

**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 майонезу

Здобувача (ки) групи СУ-01Ш Кукуніна Андрія Олеговича  
(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.

\_\_\_\_\_ Андрій КУКУНІН  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник \_\_\_\_\_ викладач Грек В.М. \_\_\_\_\_  
(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. Худoley

« 16 » квітня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### на бакалаврську роботу

студент Кукунін Андрій Олегович

1. Тема проекту Система управління технологічної лінії виробництва майонезу

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 параметрів технологічного процесу

4.3 Вибір каналів контролю та управління

4.4 Вибір сучасних засобів автоматизації

4.5 Розрахункова частина.

4.6 Алгоритм роботи системи керування

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 \_\_\_\_\_ Грек В.М.  
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУ - 01ш \_\_\_\_\_ Кукунін А.О.  
Підпис Прізвище І.П.

## РЕФЕРАТ

Кукунін Андрій Олегович. Система управління технологічною лінією виробництва майонезу. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 65 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 38 рисунків, 5 таблиць; 1 креслення.

В даній роботі описана розробка системи управління технологічною лінією з виробництва майонезу. Автоматизація виробництва майонезу має значні переваги, що робить її важливим фактором для розвитку сучасної харчової промисловості. Завдяки автоматизованим системам можна отримати якісний, безпечний та екологічно чистий продукт, значно підвищивши при цьому продуктивність та економність виробництва.

Ключові слова: технологічна лінія, система керування, виробництво майонезу, автоматизована лінія майонезу.

## SUMMARY

Kukulin Andrii Olegovich. Control System for the Technological Line of Mayonnaise Production. Bachelor's thesis. Shchukinsky Institute of Sumy State University. Shchukinsk, 2024.

The bachelor's thesis contains 65 pages of explanatory notes, including 38 figures, 5 tables; 1 drawing.

This thesis describes the development of a control system for a technological line for the production of mayonnaise. The automation of mayonnaise production has significant advantages, making it an important factor in the development of the modern food industry. Thanks to automated systems, it is possible to obtain a high-quality, safe and environmentally friendly product, while significantly increasing productivity and cost-effectiveness of production.

Keywords: Technological line, Control system Mayonnaise, production Automated mayonnaise line.

## ЗМІСТ

Список скорочень та умовних позначень

Вступ

1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації

2 Вибір параметрів технологічного процесу

3 Вибір каналів контролю та управління

4 Вибір засобів автоматизації

5 Розрахункова частина

Висновок

Список використаних джерел

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – Система автоматичного керування;

ВМ – виконавчий механізм;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ЩК – щит керування;

НМІ – human machine interface;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

САПР – система автоматизованого проектування;

AI – Analog input;

DI – digital input;

DO – digital output;

САПР – система автоматизованого проектування;

## ВСТУП

В сучасних умовах конкурентоспроможність підприємств харчової промисловості значною мірою залежить від рівня автоматизації виробничих процесів. Високий рівень автоматизації забезпечує стабільність якості продукції, підвищує продуктивність праці, знижує витрати на виробництво та підвищує гнучкість виробничих систем.

Майонез є одним з найпопулярніших харчових продуктів, які виробляються на сучасних підприємствах харчової промисловості. Виробництво майонезу включає декілька технологічних етапів, таких як підготовка сировини, емульгування, пастеризація та фасування. Кожен з цих етапів потребує точної координації та управління, щоб забезпечити стабільну якість кінцевого продукту.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка системи управління технологічною лінією виробництва майонезу, яка дозволить оптимізувати виробничий процес та забезпечити високу якість продукції. Для досягнення цієї мети необхідно провести конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління, вибрати оптимальні канали управління, сигналізації та блокування, а також розробити систему сигналізації, захисту та алгоритмів управління.

Для досягнення поставленої мети в роботі будуть розглянуті наступні завдання:

- Проведення конструктивно-технологічного аналізу об'єкта управління, що дозволить визначити основні параметри та характеристики виробничої лінії.
- Вибір каналів управління, сигналізації та блокування, що забезпечать надійність та безпеку роботи технологічного обладнання.
- Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка систем сигналізації та захисту, а також алгоритмів управління, що забезпечать стабільність технологічного процесу.
- Виконання розрахунків, необхідних для обґрунтування вибору технічних засобів та параметрів системи управління.

Таким чином, виконання даної кваліфікаційної роботи сприятиме вдосконаленню технологічного процесу виробництва майонезу та підвищенню конкурентоспроможності продукції на ринку харчових продуктів.

# 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Майонез - це харчовий продукт, який готується з олії, яєць, гірчиці, лимонного соку (або оцту) та спецій. Він має густу, кремову консистенцію, білий або злегка жовтуватий колір, кислий смак і характерний аромат. Майонез використовується як соус до салатів, бутербродів, картоплі фрі та інших страв.

Якість майонезу визначається наступними показниками: Зовнішній вигляд: однорідна маса, без сторонніх включень, глянсовий блиск; консистенція: густа, кремова, легко намазується; колір: білий або злегка жовтуватий; смак: кислий, злегка гірчичний, з ароматом спецій; запах: свіжий, характерний для майонезу; кислотність: не більше 2,5%; масова частка жиру: 67-78%; стійкість: не повинна розшаровуватися протягом зберігання. Сировина та напівфабрикати: олія: використовується рафінована дезодорована олія (соняшникова, оливкова, рапсова) ; яйця: свіжі курячі яйця або яєчний жовток; гірчиця: готується з гірчичного насіння, оцту, цукру, солі та спецій; лимонний сік (або оцет): використовується для підкислення майонезу; спеції: сіль, цукор, перець чорний мелений, мускатний горіх, інші спеції за рецептурою. Напівфабрикати: яєчний жовток: готується з свіжих курячих яєць. Гірчична паста: готується з гірчичного насіння, оцту, цукру, солі та спецій.

Планується випуск майонезу вищого та 1 сортів у вигляді гомогенної маси з однорідною консистенцією, без сторонніх включень. Характеристика продукції: Зовнішній вигляд: однорідна маса, без сторонніх включень, глянсовий блиск. Консистенція: густа, кремова, легко намазується. Колір: білий або злегка жовтуватий. Смак: кислий, злегка гірчичний, з ароматом спецій. Запах: свіжий, характерний для майонезу. Кислотність: не більше 2,5%. Масова частка жиру: 67-78%. Стійкість: не повинна розшаровуватися протягом зберігання. Сорти: Майонез вищого сорту: має більш високі органолептичні та фізико-хімічні показники, ніж майонез 1 сорту. Майонез 1 сорту: має трохи нижчі органолептичні та фізико-хімічні показники, порівняно з майонезом вищого сорту. Термін зберігання: Майонез вищого сорту: не менше 90 діб від дня виробництва. Майонез 1 сорту: не менше 60 діб від дня виробництва. Показники якості: Кислотність: не більше 2,5%. Масова частка жиру: 67-78%. Стійкість: не повинна розшаровуватися протягом зберігання. Підйомна сила: не більше 70 хвилин. Вміст вологи: не більше 75%.

Виробництво майонезу на сучасних підприємствах харчової промисловості передбачає декілька послідовних етапів:

## 1. Підготовка сировини:



- Приймання та зберігання: Олія, яйця, гірчиця, спеції та інші інгредієнти приймаються на завод, проходять контроль якості та розміщуються у спеціальних сховищах.

- Підготовка інгредієнтів: Олія дезодорується, яйця миються та дезінфікуються, гірчиця готується за рецептурою, спеції подрібнюються.

## 2. Дозування та змішування:

- Точне дозування: Інгредієнти дозуються у відповідності до рецептури за допомогою автоматичних дозувальних систем.

- Ретельне змішування: Всі компоненти майонезу ретельно перемішуються у спеціальних міксерах до отримання однорідної маси.

## 3. Гомогенізація та емульгування:

- Розбиття жирових кульок: Суміш проходить через гомогенізатор, де відбувається подрібнення жирових кульок до розмірів 0,5-1,0 мкм.

- Створення емульсії: Завдяки гомогенізації утворюється стійка емульсія, що забезпечує густу консистенцію та приємний смак майонезу.

## 4. Охолодження та фасування:

- Контрольоване охолодження: Готовий майонез охолоджується до температури 4-8°C для запобігання псуванню та покращення консистенції.

- Фасування: Охолоджений майонез фасується у споживчу тару (пластикові контейнери, скляні банки, туби) за допомогою автоматичних фасувальних машин.

## 5. Контроль якості та маркування:

- Лабораторні дослідження: Кожна партія майонезу проходить лабораторний контроль якості, щоб переконатися у відповідності всім стандартам.

- Маркування: На тару наноситься етикетка з інформацією про склад, дату виробництва, термін придатності, умови зберігання та інші дані.

## 6. Зберігання та транспортування:

- Готовий продукт: Майонез зберігається у прохолодному та сухому місці при температурі 4-8°C.

- Транспортування: Перевезення майонезу здійснюється в рефрижераторах для збереження його якості та свіжості.

Комплекси обладнання на заводах з виробництва майонезу включають різні типи машин для виконання різних функцій:

## 1. Приймальне та зберігаюче обладнання:

- Баки для зберігання олії: Для зберігання рослинної олії у великих обсягах використовуються спеціальні баки з нержавіючої сталі.

- Холодильні камери: Яйця та інші інгредієнти, що потребують зберігання при низьких температурах, розміщуються у холодильних камерах.

- Силосні гондоли: Для зберігання сипких інгредієнтів, таких як гірчичний порошок та спеції, використовуються силосні гондоли.

## 2. Обладнання для підготовки сировини:

- Дезодораційні установки: Олія проходить через дезодораційні установки для видалення вільних жирних кислот та неприємних запахів.

- Яєчні мийні машини: Яйця миються та дезінфікуються за допомогою спеціальних машин.

- Млини та подрібнювачі: Спеції та інші тверді інгредієнти подрібнюються за допомогою млинів та подрібнювачів.

## 3. Дозувальне та змішувальне обладнання:

- Автоматичні дозатори: Інгредієнти дозуються у відповідності до рецептури за допомогою автоматичних дозаторів.

- Міксери: Всі компоненти майонезу ретельно перемішуються у спеціальних міксерах до отримання однорідної маси.

## 4. Гомогенізатори:

- Гомогенізатори з високим тиском: Суміш проходить через гомогенізатори з високим тиском, де відбувається подрібнення жирових кульок до розмірів 0,5-1,0 мкм. Це забезпечує густу консистенцію та приємний смак майонезу.

## 5. Охолоджувальне та фасувальне обладнання:

- Теплообмінники: Готовий майонез охолоджується до температури 4-8°C за допомогою теплообмінників.

- Фасувальні машини: Охолоджений майонез фасується у споживчу тару за допомогою автоматичних фасувальних машин.

## 6. Контрольно-вимірювальне обладнання:

- Термометри: Використовуються для контролю температури на різних етапах виробництва.

- Вимірювачі тиску: Вимірюють тиск у гомогенізаторах та інших системах.

- Контролери рН: Контролюють рівень рН майонезу.

## 7. Упакувальне обладнання:

- Етикетувальні машини: На тару наносяться етикетки з інформацією про склад, дату виробництва, термін придатності, умови зберігання та інші дані.

- Упакувальні лінії: Забезпечують упаковку майонезу в коробки, плівку або інші види упаковки.

## 8. Зберігання та транспортування:

- Холодильні камери: Готовий майонез зберігається у холодильних камерах при температурі 4-8°C.

- Рефрижератори: Перевезення майонезу здійснюється в рефрижераторах для збереження його якості та свіжості.

**Пристрій і принцип дії лінії.** Яєчний порошок завантажується в бункер через кришку. Система дозування автоматично подає необхідну кількість порошку до малого змішувача 1. У малий змішувач 1 подається дозована порція яєчного порошку, а також інші сухі інгредієнти (сіль, цукор, спеції) згідно з рецептурою. Лопатева мішалка ретельно перемішує суміш до однорідного стану. У малий змішувач 2 подається олія, оцетний розчин та інші рідкі компоненти майонезу. Лопатева мішалка ретельно перемішує рідку суміш до однорідного стану. З малих змішувачів дозовані порції сухої та рідкої сумішей подаються до великого змішувача. Лопатева мішалка інтенсивно перемішує всі інгредієнти, об'єднуючи їх в однорідну масу. Суміш з великого змішувача подається в гомогенізатор під високим тиском. У гомогенізуючій камері суміш проходить через вузький зазор, де відбувається її подрібнення та диспергування. Це призводить до зменшення розмірів жирових кульок в олії до мікроскопічних розмірів, що робить майонез більш стійким, густим і ніжним на смак. Оцетна кислота розводиться водою в бачку до необхідної концентрації. Система дозування автоматично подає дозовану порцію оцетного розчину до малого змішувача 2. Рослинна олія завантажується в ємність і підігрівається до необхідної температури. З ємності масло подається до гомогенізатора та інших компонентів лінії виробництва. У резервуарі готується сольовий розчин з заданою концентрацією солі. Система дозування автоматично подає дозовану порцію сольового розчину до великого змішувача.

