

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

**Шосткинський інститут**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра системотехніки та інформаційних технологій**

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Георгій Худолей  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**  
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,  
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійної / освітньо-наукової (назва програми)  
та робототехніка»

на тему: Система управління технологічної лінії виробництва житнього хлібу

Здобувача групи СУз-01ш Бороденка Д.О.  
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник \_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант<sup>1)</sup> \_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

**Шостка – 2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри системотехніки та  
інформаційних технологій

\_\_\_\_\_ Г. М. Худолей  
« 16 » квітня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### на бакалаврську роботу

студент Бороденко Дмитро Олександрович

1. Тема проекту Система управління технологічної лінії виробництва житнього хлібу

Затверджено наказом директора інституту  
№ 22-ОД від « 15 » квітня 2024 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи «01» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до виконання роботи:

\_ - завдання кафедри \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокування.

4.3 Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту та алгоритмів управління.

4.4 Розрахункова частина.

5. Перелік графічних матеріалів:

5.1. Функціональна схема автоматизації.

7. Календарний план:

№ етапу	Зміст етапу роботи	Строк виконання (початок-кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації. Відбір аналогів та прототипів Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування.	06.05.2024 - 10.05.2024
2	Вибір каналів управління, сигналізації та блокування. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, вибір алгоритмів управління. Схема автоматизації функціональна. Схеми електричні сигналізації.	11.05.2024 - 18.05.2024
3	Виконання розрахункової частини.	19.05.2024- 26.05.2024
4	Технічне оформлення роботи. Здача роботи керівнику.	27.05.2024 - 02.06.2024

8. Дата видачі завдання 17 квітня 2024 року.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ викладач, к.т.н. \_\_\_\_\_ Андрусенко О.О.  
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУ - 01ш \_\_\_\_\_ . Бороденко Д.О.  
Підпис Прізвище І.П.

## РЕФЕРАТ

Система управління технологічної лінії виробництва житнього хлібу Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 48 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 27 рисунків, 12 таблиць; 1 креслення.

У даній роботі була розглянута розробка системи управління технологічною лінією з виробництва житнього хліба. Автоматизація не тільки спрощує процес і знижує необхідність втручання людини, але і підвищує стійкість до перешкод, які можуть виникнути в процесі роботи обладнання. Створення такої системи управління дозволяє ефективно управляти великими і потужними механізмами, що значно знижує контроль людини за налаштуванням і управлінням автоматичними пристроями.

Ключові слова: технологічні процеси, системи керування, регулюючі мікропроцесорні контролери, алгоритми керування, регульовані параметри.

## SUMMURY

Management system of the technological line of rye bread production/ Bachelor work. Shostkin Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor thesis contains 48 sheets of explanatory note, including 27 figures, 12 tables; 1 drawing.

This work deals with the development of a technological line control system for the production of rye bread. Automation simplifies the process and reduces the need for human intervention, as well as increases resistance to possible interference that may occur during the operation of the equipment. The creation of such control systems allows for efficient management of large and powerful mechanisms, reducing human effort to set up and control automatic devices.

Keywords: technological processes, control systems, regulating microprocessor controllers, control algorithms, adjustable parameters.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП .....	7
1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	9
1.1 Конструктивно-технологічний аналіз технологічної лінії виробництва житнього хліба.....	9
2 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ .....	15
2.1 Контроль і керування температурою .....	15
2.2 Контроль і регулювання тиску .....	16
2.3 Контроль і регулювання витрат.....	17
2.4. Керування і контроль рівнем сировини .....	19
2.5. Керування та контроль показниками тіста .....	20
3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ.....	22
3.1 Вибір методів вимірювання .....	22
3.2 Обґрунтування вибору інструментів управління.....	27
4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....	33
4.1 Оцінка параметрів печі.....	33
4.2 Розрахунок та налаштування редуктора .....	39
ВИСНОВКИ .....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47
ДОДАТОК А Функціональна схема автоматизації .....	49

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АРМ– автоматизоване робоче місце оператора

АФЧХ– амплітудо фазочастотна характеристика

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ДП – давач положення

КВП– контрольовано-вимірювальні прилади (давачі)

ККД – коефіцієнт корисної дії

МВА – модуль вводу аналоговий

МК – мікроконтролер

ОК – об'єкт керування

ПЛК– програмований логічний контролер

САР – система автоматично регулювання

ТП – технологічний процес

ТЕН – трубчастий електронагрівач

## ВСТУП

У сучасному світі автоматизація виробничих процесів є ключем до підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств. 1. Одним з важливих напрямків у цьому контексті є впровадження технічної лінії, що забезпечує автоматизований виробничий процес. Розробка технічних ліній для виробництва хліба, особливо житнього, відіграє важливу роль у забезпеченні високої якості та ефективності продукції на ринку.

Автоматизація охоплює широкий спектр областей, включаючи виробничі процеси, проектування, організацію, планування, управління, дослідження та бізнес-процеси. Основною метою автоматизації є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, оптимізація управління, зниження трудомісткості і шкоди здоров'ю, підвищення надійності і точності виробництва, підвищення взаємозамінності і скорочення часу обробки даних. Автоматизація передбачає комплексний підхід до вирішення завдань, які можуть бути реалізовані за допомогою систем автоматичного управління (АСУ), систем автоматизації проектування (САПР), автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) і так далі.

Переваги автоматизації включають в себе заміну людини на важкій фізичній або монотонній роботі, виконання завдань в небезпечних ситуаціях і вирішення завдань, які перевищують можливості людини по вазі, швидкості або тривалості. Сучасні технології вже активно використовують мікропроцесорну техніку, яка відрізняється компактністю, програмним управлінням і високою надійністю. Впровадження мікропроцесорів в засоби автоматизації та управління дозволяє розширити можливості обробки даних.

Впровадження спеціального автоматичного обладнання має ряд переваг, особливо для забезпечення безперебійної роботи обладнання. Автоматична система може виявляти несправності і збої в роботі і вживати відповідних заходів для запобігання аварійних ситуацій.

Використання автоматичних пристроїв допомагає уникнути травмонебезпечних ситуацій і звільняє людину від виконання робіт в небезпечних умовах, які можуть бути автоматизовані. Це дозволяє знизити ризик отримання травм і підвищити безпеку співробітників.

Крім того, автоматизація виробничого процесу допомагає зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Автоматичні системи допомагають контролювати та оптимізувати використання ресурсів та зменшувати споживання сировини та енергії. Це також допомагає уникнути забруднення резервуарів повітрям і промисловими відходами, оскільки дозволяє управляти процесом з максимальною ефективністю і мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Використання новітніх технологій і автоматизація дозволяють виробникам знизити витрати на організацію сировини, електроенергії, робочої сили і виробничих процесів, зокрема.

Для автоматизації процесу виробництва хлібопекарських дріжджів я використовував сучасну мікропроцесорну техніку. Розроблена система автоматизації покращує ключові технічні показники, покращує умови праці, виводить обслуговуючий персонал з небезпечних зон і забезпечує безперебійність технічних процесів.

Технологічні процеси в харчовій промисловості мають унікальні характеристики, які ускладнюють їх контроль і управління ними. Деякі з цих особливостей включають::

1. Фізико-хімічна трансформація: процеси в харчовій промисловості часто пов'язані зі складними фізико-хімічними реакціями, такими як бродіння, окислення та емульгування. Контроль цих реакцій вимагає точного налаштування технічних параметрів.

2. Швидкий процес: у харчовій промисловості процеси часто відбуваються з високою швидкістю, наприклад, у виробництві напоїв та кондитерських виробів. Це вимагає швидкого реагування і точного контролю для забезпечення високої якості продукції.

3. Високі вимоги до параметрів якості: у харчовій промисловості дотримання певних стандартів і вимог до якості, ваги і розмірів має вирішальне значення. Автоматизація забезпечує точність і повторюваність вимірювань і регулювань.

4. Чутливість до змін параметрів: процеси виробництва харчових продуктів також чутливі до змін малих параметрів, таких як температура, вологість та рН. Автоматизація дозволяє швидко реагувати на зміни і забезпечує стабільність процесу.

5. Гігієнічні вимоги: у харчовій промисловості особлива увага приділяється забезпеченню високих стандартів гігієни. Автоматизована система допомагає уникнути контакту з продуктом і забезпечити гігієнічність виробництва.

Використання систем автоматичного управління в харчовій промисловості сприяє підвищенню якості технологічних процесів, скорочення кількості браку, підвищенню продуктивності, зниження собівартості продукції і поліпшенню екологічних показників. Обладнання для автоматизації характеризується високою точністю, надійністю і простотою використання.



# 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 1.1 Конструктивно-технологічний аналіз технологічної лінії виробництва житнього хліба

Структурно-технічний аналіз об'єктів автоматизації відіграє важливу роль у вивченні особливостей технологічного процесу виробництва житнього хліба та визначенні можливості його автоматизації. Почнемо з докладного розгляду характеристик продуктів, сировини і напівфабрикатів, що використовуються при виробництві житнього хліба.

Виробництво хлібобулочних виробів на початковому етапі починається з доставки борошна на пекарню спеціально обладнаною машиною. Після зважування борошно піддається тиску, створюваному компресором, і відправляється з приймального люка 8 в бункер 9 для зберігання (див. малюнок 1.1).

Інші компоненти тіста, такі як розчини солі та дріжджові емульсії, зберігаються в контейнерах 20 і 21.

Борошно з бункера 9 надходить в бункер 4 за допомогою аерозольного транспорту, що включає компресор 5, ресивер 3 і повітряний фільтр 12. Подача борошна регулюється поворотним дозатором 7 і перемикачем 11. Рівномірність розподілу стисненого повітря для різних режимів роботи забезпечується ультразвуковою насадкою 6, розташованої перед поворотним дозатором.

Для введення борошна з силосу 9 За даними лабораторії хлібопекарського підприємства, які засновані на дослідженні випічки хліба з суміші борошна різних партій, використовуються сторонні речовини, які можуть бути присутніми в суміші, видаляються за допомогою сита 13. Після магнітної промивки борошняна суміш завантажується в виробничий бункер 14 через проміжний бункер 15 і автоматичні ваги 16.

Розглянута Технічна лінія використовує 2-фазний спосіб приготування тіста, що дозволяє отримувати хліб необхідної якості [2]. Перший етап полягає в приготуванні опари, яке здійснюється в тістомісильній машині 16, де борошно з виробничого бункера змішується з посиленою водно-дріжджовий емульсією 17. Пропорції компонентів тесту регулюються за допомогою дозатора 18. З тістомісилки 17 тісто завантажується в бункерний пристрій, що складається з 6 секцій 19.

Тісто з контейнера 22 подається в приймальну воронку тестоделительной машини 23, де формуються однакові частини тесту. З тіста круглої форми 24 формують сферичну тестову заготовку і поміщають її в осередок-підставку в формувальному шафі 2 за допомогою формувальника 1 маятникового типу.

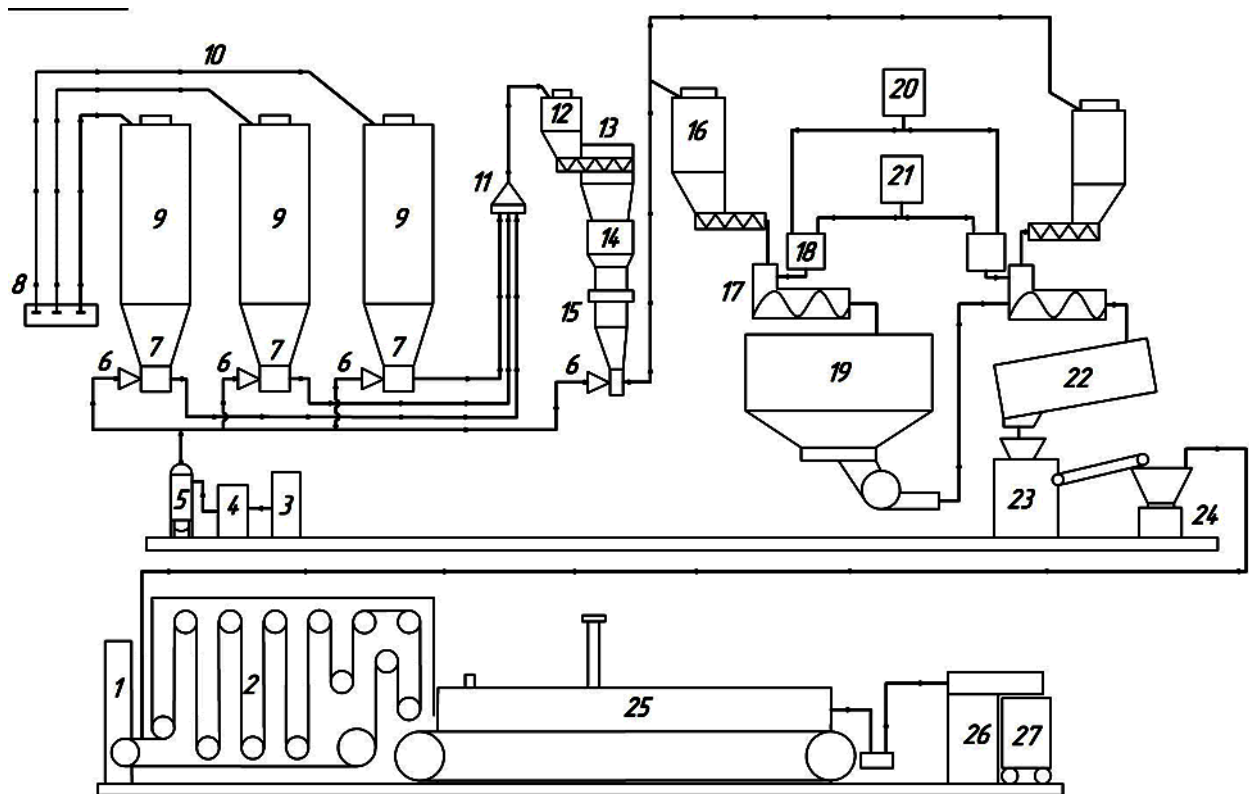


Рисунок 1.1 –Технологічна лінія виробництва житнього хліба

Тісто витримується протягом 35-50 хвилин. Під час бродіння при високій вологості (65-85%) і температурі (30-40°С) кількість тестових заготовок збільшується на 40-50%. Це дозволить знизити щільність тканини на 30-40%, в результаті чого заготівля вийде рівною і гладкою.

