

**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)

\_\_\_\_\_ 2024 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 макаронних виробів

Здобувача групи СУ-01ш Бойко Владислав Андрійович  
(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.

\_\_\_\_\_ Владислав Бойко  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник викладач, к.т.н Олександр Андрусенко \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант викладач, к.т.н Павло Пата \_\_\_\_\_  
(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 Бойко Владислав Андрійович

1. Тема проекту Система управління технологічної лінії виробництва макаронних виробів

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

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУ - 01ш \_\_\_\_\_ Бойко В.А.  
Підпис Прізвище І.П.

## **РЕФЕРАТ**

Бойко Владислав Андрійович. Система управління технологічної лінії виробництва макаронних виробів. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 56 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 32 рисунків, 4 таблиць; 1 креслення.

У даній роботі представлено процес розробки системи управління технологічною лінією з виробництва макаронних виробів. Автоматизація спрощує участь людини в технологічному процесі, забезпечуючи високу адаптивність системи до можливих збурень, які виникають під час експлуатації обладнання. Розроблена система керування дозволяє ефективно управляти великими та потужними агрегатами виробництва, зменшуючи необхідність ручної праці до мінімуму та зосереджуючи зусилля на точному налаштуванні та регулюванні автоматизованих пристроїв контролю.

Ключові слова: макаронні вироби, технологічний процес, системи управління, програмовані мікропроцесорні контролери, алгоритми управління, регулювання параметрів.

## **ABSTRACT**

Boyko Vladyslav Andreyovych. The control system of the technological line for the production of pasta products. Bachelor work. Shostkin Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor thesis contains 56 sheets of explanatory note, including 32 figures, 4 tables; 1 drawing.

This work presents the process of developing a control system for a technological line for the production of pasta products. Automation simplifies human participation in the technological process, ensuring high adaptability of the system to possible disturbances that occur during the operation of the equipment. The developed control system allows you to effectively manage large and powerful production units, reducing the need for manual labor to a minimum and focusing efforts on the precise setting and regulation of automated control devices.

Keywords: pasta, technological process, control systems, programmable microprocessor controllers, control algorithms, parameter adjustment.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....                     | 4  |
| Вступ .....  | 5  |
| 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ..... | 6  |
| 1.1 Опис технологічного процесу .....                          | 6  |
| 1.2 Пристрій і принцип дії лінії .....                         | 7  |
| 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....               | 9  |
| 3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ .....                  | 11 |
| 3.1 Канали контролю і управління .....                         | 11 |
| 3.1.1 Рівень сировини в силосі .....                           | 11 |
| 3.1.2 Рівень у дозаторі .....                                  | 11 |
| 3.1.3 Тиск в тістомісильній машині .....                       | 11 |
| 3.1.4 Температура у підсушувачі .....                          | 11 |
| 3.1.5 Температура у сушарці .....                              | 11 |
| 3.1.6 Рівень у змішувачі .....                                 | 11 |
| 3.1.7 Вага у дозаторі .....                                    | 12 |
| 3.1.8 Температура у розхідному баку .....                      | 12 |
| 3.1.9 Рівень у розхідному баку .....                           | 12 |
| 3.1.10 Рівень у бункері .....                                  | 12 |
| 3.1.11 Вага у бункері .....                                    | 12 |
| 3.2 Контури управління .....                                   | 13 |
| 3.2.1 Контур управління рівня сировини в силосі .....          | 13 |
| 3.2.2 Контур управління рівня у дозаторі .....                 | 13 |
| 3.2.3 Контур управління тиску в тістомісильній машині .....    | 14 |
| 3.2.4 Контур управління температури у підсушувачі .....        | 14 |
| 3.2.5 Контур управління температури у сушарці .....            | 15 |
| 3.2.6 Контур управління рівня у змішувачі.....                 | 15 |
| 3.2.7 Контур управління ваги у дозаторі .....                  | 16 |
| 3.2.8 Контур управління температури у розхідному баку .....    | 16 |
| 3.2.9 Контур управління рівня у розхідному баку.....           | 17 |
| 3.2.10 Контур управління рівня у бункері.....                  | 18 |
| 3.2.11 Контур управління ваги у бункері .....                  | 18 |