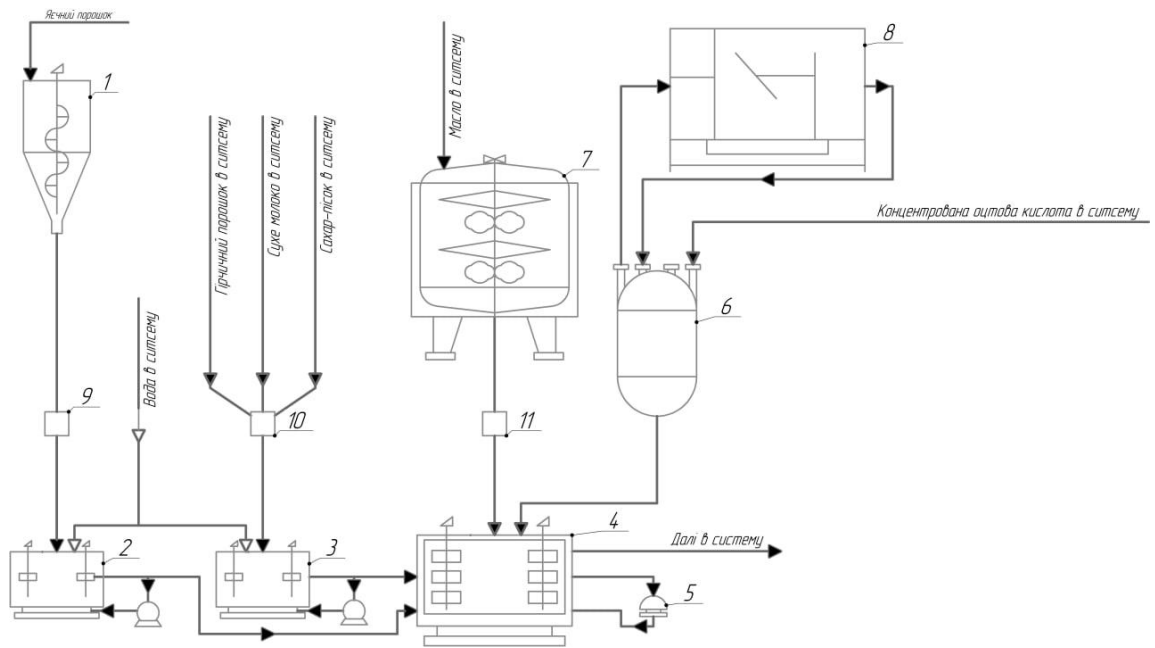


Рисунок 1.1 - Технологічна схема лінії виробництва майонезу.

1 – Бункер для яєчного порошка; 2,3,4 – Бункери для сипких компонентів; 5 – Насос-емульсатор; 6,7 – Ваги; 8,9 – Малі змішувачі; 10 – Великий змішувач; 11 – Гомоненізатор; 12 – Ємкість для готового майонезу; 13 – Ваги для масла; 14 – Ємкість для масла; 15 – Солерозчинник; 16 – Вловлювач; 17 – Бачок для води; 18 - Бачок для оцетного розчину; 19 – Ваги для оцетного розчину; 20 – Бойлер для приготування теплої води; 21 – Автомат- наповнювач; 22 – Закаточний апарат; 23 – Етикетувальний апарат; 24 – Укладальний автомат; 25 – Банкомийна машина; 26 – Ємкість з концентрованою оцетною кислотою; 27 – Тельфер; 28 – Бак на вагах для масла; 29 – Ваги для зважування оцетного розчину.

1. Підготовка сухих компонентів: Просіяні порошкоподібні компоненти (яєчний порошок, гірчичний порошок, сухе молоко, цукор-пісок) подаються у відповідні бункери: Яєчний порошок – бункер 1. Гірчичний порошок – бункер 2. Сухе молоко – бункер 3. Сахар-пісок – бункер 4. Харчова сода подається безпосередньо до змішувача 9.

2. Приготування гірчичної суміші: З бачка для води 17 змішувач 9 подається гаряча вода. З бункера 2 через ваги 7 у змішувач завантажують гірчичний порошок. Суміш у змішувачі 9 ретельно перемішується та нагрівається до температури 80-85°C. Після нагрівання гірчичну суміш витримують при цій температурі протягом 5-10 хвилин для активації ферментів гірчиці.

3. Приготування молочної суміші: Після заварювання гірчичного порошку у змішувач 9 із бачка для води 17 подають теплу воду. З бункера 3 через ваги завантажують сухе молоко. З бункера 4 - цукор-пісок. Усю масу в змішувачі 9 ретельно

перемішують, нагрівають до температури 90-95°C і витримують при цій температурі до повного розчинення сухого молока.

4. Приготування яєчної суміші: У змішувач 8 з бункера 1 через ваги завантажують сухий яєчний порошок. Потім із бачка 17 подають воду при температурі 40-45°C. Масу в змішувачі 8 підігрівають до температури 60-65°C і перемішують до повного розчинення яєчного порошку.

5. З'єднання та емульгування: Приготована яєчна суміш із змішувача 8 перекачується в змішувач 9, де з'єднується з молочною сумішшю. Додається сіль і лимонна кислота. Уся суміш ретельно перемішується. Поступово, тонкою струйкою, додається олія з бака 14, при цьому суміш постійно перемішується. Завдяки цьому відбувається процес емульгування, в результаті якого утворюється стійка емульсія – майонез.

6. Гомогенізація та охолодження: Готовий майонез із змішувача 9 перекачується в гомогенізатор 11. Тут майонез піддається гомогенізації під високим тиском, що призводить до подрібнення жирових кульок та отримання більш однорідної та ніжної консистенції. Після гомогенізації майонез охолоджується до температури 4-8°C у теплообміннику 12.

7. Фасування та зберігання: Охолодження майонез з теплообмінника 12 подається на автомат-наповнювач 21, де фасується у банки чи інші ємності. Закупорені ємності з майонезом маркуються етикетувальним апаратом 23 і укладаються на піддоні або коробки укладачем 24. Готовий продукт зберігається у холодильних камерах за температури 4-8°C.

Готовий майонез проходить через теплообмінник, де швидко охолоджується до температури 4-8°C. Це зупиняє процес емульгування, запобігає розшаруванню майонезу і гарантує його мікробіологічну безпеку. Після охолодження майонез подається у фасувальні машини, де розфасовується в споживчу тару (пляшки, туби, пакети) у відповідності до заданих обсягів.

## 2. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

В ході глибокого аналізу технологічного процесу виробництва майонезу було визначено низку критичних параметрів, які суттєво впливають на його перебіг.

Для зручності представлення інформація систематизована у вигляді таблиці.

Таблиця 1 - Перелік параметрів технологічного процесу виробництва майонезу

Параметр	Позиція технологічної схеми	Функція	Відхилення	Значення	Min	Max
Кількість яєчного порошку	Бункер для яєчного порошку	Дозування	5%	30 г	25 г	35 г
Кількість гірчичного порошку	Малий змішувач 1	Змішування	5%	31 г	28 г	34 г
Кількість сухого молока	Малий змішувач 1	Змішування	5%	32 г	29 г	35 г
Кількість цукру	Малий змішувач 1	Змішування	5%	33 г	30г	36 г
Кількість олії	Ємність для масла	Дозування	5%	35 л	32 л	38 л
Кількість оцетного розчину	Бачок для оцетного розчину	Дозування	5%	36 л	33 л	39 л
Концентрація оцтової кислоти	Бачок для оцетного розчину	Регулювання	5%	8%	7%	9%
Температура суміші	Малий змішувач 2	Змішування	5%	20°C	18° С	22° С
Температура гомогенізації	Гомогенізатор	Подрібнення	5%	60°C	55° С	65° С
Температура охолодження	Теплообмінник	Охолодження	5%	4°C	2°C	6°C
Кількість готового майонезу	Вихід з технологічної лінії	Фасування	5%	100 кг	95 кг	105 кг

На основі інформації з Таблиці 1 та розділу 1, необхідно визначити та використовувати відповідні канали регулювання, адміністрування та управління.

### 3.1 Канали контролю і управління

#### 3.1.1 Кількість яєчного порошку, що поступає до бункера

Для запобігання переповненню бункера яєчного порошку встановлюється датчик витрати в трубопроводі подачі яєчного порошку. Датчик надсилає сигнал до системи керування. Система керування регулює швидкість подачі яєчного порошку за допомогою частотного перетворювача, який змінює частоту обертання двигуна насоса.

#### 3.1.2 Кількість гірчичного порошку, що подається до малого змішувача 1

Для забезпечення точного дозування гірчичного порошку відповідно до рецептури використовується автоматичний дозатор з датчиком ваги. Датчик ваги вимірює кількість гірчичного порошку, що подається до малого змішувача 1. Дозатор автоматично регулює подачу порошку для досягнення заданої кількості.

### **3.1.3 Кількість сухого молока, що подається до малого змішувача 1**

Для забезпечення точного дозування сухого молока відповідно до рецептури, застосовується використання автоматичного дозатора з датчиком ваги. Датчик ваги вимірює кількість сухого молока, що подається до малого змішувача 1. Дозатор автоматично регулює подачу порошку для досягнення заданої кількості.

### **3.1.4 Кількість цукру, що подається до малого змішувача 1**

Для забезпечення точного дозування цукру відповідно до рецептури використовується автоматичний дозатор з датчиком ваги. Датчик ваги вимірює кількість цукру, що подається до малого змішувача 1. Дозатор автоматично регулює подачу цукру для досягнення заданої кількості.

### **3.1.5 Кількість олії, що подається до ємності для масла**

Для забезпечення точного дозування олії відповідно до рецептури використовується автоматичний дозатор з датчиком потоку. Датчик потоку вимірює кількість олії, що подається до ємності для масла. Дозатор автоматично регулює подачу олії для досягнення заданої кількості.

### **3.1.6 Кількість оцетного розчину, що подається до малого змішувача 2**

Для забезпечення точного дозування оцетного розчину відповідно до рецептури застосовується використання автоматичного дозатора з датчиком потоку. Датчик потоку вимірює кількість оцетного розчину, що подається до малого змішувача 2. Дозатор автоматично регулює подачу оцетного розчину для досягнення заданої кількості.

### **3.1.7 Концентрація оцтової кислоти в оцтовому розчині**

Для забезпечення необхідної концентрації оцтової кислоти в оцтовому розчині береться в використання датчик концентрації, який вимірює концентрацію оцтової кислоти в оцтовому розчині. Датчик надсилає сигнал до системи керування. Система керування автоматично регулює подачу води або оцтової кислоти для досягнення заданої концентрації.

### **3.1.8 Температура гомогенізації**

Для забезпечення оптимальної температури для гомогенізації суміші потрібне використання датчика температури, який вимірює температуру суміші перед гомогенізатором. Датчик надсилає сигнал до системи керування. Система керування

автоматично регулює подачу гарячої або холодної води до теплообмінника, щоб досягти заданої температури.

### 3.1.9 Температура охолодження

Для забезпечення швидкого охолодження майонезу до необхідної температури потрубно встановлення датчика температури, який вимірює температуру майонезу на виході з теплообмінника. Датчик надсилає сигнал до системи керування. Система керування автоматично регулює подачу холодної води до теплообмінника, щоб досягти заданої температури.

### 3.1.10 Рівень у приймальному резервуарі готового майонезу

Для запобігання переповнення резервуара готовим майонезом використано датчик рівня, який вимірює рівень майонезу в резервуарі. Датчик надсилає сигнал до системи керування. Система керування автоматично зупиняє подачу майонезу до резервуара, коли він досягає заданого рівня.

### 3.1.11 Швидкість фасування

Для забезпечення задану швидкості фасування майонезу використовується датчик швидкості, який вимірює швидкість руху конвеєра фасувальної машини. Датчик надсилає сигнал до системи керування. Система керування автоматично регулює швидкість конвеєра, щоб досягти заданої швидкості фасування.

## 3.2 Контури управління

Після аналізу технологічного процесу, його основних етапів і фізичних процесів, можна розробити контури контролю, регулювання та управління.

### 3.2.1 Контур регулювання витрати олії

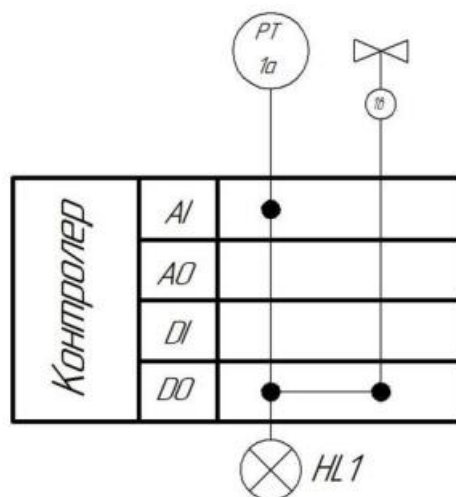


Рисунок 2.1 – Контур регулювання витрати олії

У цьому контурі використовується:

- Розходомір олії: Вимірює об'ємний розхід олії, що подається до змішувача.



- Контролер: Порівнює задане значення витрати з вимірним значенням і генерує сигнал керування.
- Частотний перетворювач: Регулює швидкість обертання насоса олії на основі сигналу керування від контролера.