На них робляться надрізи або наколки, щоб верхній шар не порвався під час випікання або при переміщенні заготовки на підставку для духовки 25.

На вході в камеру проводиться гідротермічна обробка тестової заготовки за допомогою зволожувального пристрою. Цей процес триває при температурі 105-110°С протягом 2-3 хвилин, випічка хліба здійснюється при температурі 250-280 ° С у просторі середньої та вихідної частин пекарної печі.

Для обігріву пекарної камери використовуються криогенні гази, які знижують тепловтрати в навколишнє середовище, не завдаючи істотної шкоди ізоляції печі. Велика частина поверхні печі підтримує температуру близько 30-40 °С. піч має 2 окремих опалювальних контуру, кожен з яких включає в себе по 1 пальнику, що працює на рідкому або газоподібному паливі.

Кожен опалювальний контур пекарної камери включає в себе систему подачі газу і повітря.Пальниковий пристрій.Систему газопроводів і нагрівальних каналів.Вентилятор для рециркуляції газу.

Процес випічки хліба здійснюється при переміщенні тестових заготовок по печі. Під час цього процесу тестові заготовки витримуються в духовці протягом 20-55 хвилин (в залежності від

виду хліба) і по черзі проходять через всі зони нагріву пекарної камери. Час, який заготівля проводить в зоні випікання, регулюється швидкістю переміщення пода печі.

Готовий виріб завантажується в контейнер за допомогою упорядника 26 і відправляється в експедицію через пункт відправлення.

## **1.2. Аналіз інформаційних потоків об'єкта автоматизації**

Побудова архітектури систем управління, особливо засобів автоматизації, багато в чому залежить від якості продукту. Якість хлібобулочних виробів визначається технічними параметрами технологічного процесу-рівнем відповідності алгоритму управління. Важливим аспектом також є зберігання сировини і забезпечення вихідних параметрів, що впливають на якість кінцевого продукту.

Інформаційний потік пекарні охоплює всі етапи виробничого процесу, від приймання сировини до випуску готової продукції. На кожному етапі збираються, обробляються і передаються дані, що відносяться до технічних параметрів, таким як тривалість випічки, замісу тіста, температурний режим, вологість і час калібрування тесту. Правильна настройка і підтримка цих параметрів забезпечує незмінно високу якість продукції.

Зокрема, процес зберігання та обробки інформації відіграє важливу роль у підтримці оптимальних умов на всіх етапах виробництва. Це включає моніторинг стану сировини на складі, управління параметрами технічного обладнання та контроль якості на різних етапах виробничого циклу. Сучасні системи автоматизації дозволяють швидко реагувати на відхилення від заданих параметрів, що допоможе підвищити ефективність виробництва і скоротити кількість браку.

На малюнку 1.2 представлена схема, що показує вплив різних технологічних параметрів на якість готового хліба. Ця схема допоможе вам зрозуміти важливість точного дотримання технічного режиму та роль автоматизованих систем у забезпеченні стабільності процесу.

З аналізу наведеної вище схеми (рис. Як показано на малюнку 1.2), видно, що контрольований об'єкт (ОК) володіє комплексною характеристикою впливу технологічних параметрів на якість хліба.

Для забезпечення необхідних параметрів якості рап, на додаток до моніторингу технічних процесів (ТР), таке управління можливе для обробки даних про якість продукції та моніторингу неконтрольованих відмов в рамках ОК.

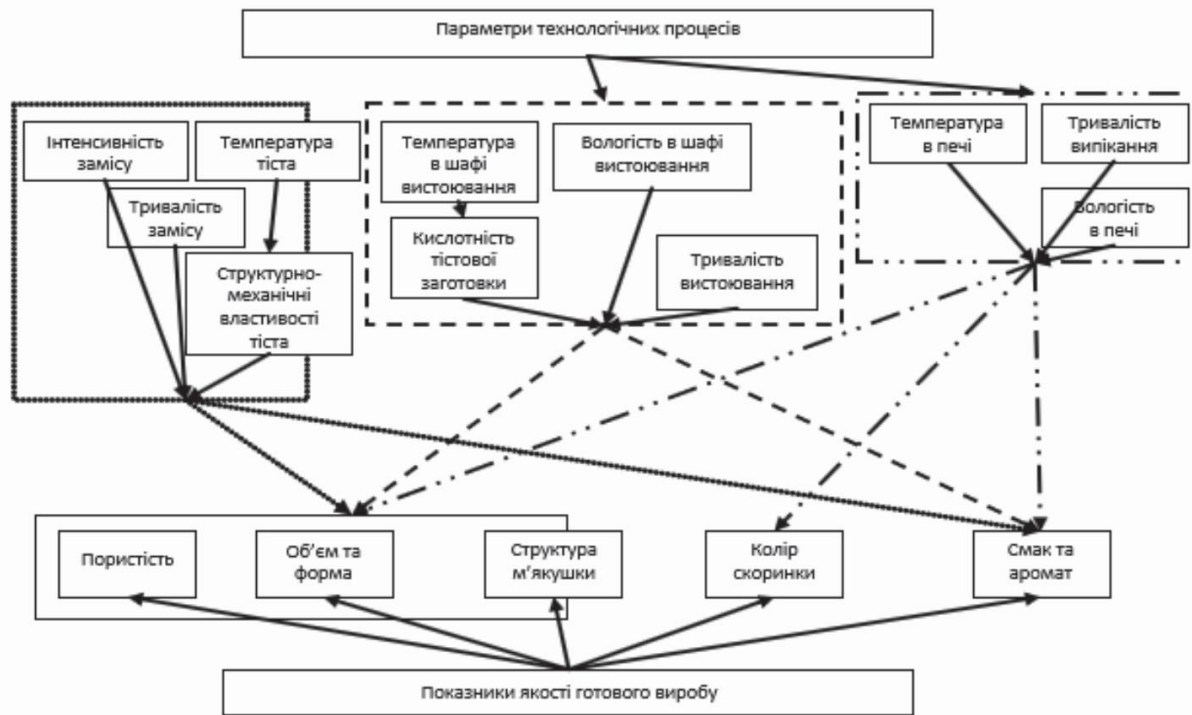


Рисунок 1.2 - Вплив технічних параметрів на якість хлібобулочних виробів

Для розробки системи автоматизації технологічного процесу розглянемо схему технологічного процесу, показану на малюнку 1.3.

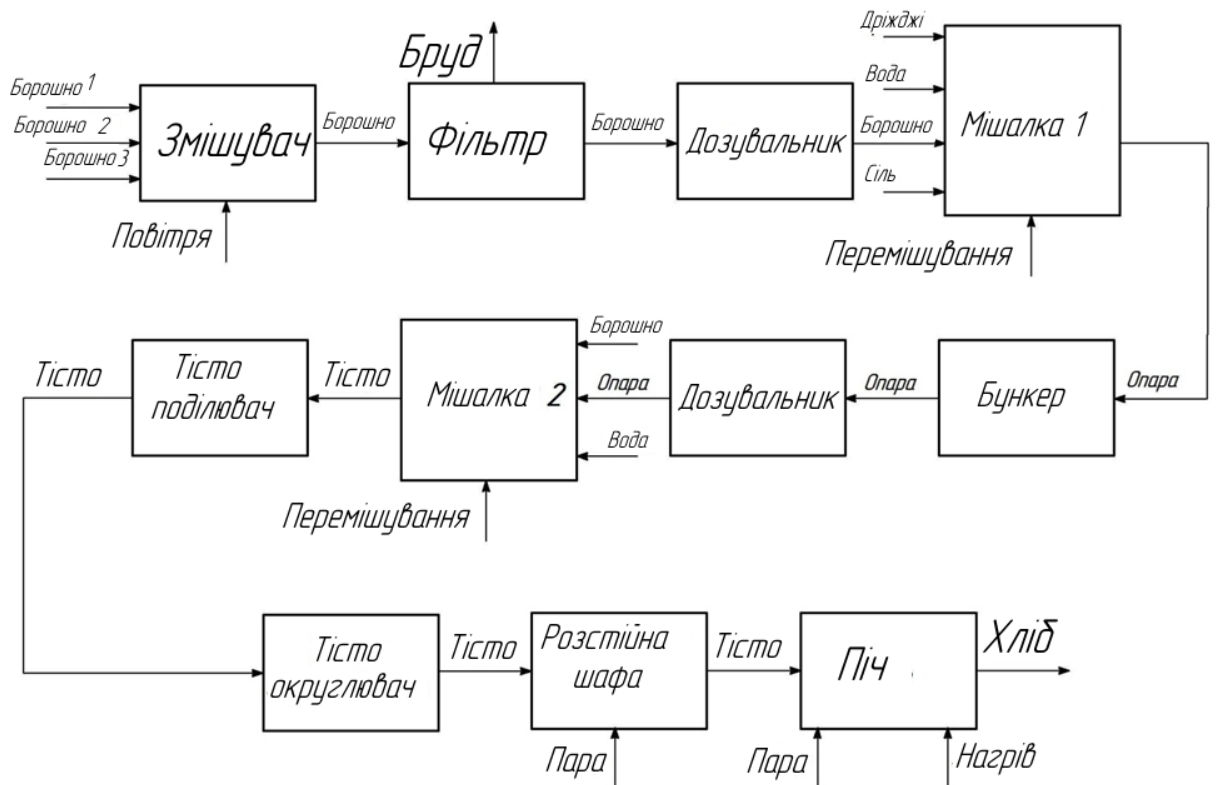


Рис. 1.3 - Схема руху матеріалу в процесі випічки житнього хліба

На основі аналізу цієї схеми і структурно-технічного аналізу контрольованого об'єкта (ОК), контролю тиску, температури, вологості, вартості, рівня тестованої частини, рН, в'язкості і т.д.

визначаються контрольні точки і правила відповідно до зазначеного розділу з лінійки: піч, розподільна шафа, ресивер компресора, дозатор, бункер, Тістомісильна машина, Бункери, фільтри. У таблиці 1.1 перераховані параметри сигналізації, моніторингу та управління з урахуванням контрольованих технологічних параметрів і значень контрольованих технологічних параметрів.

Таблиця 1.1 - Список параметрів сигналізації, моніторингу та управління

<b>Параметр</b>	<b>Точка технологічного процесу</b>	<b>Призначення</b>	<b>Величина</b>
Температура	Розстійна шафа	Керув. сигнал. реєст.	30-35°C
	Піч зона 1	Керув. сигнал. реєст	100-110°C
	Піч зона 2	Керув. сигнал. реєст	190-230°C
	Піч зона 3	Керув. сигнал. реєст	190-230°C
	Змішувач водяний	Керув. сигнал. реєст	35-45°C
Тиск	Ресивер компресора	Керування	2-4bar
Витрати	Дозатор силосу 1	Керування, реєстрація	0,1-1 м <sup>3</sup> /год
	Дозатор силосу 2	Керування, реєстрація	0,1-1 м <sup>3</sup> /год
	Дозатор силосу 3	Керування, реєстрація	0,1-1 м <sup>3</sup> /год
	Дозатор бункера	Керування, реєстрація	0,1-1 м <sup>3</sup> / год
	Дозатор соляного розчину	Керування, реєстрація	1-100 л/ год
	Дозатор цукрового розчину	Керування, реєстрація	1-100 л/год
	Дозатор дріжджового розчину	Керування, реєстрація	1-100 л/ год
	Дозатор жиру	Керування, реєстрація	1-100 л/ год
	Дозатор води теплої	Керування, реєстрація	1-100 л/ год
Рівень	Силос 1	Керув., сигналізація	0-10 м
	Силос 2	Керув., сигналізація	0-10 м
	Силос 3	Керув., сигналізація	0-10 м
	Бункер фільтру	Керув., сигналізація	0-4 м
	Робочий бункер 1	Керув., сигналізація	0-4 м
	Робочий бункер 2	Керув., сигналізація	0-4 м

Вологість	Тістомісильна машина 1	Керув. сигнал. реєст.	80-85%
	Тістомісильна машина 2	Керув. сигнал. реєст.	65-70%
	Розстійна шафа	Керув. сигнал. реєст.	75-85%
рН	Тістомісильна машина 1	Керув. сигнал. реєст..	4-5
	Тістомісильна машина 2	Керув. сигнал. реєст.	4-5
В'язкість	Тістомісильна машина 1	Керування, реєстрація	50 Па*с
	Тістомісильна машина 2	Керування, реєстрація	400 Па*с

Перераховані параметри процесу випічки хліба служать основою для розробки програмного забезпечення та обґрунтування вибору технічних засобів для автоматизації цього процесу.

