and humidity (up to 85%) for uniform dough rising;
- Steam-humidified ovens: steam supply control in the first minutes of baking;
- Cooling systems: maintaining moderate humidity to avoid condensation;
- Smart baking lines: with full automation of all parameters — with the possibility of remote control.

### **1.4 Comparative analysis of technological solutions for temperature and humidity control**

In the process of automation of bakery production, various technical and software tools for temperature and humidity control are used. The choice of a specific solution depends on the scale of production, the required accuracy, financial resources and requirements for system flexibility. The table provides a comparative description of the most common solutions.

Table 1.2 Comparative analysis of technological solutions for temperature and humidity control

Criterion	Simple autonomous systems	Industrial PLC systems	Intelligent IoT solutions

Control devices	Mechanical or simple digital thermostats	PLC (Siemens, Schneider, ARIES)	ESP32, Raspberry Pi, STM32, etc
Sensor types	Analog (NTC, thermocouples)	Industrial (Pt100, digital)	Digital SHT3x, AM2302, BME280
Adjustment accuracy	Low – middle	High	Middle – High
Flexibility of settings	Limited	High (modular structure)	High, adaptive control capability
User interface	Absent or basic	Operator panel / SCADA	Web interface, mobile application
Remote control capability	None	Partial (via SCADA)	Full (Wi-Fi, MQTT, cloud)
Solution price	Low	High	Middle
Implementation complexity	Minimum	High (experts needed)	Middle
Compatibility with modern IT	Low	High	High

## CONCLUSIONS TO THE FIRST CHAPTER

The temperature and humidity regime is a critical factor affecting the quality of bakery products at all stages of the technological process - from kneading the dough to its cooling after baking. The discrepancy between temperature and humidity parameters can lead to a decrease in the quality of the finished product, losses in production and increased energy consumption.

Analysis of modern automation systems has shown that the implementation of environmental parameter control technologies significantly increases the efficiency of the production process. Automatic, centralized and intelligent systems ensure the stability of regimes, reduce the impact of the human factor, ensure energy savings and allow production to adapt to changing conditions.