Мета: Забезпечити точне дозування олії відповідно до рецептури.

### 3.2.2 Контур регулювання витрати оцетного розчину

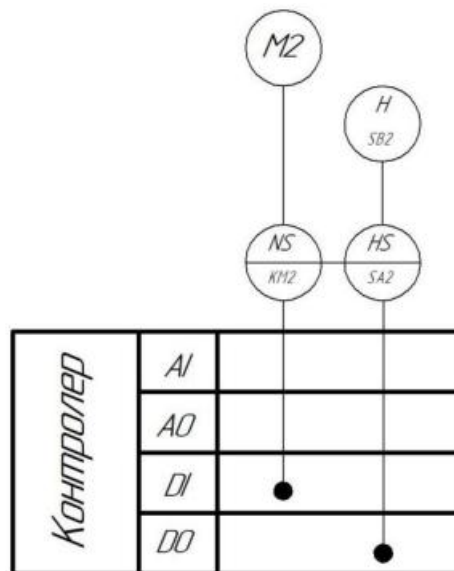


Рисунок 2.2 – Контур регулювання витрати оцетного розчину

У цьому контурі використовується:

- Розходомір оцетного розчину: Вимірює об'ємний розхід оцетного розчину, що подається до змішувача.
- Контролер: Порівнює задане значення витрати з вимірним значенням і генерує сигнал керування.
- Частотний перетворювач: Регулює швидкість обертання насоса оцетного розчину на основі сигналу керування від контролера.

Мета: Забезпечити точне дозування оцетного розчину відповідно до рецептури.

### 3.2.3 Контур регулювання температури

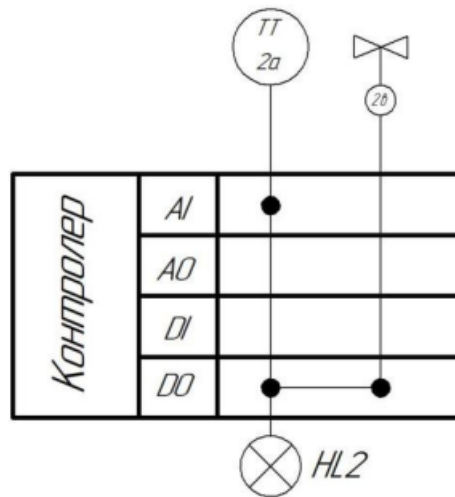


Рисунок 2.3 – Контур регулювання температури

У цьому контурі використовується:

- Датчик температури: Вимірює температуру суміші в змішувачі.
- Контролер: Порівнює задане значення температури з вимірним значенням і генерує сигнал керування.
- Клапан регулювання: Регулює подачу гарячої або холодної води до теплообмінника на основі сигналу керування від контролера.

Мета: Забезпечити оптимальну температуру для змішування інгредієнтів.

### 3.2.4 Контур регулювання рівня

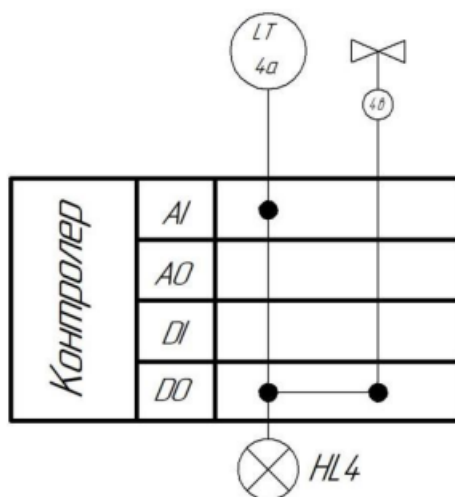


Рисунок 2.4 – Контур регулювання рівня

У цьому контурі використовується:

- Датчик рівня: Вимірює рівень майонезу в приймальному резервуарі.

- Контролер: Порівнює задане значення рівня з вимірним значенням і генерує сигнал керування.
- Клапан: Відкриває або закриває подачу майонезу до резервуара на основі сигналу керування від контролера.

Мета: Запобігти переповненню резервуара готовим майонезом.

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

Для автоматизації процесу виробництва майонезу також доцільно використовувати централізовану систему контролю та управління. Ця система дозволить:

- Знизити вплив людського фактора на якість продукції.
- Підвищити продуктивність праці.
- Зменшити втрати сировини та енергії.
- Забезпечити безпечні умови праці.

При виборі технічних засобів автоматизації для лінії виробництва майонезу слід керуватися такими критеріями:

- Надійність: Обладнання повинне бути стійким до впливів навколишнього середовища та витримувати значні навантаження.
- Уніфікація: Використання стандартних модулів та компонентів дозволить спростити обслуговування та ремонт системи.
- Точність: Датчики та контролери повинні забезпечувати точне вимірювання та регулювання параметрів технологічного процесу.
- Простота експлуатації: Система повинна бути зручною у використанні для персоналу без спеціальної підготовки.

Важливими елементами системи автоматизації лінії виробництва майонезу є:

- Датчики: для вимірювання температури, тиску, витрати, рівня, концентрації та інших параметрів технологічного процесу.
- Контролери: для регулювання параметрів технологічного процесу відповідно до заданих значень.
- Прилади індикації та реєстрації: для відображення інформації про стан технологічного процесу та його параметри.
- Активатори: для виконання виконавчих дій, таких як вмикання та вимикання насосів, засувки, нагрівачів та інших пристроїв.
- Програмне забезпечення: для управління системою автоматизації та візуалізації технологічного процесу.

Використання сучасних технічних засобів автоматизації дозволить створити ефективну та надійну систему управління технологічною лінією виробництва майонезу, що призведе до значного покращення якості продукції, зниження витрат та підвищення продуктивності.

### **3.1 Вибір датчиків**

Для впровадження контурів регулювання, контролю та керування на лінії виробництва майонезу, необхідні датчики, які вимірюють витрату рідких продуктів, вагу сипучих та в'язких речовин, концентрацію рівень та температуру.

#### **3.1.1 Вибір датчиків витрати:**

Принципи роботи витратомірів ґрунтуються на різних фізичних явищах, таких як механічна дія, хвильові процеси, маркування та закони електромагнітної індукції. Використання електромагнітних витратомірів у системах автоматичного керування харчовою промисловістю показало стабільно високі результати [8]. Тому зосередимо увагу саме на цьому типі витратомірів.

**Витратомір Siemens SITrans F M MAG 5100** може бути чудовим вибором для технологічної лінії виробництва майонезу завдяки своїм численним перевагам:

Універсальність:

- Придатний для вимірювання різних рідин, включаючи в'язкі та з домішками, як інгредієнти майонезу (оля, оцет, вода).
- Може використовуватися в різних системах автоматизації та керування, що робить його сумісним з існуючою інфраструктурою.

Висока точність:

- Забезпечує стабільні та відтворювані вимірювання, гарантуючи точне дозування інгредієнтів та контроль якості продукції.

Надійність:

- Стійкий до агресивних середовищ та важких умов експлуатації, що робить його придатним для використання в харчовій промисловості.
- Має гальванічно розв'язані виходи, що захищає від електромагнітних перешкод.
- Включає систему самодіагностики для виявлення та попередження несправностей.

Зручність:

- Компактний дизайн та простий монтаж.
- Зручна система індикації з рідкокристалічним дисплеєм.

- Різні варіанти виведення інформації (імпульси, логічні сигнали, послідовний інтерфейс, аналоговий сигнал).

Додаткові можливості:

- Функція дозування та контроль спустошення трубопроводу, що може бути корисною для точного дозування інгредієнтів та запобігання залишкам продукту в трубах.
- Можливість виготовлення фланців і захисних кілець з нержавіючої сталі (за замовленням) для додаткової стійкості до корозії.
- Використання різних матеріалів для електродів і футерування для адаптації до специфічних умов роботи.

Важливо зазначити, що перед вибором витратоміра Siemens SITrans F M MAG 5100 для лінії виробництва майонезу, необхідно врахувати:

- Діапазон вимірювання: Переконайтеся, що діапазон вимірювання витратоміра відповідає діапазону витрат, що очікуються на вашій лінії.
- В'язкість рідини: Виберіть витратомір з відповідними характеристиками для роботи з в'язкими рідинами, якщо це необхідно.
- Тип підключення: Виберіть витратомір з відповідним типом підключення до вашої системи автоматизації.
- Матеріали: Переконайтеся, що матеріали витратоміра сумісні з рідинами, що використовуються на вашій лінії.



Рисунок 3.1 – Електромагнітний витратомір Siemens SITrans F M MAG 5100  
**Електромагнітний витратомір MFM-7000**



Рисунок 3.2 – Електромагнітний витратомір MFM-7000

Електромагнітний витратомір Vermad – це високоточний пристрій для вимірювання витрати рідини, який може живитися від мережі або акумулятора. Цей витратомір ідеально підходить для використання в районних вузлах обліку, вимірювання водозабору, передачі питної води, зрошення та інших застосувань. Він відрізняється від інших лічильників води тим, що не потребує технічного обслуговування, і може бути виконаний як у локальному, так і у винесеному виконанні. Витратомір Vermad може бути встановлений практично в будь-якому місці з мінімальними вимогами до прямих ділянок на вході та виході. Він також має можливість встановлення датчиків тиску і температури та вбудований модем GSM/GPRS, що робить його ідеальним для виявлення витоків і управління тиском. Завдяки високоміцній конструкції, витратомір можна встановлювати під землею або використовувати в затоплених місцях.

Переваги:

Точність вимірювання до 0,2%

Відсутність рухомих деталей

Збереження даних

Віддалене управління

Двонаправлене вимірювання

Внутрішні частини захищені двокомпонентною смолою для підвищеного захисту від зовнішніх впливів

Принцип роботи:

Робота фланцевих витратомірів цієї серії заснована на принципі Фарадея, згідно з яким провідник, що перетинає магнітне поле, генерує електричний потенціал, перпендикулярний цьому полю. У верхній і нижній частині первинного перетворювача

встановлено дві індуктивні котушки, що створюють електромагнітне поле. Коли вимірюване середовище проходить через це поле, виникає різниця потенціалів, пропорційна швидкості потоку. Для вимірювання такого потенціалу при дуже низьких значеннях внутрішня частина первинного перетворювача електрично ізольована, таким чином робоча рідина не контактує ні з матеріалом перетворювача, ні з матеріалом фланців.

Витратомір має ступінь захисту IP68.

### **Витратомір MAGFLO MAG 1100 Food**

Електромагнітний витратомір MAGFLO MAG 1100 Food (рис.3.3). Витратомір зазвичай оснащений двома токовими виходами в діапазоні 4...20 мА. Ці виходи дозволяють передавати сигнал про вимірюваний об'ємний розхід робочої речовини до системи контролю та регулювання [12].



Рис. 3.3 – Витратомір MAGFLO MAG 1100 Food

Вимірювальний перетворювач SITRANS TK-1 використовується в якості перетворювача частоти для харчового витратоміра MAGFLO MAG1100. Можна використовувати інший перетворювач частоти, що підтримує протоколи зв'язку, сумісні з інтерфейсом витратоміра.

Функціональна схема системи управління виробничим процесом, розроблена в бакалаврській кваліфікаційній роботі, показує основні компоненти системи управління та зв'язку між ними.

Контролер включає в себе модуль центрального процесора, модуль зв'язку і програмування, модуль живлення, 4 модуля цифрових входів, 2 модуля цифрових виходів, 4 модуля аналогових входів, 2 модуля аналогових виходів, всі ці модулі в контролері підключені до внутрішньої системи. Він підключений шиною.

Крім основного блоку, на структурній схемі показаний допоміжний блок. Перетворювач інтерфейсу k8232 / K8485 k8485 в кількості 1 штуки, необхідний для передачі інформації на відстань до 2 км по мережі обміну даними, для k8232 максимальна



відстань стабільно переданого сигналу обмежена 10 метрами. Це підходить не для всіх майстерень. Графічний сенсорний термінал є основним органом управління в системі, на ньому відображається вся інформація, і система може бути переналаштована на інший тип. Для автоматичного складання звітів про роботу системи і друку за допомогою принтера необхідний комп'ютер вищого рівня.

Для досягнення мети управління (підтримки якості цільового продукту на певному рівні) необхідно налаштувати деякі параметри. Вся система управління виробництва майонезу вбудована в обладнання SIEMENS, включаючи низькорівневу.

Виберемо витратомір MAGFLO MAG 1100 Food, так як він розрахований на використання в харчовій промисловості, і відповідає поставленому завданню.

### **3.1.2 Вибір датчиків рівня**

В наш час є багато видів датчиків для вимірювання рівня:

- поплавкові;
- ємнісні;
- гідростатичні;
- буйкові;
- звукові;
- електромагнітні.

Безконтактні методи вимірювання зазвичай використовуються у виняткових випадках і не підходять для вирішення наших завдань.