Особливості приготування житнього хліба:

#### 1. Температура:

Температурні режими в градувальних шафах, водомішалках і духових шафах адаптовані до вимог, що пред'являються до випічки житнього хліба. Зниження температури в градувальній шафі і водомішалці сприяє оптимальному ферментативному процесу і збереженню структури житнього тіста. Зміна температури в зоні духовки забезпечує рівномірну випічку житнього хліба з більш щільною структурою.

#### 2. Вологість:

При зменшенні вологості тістомісильної машини враховується необхідність в житньому тісті, якому для отримання необхідної текстури і консистенції потрібно більше вологи, ніж пшеничному.

#### 3. рН:

Зниження рівня рН тістомісильної машини відповідає потребам житнього хліба і вимагає більш кислого середовища для поліпшення смаку і текстури, а також належного процесу бродіння.

#### 4. В'язкість:

Регулювання в'язкості тістомісильної машини враховує властивості житнього тіста, яке менш еластично і більш в'язке, ніж пшеничне. Це забезпечить консистенцію тіста, необхідну для приготування житнього хліба.

Ці особливості дозволяють оптимізувати процес випічки житнього хліба, підвищити якість готових виробів і більш ефективно використовувати автоматичну систему управління [6].

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

### 2.1 Контроль і керування температурою

#### 2.1.1 Регулювання температури в духовці-це хороша річ.

При регулюванні температури необхідно налаштувати параметри температури, підключені до аналогового входу ПЛК. Відповідно до заданого алгоритму, ПЛК генерує цифровий сигнал через дискретний вихід, який передається на джерело живлення блоку живлення для реалізації тиристорної реалізації (TY) (рис. 1). 2.1).

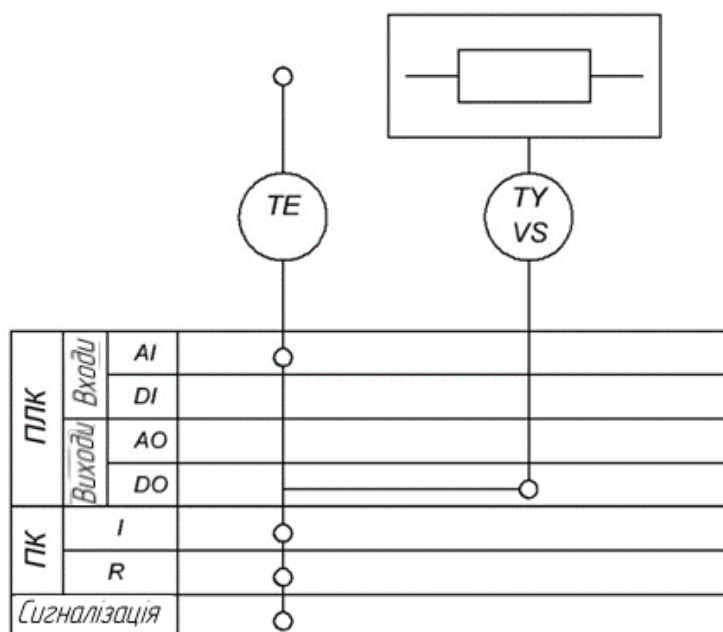


Рисунок 2.1 – Контур управління температурою нагрівачів

Температура відображається і реєструється на ПК робочого місця оператора. При температурах, що перевищують межі нормального режиму, передбачена звукова і світлова сигналізація. Оператор може вручну відключити звукову сигналізацію, але після того, як температура повернеться в робочий режим, світлова сигналізація автоматично відключиться.

#### 2.1.2 відрегулюйте температуру води в змішувачі.

Температура води в змішувачі також регулюється за допомогою перетворювача температури в струм, але керуючий сигнал з окремого виходу ПЛК подається на клапан подачі холодної і гарячої води (рис. 1). 2.2). Ці потоки води змішуються в міксері.

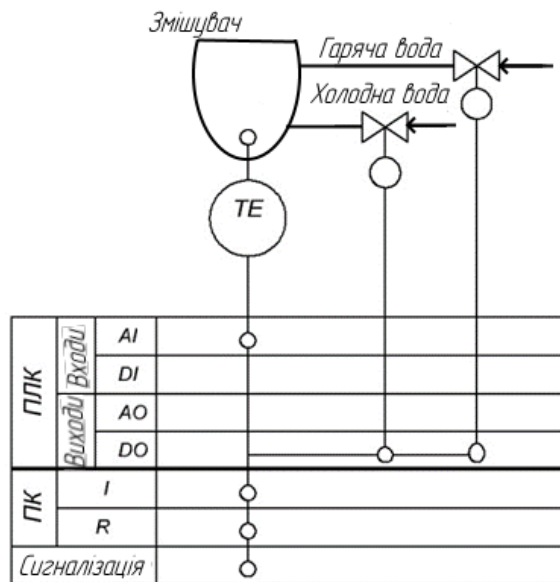


Рисунок 2.2-Система контролю температури води в змішувачі.

Значення температури відображається на моніторі оператора. Порушення і нормалізація температурного режиму супроводжується відповідною світловою сигналізацією.

## 2.2 Контроль і регулювання тиску

Значення тиску контролюється за допомогою перетворювача тиску в струм (PE), підключеного до аналогового входу ПЛК. Відповідно до алгоритму регулювання тиску з дискретного входу ПЛК подається керуючий сигнал для управління двигуном компресора (M) через перетворювач (PY) (рис. 2.3).

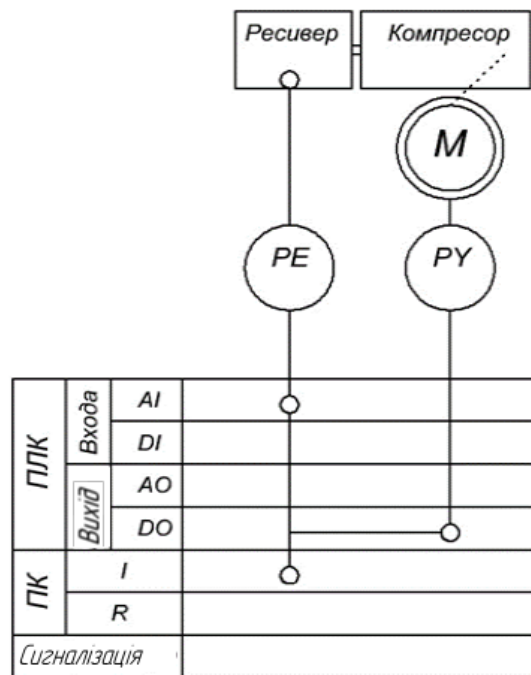


Рисунок 2.3 – Контур регулювання тиску



Тиск повітря з ресивера використовується в контурах, що виконують допоміжні функції, тому в системі управління передбачений тільки контроль.

## 2.3 Контроль і регулювання витрат

### 3.3.1 регулювання витрати борошна з силосу і проміжного бункера.

Пристрій, що представляє собою корпус з турнікетом, який повертається всередину, виконує дозування борошна (рис. 1). 2.4). Цей дозатор розташований під бункером для підтримки необхідного рівня борошна. Для підтримки необхідного рівня борошна в системі подачі борошна встановлений датчик рівня, вбудований в систему подачі борошна.

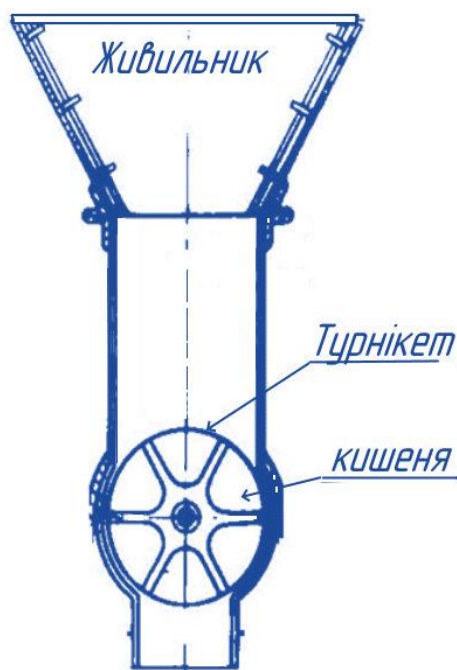


Рисунок 2.4 – Дозатор безперервної дії

Борошно надходить в живильник і заповнює його обсяг. Турнікет дозатора з кишенями, заповненими борошном, постійно обертається, тому борошно надходить в ультразвукову форсунку. Потік повітря захоплює борошно і транспортує її в виробничий бункер.

Імпульсний перетворювач кута повороту (GE), підключений до дискретного входу програмованого логічного контролера (ПЛК), використовується для вимірювання швидкості обертання дозатора. Керований двигун (M) використовується для регулювання дозування борошна, керованого за допомогою дискретного виходу ПЛК. Керуючий сигнал двигуна генерується ПЛК і передається на підсилювач потужності (для довідки) (див. 1). 2.5).

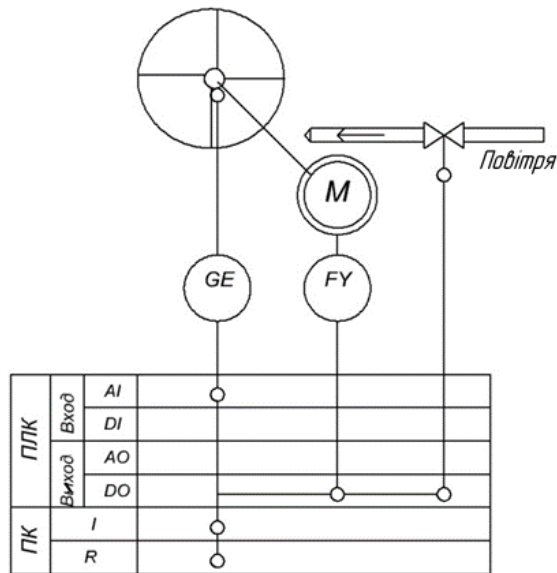


Рисунок 2.5 – Схема контролю дозування борошна

### 2.3.2 Контроль витрати рідких компонентів тканини

Витрата тестованого рідкого компонента регулюється за допомогою перетворювача витрати, який є електричним сигналом (FE), підключеним до аналогового входу ПЛК. Керуючий сигнал ПЛК регулює положення засувки на трубопроводі для подачі компонентів в тканину за запитом оператора (див. 1). 2.6).

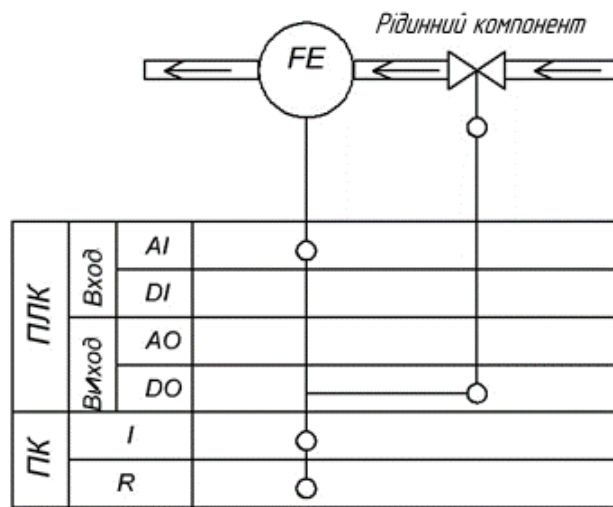


Рисунок 2.6 – Схема регулювання витрати рідких компонентів тесту

Принцип роботи дозатора рідини полягає в стабілізації рівня рідини, який підтримується за допомогою датчика рівня. Витрата рідини регулюється шляхом зміни прохідного перетину дросельного клапана або тиску.

При введенні розчину необхідно враховувати можливість відкладення кристалів цукру або жиру на поверхні трубопроводу, що може призвести до помилок у вимірах витрат. Через нелінійної залежності в'язкості і щільності розчину виникають додаткові помилки при введенні розчинів дріжджів і закваски.

## 2.4. Керування і контроль рівнем сировини

Рівень борошна в бункері регулюється за допомогою перетворювача рівня, який генерує електричний сигнал (LE) і підключений до аналогового входу ПЛК. Однак автоматичне регулювання рівня борошна в бункерах утруднене, оскільки борошно подається вручну через транспортний засіб [7].

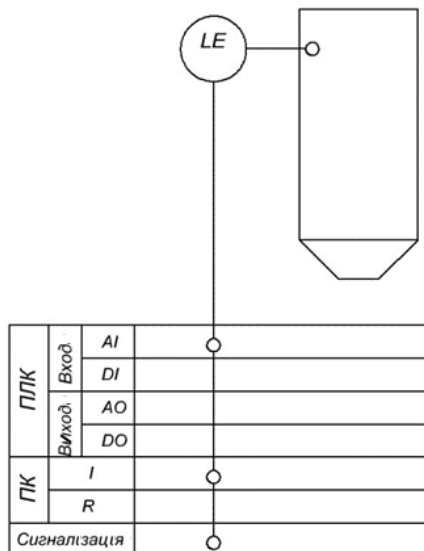


Рисунок 2.7 – Регулювання рівня в бункері

Індикація рівня здійснюється на пульті управління оператора. Також передбачена система сигналізації про заповнення та спорожнення бункерів. При досягненні рівня в робочому режимі світлова сигналізація автоматично відключається.