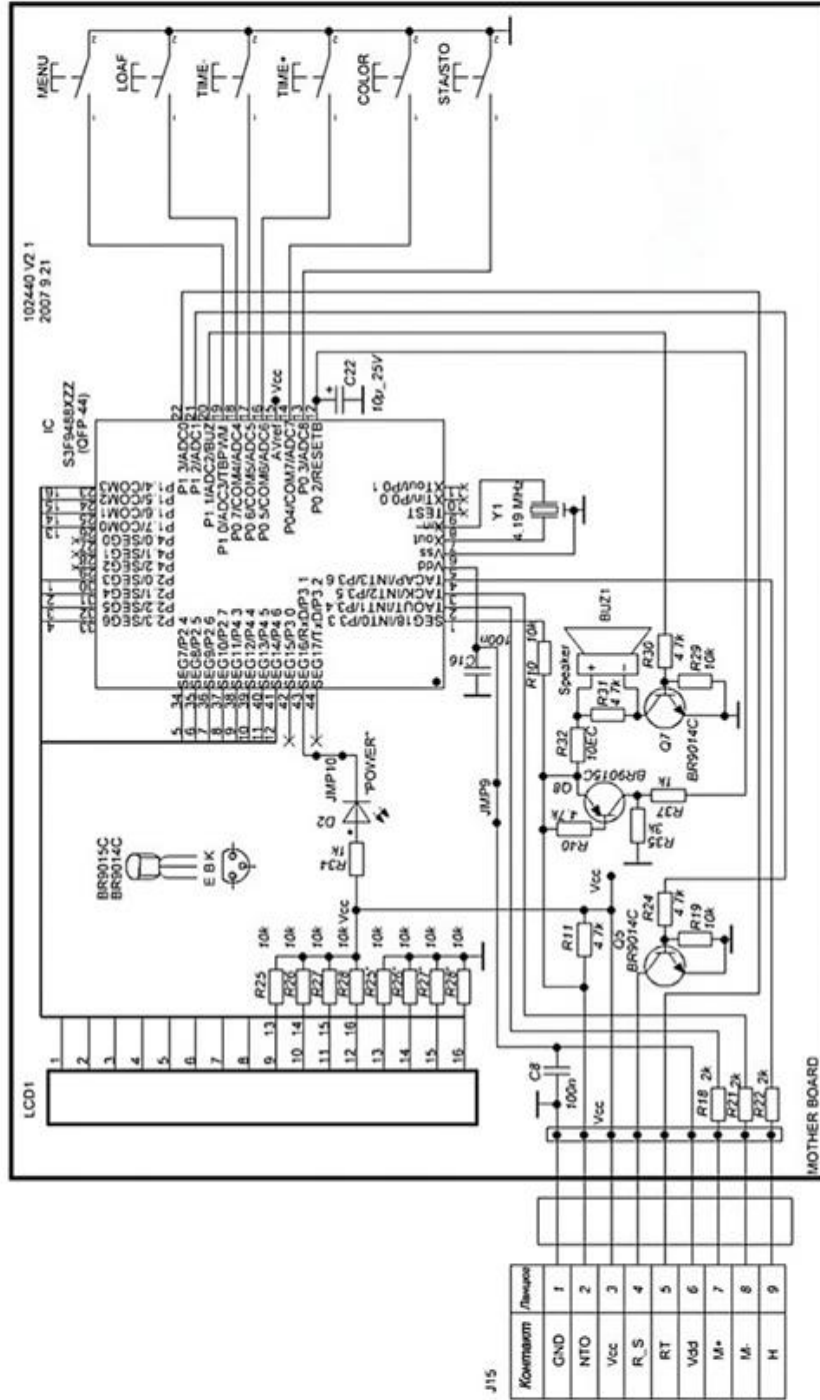
Comparative analysis of existing technological solutions allows us to conclude that the choice of the optimal control system depends on the scale of production, the financial capabilities of the enterprise and the required level of automation. At the same time, intelligent IoT solutions are promising due to their flexibility, the possibility of remote monitoring and high compatibility with modern information technologies.

## Особливості виробництва хлібобулочних виробів



Температурно-вологісний режим відіграє ключову роль на всіх етапах виробництва хлібобулочних виробів. Правильне регулювання температури та вологості впливає на якість тіста, смак, аромат, об'єм, текстуру та збереження готових виробів. Тож метою цієї дипломної роботи є розробка системи автоматичного контролю температури та вологості у хлібопекарському виробництві, що дозволить гарантувати стабільну якість продукції, ефективне використання ресурсів та відповідність сучасним стандартам.

Структурна схема автоматизованого управління хлібопекарською піччю



## Технічні засоби автоматизації



### Датчик температури DS18B20

Характеристики:

Напруга живлення: 3-5,5 В

Дозвіл: 9/10/11/12 біт

Точність:  $\pm 0,5^{\circ} \text{C}$

Діапазон вимірювальних температур:  $-55 \dots + 125^{\circ} \text{C}$

Інтерфейс: 1-Wire

Довжина провода: 80 см

Струм: 750 нА в стані спокою і 1 мА при запиті даних

Діаметр гільзи: 6 мм



### Датчик вологості DHT22

Характеристики:

виробник: A.SAIR

тип: AM2302 цифровий

точність:  $0.1^{\circ} \text{C}$

діапазон вимірювання вологості: 0-100%

діапазон виміру температури:  $-40 \sim 80^{\circ} \text{C}$

точність вимірювання вологості:  $\pm 2\% \text{RH}$

точність вимірювання температури:  $\pm 0.5^{\circ} \text{C}$

напруга живлення: 3.6-6 В

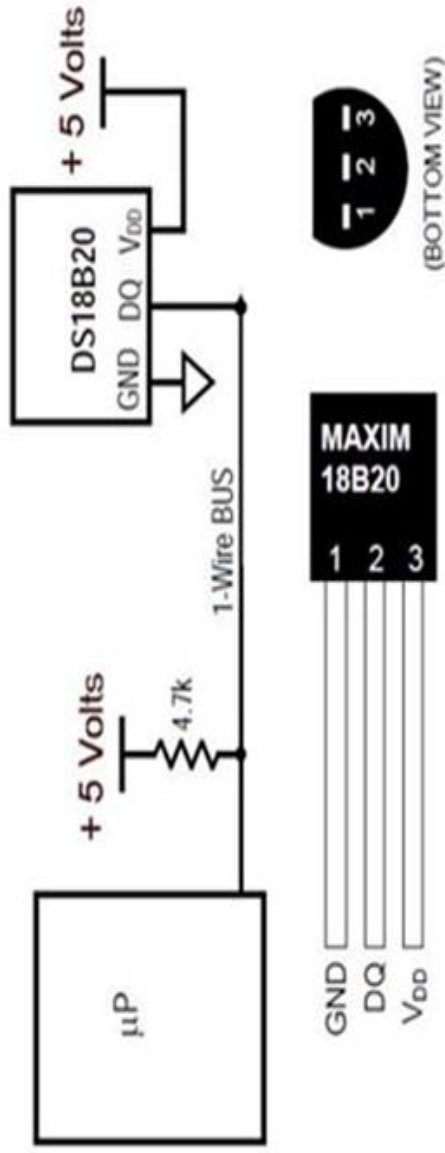
кількість виводів: 4

ульранизьке енергоспоживання

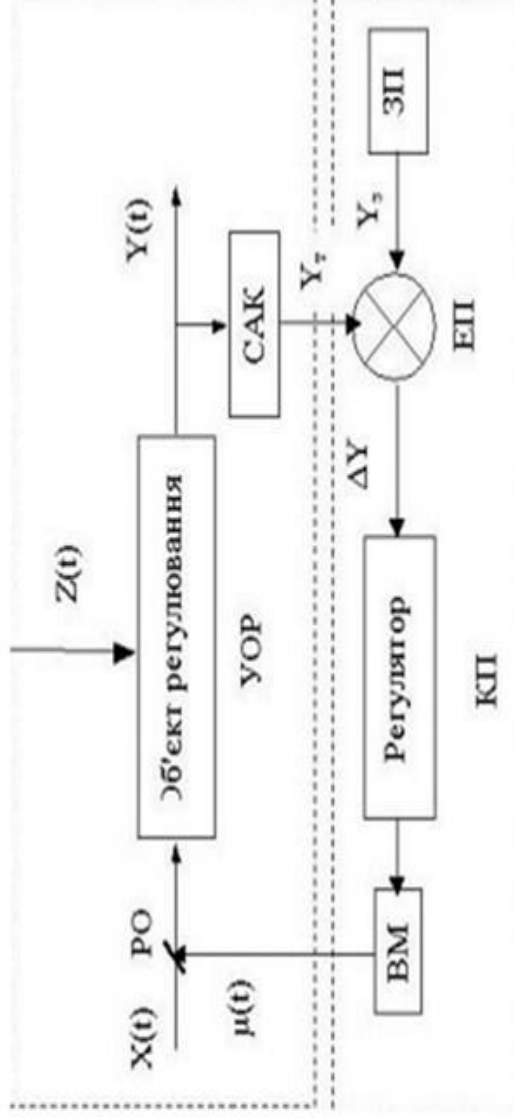
не вимагає обв'язки

здатний працювати при досить довгому дροпі

Схема підключення датчика DS18B20

Typical Connections for  
the DS18B20

### Функционально-структурна схема



УОР – узагальнений об'єкт регулювання,

КП – керуючий пристрій,

$X(t)$  – вхідний параметр об'єкта,

$Y(t)$  – вихідний параметр,

$Z(t)$  – збурюючий вплив,

САК система автоматичного контролю,

ЗП – задаючий пристрій,

ЕП – елемент порівняння,

ВМ – виконавчий механізм,

РО – регулюючий орган.