Для нашої лінії з виробництва майонезу оберемо ультразвуковий метод вимірювання рівня рівнемірами "зонд" (рис. 3.4) через його численні переваги. Цей датчик забезпечує безконтактне вимірювання рівня, що важливо для підтримки гігієни і запобігання забруднення при виробництві харчових продуктів. Крім того, ультразвуковий рівнемір "Зонд" володіє високою точністю і надійністю, що дозволяє отримувати стабільні і точні дані про рівень продукту в резервуарах і інших ємностях [12].

Для вимірювання рівня в ми використовуємо компактний пристрій безперервного вимірювання "tube" - компактний ультразвуковий рівнемір для невеликого діапазону вимірювань, що ідеально підходить для рідин і суспензій у відкритих і закритих ємностях. Завдяки датчикам ETRF або RVDFa прилад може використовуватися в різних областях. Тогобе відрізняється простотою установки і обслуговування, а також швидкої розбиранням для очищення. Надійність вимірювання рівня заснована на алгоритмах обробки сигналів Sonic Entelligence. Фільтр відокремлює відлуння від рівня навколишнього середовища і від помилкових відображень, що виникають через акустичного або електричного шуму. Час проходження ультразвукового імпульсу від

матеріалу і назад регулюється температурною компенсацією. Для індикації, аналогового виходу і активації реле воно перетворюється в значення відстані.

Переваги:

- простий монтаж, програмування і обслуговування;
- точність і надійність;
- є сенсори з ETFE або PVDFa;
- гігієнічне виконання;
- обробка сигналу за допомогою запатентованої програми Sonic Intelligence®;
- вбудована температурна компенсація.



Рис. 3.4 – Ультразвуковий рівнемір «The Probe»

Діапазон вимірювання 0,25 до 5 м. Вихідний сигнал - 4 ... 20 мА, що дозволяє не використовувати уніфікований перетворювач.

### 3.1.3 Вибір датчику вологості

Розглянемо потоковий мікрохвильовий вологомір MICRORADAR – 114С через його численні переваги, включаючи високу точність, швидкість вимірювання та надійність в умовах харчового виробництва. Цей вологомір також легко інтегрується в наші автоматизовані системи та має низькі вимоги до обслуговування.

#### Інші типи датчиків вологості, які ми могли використати

1. **Ємнісні датчики вологості:** Вони вимірюють вологість на основі змін ємності конденсатора, що залежить від вологості матеріалу.
2. **Резистивні датчики вологості:** Ці датчики використовують зміни електричного опору матеріалу при зміні його вологості.

3. **Оптичні датчики вологості:** Використовують зміну оптичних властивостей матеріалу під впливом вологості.
4. **Психрометричні датчики вологості:** Вимірюють вологість на основі різниці температур між мокрим і сухим термометрами.
5. **Інфрачервоні датчики вологості:** Використовують поглинання інфрачервоного світла для визначення вмісту води в матеріалі.

Вибір саме потокового мікрохвильового вологоміра MICRORADAR – 114C був зумовлений його відповідністю усім нашим вимогам, має найбільш високу точність і широкий діапазон вимірювання.

Потоковий НВЧ - вологомір MICRORADAR-114C (представлений на рис. 3.5) призначений для безперервного вимірювання вологості/ щільності бетонних розчинів і вологості інших рідких, сипучих і пластичних матеріалів в мішалках, ємностях, бункерах, шнеках і трубопроводах, в умовах абразивних і агресивних середовищ. Прилад виконаний зі стійких до стирання і корозії матеріалів, має шину зв'язку з комп'ютером і управляється мікропроцесором. Простота градування та обслуговування забезпечується зручним інтерфейсом. Принцип дії вологоміра заснований на вимірюванні величини поглинання НВЧ енергії вологим матеріалом і перетворення цієї величини в цифровий код, відповідний вологості матеріалу. Вологомір забезпечує автоматичну корекцію результатів вимірювання при зміні температури матеріалу, має струмовий вихід і послідовний канал зв'язку з EOM RS-485 [19].

Сигнал сенсора надходить в мікропроцесорний блок обробки, в якому відбувається обчислення вологості. Величина вологості показується на індикаторному табло мікропроцесорного блоку і перетворюється в аналогові виходи 4-20 мА і 0-5 В. По каналу RS485 вологість, температура і сигнали сенсора можуть передаватися в комп'ютер. У комплект поставки приладу входить програма накопичення та відображення вологості в реальному масштабі часу, що дозволяє записувати на комп'ютер, спостерігати, зберігати і друкувати інформацію про вологість за будь-який період часу. Точність вимірювання вологості від 0,1 до 1% залежно від діапазону вологості, з урахуванням похибки пробовідбора і похибки вимірювання вологості стандартним методом, наприклад, сушінням в сушильній шафі.



Рис.3.5 – Поточковий НВЧ - вологомір MICRORADAR-114С

З метою регулювання вологості на лінії виробництва майонезу ставимо регулювальний пневматичний клапан, а для підведення до нього уніфікованого пневматичного сигналу необхідно встановити електропневмоперетворювач ЕП3211 з вхідним сигналом (рис. 3.6) - 4 ... 20мА.



Рис. 3.6 – Електропневмоперетворювач ЕП3211

У нашій лінії виробництва майонезу, електропневмоперетворювач ЕП3211 може бути використаний для регулювання пневматичного клапана, який контролює потік опари до тістомісильної машини. Ось як це може відбуватися:

1. Сенсор вологості: Сенсор вологості вимірює рівень вологості в системі. Це може бути електронний датчик, який перетворює вологості в електричний сигнал.
2. Контролер або ПЛК: Електричний сигнал з сенсора вологості подається на вхід контролера або програмованого логічного контролера (ПЛК). Цей контролер виконує розрахунки і приймає рішення щодо регулювання потоку опари.
3. Електропневмоперетворювач: ПЛК видає сигнал на Електропневмоперетворювач ЕП3211 відповідно до потреб системи. Цей сигнал може бути наприклад струмовим сигналом у межах 4-20 мА.
4. Пневматичний клапан: Електропневмоперетворювач ЕП3211 контролює пневматичний клапан, який регулює потік опари до тістомісильної машини. Зазвичай, він відкривається або закривається в залежності від сигналу, що надходить від ЕП3211.
5. Регулювання потоку опари: Відкриваючи або закриваючи пневматичний клапан, ЕП3211 регулює потік опари до тістомісильної машини, забезпечуючи оптимальний рівень вологості в тісті.

6. Зворотній зв'язок: Система може також включати зворотний зв'язок для контролю і підтвердження рівня вологості в системі, що дозволяє вчасно реагувати на зміни.

Отже, електропневмоперетворювач ЕП3211 використовується для автоматичного регулювання потоку опари в системі виробництва здобних сухарів на основі вимірів вологості та управління сигналами контролера або ПЛК.

### **3.1.4 Вибір дозаторів**

При виборі дозатора для нашої технологічної лінії ми зупинилися на високоточному ваговому дозаторі для малої подачі MILLTRONICS Weighfeeder 400 фірми Siemens. Основні причини цього вибору:

- Висока точність: Забезпечує точність дозування з похибкою  $\pm 0,25 \dots 0,5\%$ , що критично важливо для забезпечення стабільної якості продукту.
- Безперервна подача: Підходить для безперервного процесу виробництва, що важливо для нашої лінії.
- Запобігання відкладенням матеріалу: Конструкція дозатора запобігає утворенню відкладень, що забезпечує стабільність роботи та знижує потребу в обслуговуванні.
- Простота обслуговування: Легкий демонтаж стрічки для заміни або чищення, що спрощує технічне обслуговування та знижує час простоїв.
- Швидкий монтаж: Дозволяє оперативно інтегрувати дозатор у виробничу лінію, знижуючи витрати на встановлення.

Таким чином, вибір вагового дозатора MILLTRONICS Weighfeeder 400 фірми Siemens є оптимальним рішенням для нашої виробничої лінії, забезпечуючи високу точність, надійність та ефективність роботи.

За допомогою автоматичного дозатора безперервної дії відбувається подача цукру, яєчного порошку, олії, оцтового розчину. Для цих процесів найкраще підходить високоточний дозатор з низькою витратою MILLTRONICS Weighfeeder 400 від Siemens.. Він призначений для зважування невеликих кількостей матеріалу з високою точністю. Запобігає утворенню відкладень на матеріалі. Стандартне і гігієнічне виконання. Проста розбирання стрічки для заміни або очищення. Швидка установка оригінального пристрою для натягу стрічки [12].

Особливості:

- витрата: 0,45 ... 9 т / год
- швидкість стрічки: 0,005 ... 0,2 м /с.
- ширина стрічки (номін.): 300 мм
- довжина завантаження / розвантаження матеріалу: 838 мм
- точність:  $\pm 0,25 \dots 0,5\%$

- діапазон: 10: 1 (на навантаження), 30: 1 (на швидкість)
- вологовимірювальний елемент: ваговимірювальна платформа, окрема ваговимірювальна комірка
- опції: спеціальні стрічки
- двигун: 0,19 кВт АС DC або двигуни і редукторний двигун з прямим зчепленням, монтаж на вал або через фланець



Рис. 3.7. Високоточний ваговий дозатор для малої подачі MILLTRONICS Weighfeeder 400

### **3.1.5 Вибір датчиків температури**

Вибір датчиків температури включає такі засоби вимірювання:

- Розширювальні термометри;
- Опорові термометри;
- Термоелектричні термометри;
- Пірометри;
- Манометричні термометри.

Термометри для вимірювання набухання і тиску мають обмежений діапазон вимірювань, а також ускладнюють передачу сигналу від вимірювальної станції до блоку управління. Пірометри зазвичай використовуються для вимірювання високих температур, але їх температуру неможливо регулювати.

Для контролю температури борошномельних дозаторів і тістомісильних машин пропонується використовувати прилади серії SITRANS t-ввинчуєміє термометри опору низького тиску з сполучними головками без консолі.



Рис. 3.8 – Термометр серії SITRANS T з різними типами кріплення

Термометр опору низькому тиску з приєднувальною головкою (без консолі) підходить для діапазону температур від  $-50$  до  $+400^{\circ}\text{C}$  і також поставляється з вбудованим датчиком температури. У цьому датчику вимірювальний резистор укладений в керамічний корпус.

Рекомендується вибирати термометр опору з 1 вимірювальним опором PH00. У цьому випадку він підключається до трьохпроводної лінії.



Рис. 3.9 - Вимірювальний резистор PH00

На даному виробництві не пред'являються суворі вимоги з вибухобезпеки, тому використовуваний термометр опору має вимірювальну вставку без вибухозахисту, а також має висоту установки 360 мм.

Перетворюючи сигнал з термометра опору в уніфікований сигнал  $4\text{...}20$  мА, ми використовуємо вимірювальний перетворювач для установки на головку датчика "SITRANS TK-1", завдяки відмові від гальванічної розв'язки і універсальному підключенню датчика, доступна недорога альтернатива.



Рис. 3.10 – Вимірювальний перетворювач SITRANS TK-L

Вимірювальні сигнали, що надходять від PH00 (двопровідні, трипровідні та чотирипровідні ланцюги), посилюються на вхідному каскаді. Напруга, пропорційна вхідному значенню, перетворюється в цифровий сигнал за допомогою аналого-цифрового перетворювача. У мікропроцесорах вони вказані відповідно до характеристик датчика і іншими параметрами (загасання, опір лінії і т.д.). Отриманий таким чином сигнал перетворюється цифроаналоговим перетворювачем в постійний струм напругою 4-20 мА. Джерело живлення знаходиться в вихідній ланцюга.

Для контролю температури пропонується використовувати прилади серії SITRANS TK-L.

Для ємнісних і трубопровідних установок передбачені термометри опору для вимірювання температури відповідно до гігієнічних вимог. Технологічний процес має спільне підключення. Термометр опору також може бути оснащений вбудованим вимірювальним перетворювачем. У цьому випадку є набір вимірювальних перетворювачів з головками різної конструкції[19].

Для вимірювального перетворювача та джерела живлення використовується той самий пристрій, що і термометр опору, описаний вище.

В якості первинного перетворювача для вимірювання і регулювання температури в пекарній камері духовки, а також для регулювання температури газу "з печі" ми використовуємо таблицю 3.1.

Для контролю температури вибираємо одну і ту ж термопару.



Таблиця 3.1 - Характеристики терморпарі ТХК - 0515

Матеріали термоелектродів	Сплав хромель - копель
границі вимірювання температури, °С	0...600
область використання	пара, газоподібні і рідкі хімічно неагресивні середовища
довжина робочої частини, мм	320
максимальна термо - ЕРС, мВ	45

В якості приводу для зміни кількості газу, використовується двонаправлений електромагнітний клапан типу VN.

Технічні дані вентилів наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. - Технічні дані вентилів ВН

Вихідний стан	нормально закритий
Виконання клапана	двохпозиційний
Потужність котушки, Вт	80
Напруга живлення, В	220
Частота змінного струму, Гц.	50
Робоча температура, °С	-30...+40
Час відкриття/закриття, с	1
Частота вмикання за годину	1000
Клас герметичності	A

Тому вибір датчика температури ґрунтується на його точності, надійності, здатності працювати в певному температурному діапазоні і відповідності санітарним вимогам, що важливо для виробничого процесу на виробничій лінії.