Регулювання рівня в робочому бункері.

Рівень борошна в цих бункерах регулюється перетворювачем рівня, який є електричним сигналом (LE), підключеним до аналогового входу ПЛК (див. 2.8).

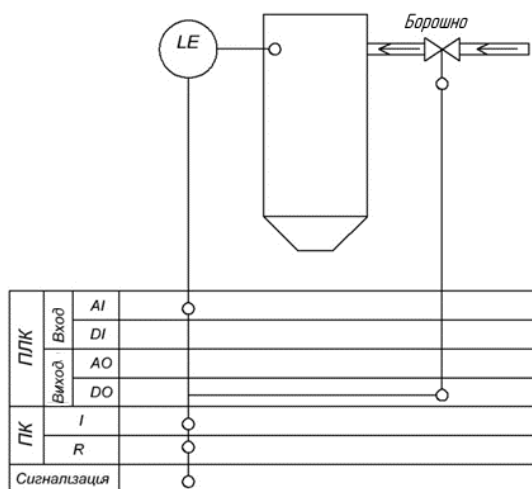


Рисунок 2.8 – Регулювання рівня робочого бункера

Перемикання робочого бункера відбувається по команді, що надходить з дискретного входу ПЛК, який відкриває потрібний бункер. Після цього необхідну кількість борошна, попередньо відміряне дозатором, відправляється у відповідний бункер.

Інформація про рівень та її реєстрацію відображається на комп'ютері робочого місця оператора. Крім того, передбачена система сигналізації, що попереджає про можливе переповнення або спорожнення робочого бункера. Звукова сигналізація може бути відключена оператором, а світлова сигналізація автоматично відключиться, коли параметри повернуться в нормальне русло.

## 2.5. Керування та контроль показниками тіста

З огляду на мету забезпечення якості готового хліба, важливо оцінювати якість напівфабрикатів. Під час приготування тіста в тістомісильній машині регулярно контролюються основні параметри якості тесту, такі як рН (вимірюється за допомогою датчика QE) і вологість (за допомогою датчика ME). Ці датчики підключені до аналогових входів ПЛК (див. малюнок 2.9).

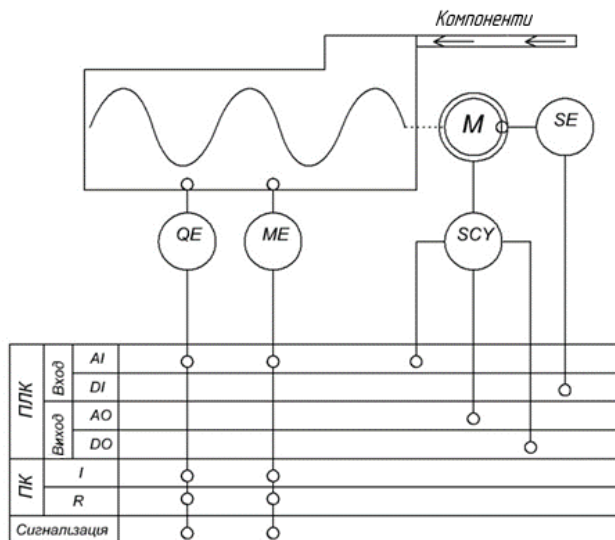


Рисунок 3.9 – Контроль якості тестування

Величина цього моменту обчислюється на основі споживаного струму, напруги на статорі та частоти від перетворювача частоти (SCY) і передається на аналоговий вихід, який також підключений до аналогового входу ПЛК. Потім програмований логічний контролер обчислює ефект і коригує якість тесту, подаючи відповідні сигнали управління на пристрої для дозування різних компонентів.

На основі аналізу вищевказаного засобу управління була розроблена функціональна схема автоматизації (див. додаток а).

Важливо відзначити, що контроль в'язкості тіста є важливим етапом у виробництві випічки, оскільки він безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Недостатня в'язкість може

призвести до таких виробничих проблем, як неправильна консистенція тіста, нерівномірне перемішування і незадовільний зовнішній вигляд і якість випічки.

Розробка схем управління та сигналізації має вирішальне значення для ефективного контролю та автоматизації виробничого процесу. Контур управління визначає, які конкретні дії необхідно виконати для регулювання в'язкості тесту в разі відхилення від заданих параметрів. Це може включати в себе регулювання швидкості перемішування, кількості доданих рідких компонентів або інші засоби для забезпечення оптимальної консистенції тесту.

Система сигналізації, як її частина, служить для інформування оператора про ненормальні умови або відхилення у виробничому процесі. Це дозволяє швидко виявляти проблеми і уникати витрати часу і ресурсів, які можуть бути викликані технологічними дефектами.

Тому розробка та ефективне впровадження контурів управління та сигналізації має важливе значення для забезпечення стабільності та якості хлібобулочних виробів, зниження витрат та мінімізації можливих проблем у виробничому процесі.

### 3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ

#### 3.1 Вибір методів вимірювання

##### 3.1.1 Вимірювання температури

Для контролю температури в зоні печі рекомендується використовувати термопару, так як відомий термометр на підставці має обмеження по верхній межі вимірювання  $+180^{\circ}\text{C}$ ,  $+250^{\circ}\text{C}$ . У печі можуть спостерігатися значення температури до  $+250^{\circ}\text{C}$ ., а якщо регулятор з перевищенням встановлений на 20%, то ці значення можуть досягати  $+300^{\circ}\text{C}$ . для забезпечення єдності приладу вибираються термоперетворювачі, які також використовуються для вимірювань в інших точках. Характеристики термопар наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики термопар

Тип	Позначення	Найменування	Робочий діапазон, $^{\circ}\text{C}$	Опис
ХК	L	Хромель- копель	-40...600	Добра термочутливість. Чутлива до деформації. Мінус - відсутність проводів із сучасними типами ізоляцій.
ЖК	J (Fe-CuNi)	Залізоконстантан	-40...750	Міжнародний стандарт. Гарна термостабільність. Може працювати також у відновлювальному середовищі. Неізольовані - не використовувати
ХА	K (NiCr-NiAl)	Хромельальмомель	0...1200	Міжнародний стандарт. Середня термостабільність. Найпоширеніша у світі. Відносно недорога.
НН	N (NiCrSi-NiSi)	Нихросилнісил	0...1250	Міжнародний стандарт. Термостабільність у кілька разів краща, ніж у ХА. Ідеальна для застосування в діапазоні від 1000 до $1250^{\circ}\text{C}$
ПП	S (Pt10Rh-Pt)	Платинородійплатина	0...1300	Міжнародний стандарт. Відмінна термостабільність та стійкість до окисних середовищ. Чутлива до забруднення.
ПП	R (Pt13Rh-Pt)	Платинородійплатина	0...1300	Міжнародний стандарт. Те ж, що і тип S, але з трохи іншою характеристикою.

ПР	В(Pt30RhPt6Rh)	Платинородійплатино родій	600...1600	Міжнародний стандарт. Більш стійка до забруднення і меншою чутливістю, ніж ПП. Компенсується звичайним мідним проводом
----	----------------	------------------------------	------------	--

Термопары ХА найбільш підходять для цього процесу, оскільки вони охоплюють необхідний робочий діапазон, мають прийнятну точність і є найбільш доступними за вартістю. Тому ми вирішили використовувати термопару марки ТНА-U-1-23- К-2-і-800-400- 310s-10-70- А / 0...1000/. Описані компоненти цього маркування: tha-тип термопары, а Y вказує на наявність перетворювача сигналу у вигляді сигналу струму 4...20 мА; 1-23 - модель або конструкція термопары; К вказує номінальні статичні характеристики; 2-клас допуску; і це тип з'єднання; 800-монтажна частина міліметра; 400-довжина високотемпературної частини; 310S - матеріал підводної (високотемпературної) частини, яка виготовлена з нержавіючої сталі марки 310ss, і 10-монтажна частина міліметрового блоку. 70-довжина зовнішньої частини в міліметрах (відстань від опорної поверхні фланця до головки або монтажного затиску), а А - тип головки, в даному випадку алюмінієвої./0...Діапазон робочих температур становить 1000 / - градусів Цельсія.

### 3.1.2 вимірювання тиску

Для вимірювання тиску на лінії виробництва хліба ми ретельно оцінюємо продуктивність подавача PD9-Di-22 від виробника Aries[100] та Sapphire 1.0-0.5. На малюнку 4.1 показаний зовнішній вигляд цих податчиків.



Рисунок 3.1 – Перетворювач надлишкового тиску PD100-DI-1.0-0.5і перетворювач надлишкового тиску Sapphire22di

Таблиця 3.2 - Основні технічні характеристики датчиків тиску

Найменування	Сапфір 22ДІ	ПД100-ДІ-1.0-0.5
Вихідний сигнал	4-20/ 20-4; 0 – 5/ 5 – 0	4...20мА
Основна похибка	± 0,15; 0,25; 0,5	1%
Діапазон робочих температур середовища	- 40...+ 80	- 40...95 <sup>0</sup> С
Напруга живлення	15... 42 В DC	12...36 В DC

Опір навантаження	-	0...1кОм
Споживана потужність	-	0,75 Вт
Ступінь захисту корпусу	IP65	IP 65
Середній час напрацювання на відмову		Не менш 100 000 год.
Маса	2,6 кг	0,2 кг
Штуцер для підключення	-	M20x1,5

Порівнюючи технічні характеристики пристроїв придушення тиску, можна відзначити, що їх параметри приблизно однакові. Точність і доступність датчика PD100-Di-1.0-0.5 роблять його привабливим для використання в автоматизованих системах виробництва хліба.

### 3.1.3 Вимірювання витрат

Існує кілька принципів вимірювання витрат[10]:

Один з принципів заснований на вимірюванні різниці тисків до і після стискаючого пристрою в корпусі витратоміра. Різниця тисків пропорційна витраті.

•1. Інший принцип заснований на обертанні турбінного колеса. Обертання турбінного колеса безконтактно передається на перетворювач сигналів за допомогою магнітів, вбудованих в лопатки. Швидкість обертання прямо пропорційна витраті.

Зубчасті витратоміри призначені для вимірювання витрати середовищ з в'язкістю 20...5000 мм<sup>2</sup> / сек, таких як мастильні матеріали, масла, смоли, силікон, Гальмівна рідина, мастило, фарба та інші. Вимірювальний елемент складається з пари зубчастих коліс, які обертаються під тиском рідини. Обертання зубчастого колеса перетворюється в імпульсний сигнал струму.

З усіх витратомірів для розчинів, що використовуються при виробництві хліба, вершкове масло і дріжджове молоко володіють значною в'язкістю, тому найбільш підходящим варіантом вимірювання є шестерний витратомір.

У таблиці 3.3 - Порівняльні технічні характеристики різних витратомірів.

Модель	DZR-1	DZR-2	DZR-3	DZR-4	DZR-5	DZR-6
Монтаж	горизонтальний/вертикальний					
В'язкість середовища	Низька	Середня	Висока	Середня		Низька
Змащувальна здатність середовища	Висока			Низька		Висока
Матеріал корпусу	Чавун				Неіржавіюча сталь	
Клас точності	±0.3%	±0.5%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.3%
Максимальний тиск	350/400 бар					



Серед проаналізованих параметрів найбільш придатними для використання є витратоміри марки DZR-5. До їх переваг відносяться корпус з нержавіючої сталі (оскільки чавун несумісний з харчовими продуктами), достатня точність вимірювань і правильна класифікація вимірюваного середовища.

#### 3.1.4 Вимірювання рівня

Вимірювання рівня борошна в бункерах вимагає постійного контролю. Тому дискретні датчики вібрації, крутного моменту та інші датчики не відповідають вимогам цього процесу. Ультразвукові та ємнісні датчики широко використовуються в харчовій промисловості. Ультразвуковий рівнемір призначений для безконтактного безперервного вимірювання. Цей компактний пристрій оснащений вбудованим датчиком температури для компенсації звукових коливань і може бути налаштований для вимірювання в різних діапазонах. Датчик генерує ультразвукові імпульси, які відбиваються від поверхні рідини або сипучого матеріалу. Приймач датчика реєструє відбитий сигнал, і рівень розраховується з урахуванням часу поширення ультразвукового імпульсу.

Таблиця 3.4 - Основні технічні характеристики датчиків рівня

Тип давача	Ємнісний	Ультразвуковий
Найменування	CA30CLC30BP-M1	HRTU418RM/P-5220-400-S12
Вихідний сигнал	4-20 мА	4-20 мА
Макс. частота	15 Hz	10 Hz
Корпус	M30x1,5x50	M18x1x50
Відстань спрацювань	0,5...300 мм	40...4000 мм
Ціна	\$66,00.	\$163,00.

З представлених даних видно, що прийнятним варіантом для вимірювання рівня є датчик HRTU418RM / P-5220-400- s12 використовується тому, що його діапазон вимірювання рівня набагато ширший.