## Схема структури автоматизованої системи управління піччю для хлібобулочних виробів

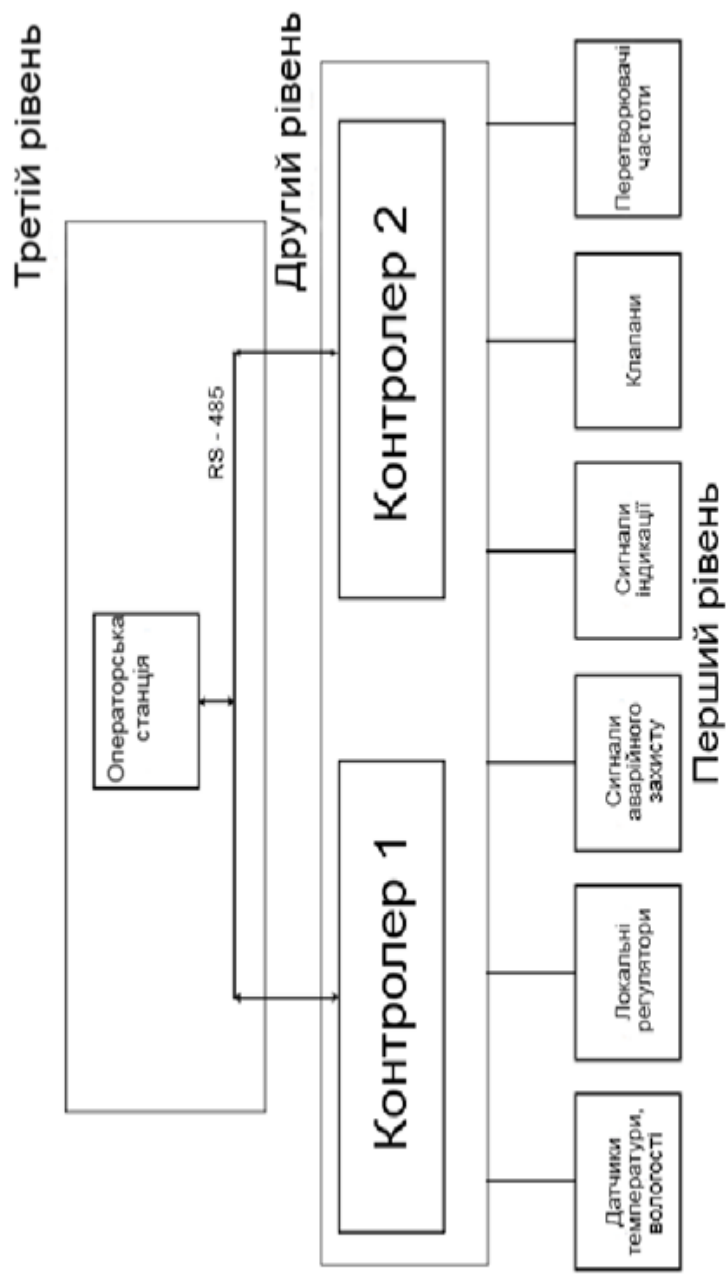
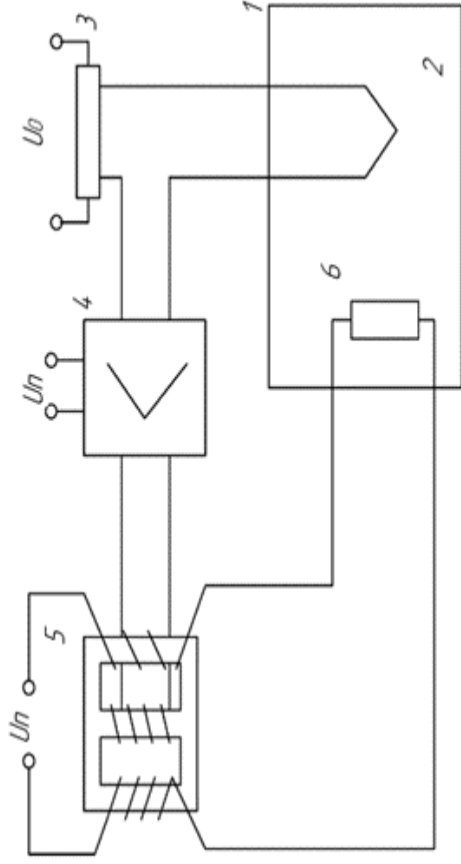
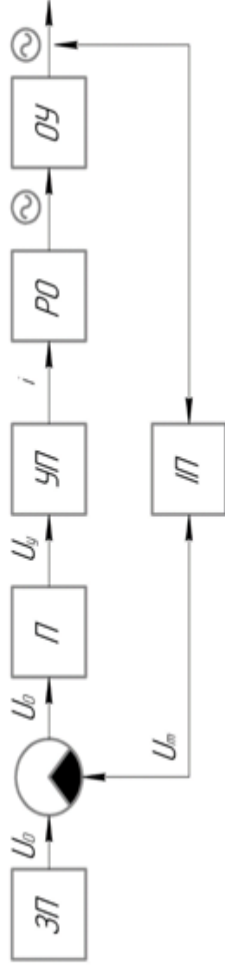