### 3.2 Вибір та контролера

#### 3.2.1 Вибір блока живлення для контролера

Для забезпечення надійного і стабільного живлення всіх датчиків і уніфікованого перетворювача в нашій автоматизованій системі управління технологічним процесом був обраний модульний блок живлення SITOP modular=24 В/10 А (рис. 3.11). Це джерело живлення підходить для використання в різних галузях промисловості завдяки таким характеристикам, як лінійна або фазна Вхідна напруга в широкому діапазоні допустимих відхилень - ~120/230...500 В [12].



Рис. 3.11 – Модульний блок живлення SITOP modular

Вибір модульного блока живлення SITOP modular = 24В / 10 А для нашої автоматизованої системи базується на кількох ключових факторах:

1. **Надійність:** Блок живлення Siemens є відомим у світі промислових компонентів і відомий своєю надійністю. Він виготовлений відповідно до високих стандартів якості та надійності, що робить його ідеальним вибором для застосування в промислових умовах.
2. **Гнучкість:** Модульна конструкція дозволяє змінювати конфігурацію блоку живлення залежно від потреб системи. Це дозволяє легко розширювати або модернізувати систему в майбутньому, не замінюючи весь блок живлення.
3. **Широкий діапазон вхідної напруги:** Здатність працювати з лінійною або фазною вхідною напругою в діапазоні від ~ 120/230 до 500 В робить цей блок живлення вкрай універсальним і придатним для застосування в різних умовах електромережі.
4. **Потужність і ефективність:** З виходом на 10 А та напругою 24 В цей блок живлення забезпечує достатню потужність для живлення всіх датчиків та перетворювачів у нашій системі. При цьому висока ефективність дозволяє мінімізувати втрати електроенергії.
5. **Сумісність з іншими компонентами:** Блок живлення Siemens ідеально поєднується з іншими компонентами системи, зокрема з контролером Siemens, що спрощує інтеграцію та робить систему більш сумісною та стабільною.

Отже, вибір блока живлення SITOP modular = 24В/10А обґрунтований його надійністю, гнучкістю, широким діапазоном вхідної напруги, потужністю і сумісністю з

іншими компонентами системи, що робить його ідеальним вибором для нашої автоматизованої системи управління.

### 3.2.2 Контролер SIEMENS серії S7-300

Для управління технічним процесом пропонується використовувати мікропроцесорний контролер від SIEMENS. Даний контролер забезпечує високий рівень автоматизації виробничого процесу, зручність обробки інформації і високу надійність системи.

Функціональність автоматизованої системи повинна відповідати наступним вимогам:

- Обробляти великі обсяги інформації.
- Надійна і безперебійна робота.
- Простота в експлуатації і обслуговуванні.

Вихідними даними при виборі контролера є інформаційне навантаження на канал. Загальна інформаційна навантаження приведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Інформаційне навантаження на систему керування

Вид інформаційного сигналу	Кількість сигналів
Аналоговий вхід	8
Аналоговий вихід	2
Дискретний вхід	4
Дискретний вихід	4
Всього:	16

Для вирішення конкретного завдання вибираємо мікропроцесор SIEMENS серії S7-300, а саме 312 модель (рис.3.12). Максимальна кількість каналів вводу-виводу: дискретних-256, аналогових - 64. S7- 312 має робочу пам'ять в об'ємі 32 кбайт, що буде достатньо для даного технологічного процесу [12].

Усі центральні процесори (СПИ) 87-300, характеризуються такими показниками:

- висока швидкодія;
  - завантажувальна пам'ять у вигляді мікрокарти пам'яті ММС ємністю до 8 Мб. (ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебоях в живленні процесора, зберігання архіву проекту з символічною таблицею і коментарі, а також для архівування проміжних даних);
- розвинені комунікаційні можливості;
- робота без буферної батареї.



Рис. 3.12 – Контролер SIEMENS серії S7-300

Необхідно також підібрати сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів, у тому числі і з вбудованими Ехбар'ерами. Підтримуються вітчизняні градування термометрів опору і термопар. Для фіксації підвідних кабелів в сигнальних модулях використовуються фронтальні штекери.

Вибираємо:

- один модуль вводу аналогових сигналів (AI, 8 каналів) 8M 331 з входнім уніфікованим сигналом 4 ... 20 мА;
- один модуль виводу аналогових сигналів (AO, 4 канали) 8M 332 з вихіднім уніфікованим сигналом 4 ... 20 мА;
- один модуль введення дискретних сигналів (DI, 8 каналів) 8M 321 з входом по напрузі = 24В, і з мінусом в загальній точці;
- один модуль виводу дискретних сигналів DO, 8 каналів) 8M 322 з вихіднім сигналом по напрузі = 24В, релейний вихід.

Для фіксації проводів, по яких надходить сигнал до модулів вводу/виводу використовується 2 фронтальних штекера на 20 клем з контактами-засувками і 2 на 40 клем. Для живлення модулів приймаємо блок живлення PS 307 / 5А.



Рис. 3.13 – Блок живлення PS 307/5A

У ситуаціях, коли в процесі виробництва напруга є нестабільним, рекомендується підключати до джерела безперебійного живлення SIEMENS-DC-UPS6A акумуляторний модуль ємністю 12 Ач.

Для живлення контролера ми приймаємо вхідну напругу PS300 / 230 В і вихідну напругу = 24 В, Джерело живлення 5А. комунікаційний процесор для промислового Ethernet CP343-1 Slim 10/100 Мбіт/сек, TCP+UDP, роз'єм RJ-45 для забезпечення зв'язку зі станцією оператора.

Процесор, блок живлення, комунікаційний процесор і всі модулі встановлені на DIN-рейці довжиною 830 мм. обрана довжина DIN-рейки дозволяє розширити асортимент модулів введення-виведення в міру необхідності, що дозволяє розширити можливості при виробництві або усунення неполадок.

### **3.2.3 Конфігурація та обладнання інфраструктури автоматичної системи**

Для розробки логіки технічного процесу використовується інженерний програмний комплекс STEP7v5.4, SCADA-система SIMATIS WinCC V. середовище виконання 6.2 використовує 128 змінних для візуалізації та управління оператором зі станції[22].

Відповідно до рекомендованих системними вимогами до вищевказаного пакету програмного забезпечення, ми пропонуємо промисловий 19-дюймовий КОМП'ЮТЕР для монтажу в стійку в якості системного програмного забезпечення стандарту SIMATIC, цей КОМП'ЮТЕР має наступну конфігурацію:

- Процесор Core 2 Duo E6600 (2,4 ГГц);
- Оперативна пам'ять-двоканальна DDR SDRAM об'ємом 1024 МБ;

- Жорсткий диск - 250 ГБ Serial ATA;
- Відеокарта вбудована в материнську плату;
- Високошвидкісний DVD / CD-RW-16/48; - Вбудований Ethernet 10/100 Мбіт / з (RJ-45);
- Привід гнучких дисків.

Стійкові ПК повністю відповідають спеціальним вимогам промислового застосування:

- Високий ступінь електромагнітної сумісності;
- Відповідність національним та міжнародним стандартам;
- Сумісність з PC99 і оптимізація для додатків Microsoft;
- Безперервна цілодобова робота.

Крім системного блоку, в ньому використовується 19-дюймовий монітор Fujitsu-Siemens P19-3scenicview, клавіатура PS/2tk200usb, USB-миша з адаптером PS/2 і джерело безперебійного живлення IPPON Smart Power Pro1400va.

Операційна система операторської станції-Microsoft Windows7Professional.

SIMATIC WinCC відповідає потребам розробки логіки і візуалізації технологічних процесів. Обрана нами конфігурація промислового комп'ютера відповідає вимогам промислового застосування і забезпечує надійну і безперебійну роботу. Монітори, Клавіатури, Миші та джерела безперебійного живлення підібрані таким чином, щоб забезпечити комфортну та ефективну роботу оператора [13].

В цілому вибрані компоненти відповідають вимогам еталонних умов і забезпечують оптимальне функціонування автоматизованої системи управління технологічним процесом.

В інженерному пакеті SIMATIC WinCC існує система, що дозволяє розробити та повністю запрограмувати систему управління. Інтерфейс програмування контролера в цій системі має вигляд (рис. 3.14)

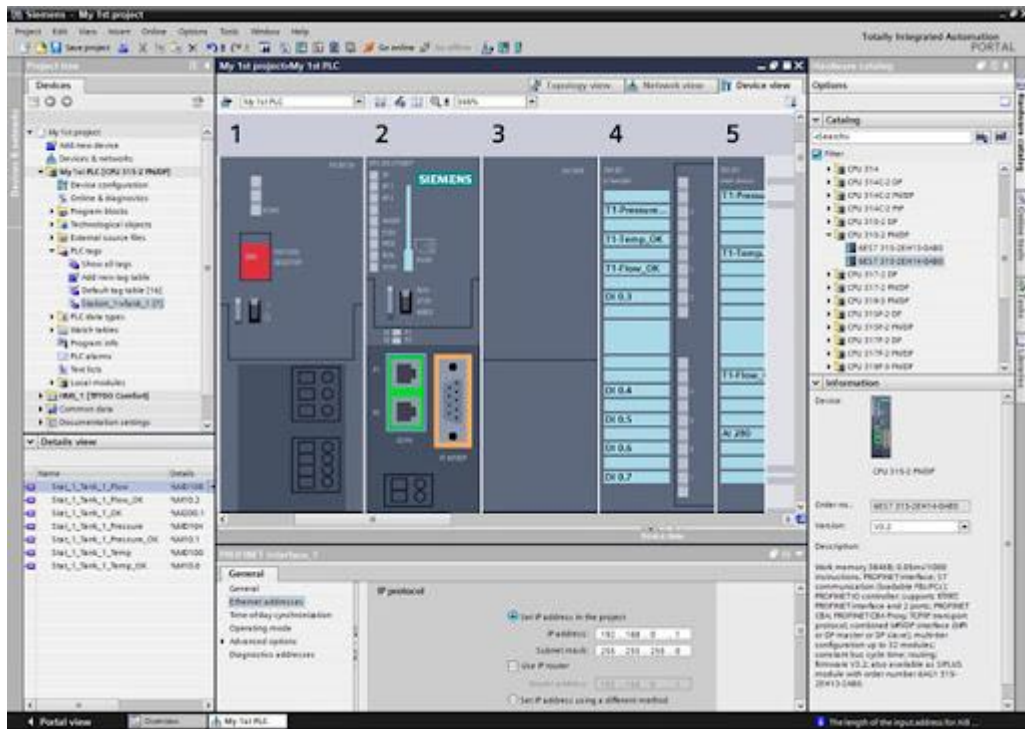


Рисунок 3.14 – Інтерфейс програмування контролера SIEMENS серії S7-300 в SCADA-системі SIMATIC WinCC

Також в SCADA-системі SIMATIC WinCC було розроблено мнемосхему автоматизованого робочого місця оператора, який буде слідкувати та контролювати хід технологічного процесу (рис 3.15).

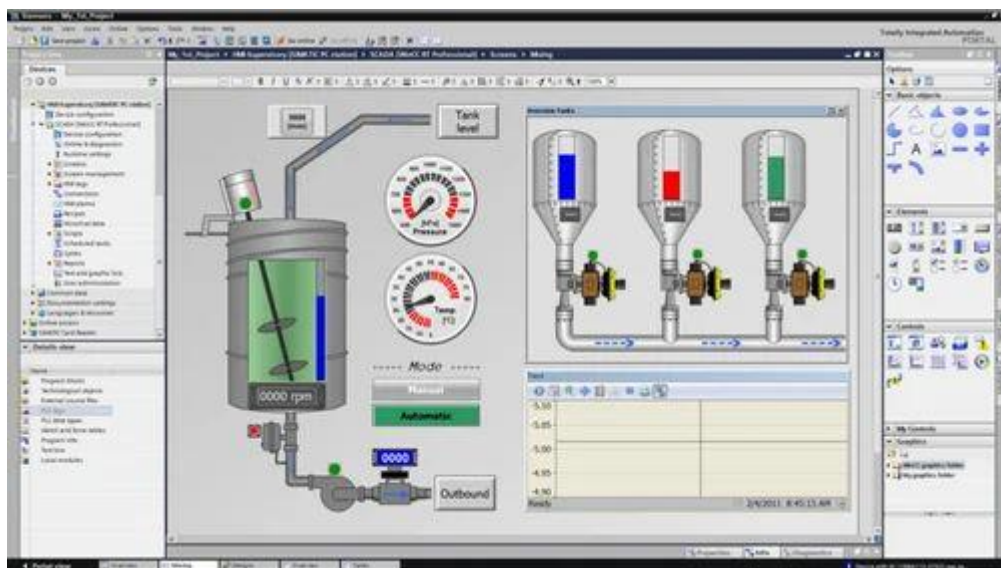


Рисунок 3.14 – Інтерфейс розробки мнемосхеми автоматизованого робочого місця оператора в SCADA-системі SIMATIC WinCC.