#### 3.1.5 Вимірювання швидкості обертання

При вимірюванні витрати борошна в силосах і бункерах, а також в'язкості тістоміса необхідно враховувати швидкість обертання виконавчого органу. Генератор ostopus-дешевий і простий вимірювач. Однак у них є деякі недоліки, такі як нелінійність характеристик в області низької частоти обертання і наявність контактних щіток і колекторів тертя і зносу.

Найбільш істотним недоліком генератора ostopus є його знижена надійність в заповнених приміщеннях. Замість такого датчика для вимірювання частоти обертання можна використовувати Інкрементальний датчик. Зовнішній вигляд датчика E40 показаний на малюнку 3.2, а його основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5- Основні характеристики енкодерів

Тип	Розмір D/d, мм	Розд. здатність імп/оберт	Вихід	Живлення
Інкrementальні енкодери				
E40S8-xxx-3-x-24	40/6...8	1...300		12-24VDC
		360... 1800		
		2000...3600		
		5000		
E40S8-xxx-6-L-5	40/6...8	1...300	3-T (Totempole output)	5VDC
		360...1800		
		2000...3600		
		5000		
E40HXX-XXX-3- x-24	40/6...12	1...300	3-N (NPN о.к)	12-24VDC
		360... 1800 2000...3600 5000		
E40Hxx-xxx-6-L-5	40/6...12	1...300	6-L (Line driver output)	5VDC
		360... 1800 2000...3600		
		5000		
E80H30-XXX-3-x-24	80/30, 32	60...512		12-24VDC,
E80H30-xxx-6-L-5		1024		5VDC
ENA-xxx-3-x-24	50/10	1 -800 1000-3600		12-24VDC
ENH	77/-	25, 100		12-24VDC,
Інкrementальні енкодери з редуктором				
ENC-1-x-T		1 мм, 1 см, 1 м		12-24VDC
Абсолютні енкодери (Код Грея, двійковий, двійково десятиковий код)				
EP50S8	50/8	6... 1024		12-24VDC,
ENP	60/10	6...24, 360		12-24VDC, 5-12VDC



Рисунок 3.2 – Енкодери E40

З наведених в таблиці даних обираємо енкодери з серії E40H з порожнім валом, оскільки конструкція цих енкодерів забезпечує простоту монтажу на валу виконавчого органу. Вихідний сигнал датча у вигляді n-p-n відкритого колектора дозволяє легко підключити його до ПЛК та

забезпечує захист від електричних перешкод. Кількість імпульсів на оберт, яка складає 255, достатня для використання 8-бітних змінних при написанні програми.

### 3.2 Обґрунтування вибору інструментів управління

#### 3.2.1 Вибір ПЛК

З урахуванням даних, наведених в таблиці 3.1, сформулюйте вимоги до порту контролера, зазначені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Основні вимоги до порту контролера

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	24
Цифрові вхідні	7
Аналогові вихідні	9
Цифрові вихідні	25

Виходячи з розглянутих характеристик датчиків і пристроїв, логічним наступним кроком при складанні автоматизованої системи управління є вибір ПЛК з сімейства ARIES [12]. Цей вибір обумовлений простотою і зручністю програмування в середовищі CODESYS V. 2, Ethernet і портом налагодження RS-232, який може бути реалізований за допомогою USB-пристрою. Використання Aries PLC також дає додаткові переваги, такі як можливість управління перетворювачами частоти і підключення панелей оператора і GSM-модемів.

Що стосується конструктивної особливості ARIES 160plc, то контролер виконаний в компактному корпусі з рейковою передачею din. Розширення кількості входів / виходів здійснюється за допомогою зовнішнього модуля через один з вбудованих інтерфейсів (див. 4.3).

Що стосується обчислювальних ресурсів, то ARIES160PLC оснащений потужним процесором ARM180RISC від Atmel з частотою 9 МГц. Є також великий обсяг оперативної пам'яті - 8 МБ, постійної флеш-пам'яті -4 МБ і енергонезалежної пам'яті для зберігання змінних розміром до 16 Кбайт.



Рисунок 3.3 - ПЛК ОВЕН 160

Електрична характеристика:

- 2 варіанти живлення для кожного контролера:
- Комутатори: (90-265), (47... 63);
- Постійний струм: (18-29).
- Низьке енергоспоживання до 10 Вт.
- Цифровий вхід - 16
  - Цифровий вихід - 12
- Аналоговий вхід-8
  - Аналоговий вихід-4
- Всі цифрові входи контролера приймають сигнали напругою 24 В.
- Тип сигналу може бути або n-p-n, або p-n-p.

Тип цифрового виходу: R-релейний. "Швидкий" аналоговий вхід призначений для підключення стандартних датчиків струму і напруги. Дискретні виходи контролерів цієї лінійки можуть бути налаштовані для виведення сигналів ШІМ або генераторів з високою точністю.

### 3.2.2 Модуль введення аналогових сигналів ARIES MV110-8a

Прилад призначений для перетворення аналогового сигналу в цифровий код і передачі результатів вимірювань по мережі RS-485. Він використовується для створення автоматизованих систем збору даних у різних галузях промисловості, сільському господарстві та комунальному господарстві, а також на транспорті. Пристрій працює по мережі RS-485, використовуючи протоколи Aries, ModBus-RTU, ModBusASCII і dcon. Воно має групу гальванічно розв'язаних

ланцюгів, включаючи ланцюг живлення приладу, інтерфейсну ланцюг RS-485 і вхідну вимірювальну ланцюг. Оскільки пристрій не є основним вузлом у мережі, для мережі RS-485 потрібен головний вузол, такий як ПК, на якому встановлена система SCADA, контролер або регулятор. Пристрій відповідає вимогам до заводостійкості відповідно до ДСТУ EN61131-2 для пристроїв класу а. Його зовнішній вигляд показаний на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Модуль введення аналогового сигналу Agies MV110-8A

Основні характеристики модуля високошвидкісного введення аналогового сигналу MV110-8AS:

- Він має 8 каналів для аналогового введення.
- Підтримувані типи вхідних сигналів включають Уніфіковані сигнали струму (0-20 мА, 4-20 мА, 0-5 мА) і напруги (0-10 В).
- Максимальна частота вимірювання становить до 200 відліків в секунду.
- Модуль живиться від мережі ~ 220 В або 24 В залежно від опції.
- Вбудований в датчик джерело живлення має напругу 24 В і Потужність 180 мА для живлення зі змінною напругою.

Модуль дискретного виведення Agies mu110-32R призначений для управління сигналами з мережі RS-485 з вбудованого дискретного виходу, який використовується для підключення виконавчих механізмів і дискретних елементів управління. Ці контакти можуть працювати в режимі ШІМ. MU110 поставляється з безкоштовним драйвером OPC і стандартною бібліотекою win DLL, і рекомендується використовувати пристрій для підключення до SCADA-систем і контролерів інших виробників. Пристрій відповідає вимогам до заводостійкості відповідно до DSTU EN61131-2 для пристроїв класу а. На рис. 3.5 показаний його зовнішній вигляд.



Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд модуля дискретного виведення ОВЕН МУ110-32Р

Основні характеристики дискретного вихідного модуля Agies MU110-32R включають:

- 32 канали для дискретних виходів з можливістю групової ізоляції.
- Типи вихідних елементів включають електромеханічні реле 3а~250 або =30 в.
- Можливість видачі ШІМ-сигналів з будь-якого виходу.

### 3.2.3 вимоги до виробників перетворювачів частоти

На ринку представлена велика кількість виробників перетворювачів частоти, представлених як іноземцями, так і азіатами (особливо китайцями, японцями). Серед найбільш популярних виробників таких перетворювачів-Siemens (з перетворювачами micromaster), ABB, control technology, Schneider Electric (з перетворювачами Altivar), Danfoss і Lenze. До маловідомих європейських виробників належать Vacon, Elettronica Santerno та Emotron. Японські Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric, Корейські і тайванські LG Hyundai Electronics, Long Shenq Electronics, Delta Electronics добре відомі серед азіатських компаній. Однак, хоча Китай також виробляє перетворювачі частоти, їх якість, як правило, не така висока, як у корейських виробників.

Вимоги до асортименту продукції виробників перетворювачів частоти включають в себе::

1. Забезпечення необхідного діапазону номінальної потужності.
2. Модель з векторним і скалярним управлінням.
3. Точність і широкий діапазон регулювання швидкості.
4. Можливість реалізації зворотного зв'язку по швидкості.
5. Наявність пульта дистанційного керування і налаштувань.
6. Настроюваний аналоговий вихід.
7. Можливість управління аналоговими сигналами.

8. Наявність зовнішнього гальмівного опору.

9. Можливість збереження і налаштування параметрів на вашому комп'ютері.

10. Наявність інтерфейсу RS-232.

Всім вимогам, перерахованим у вимогах до перетворювачів, задовольняють кілька виробників, але перетворювачі частоти Altivar від компанії [4.6] із зовнішнім виглядом, показаним на малюнку 13, найбільш повно відповідають цим вимогам.

Перетворювач частоти ALTIVAR31 (ATV31) призначений для використання з трифазними і однофазними асинхронними двигунами напругою 220 або 380 вольт потужністю від 0,18 до 15 кВт потужністю 600 вольт..



Рисунок 3.6 – Частотний перетворювач Altivar

Altivar 31 використовується у таких галузях виробництва, як:

- Транспортне обладнання (наприклад, невеликі конвеєри та електроталі).
- Фасувально-пакувальне обладнання.
- Спеціальні механізми, такі як мішалки, змішувачі та текстильні машини.
- Вентилятори, насоси та компресори.

Цей перетворювач відомий своєю надійністю, компактністю та простотою у встановленні та експлуатації. Він відповідає стандартам EN 50178, MEK/EN 61800-2, MEK/EN 61800-3, а також має сертифікати UL, CSA та маркування CE.

Altivar 31 має шість дискретних і трійку аналогових входів, один дискретний/аналоговий вхід і два релейних виходи. Основними функціями цього перетворювача є:

- Захист двигуна та перетворювача.
- Регулювання розгону та гальмування за допомогою лінійних, S- та U-образних кривих.
- Робота у режимі "швидше-повільніше".
- Підтримка ПІД-регулятора та його налаштування.
- Дво- та трипровідне управління.
- Логіка управління гальмом.

- Автоматичний пуск та зупинка з пошуком швидкості.
- Конфігурування типів несправностей та зупинки.
- Збереження конфігурації у пам'яті перетворювача.
- Можливість призначення кількох функцій на один дискретний вхід.

Вибір засобів автоматизації для виробництва є важливим етапом, який впливає на ефективність, точність та надійність всього процесу. Розглянувши всі вибрані датчики та пристрої, можна зробити наступні загальні висновки:

1. **Оптимальність вибору:** Кожен обраний засіб має свої унікальні характеристики, які відповідають вимогам виробництва. Обґрунтований вибір забезпечує високу ефективність та надійність автоматизованих процесів.
2. **Сумісність та Інтеграція:** Вибрані засоби автоматизації добре поєднуються між собою та можуть легко інтегруватися в загальну систему керування.
3. **Ефективність та Точність:** Всі вибрані датчики та пристрої мають достатню точність та швидкість реакції, щоб забезпечити високу якість контролю та керування.
4. **Надійність та Витривалість:** Обране обладнання відомих виробників має підтверджену надійність та довгий термін служби, що зменшує ймовірність виникнення непередбачених збоїв та затримок у виробництві.
5. **Зручність у використанні:** Багато з обраних засобів автоматизації мають простий та зручний інтерфейс, який полегшує їхнє налаштування та експлуатацію.

У цілому, обране обладнання відповідає вимогам сучасного виробництва, забезпечуючи ефективний контроль та керування процесами, а також забезпечуючи безперебійну роботу виробничих ліній.



## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Оцінка параметрів печі

Хлібопекарська піч розташована між пристроєм для калібрування тестових заготовок і пристроєм для транспортування готових виробів для укладання і упаковки хліба [14]. На малюнку 4.1 показана хлібопекарська піч РПК–25, а на малюнку 4.2 показана кінематична схема приводу сітчастого пода.

Регулювання електроприводу сітчастого пода в хлібопекарській печі визначає час випічки хліба шляхом регулювання швидкості переміщення виробу. Якість продукту залежить від правильності стабілізації цієї швидкості або настройки системи управління електроприводом подачі.