Схема електричної печі



Згідно з технічними вимогами, у робочій камері електричної печі 1 повинна підтримуватися стабільна температура. Контроль температури здійснюється за допомогою термопар 2, яка формує термо-ЕРС. Отриманий сигнал порівнюється з опорною напругою, заданою потенціометром 3. Різниця між цими значеннями подається на вхід електронного підсилювача 4, де сигнал посилюється і далі надходить на вихідний магнітний підсилювач 5. Живлення нагрівального елемента 6 здійснюється струмом від магнітного підсилювача, що забезпечує необхідний рівень нагріву печі.

### Функціональна схема автоматичного контролю (САК)



До функціональної схеми системи автоматичного керування температурою печі входять наступні функціональні елементи:

**ЗП** – задавальний пристрій, який у принциповій схемі реалізується задавальним потенціометром.

**П** – підсилювач, який підсилює сигнал помилки, сформований у порівнювальному елементі. Забезпечує достатній рівень сигналу для подальшої обробки та впливу на регулюючий орган.

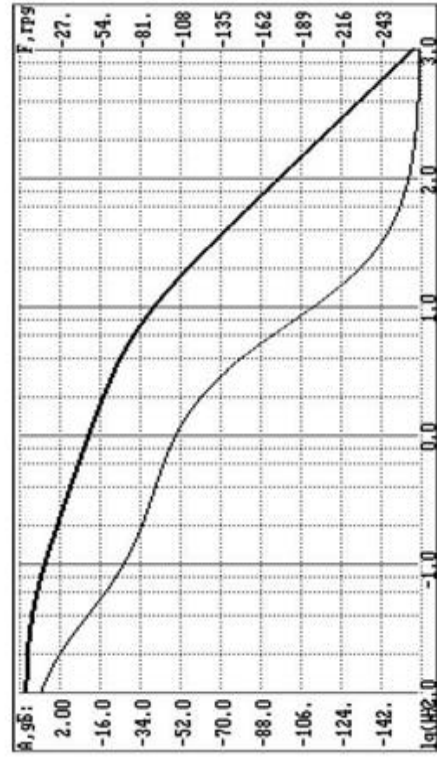
**УП** – узгоджувальний підсилювач, підсилювач, який виконує додаткове узгодження рівня та форми сигналу з характеристиками регулюючого органу.