### 3.2.4 Розробка алгоритму роботи автоматичної системи

Також розроблено алгоритм роботи мікропроцесорної системи виробництва майонезу, в якому використано наступні основні кроки:

1. Ініціалізація системи: запуск системи та проведення самодіагностики обладнання. Перевірка наявності необхідних інгредієнтів (олія, вода, яйця, оцет, спеції). Встановлення початкових параметрів (температура, тиск, об'єми інгредієнтів).

2. Підготовка сировини: Вимірювання та перевірка якості кожного інгредієнту (датчики якості та складу). Запуск системи дозування для кожного інгредієнту. Автоматичне додавання інгредієнтів у змішувальну ємність згідно з рецептом.

3. Змішування інгредієнтів Запуск змішувача. Контроль швидкості обертання змішувальних лопатей. Моніторинг температури суміші. Автоматичне коригування параметрів змішування для досягнення необхідної консистенції.

4. Емульгування Перевірка готовності суміші до емульгування. Запуск емульгатора. Контроль процесу емульгування (швидкість, температура, час). Перевірка стабільності емульсії.

5. Пастеризація Переведення емульсії до пастеризатора. Нагрівання емульсії до заданої температури для знищення бактерій. Контроль температури та часу пастеризації. Охолодження емульсії після пастеризації.

6. Фасування та пакування Переведення готового майонезу до фасувальної лінії. Автоматичне розливання майонезу по тарі. Контроль об'єму кожної порції. Запечатування тари. Етикетування та пакування.

7. Контроль якості та зберігання Відбір проб для перевірки якості продукції. Автоматичний аналіз якості (консистенція, смак, запах). Збереження даних про виробництво та результати контролю якості. Складування готової продукції на зберігання.

8. Завершення циклу виробництва Очищення обладнання після завершення виробничого циклу. Підготовка системи до наступного виробничого циклу. Збереження всіх виробничих даних у базі даних.

9. Аварійне реагування Виявлення неполадок та аварійних ситуацій (витік, відхилення від заданих параметрів). Автоматичне зупинення процесу та сповіщення оператора. Запуск процедур безпеки для мінімізації втрат та ризиків.

Блок-схема основного алгоритму системи зображено на рисунку 3.15



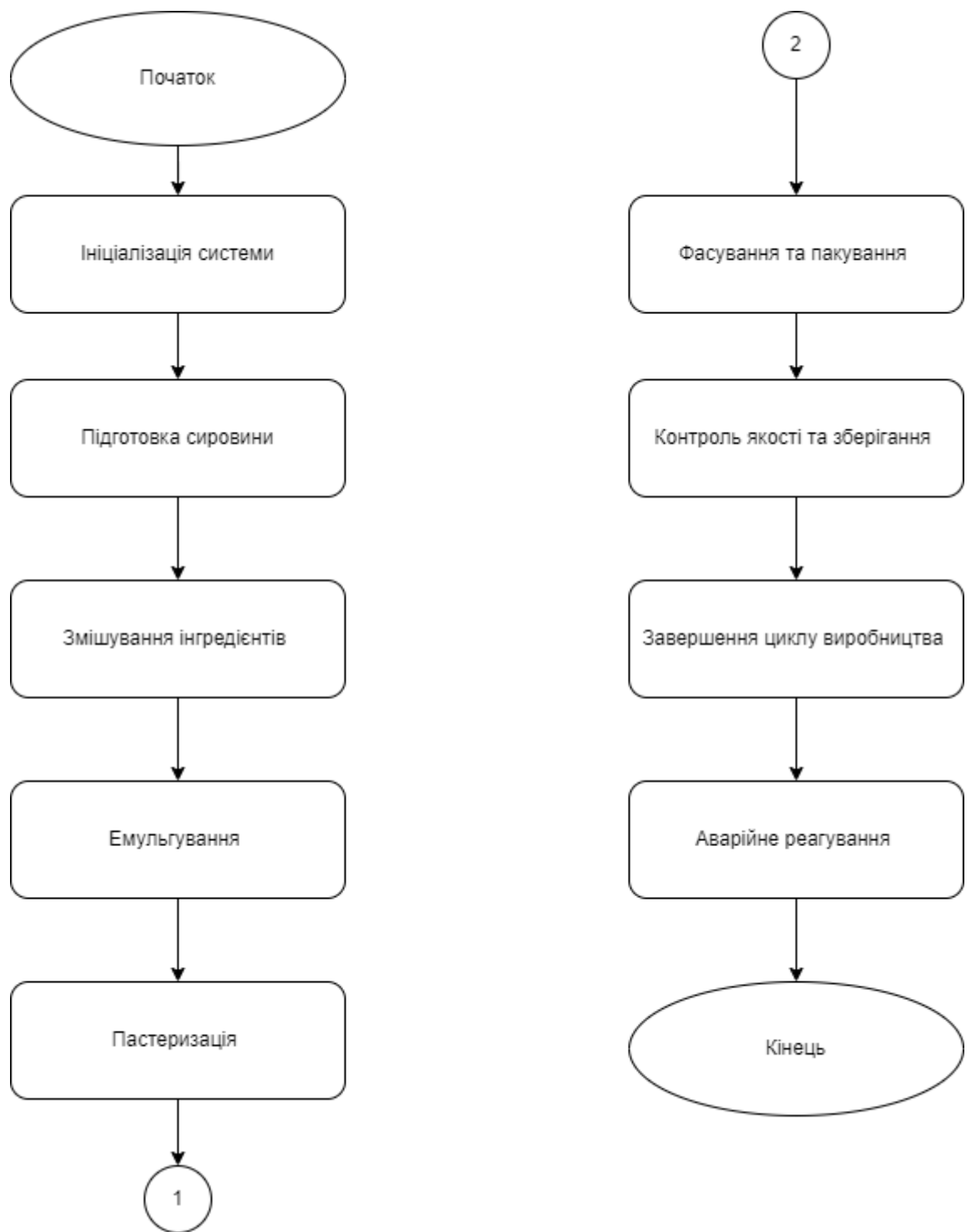


Рисунок 3.14 – Загальний алгоритм роботи системи

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.

### 4.1 Визначення параметру, що має значний вплив на якість.

Температура гомогенізації відіграє критичну роль у визначенні якості кінцевого продукту, впливаючи на такі аспекти:

1. Консистенція та текстура майонезу
  - Температура гомогенізації впливає на в'язкість продукту. Вища температура може знижувати в'язкість, роблячи майонез більш рідким, тоді як нижча температура сприяє отриманню густішої консистенції.
  - Оптимальна температура забезпечує стабільну емульсію, яка не розшаровується з часом.
2. Стабільність емульсії
  - Температура гомогенізації впливає на розмір і рівномірність розподілу жирових крапель у водяній фазі. При правильній температурі жирові краплі утворюють стабільну емульсію, запобігаючи розшаруванню.
  - Занадто висока або низька температура може призвести до розпаду емульсії та погіршення текстури майонезу.
3. Смакові якості
  - Температура гомогенізації може впливати на розподіл смакових добавок та спецій у майонезі. Рівномірне змішування при оптимальній температурі забезпечує однорідний смак продукту.
  - Неправильна температура може викликати нерівномірний розподіл смакових компонентів, що вплине на загальне сприйняття продукту.
4. Мікробіологічна стабільність
  - Температура гомогенізації важлива для зниження ризику мікробіологічного забруднення. Під час процесу нагрівання частина мікроорганізмів може бути знищена, що підвищує безпеку продукту.
  - Недостатнє нагрівання може залишити продукт вразливим до розвитку мікроорганізмів.
5. Колір майонезу
  - Температура гомогенізації може впливати на колір майонезу. При високих температурах можуть відбуватися зміни кольору через вплив на окремі компоненти (наприклад, окислення жирів).
  - Оптимальна температура допомагає зберегти природний колір майонезу без небажаних змін.
6. Тривалість зберігання

- Температура гомогенізації впливає на збереження якості продукту протягом тривалого зберігання. Правильна температура допомагає зберегти стабільність емульсії та інші властивості майонезу, що забезпечує довгий термін придатності.
- Неправильна температура може призвести до швидкого псування продукту.

Оптимальні параметри гомогенізації:

- Температурний діапазон: Зазвичай температура гомогенізації для виробництва майонезу знаходиться в діапазоні від 60°C до 75°C.
- Тривалість процесу: Важливо також враховувати тривалість гомогенізації, щоб забезпечити достатній час для формування стабільної емульсії.

Узгодження цих факторів допоможе досягти високої якості майонезу та забезпечити стабільність виробничого процесу. Тому проведемо аналіз процесу гомогенізації з погляду математичного опису і складемо математичну модель гомогенізатора, для розрахунку параметрів регулятора.

#### 4.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

Аналітичне визначення математичної моделі гомогенізатора передбачає використання фізичних законів для опису процесів, що відбуваються всередині гомогенізатора. Розглянемо основні етапи побудови такої моделі [16].

Тепловий баланс описує надходження, розподіл та втрати тепла в системі. Загальне рівняння теплового балансу можна записати як [1]:

$$Q_{\text{вх}} + Q_{\text{ген}} = Q_{\text{вих}} + Q_{\text{втрат}} \quad (4.1)$$

Де  $Q_{\text{вх}}$  – тепло, що надходить до системи (зовнішнє обігрівання),

$Q_{\text{ген}}$  – тепло, що генерується всередині системи (екзотермічні реакції),

$Q_{\text{вих}}$  – тепло, що виходить із системи (з газоподібними та рідкими продуктами),

$Q_{\text{втрат}}$  – втрати тепла через стінки печі та інші механізми.

Для опису теплового балансу гомогенізатора застосуємо рівняння теплопередачі:

$$m c_p \frac{dT}{dt} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вих}} + Q_{\text{ген}} - Q_{\text{втрат}} \quad (4.2)$$

де  $m$  – маса сировини,

$c_p$  – питома теплоємність сировини,

T - температура всередині гомогенізатора,

t - час.

Масовий баланс описує зміни маси компонентів в системі [17]:

$$\frac{dm_{\text{сировини}}}{dt} = m_{\text{вх}} - m_{\text{вих}} - m_{\text{залишок}} \quad (4.3)$$

де:

$m_{\text{сировини}}$  - маса сировини в гомогенізаторі,

$m_{\text{вх}}$  - маса вхідної сировини,

$m_{\text{вих}}$  - маса вихідних продуктів,

$m_{\text{залишок}}$  - маса залишкових продуктів.

Кінетика хімічних реакцій

Кінетичні рівняння описують швидкість хімічних реакцій, які відбуваються в гомогенізатора [2]:

$$\frac{dC_i}{dt} = k_i \cdot C_i \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (4.4)$$

де:

$C_i$  - концентрація компонента і,

$k_i$  - константа швидкості реакції для компонента і,

$E_a$  - енергія активації реакції,

R - універсальна газова стала,

T - температура реакції.

Гідродинамічні рівняння описують потоки газоподібних продуктів через систему[2]:

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + F \quad (4.5)$$

де:

$\rho$  - густина газу,

$v$  - швидкість потоку газу,

P - тиск,

$\mu$  - в'язкість газу,

F - сила, що діє на газ.

Об'єднуючи всі рівняння, отримуємо повну математичну модель гомогенізатора у вигляді системи рівнянь [2]:

$$\begin{cases} mc_p \frac{dT}{dt} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вих}} + Q_{\text{ген}} - Q_{\text{втр}} \\ \frac{dm_{\text{сировини}}}{dt} = m_{\text{вх}} - m_{\text{вих}} - m_{\text{залишок}} \\ \frac{dC_i}{dt} = k_i \cdot C_i \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \\ \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) v \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + F \end{cases} \quad (4.6)$$

Ця модель дозволяє описати динаміку процесів у гомогенізатора і може бути використана для подальшого аналізу та оптимізації системи управління.

Проведемо структурну ідентифікацію об'єкта (рис 4.1).