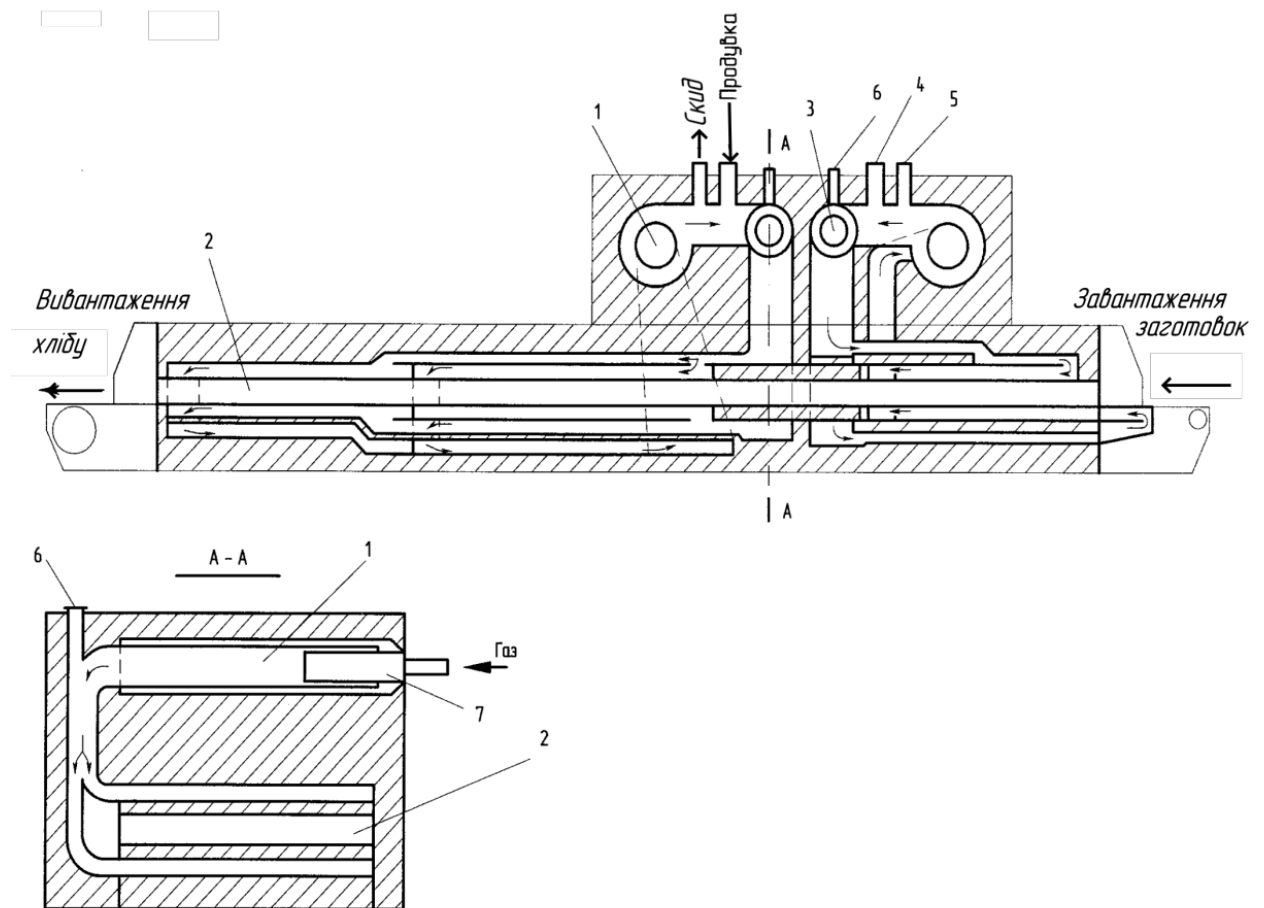


Рисунок 4.1 - Піч хлібопекарська

Будова печі включає:

1. **Вентилятор рециркуляції:** Це пристрій, який відповідає за циркуляцію повітря всередині печі, щоб забезпечити рівномірне розподілення тепла.

2. **Пекарна камера:** Це простір всередині печі, де розміщуються тістові заготовки для випікання. Вона може мати різні розміри і конфігурації, в залежності від потреб виробництва.
3. **Топковий пристрій:** Він відповідає за нагрівання повітря, яке потім відправляється до пекарної камери. Топковий пристрій може використовувати різні джерела енергії, такі як газ, електрика або паливо.
4. **Запобіжний (вибуховий) клапан:** Це важливий елемент безпеки, який захищає печь від надмірного тиску, що може виникнути внаслідок потенційно небезпечних умов, наприклад, вибуху газу.
5. **Димова труба:** Це вивід для викиду диму та продуктів згоряння з печі. Вона забезпечує відведення шкідливих викидів з робочого середовища.
6. **Пальник:** Це пристрій, який забезпечує горіння палива в топковому пристрої для нагрівання повітря. Він може мати різні конструкції в залежності від типу печі і використовуваного палива.

Контроль електроприводу сітчастого поду хлібобулочної печі визначає час випікання хліба через регулювання швидкості переміщення виробів. Якість продукту залежить від точності стабілізації цієї швидкості або налаштувань системи керування електроприводом поду.

Піч складається з металевої конструкції, включаючи пекарну камеру, конвеєрний под з приводними і натяжними механізмами, топковий пристрій, систему гріючих і розподільчих каналів і димососа (вентилятора рециркуляції).

Пекарна камера є горизонтальним тунелем прямокутної форми. Верхня та нижня стінки пекарної камери одночасно є тепловіддаючими стінками газових каналів верхнього та нижнього обігріву камери. По нижньому металевому листу (підставі пекарної камери) переміщується робоча гілка конвеєрної металевої сітки, на якій розташовані тестові заготовки.

Для зволоження поверхні тестових заготовок у початковій ділянці пекарної камери є парозволожувальний пристрій, який складається з металевого ковпака, під яким вміщено чотири труби з отворами. Надлишок пари видаляється з пекарної камери через патрубки із заслінками та систему вентиляційних трубопроводів, приєднаних до витяжного вентилятора, розташованого над піччю.

Піч складається з камери випалу, стрічкового конвеєра з приводом і механізмом натягу, топкового пристрою, системи нагрівальних і розподільних каналів і металевої конструкції, що включає димовидалитель (рециркуляційний вентилятор).

Пекарна камера являє собою прямокутний горизонтальний тунель. Верхня і нижня стінки пекарної камери одночасно є тепловідвідними стінками газових каналів верхньої і нижньої

нагрівальних камер. Робочі гілки металевої сітки конвеєра, на яких розташовані тестові заготовки, переміщуються по нижньому металевому листу (основи пекарної камери).

Для зволоження поверхні тестових заготовок в першій частині пекарної камери є пароувлажнюючий пристрій, що складається з металевого Ковпака, під яким розташовані 4 трубки з отворами. Надлишок пари видаляється з пекарної камери через патрубок із заслінкою і систему вентиляційних трубопроводів, приєднаних до витяжного вентилятора, розташованого над піччю.

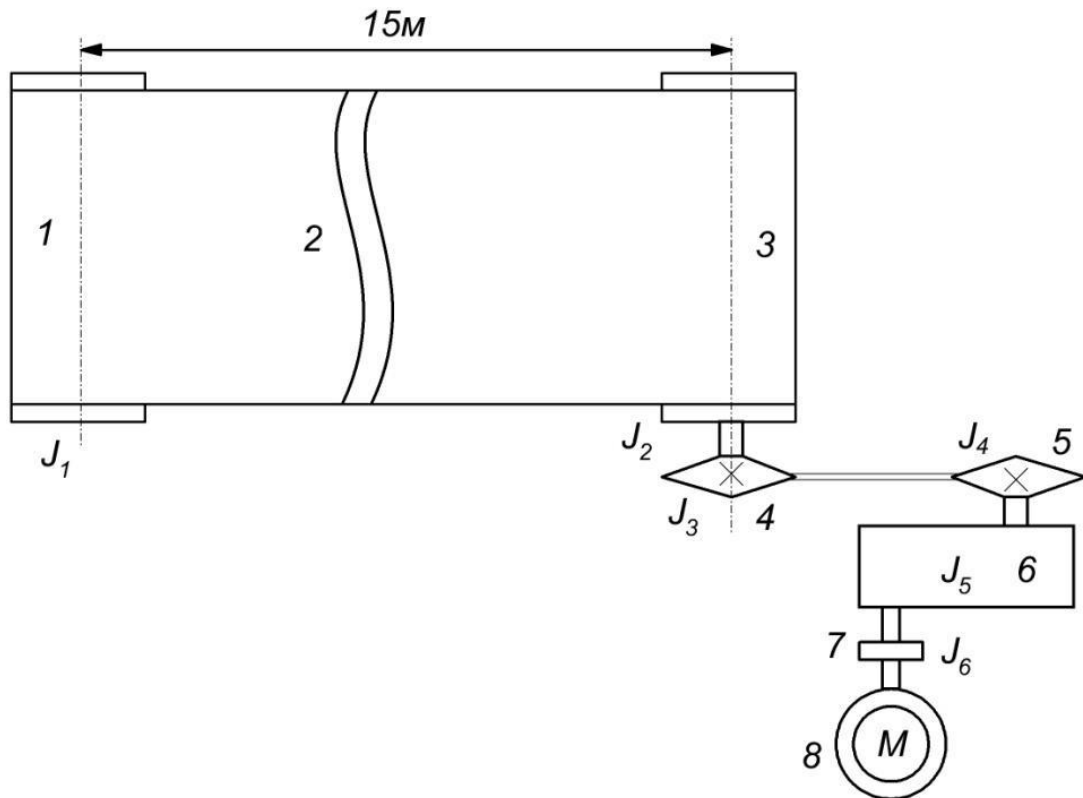


Рисунок 4.2 – Кінематична схема приводу сітчастого пода (1-натяг Барабан; 2 сітчаста піч; 3 приводний барабан; 4,5 ланцюгова передача; 6 – Циліндричний редуктор; 7 - сполучна муфта; 8-електродвигун).  
 $J_1$ -момент інерції натяжного барабана;  $J_2$ -момент інерції приводного барабана;  
 $J_3$ -момент інерції зірочки,  $J_4$ -момент інерції зірочки і  $J_5$ -момент інерції коробки передач;  
 $J_6$ -момент інерції сполучної муфти, а  $m$  - маса стрічки.  
 Основні технічні характеристики печі наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1-Основні технічні характеристики сітчастого пода.

$S_p$	Робоча площа поду, $m^2$	25
$B_p$	Робоча ширина поду, м	2.1
$t$	Межі регулювання часу випічки, хв	10...80
$\beta$	Кут завантаження, $^\circ$	10

Rб	Радіус приводного барабану, м	0.125
<i>l</i>	Довжина печі, м	15.5

Коефіцієнти елементів кінематичного ланцюга визначаються відповідно до кінематичної схеми.

Якщо  $i_z$ - передавальне число ланцюгової передачі;

$z_4$ - число зубів веденої зірочки;

$z_5$  - число зубів провідної зірочки. (рис. 4.2)

То передавальне число ланцюгової передачі:

$$i_z = \frac{z_4}{z_5} = \frac{95}{12} = 7.96$$

Максимальні значення лінійної швидкості руху стрічки конвеєра визначаються з урахуванням меж регулювання часу випічки, зазначених у технічному завданні:  $t_{\min}=10$  хв і  $t_{\max}=60$  хв.

Максимальна лінійна швидкість:

$$V_{\max} = \frac{L}{t_{\min} * 60} = \frac{15}{10 * 60} = 0.025 \text{ м/с}$$

Мінімальна лінійна швидкість:

$$V_{\min} = \frac{L}{t_{\max} * 60} = \frac{15}{60 * 60} = 0.004 \text{ м/с}$$

де:  $V_{\max}$  - максимальна лінійна швидкість поду;

$V_{\min}$  - мінімальна лінійна швидкість поду;

$L$  - довжина поду;  $t_{\min}$  - мінімальний;  $t_{\max}$  - максимальний час випічки.

Якщо ми оберемо асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором з номінальною швидкістю обертання  $n = 750$  об/хв для приводу поду, то необхідне передатне число всієї кінематичної схеми  $\Sigma i$  можна обчислити за формулою:

$$\Sigma i = \omega * R / V_{\max} = 78.54 * 0.125 / 0.02 = 490.1$$

де  $i$  - передатне число всієї кінематичної схеми;  $\omega$  - частота обертання валу двигуна;  $R$  – радіус приводного барабана.

Отже, необхідне передатне число редуктора:

$$i_r = \Sigma i / i_z = 490.1 / 7.96 = 61.57$$

Рух конвеєрної стрічки можливий, якщо статичний опір, що виникає від сили тяжіння вантажу, що рухається конвеєром, та сил тертя у всіх рухомих елементах конвеєра, подолано. Ці сили виникають у підшипниках обертання та в місцях контакту роликів з опорою, особливо в

тягових елементах. Залежно від довжини конвеєра, особливо для горизонтальних, сили тертя можуть змінюватись.

Сили опору руху конвеєра поділяються на дві категорії: перші сили, які не залежать від натягу тягового елемента і розподілені рівномірно, та другі, які залежать від натягу і зосереджені у просторі дуги.

Вибір потужності електродвигуна зазвичай здійснюється з урахуванням навантажень механізму. Для цього можна скористатися даними з таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. - Значення навантаження

Продуктивність, П, кг/год	642
Маса погонного метра стрічки, m л, кг	18.2
Кут обхвату приводного барабана, $\alpha$ т, рад	3.1416
Кут завантаження, $\beta$ , рад	0.174
Коефіцієнт тертя, $\mu$	0.35
Коефіцієнт опору на ділянках вигину	0,06
Коефіцієнт опору на прямолінійній ділянці	0,025
Припустиме прискорення адоп, м/с <sup>2</sup>	0,4

Маса 1 метра вантажу, який перевозиться при заданій продуктивності, обчислюється за формулою:

$$m_g = \frac{P}{3600 * V_{max}} = \frac{642}{3600 * 0.025} = 7.15 \text{ кг}$$

де  $m_g$  - маса 1 метра вантажу, який перевозиться, П - продуктивність.