**РО** – регулюючий прилад, пристрій, який виконує фізичну зміну параметра, що керується.

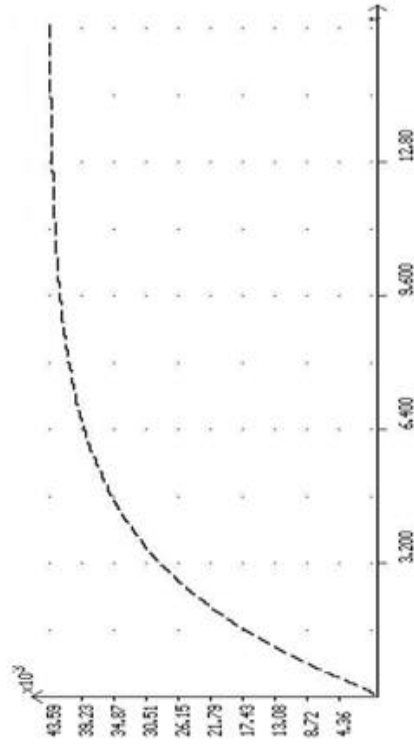
**ОУ** – об'єкт управління, технічний об'єкт, у якому регулюється температура. В даному випадку – піч.

**ІП** – інформаційний перетворювач, пристрій, що знімає інформацію з об'єкта управління і перетворює її у відповідний електричний сигнал.

## Аналіз стійкості системи автоматичного контролю

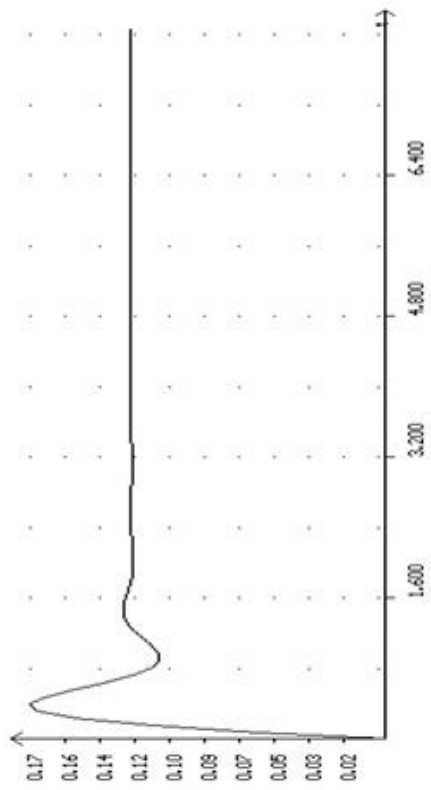


Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) та логарифмічна фазо частотна характеристика (ЛФЧХ) вихідної системи автоматичного контролю (САК)

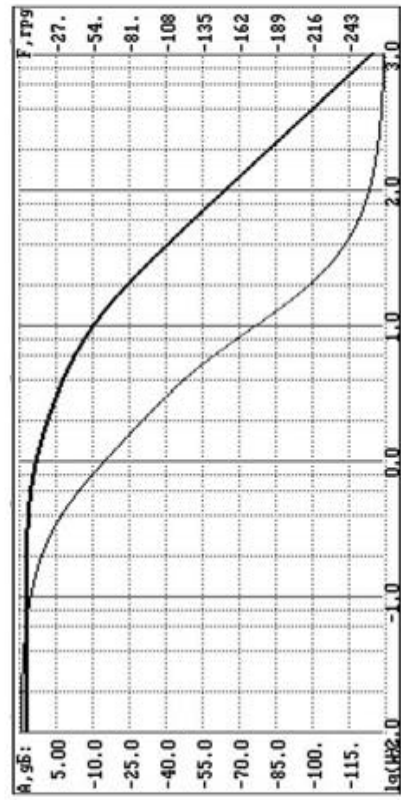


Перехідна реакція вихідної системи автоматичного контролю (САК).

Корекція для системи автоматичного контролю (САК)



Перехідний процес скоригової



Логарифмічна амплітудно-  
частотна характеристика (ЛАЧХ)  
і логарифмічна фазочастотна  
характеристика (ЛФЧХ)  
скоригової системи  
автоматичного контролю (САК)