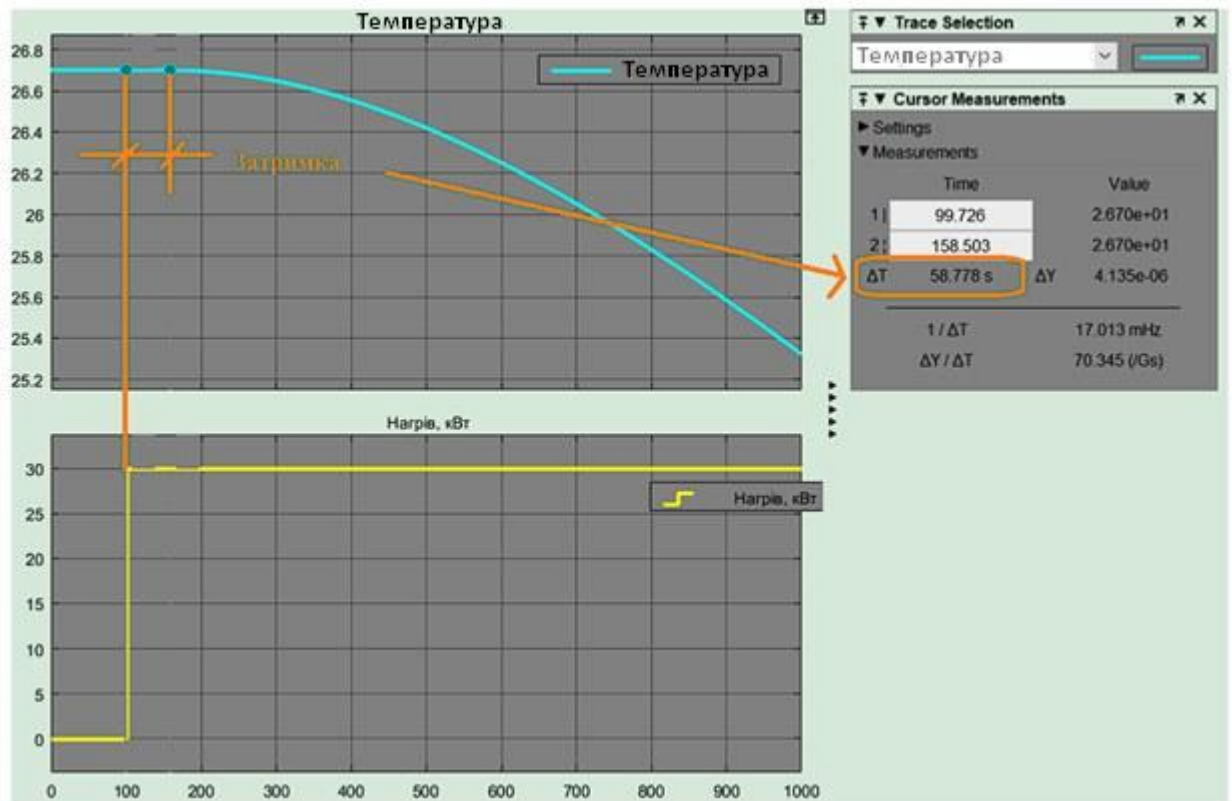


Рисунок 4.1 – Аналіз динамічної характеристики

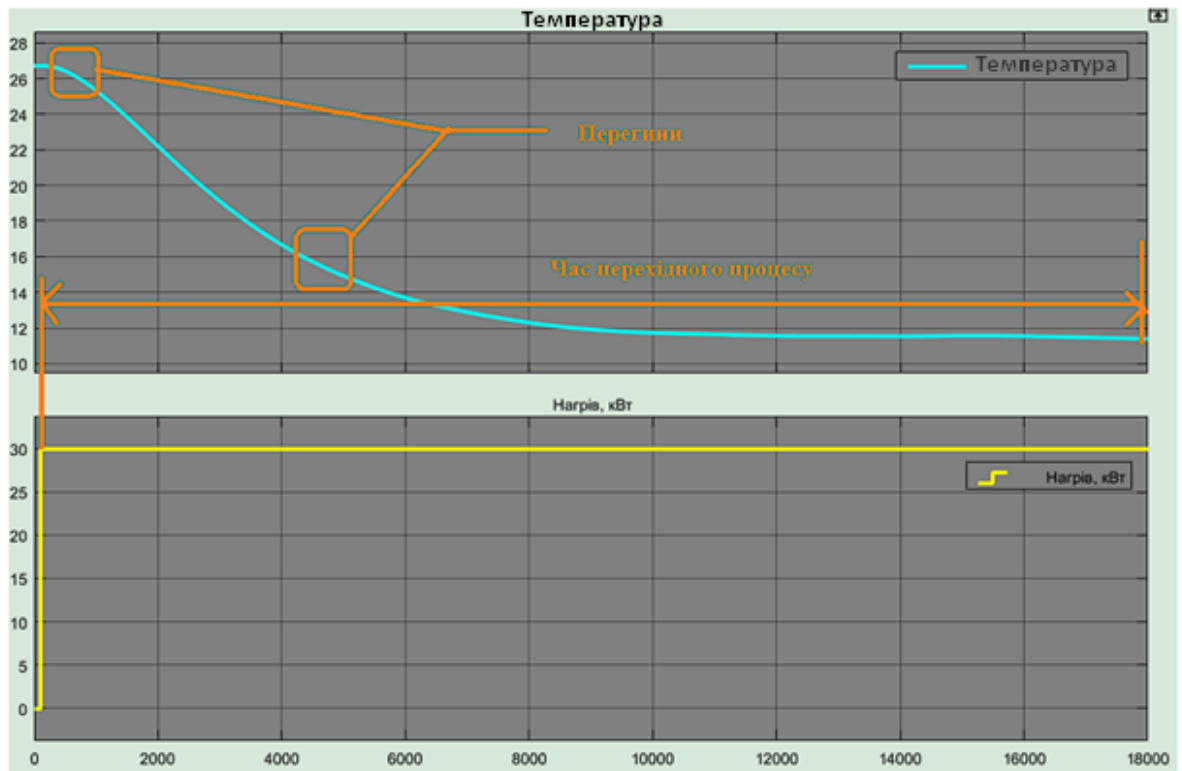


Рисунок 4.1 – Аналіз динамічної характеристики

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (4.7)$$

де  $W(s)$  – передавальна функція моделі об'єкта керування;  $s$  – оператор диференціювання;  $k$  – коефіцієнт посилення;  $\tau$  – час запізнення, с;  $T_1, T_2$  – постійні часу, с.

Параметричне визначення характеристик проводилося за допомогою інструментарію System Identification Toolbox, який є частиною математичного комплексу MATLAB. Виконавши параметричну ідентифікацію ми отримали перевіірочні дані які наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D	P3D
k	-0,52139	-0,05695	-0,50753
T <sub>1</sub> ,с	3336,2	1733,6	0,0077722
T <sub>2</sub> ,с	-	1733,1	1744
T <sub>3</sub> ,с	-	-	1743,1
τ	57,5	57,5	57,5
НСКП, %	89,43	98,84	98,84
ПОП	0,2272	0,002734	0,002743
СК/П	0,2271	0,002732	0,002741
НСКП, %	68,57	95,64	95,76

Дослідження різниці у динамічних характеристиках між різними моделями через порівняння їх оцінок виявило, що моделі P2D та P3D показують схожі результати з індексом нормалізованої середньоквадратичної помилки (НСКП) на рівні 98.84%. Також, прогнозна помилка для моделей P2D і P3D є майже ідентичною (0.002741/0.002734 ≈ 1). Визначальним критерієм у виборі між цими моделями стала різниця у відповідності по перевірочними даними. Знову ж таки, моделі P2D і P3D мають майже однакові показники НСКП, які складають 95.64% та 95.76% відповідно. З огляду на те, що один з показників часу для моделі P3D дорівнює нулю, рекомендується вибрати простішу модель P2D. З усіх даних випливає, що модель P2D задовольняє критерії точності за тестовими даними, значно перевищуючи мінімально допустимий поріг у 80%.

При параметричній оцінці вибраної моделі P2D варто відзначити кілька ключових параметрів, виявлених з динамічних характеристик (рис. 4.2): коефіцієнт посилення становить -0,58, час реакції приблизно 18 000 секунд, постійна часу – 3 600 секунд, з затримкою близько 60 секунд. За даними другого порядку для моделі P2D, коефіцієнт посилення виявляється -0,50695, сумарна постійна часу складає 3 466,7 секунд (1733,6 с + 1733,1 с), а затримка – 57,5 секунд. Ці результати додатково підкреслюють, що найкраще до об'єкту керування підходить модель P2D – аперіодичний елемент другого порядку із запізненням. Параметрична ідентифікація видала передавальну функцію моделі, яка точно відповідає критеріям управління з точністю 95,6% згідно тестових даних.

$$W(s) = \frac{-0,51 \cdot e^{-57,5s}}{(1734s + 1) \cdot (1733 + 1)} \quad (4.8)$$

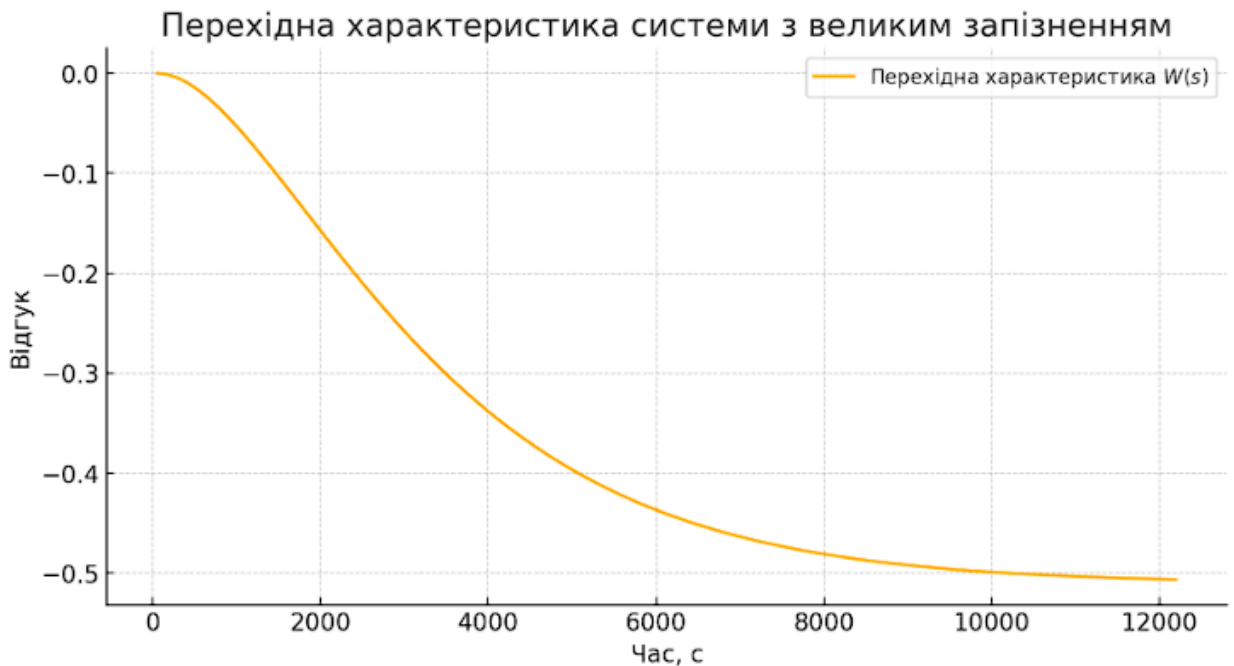


Рисунок. 4.2 - Перехідна характеристика об'єкта управління

На графіку зображена перехідна характеристика системи з великим запізненням та великими часовими константами. Як видно, система реагує на кроковий вхідний сигнал із значним затриманням в 57.5 секунд, після чого її відгук поступово спадає до негативного значення, що відповідає коефіцієнту посилення  $k=-0.51$ . Із збільшенням часу відгук стабілізується, наближаючись до значення, близького до  $-0.51$ . Це пов'язано з тим, що часові константи  $T_1$  та  $T_2$  є досить великими (1734 с і 1733 с відповідно), що зумовлює повільне зменшення відгуку системи від початкового впливу крокової функції.

Цей аналіз може допомогти у визначенні характеристик системи, яка повільно реагує на зміни та має велике запізнення, що важливо для налаштування процесів керування та вирішення задач оптимізації системи.

## 5.2 Вибір і розрахунок параметрів регулятора

Для системи управління температурою гомогенізатора оптимальним вибором буде пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор. ПІ регулятор забезпечує кращу точність порівняно з простим пропорційним регулятором, завдяки інтегральній складовій, яка допомагає усунути сталу помилку в регулюванні. Ця складова також покращує відповідь системи на змінні завади та умови, які часто трапляються під час сушіння, дозволяючи системі швидше адаптуватися і повертатися до заданої точки роботи після збурень.

Хоча ПІ регулятор і складніший для налаштування в порівнянні з пропорційним регулятором, він все ж таки простіший і легший у впровадженні в порівнянні з



пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором, який може бути надмірним для деяких процесів сушіння.

Для налаштування ПІ регулятора потрібно визначити два основні параметри: коефіцієнт пропорційності ( $K_p$ ) та коефіцієнт інтеграції ( $K_i$ ).  $K_p$  визначає реакцію регулятора на помилку, тоді як  $K_i$  регулює швидкість, з якою інтегральна складова накопичує помилку з часом, допомагаючи усунути сталу помилку. Вибір цих параметрів може вимагати експериментування та тестування для оптимального налаштування, залежно від специфіки роботи гомогенізатора.

### 5.3 Розрахунок налаштувань ПІ регулятора

Передавальна функція для ПІ регулятора  $C(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$ . Коефіцієнт підсилення  $k_p$ , який є основним налаштувальним параметром регулятора.

Налаштування параметрів проведемо за методом Дудникова [18]. Цей метод орієнтується на аналіз динамічних характеристик системи, зокрема на визначення оптимального коефіцієнта підсилення  $k_p$

Для системи управління температурою гомогенізатора важливо забезпечити достатній запас стійкості, щоб система могла ефективно справлятися з коливаннями. Зазвичай вважають що САР стійка коли ступень коливання знаходиться в діапазоні  $m=0.221 \dots 0.476$ , а це відповідає ступеню загасання  $\psi = 0.95 \dots 0.75$ .

Згідно з тим, що описано вище, оберемо ступень коливання  $m=0.221$ .