Для розрахунку потужності приводної станції потрібно знати коефіцієнт корисної дії (ККД) кінематичного ланцюга. З приблизних джерел беруться значення ККД елементів кінематичного ланцюга (Таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 Значення ККД для елементів кінематичного ланцюга:

ККД ланцюгової передачі, $\eta_{цп}$	0.9
КПД сполучної муфти, $\eta_m$	0.98
ККД редуктора, $\eta_p$	0.95
КПД підшипникових опор, $\eta_n$	0.99

Результуючий ККД кінематичного ланцюга приводу:

$$\eta = \eta_{цп} \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot \eta_n \cdot \eta_n \cdot \eta_n \cdot \eta_n = 0.9 \cdot 0.98 \cdot 0.95 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 = 0.8$$

Тоді статичний момент опору руху визначається як:

$$M_{ст} = k_3 \frac{(T_{нб} - T_{сб})D}{2 * i_z * i_r * \eta} = 1.2 \frac{(708.2 - 285.5)}{2 * 7.96 * 63 * 0.8} = 1.62 \text{ Н * м}$$

де  $k_3=1.2$  - коефіцієнт запасу, що враховує неточність розрахунку сили опору,  $D$  - діаметр приводного барабана.

На основі розрахунків та методики вибору редуктора [16] обирається редуктор типу Ц2-100-16-12-АУ2 з наступними паспортними даними (Таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Паспортні дані редуктора

Максимальна потужність, що передається, кВт	12
Передатне число	63
Частота обертання бистрохідного валу , об/хв	750
Номінальний ККД	0.95

Враховуючи фактичне передавальне число редуктора, передатне число кінематичного ланцюга  $i_{кц}$  обчислюється як добуток передавального числа редуктора і коефіцієнта корисної дії ланцюгової передачі:

$$i_{кц} = i_p \cdot i_{цп} = 7,96 * 63 = 501,48$$

Максимальна та мінімальна кутові швидкості обертання електродвигуна, враховуючи діапазон регулювання та передатне число кінематичного ланцюга, визначаються так:

$$\omega_{эдmax} = \frac{i_{кц} * V_{max}}{R_б} = \frac{501,48 * 0,02}{0,125} = 80,24 \text{ рад}^{-1}$$

$$\omega_{эдmin} = \frac{i_{кц} * V_{min}}{R_б} = \frac{501,48 * 0,0035}{0,125} = 14,04 \text{ рад}^{-1}$$

Конвеєр буде поступово набирати швидкість з невеликим прискоренням  $a \leq 0.4 \text{ м/с}^2$ . Однак, механічні коливання у тяговому органі можуть виникнути, якщо конвеєр набирає швидкість з прискоренням  $a > 0.4 \text{ м/с}^2$ .

Коли стрічка всередині печі ковзає по металевій напрямній, сила тертя між стрічкою і напрямною гасить вібрацію механічної частини електроприводу. Ця особливість дозволяє скоротити систему з 2 масами до системи з 1 масою, ігноруючи вплив податливості тягового органу.

Для визначення моменту інерції приводу і натяжної барабана з урахуванням їх розміру використовується такий підхід. Барабан виготовлений з товстостінної сталеві труби з зовнішнім діаметром  $=250 \text{ мм}$  і внутрішнім діаметром  $\lambda=200 \text{ мм}$  (густина  $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$ ). При розрахунку не враховуються посадочні місця цапфи і підшипника через малого моменту інерції.

$$J_1 = J_2 = \frac{\pi * \gamma}{2} L(R^4 - r^4) = \frac{3,14 * 7800}{2} * 15 * (0,125^4 - 0,1^4) = 260 \text{ кг * м}^2$$

де:  $L$  – довжина валу;  $\gamma$  – щільність;  $r$  – внутрішній радіус труби,  $R$  – зовнішній радіус труби. Момент інерції веденої зірочки:

$$J_3 = \frac{\pi * \gamma}{2} L * R^4 = \frac{3,14 * 7800}{2} * 0,01 * 0,4^4 = 31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де:  $L$  – товщина зірочки;  $R$  – радіус зірочки.

Моментом інерції провідної зірочки знехтуємо у зв'язку з малим моментом інерції, порівняно з валами.

Момент інерції сполучної муфти:

$$J_6 = \frac{\pi * \gamma}{2} L * R^4 = \frac{3,14 * 7800}{2} * 0,03 * 0,1^4 = 0,36 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де:  $L$  – товщина сполучної муфти;  $R$  – радіус сполучної муфти.

Момент інерції стрічки та вантажу:

$$J_7 = \frac{m_{\Sigma} R^2}{2} = \frac{703,9 * 0,125^2}{2} = 54,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Визначимо момент інерції механічної частини приводу приведеній до валу двигуна:

$$J_{\text{мех}} = J_5 + J_6 + \frac{J_1 + J_2 + J_3 + J_7}{i_{\text{кц}}^2} = 0,49 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Необхідна потужність двигуна приводу конвеєра:

$$P = M * \omega = \left( M_{\text{ст}} + J_{\text{мех}} \frac{\omega}{t} \right) \omega = 6439,67 \text{ Вт}$$

Згідно з [17], для розробленого електроприводу оберемо асинхронний двигун. Мінімальна потужність, яка була встановлена для електродвигуна, складала 6.5 кВт. Таким чином, ми вибираємо модель AIP160S8 з такими технічними характеристиками, як вказано у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. – Технічні характеристики двигуна

$P_n$ , кВт	$n$ , об/хв	$\eta_n$	$\cos\phi_n$	$m$	$\lambda_l$	$R_1$ , Ом	$J$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$
7.5	730	0.86	0.74	2.6	5.5	1.06	$55 * 10^{-1}$

## 4.2 Розрахунок та налаштування редуктора

Визначимо динамічні характеристики двигуна при номінальному навантаженні на валу.

Номінальна частота обертання:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 730}{60} = 76,45 \text{ рад}^{-1}$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = \lambda m \frac{P}{\omega} = 2,6 \frac{7500}{76,45} = 255,07 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Синхронна частота обертання:

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi * 750}{60} = 78.54 \text{ рад}^{-1}$$

Номинальне ковзання:

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{78.54 - 76.45}{78.54} = 0,028$$

Критичне ковзання:

$$S_k = S_n (\lambda m + \sqrt{\lambda m^2 - 1}) = 0,028 * (2,6 + \sqrt{2,6^2 - 1}) = 0,15$$

Електромагнітна стала часу:

$$T_e = \frac{1}{\omega S_k} = \frac{1}{76.45 * 0,15} = 0.022 \text{ с}$$

Механічна стала часу системи з урахуванням навантаження на валу:

$$T_m = \frac{(J_{meh} + J_{mot})\omega S_k}{M_k} = \frac{(0,49 + 5,5) * 76.45 * 0,15}{255,07} = 2,496 \text{ с}$$

Таким чином, передавальна функція записується як:

$$W(s) = \frac{1}{0.022s + 1} * \frac{1}{2.5s + 1} = \frac{1}{0.055s^2 + 2.522s + 1}$$

Для отримання перехідної характеристики об'єкта, створимо модель у математичному пакеті Simulink (рис. 4.3)

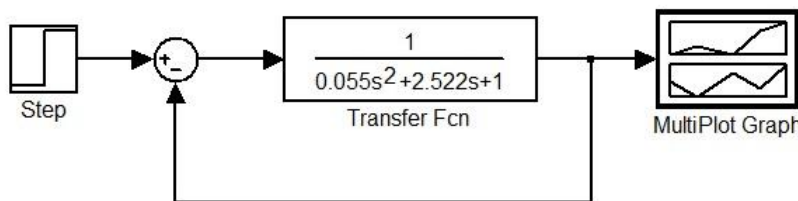


Рис. 4.3 - Модель системи керування в середовищі Simulink

На рисунку 4.4 представлена перехідна характеристика системи керування, що демонструє поведінку вихідного сигналу об'єкта в часі у відповідь на вхідний вплив. Ця характеристика дозволяє оцінити динамічні показники системи, такі як час встановлення, перерегулювання та швидкість реакції на зміни вхідного сигналу.

На рисунку 4.4 показані перехідні характеристики системи управління і поведінку вихідного сигналу об'єкта з плином часу у відповідь на вхідний вплив. Це дозволяє оцінити динамічні характеристики системи, такі як час установки, перевищення швидкості і швидкість реакції на зміни вхідного сигналу.



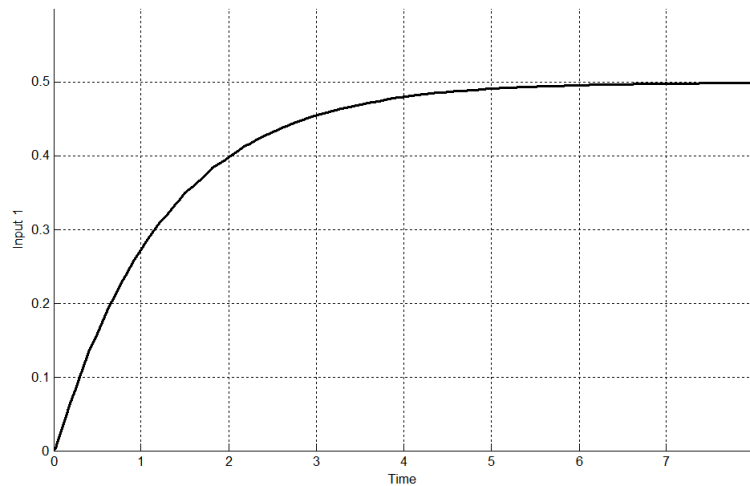


Рисунок 4.4 – Перехідна характеристика

#### 4.2.1 Вибір налаштувань контролера

При значному діапазоні регулювання швидкості і високих динамічних вимогах використовується частотно-векторне управління без датчиків і з датчиками зворотного зв'язку. Векторне управління з датчиком зворотного зв'язку по швидкості забезпечує діапазон настройки не менше 1000 при стабільній перевантажувальній здатності системи приводу і високих динамічних характеристиках.

#### Вибір типу регулятора для контуру швидкості

Тип регулятора і вибір його налаштувань залежать від таких факторів. Тип об'єкта, тобто його статичні та динамічні характеристики. Місце застосування обурюють впливів і їх тип. Прийняті стандарти якості контролю. Згідно з класичним підходом до управління електроприводом, якщо система представлена двомасовою структурою і час роботи другої маси більше або дорівнює часу роботи першої маси, використовується під-регулятор. В інших випадках досить ПІ-регулятора.

#### 4.2.2 Розрахунок налаштувань регулятора на основі індикатора коливань

Розрахунок налаштувань автоматичного регулятора по індикатору вібрації полягає у визначенні такого коефіцієнта регулювання, при якому АЧХ відкритої системи (об'єкта і регулятора) була тангенціальною, але не входила в заборонену зону. Тобто не слід вводити область комплексної площини, яка оточує точку з координатами  $(-1, j0)$ . Щоб розрахувати коефіцієнт регулятора, побудуйте систему з негативним зворотним зв'язком, як показано на рис. 4.5.

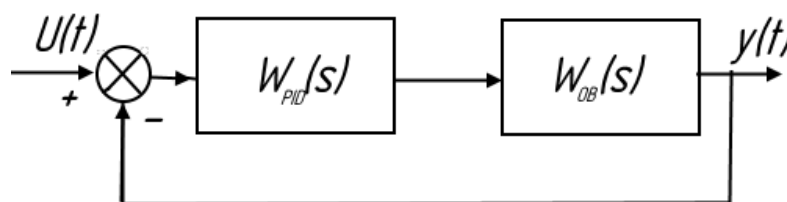


Рисунок 4.5 – Система керування з регулятором, замкнена на зворотний зв'язок.

Обчисліть оптимальні налаштування для контролера  $P_i$ , щоб переконатися, що індекс вібрації системи становить 1,62 або вище. Це майже відповідає коефіцієнту загасання, Рівному 0,9. Ця область являє собою коло радіуса.

$$M_z := 1.61$$

$$r(M_z) := \frac{M_z}{M_z^2 - 1} = 1.01$$

з центром, розташованим на негативній дійсній осі на певній відстані від початку координат.

$$u(M_z) := \frac{M_z^2}{M_z^2 - 1} = 1.628$$

Кут  $\alpha$  променя, проведеного від початку координат і дотичного до кола, визначається як:

$$\gamma(M_z) := \arcsin\left(\frac{1}{M_z}\right)$$

Побудуємо межі області із заданим показником коливальності  $M$  (рис. 4.6).

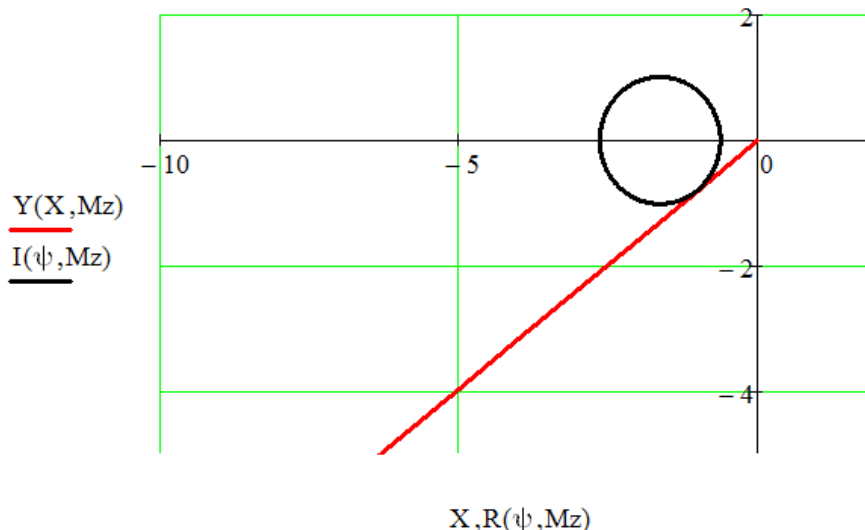


Рисунок 4.6 – Побудова меж області із заданим показником коливання

Методика розрахунку включає в себе наступні кроки: Для різних частот  $\omega$  ми будемо амплітудно-фазову характеристику (АФЧХ) розімкнутої системи з ПІ-регулятором.

$$W(s) := \frac{1}{0.055 \cdot s^2 + 2.522 \cdot s + 1}$$

$$W_{pi}(k, T, s) := \left(1 + \frac{1}{T \cdot s}\right) \cdot W(s)$$

При  $k_p=1$

$$W(j\omega) = W_o(j\omega) + j \cdot \frac{W_o(j\omega)}{\omega \cdot T_u}$$

Побудуємо амплітудно-фазову характеристику (АФЧХ) розімкнутої системи для кількох значень часу ізодрому, таких як  $T_i = 0,1$ ,  $T_i = 0,2$ ,  $T_i = 0,3$ , при критичному коефіцієнті згасання,

що дорівнює 1. Для цього на комплексній площині ми креслитимемо кола радіусів  $R_1, R_2, R_3$ , відповідно до різних значень згасання параметра або різних значень передатної функції системи.

$$U(T, \omega) := \operatorname{Re}(W_{pi}(k, T, i \cdot \omega))$$

$$V(T, \omega) := \operatorname{Im}(W_{pi}(k, T, i \cdot \omega))$$

$$\gamma(Mz) := \operatorname{asin}\left(\frac{1}{Mz}\right)$$

$$Y(X, Mz) := \tan(\gamma(Mz)) \cdot X$$

$$R(\psi, Mz) := r(Mz) \cdot \sin(\psi) - u(Mz)$$

$$I(\psi, Mz) := r(Mz) \cdot \cos(\psi)$$

$$d1(\psi) := 9.2 \sin(\psi); \quad d2(\psi) := 3.35 \sin(\psi); \quad d3(\psi) := 1.5 \sin(\psi)$$

$$z1(\psi) := 9.2 \cos(\psi) - 14.9; \quad z2(\psi) := 3.35 \cos(\psi) - 5.5; \quad d3(\psi) := 1.5 \cos(\psi) - 2.4$$

$$\psi := 0, 0.01.. 2\pi$$

$$\omega := 0.001, 0.0012.. 20$$

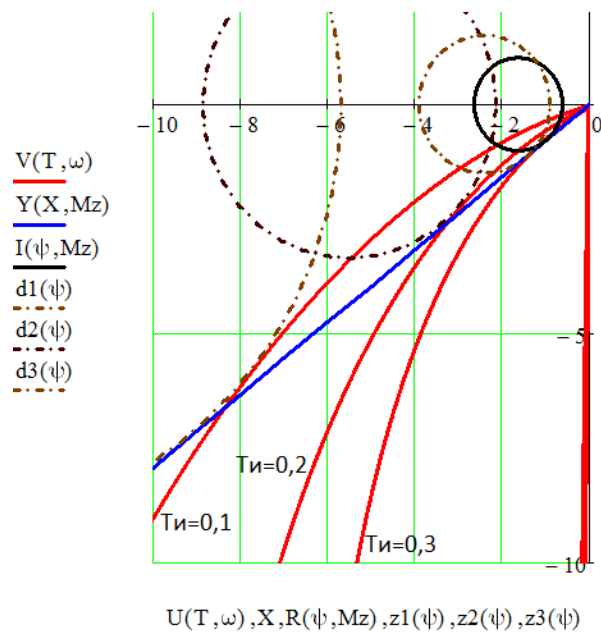


Рисунок 4.7 - Побудова АФЧХ розімкнутої системи та визначення коефіцієнта посилення ПІ-регулятора

Отримано:  $R_1= 9,2 \quad R_2= 3,35 \quad R_3= 1,5$

5) Відповідні коефіцієнти посилення регулятора

$$k1 := \frac{Mz}{Mz^2-1} \cdot \frac{1}{9.2}$$

$$k2 := \frac{Mz}{Mz^2-1} \cdot \frac{1}{3.35}$$

$$k3 := \frac{Mz}{Mz^2-1} \cdot \frac{1}{1.5}$$

$$k1 = 0.11$$

$$k2 = 0.302$$

$$k3 = 0.674$$

Ці значення визначають межі допустимого запасу стійкості в площині Р/І (рис. 4.8):

$$PI := \begin{pmatrix} 0.1 & 0.11 \\ 0.2 & 0.302 \\ 0.3 & 0.674 \end{pmatrix}$$

$$I = PI^{(0)}$$

$$P = PI^{(1)}$$

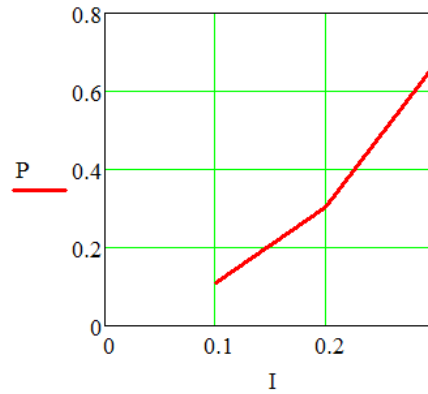


Рисунок 4.8 – Межі області заданого M

Характер залежності на малюнку 4.6 при заданому показнику вібрації не дозволяє визначити максимальне співвідношення  $\sigma/T_i \rightarrow \max$ .

Побудуйте перехідні характеристики деяких значень і простежте тенденції, щоб з'ясувати, які пари налаштувань забезпечують найкращі показники якості. Результати показані на малюнку 4.10.

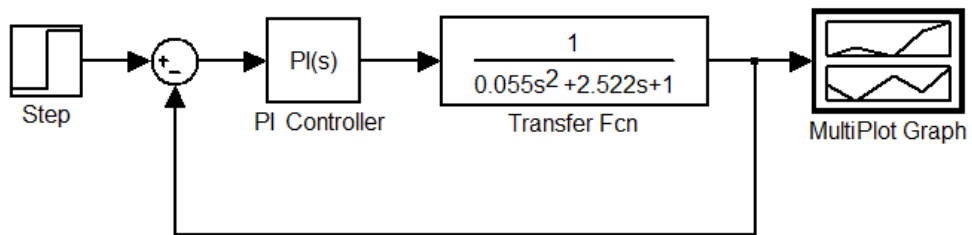
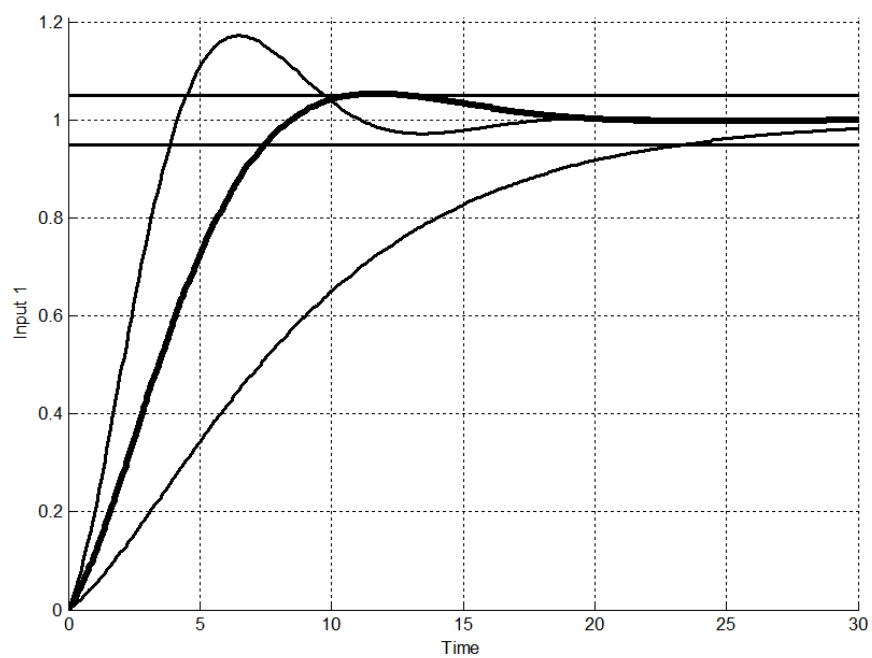


Рисунок 4.9 – Схема для перевірки налаштувань ПІ –регулятора



$$\sigma = \frac{h_{max} - h_y}{h_y} = \frac{1,05 - 1}{1} * 100\% = 5\%$$

Час входу в зону 5%  $t = 7$  з;

Отже, можна стверджувати, що система з Рі-контролером для електроприводу печі з розрахованими коефіцієнтами повинна забезпечувати необхідні показники якості управління.

## ВИСНОВКИ

У нашому дипломному проекті ми розповімо про інформаційний та матеріальний потік процесу випікання житнього хліба на основі структурного та технічного аналізу контрольованого об'єкта.

В результаті демонстрації функціональної схеми управління була розроблена функціональна схема для автоматизації об'єкта (додаток а).

Модернізація системи управління заснована на програмному і апаратному забезпеченні автоматизації на базі мікропроцесорів, зокрема, був обраний промисловий логічний контролер Aries. Управління ПЛК забезпечується сімейством Aries, перетворювачами частоти і периферійними блоками вводу/виводу приводів.

В результаті моделювання та оцінки параметрів приводу хлібопекарської печі обраний рі-контролер, і, згідно з результатами моделювання, стабільність процесу повинна бути забезпечена в межах 5%.

Реалізація розробленого проекту дозволить підвищити стабільність технологічного процесу в умовах порушення сировини і технологічних параметрів, що в кінцевому підсумку гарантуватиме якість випічки житнього хліба.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С., Губеня О.О. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник, 2-е видання. Київ: Видавництво «Сталь». 2019. 456 с.
2. Новікова О.В. Технологія виробництва хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів: навч. посібник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. 540 с.
3. Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій підручник. 2014. Київ: НУХТ. 600 с
4. Гончаренко Б. М., Кишенько В. Д., Розроблення автоматизованої системи керування технологічними процесами виробництва хліба з використанням сценарного підходу/ *Загальнодержавний міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький : КНТУ, 2016. Випуск 46. С. 132-139.*
5. Ладанюк А.П., Решетюк В.М., Кишенько В.Д., Смітюх Я.В. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу. – Київ: «Центр учбової літератури». – 2014. – 280 с.
6. Хорольський В.П., Кореноць Ю.М., Возняк А.В. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів. Кривий Ріг. ФОП Чернявський Д.О. 2019. 204 с.
7. Farah Bader, Shahin Rahimifard, A methodology for the selection of industrial robots in food handling, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 64, 2020, P.102379.
8. Papasidero Davide & Manenti, Flavio & Corbetta Michele & Rossi, Francesco. (2014). Relating Bread Baking Process Operating Conditions to the Product Quality: a Modelling Approach. *Chemical Engineering Transactions*. 39. 1729-1734. 10.3303/CET1439289
9. Датчики OWEN для хлібобулочної промисловості. URL: <https://owen.ua/ua/news/datchyky-owen-dlja-hlibobulochnoji-promyslovosti>
10. Бондаренко С. Г., Складанний Д. М., Абрамова А. О. Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат [Електронний ресурс]: навч. посіб. Для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ :КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. 117 с.
11. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю.Г., Граняк В. Ф. Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2018. – 155 с
12. Програмовані логічні контролери URL: <https://owen.ua/ua/programovani-logichni-kontrolery>
13. Перетворювачі частоти та пристрої плавного пуску. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-category/2900>

14. Теличкун Ю.С., Литовченко І.М., Ковальов О.В. Технологічне обладнання галузі (хлібопекарське виробництво): курс лекцій для студентів Напрямку підготовки «Харчові технології та інженерія» та спеціальності «Обладнання переробних та харчових виробництв». 2014. НУХТ. Київ.: 110с.
15. Павленко Т. П., Донець О. В., Петренко О. М. Автоматизований електропривод агальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2018. 132 с
16. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. 2020. Харків: НТУ «ХП». 275 с
17. Яцун М.А. Електричні машини. 2011. Львів: Львівська політехніка. 464с.
18. Osadchy V., Nazarova O and Olieinikov M., "The Research of a Two-Mass System with a PID Controller, Considering the Control Object Identification," 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598542.
19. Бондаренко С.Г., Сангінова О.В. Теорія автоматичного керування. Методичні вказівки і завдання до виконання домашньої контрольної роботи для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології ». 2013. Київ: НТУУ «КПІ». 102с.



# ДОДАТОК А

## Функціональна схема автоматизації