Передавальна функція для об'єкта керування виглядає:

$$W(s) = \frac{-0.51 \cdot e^{-57.5 \cdot s}}{3005022 \cdot s^2 + 3467 \cdot s + 1}$$

За допомогою математичного пакету зробимо розрахунки

#### 5.3.1 Отримання параметричного рівняння ЛРЗ

Було отримано РЧХ об'єкта управління

$$W_o(m, \omega) = \frac{K e^{m\omega\tau}}{\sqrt{(1 - Tm\omega)^2 + (T\omega)^2}} e^{j(-\arctg \frac{T}{Tm\omega-1} - \omega\tau)}$$

РЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування

$$W_{III}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u s} = k_1 + \frac{k_0}{s}$$

$$W_{III}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m\omega k_1)^2 + (\omega k_1)^2}}{\omega \sqrt{m^2 + 1}} e^{j(-\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{\omega k_1}{k_0 - m\omega k_1} - \arctg m)}$$

Складемо рівняння балансу амплітуд та фаз

$$A_{III}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{1}{A_o(m, \omega)}$$

$$\Psi_{III}(k_0, k_1, m, \omega) = \Psi_o(m, \omega)$$

Отримасмо параметричне завдання рівняння ЛРЗ як функції частоти

$$k_0(\omega) = \omega(m^2 + 1) \operatorname{Im}(W_o^*(m, j\omega));$$

$$k_1(\omega) = m \operatorname{Im}(W_o^*(m, j\omega)) - \operatorname{Re}(W_o^*(m, j\omega)).$$

### 5.3.2 Побудова лінії рівного згасання (ЛРЗ)

Для побудови лінії рівного згасання (ЛРЗ) використовуємо математичний пакет MathCAD

$W(s, \tau) := \frac{-0.51 \cdot e^{-s\tau}}{3005022s^2 + 3467s + 1}$	Передатна функція об'єкта керування
$W(s, \tau) \text{ substitute } s = \omega \cdot (j - m) \rightarrow -0.51 \cdot \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]}$	Отримання розширеної АФЧХ об'єкта управління з передавальної функції
$W(m, \omega, \tau) := \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]}$	
$RW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Re}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$	Отримання рехової та уявної частин інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління
$IW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Im}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$	
$K0(m, \omega, \tau) := (m^2 + 1) \cdot IW(m, \omega, \tau) \cdot \omega$	Вирази для розрахунку лінії рівного згасання отримані через реховинну та уявну частини інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління для ПІ-регулятора
$K1(m, \omega, \tau) := m \cdot IW(m, \omega, \tau) - RW(m, \omega, \tau)$	
$\omega := 0.03, 0.031.. 0.9$	

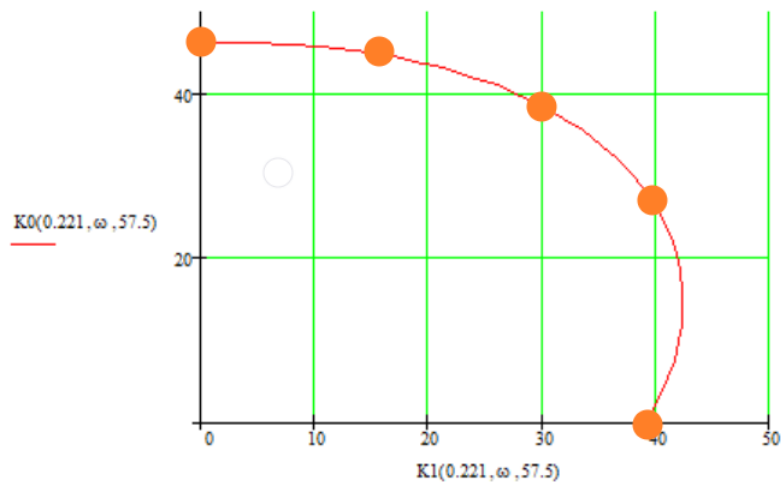


Рисунок 4.3 - Лінія рівного загасання та вибір налаштувань ПІ-регулятора у робочому діапазоні частот

### 5.3.3 Виконано моделювання для п'ять налаштувань з рівною амплітудною затухання ПІ-регулятора

Для цього використаємо математичний пакет MathCAD

$$W_{ob}(s, \tau) := \frac{-0.51 \cdot e^{-57.5 \cdot s}}{3005022s^2 + 3467s + 1} \quad \text{Передавальна функція об'єкта}$$

$$W_{rg}(k_0, k_1, s) := k_1 + \frac{k_0}{s} \quad \text{Передавальна функція ПІ-регулятора}$$

$$W_p(s, \tau, k_0, k_1) := W_{rg}(k_0, k_1, s) \cdot W_{ob}(s, \tau) \quad \text{Передавальні функції прямого ланцюга системи}$$

$$W_z(s, \tau, k_0, k_1) := \frac{W_p(s, \tau, k_0, k_1)}{1 + W_p(s, \tau, k_0, k_1)} \quad \text{Передавальні функції замкнутої системи з одиничним зворотним зв'язком}$$

$$h(t, \tau, k_0, k_1) := 0.637 \int_0^{0.8} \operatorname{Re}(W_z(j \cdot \omega, \tau, k_0, k_1)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} d\omega \quad \text{Отримання перехідної характеристики за речовинною частотною характеристикою замкнутої системи}$$

$$t := 0, 10.. 1500$$

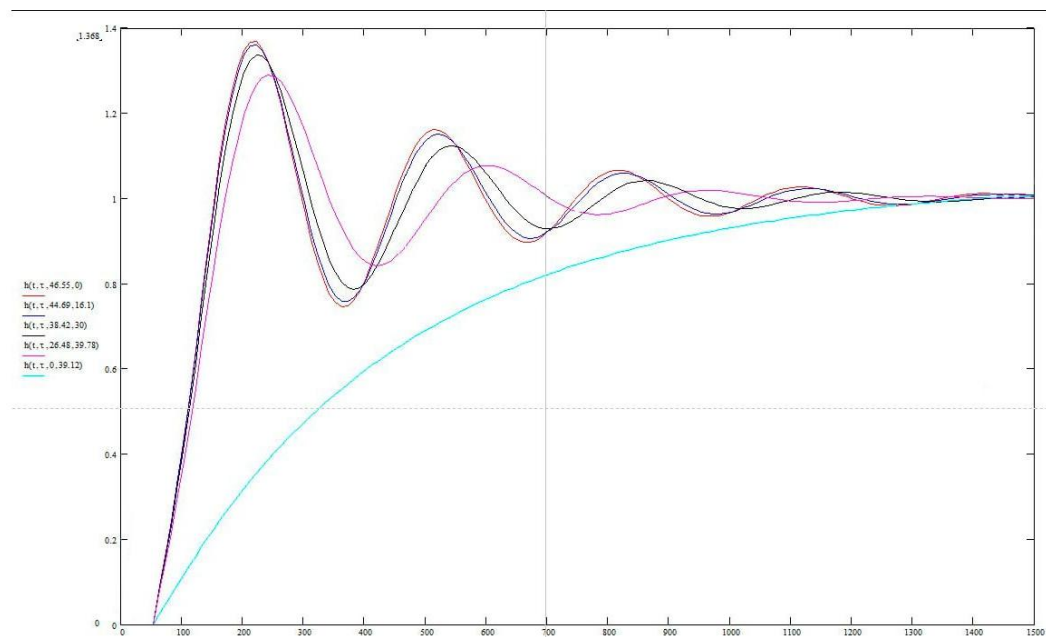


Рисунок 4.4 - Результати моделювання при налаштуваннях ПІ-регулятора, отриманих методом розширених АФЧХ

### 5.3.4 Отримання основних показників якості

За рис. 4.4 отримуємо основні показники якості для 5 перехідних процесів

Таблиця 4.2 - Основні показники якості

№	$k_0$	$k_1$	$t_p, c$	$\sigma, \%$
1	46.55	0	857	37
2	44.69	16.1	867	36
3	38.42	30	757	34
4	26.48	39.78	657	29
5	0	39.12	1087	0

За таблицею 4.2 можна побачити що найкращі показники якості забезпечує №3 перехідний процес. А №5 перехідний процес нам не підходить тому що має статичну похибку.

## ВИСНОВОК

Автоматизація технологічних процесів є одним з вирішальних факторів підвищення продуктивності і поліпшення умов праці. Всі існуючі виробничі потужності або об'єкти, які перебудовуються, в тій чи іншій мірі оснащені засобами автоматизації.

Розвиток сучасного рівня мікроелектроніки і комп'ютерних технологій дозволяє впроваджувати високоточні вимірювальні прилади і засоби управління, що, в свою чергу, призводить до підвищення ефективності управління технологічними процесами.

У нашій роботі обґрунтовано вибір засобів автоматизації, вдосконалено систему автоматизації технологічної лінії виробництва майонезу на основі сучасної мікропроцесорної техніки.

Системи автоматизації та управління збирають та обробляють інформацію з технічного обладнання та розробляють вплив управління для оптимізації процесів.

Розроблена автоматична система управління технологічної лінії виробництва майонезу. Завданням розробленої в даному випадку системи управління є підтримка таких параметрів, як підвищення якості майонезу. Вибір автоматизованих пристроїв і інструментів здійснювався з урахуванням конкретного набору датчиків і автоматичного лінійного контролера.

Була складена математична модель гомогенізатора. На основі імітаційного моделювання в програмному середовищі MatLab / Simulink ми провели параметричну оптимізацію регуляторів температури в ній. Було розроблено управління роботою технологічної лінії виробництва майонезу, складена технологічна схема управління і описана керуюча програма.

Розроблено алгоритм роботи програми та мнемосхеми програми для збору даних про стан технологічної лінії виробництва майонезу.

При створенні поточної лінії було передбачено використання розумного з точки зору міцності технічного режиму. Це дозволяє, з одного боку, зменшити розміри всієї лінії, а з іншого - підвищити швидкість обробки і збільшити обсяг продукції, що випускається.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антипов С. Т. Техника пищевых производств малых предприятий: учеб. под ред. В. А. Панфилова. Москва: Колос, 2007. 695 с.
2. Ahluwalia V.K., Kumar L. S., Kumar S. Chemistry of Natural Products: Amino Acids, Peptides, Proteins and Enzymes. CRC Press, 2007. 224 p.
3. Елисеева Н.Е. Разработка технологий функциональных жировых продуктов эмульсионной природы с пищевыми волокнами и биологически активными веществами: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2008. 176 с.
4. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизація технологічних процесів. К.: Колос, 2003. 344 с.
5. Головінський Б.Л., Шуруб Ю.В., Лисенко В.П. Теорія автоматичного управління. К.: Вид. центр НУБіП України, 2012. 240 с.
6. Драгилев А.И. Будова і експлуатація обладнання підприємств харчової промисловості. К.: Харчова промисловість, 2001. 257 с.
7. Дробот В.І. Технологічні розрахунки у хлібопекарському виробництві. К.: Кондор, 2010. 440 с.
8. Єрмолаєв С.О., Яковлев С.О., Експлуатація і ремонт електрообладнання та засобів автоматизації. К.: Урожай. 1996. 388 с.
9. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній. К.: Вища освіта, 2001. 286 с.
10. Інформаційни каталог по продукції SIMATIC SIEMENS «Компоненти для комплексної автоматизації» URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-300.html> (дата звернення 20.03.2024)
11. Корчемний М.О., Клендїй П.Б., Потапенко М.В. Теоретичні основи автоматики. Тернопіль: Навчальна книга «Богдан», 2011 304 с.
12. Ладанюк А. П., Кишенько В.Д., Луцька Н.М., Іващук В.В. Методи сучасної теорії управління: навч. посіб. для студ. ВНЗ. К.: НУХТ, 2010. 195 с.
13. Ладанюк А.П., Ладанюк О.А., Бойко Р.О., Іващук В.В., Кроніковський Д.О., Шумигай Д.А. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів: монографія. К.: Інтер Логістик Україна, 2015. 408 с.
14. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: підручник. К.: Аграрна освіта, 2001. 224 с.
15. Мікропроцесорні та виконавчі пристрої. К.: ІЗМН, 2017. 200 с.
16. Модульні пекарни. URL: <http://www.colaxm.com> (Дата звернення: 21.03.2024)
17. Нечаєв А.П., Шуб І.С., Аношина О. М. и др. Технології харчових виробництв. К.: Ауксма, 2005. 768 с.

18. Основи теорії авторегулювання: [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електронні компоненти і системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Миколаєць Д.А., Клен К.С., Ямненко Ю.С. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 216 с. URL:  
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c61ee258-df03-4320-9479-38ac2f97f33f/content>
19. Франц Дж. Торнли Дж. Математичні моделі в сільському господарстві. Елементи систем автоматизованого керування. К.: Машинобудування, 2009. 536 с.
20. Фурман І.А., Краснобаєв В.А., Скороделов В.В., Рисований А.Н. Організація і програмування мікроконтролерів: Підручник. Харків: Еспада, 2009. 248 с.
21. Лазарєв Ю.Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. Київ: НТУУ "КПІ", 2011. 421 с.