|   |    |
|---|----|
| 4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....   | 19 |
| 4.1 Вибір датчиків .....  | 19 |
| 4.1.1 Вибір датчиків рівня.....   | 19 |
| 4.1.2 Вибір датчика тиску .....   | 23 |
| 4.1.3 Вибір датчика температури .....   | 26 |
| 4.1.4 Вибір датчиків ваги .....   | 29 |
| 4.2 Вибір контролера.....   | 32 |
| 4.2.1 Контролер S7-1200 .....   | 33 |
| 4.2.2 Додаткові модулі розширення контролеру .....  | 35 |
| 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....   | 35 |
| 5.1 Аналітичний метод отримання математичної моделі об'єкта управління.....                         | 37 |
| 5.2 Вибір і розрахунок параметрів регулятора .....  | 42 |
| 5.3 Розрахунок налаштувань ПІ регулятора .....  | 42 |
| 5.3.1 Отримання параметричного рівняння ЛРЗ .....   | 43 |
| 5.3.2 Побудова лінії рівного згасання (ЛРЗ).....  | 43 |
| 5.3.3 Виконано моделювання для п'ять налаштувань з рівною амплітудною затухання ПІ-регулятора ..... | 44 |
| 5.3.4 Отримання основних показників якості.....   | 45 |
| 6. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....  | 47 |
| 6.1 Детальний алгоритм підготовки муки до замісу.....   | 49 |
| 6.2 Детальний алгоритм приготування емульсії .....  | 50 |
| 6.3 Детальний алгоритм замісу тіста.....  | 51 |
| 6.4 Детальний алгоритм формування макаронних виробів .....  | 52 |
| 6.5 Детальний алгоритм сушіння макаронних виробів .....   | 53 |
| 6.6 Детальний алгоритм упакування та зберігання готової продукції.....                              | 54 |
| Висновок.....   | 55 |
| Список використаних джерел.....   | 56 |

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

РК-дисплеї – рідкокристалічній дисплеї

РК-індикатор - рідкокристалічній індикатор

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

Кр - коефіцієнт пропорційності

Кі - коефіцієнт інтеграції

САР - система автоматичного регулювання

РЧХ - розширені частотні характеристики

ЛРЗ - лінія рівного затухання

АФЧХ - Амплітудно-фазо-частотні характеристики

## Вступ

Макаронні вироби – один з основних продуктів харчування в Україні та світі. Їх цінують за простоту приготування, високу харчову цінність, різноманіття форм і смаків. Виробництво макаронних виробів – це динамічно розвиваюча галузь харчової промисловості, яка постійно вдосконалюється. Сучасна тенденція розвитку виробництва макаронної продукції характеризується високим ступенем концентрування, комплексною механізацією процесів з безперервно діючими потоковими лініями, з автоматизованим контролем і регулюванням технологічних процесів.

Макарони — кулінарний напівфабрикат із висушеного прісного пшеничного тіста, який перед вживанням піддається варінню. Макаронних виробів випускається понад 100 найменувань. Вони підрозділяються на сорти, типи, види і різновиди. У нас випускається два сорти макаронних виробів: вищий і перший. Вищий одержують з борошна вищого сорту (крупчатка), перший- першого сорту (напівкрупчатка). Якщо у вироби вводять добавки, то до назви сорту додають “вищий”, “ячний”, “перший”.[1]

Макаронні вироби кожного сорту поділяються на типи. Трубочасті - у виді трубок різного діаметра і довжини; локшина - у виді стрічок різної товщини і довжини; фігурні вироби - пресовані або штамповані, різної форми і малюнка. Кожен тип поділяється на види, наприклад трубочасті бувають: макарони, ріжки і пір'я. Фігурні вироби випускаються зараз у найпоширенішому асортименті: вушка, ракушки, крупка, зерна, алфавіт, зірочки, квіточки й ін.

Основні переваги макаронних виробів як продукту харчування: - Здатність до тривалого зберігання (більше року) без зміни властивостей: макаронні вироби зовсім не схильні до черствіння, менш гігроскопічні, ніж сухарі, печиво та зернові сухі сніданки, добре переносять транспортування; - швидкість та простота приготування. Макаронні вироби мають порівняно високу водопоглинальну здатність (вони поглинають понад 2,5-кратну кількість води до своєї маси). Відносно висока харчова цінність: страва, виготовлена зі 100 г сухих макаронних виробів, на 10...15 % задовольняє добову потребу людини в білках та вуглеводах.

Автоматизація відіграє все більш важливу роль у виробництві макаронних виробів, дозволяючи підвищити ефективність, якість та безпеку продукції. У майбутньому автоматизація виробництва макаронних виробів розвиватиметься ще далі. Очікується, що буде впроваджено нові технології. В цілому автоматизація є ключем до успіху в сучасній макаронній промисловості. Вона дозволяє виробникам підвищувати продуктивність, якість та безпеку продукції, а також знижувати витрати. Автоматизація допомагає українським виробникам макаронних виробів конкурувати на світовому ринку та пропонувати споживачам якісну продукцію за доступними цінами.



# 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

**Підготовка сировини** Складається зі змішування різних партій борошна відповідно до вказівок лабораторії, просіювання борошна, очищення від металомагнітних домішок та дозування.

**Приготування макаронного тіста.** Готують тісто у дві стадії: дозування та змішування рецептурних компонентів до утворення сипучої комкоподібної суміші, яку потім інтенсивно перемішують до отримання однорідної пластичної маси, приготовленої для формування. В умовах механізованого виробництва макарони першу стадію виконують у тістозмішувачі, а другу - за допомогою нагнітальних шнеків макаронного преса.

**Формування макаронних виробів** Складається з операцій випресовування та різання пасм сирого макаронного тіста. Випресовування полягає у безперервному видавлюванні профільованих пасм у вигляді трубок, ниток або стрічок пластичного макаронного тіста. Для цього тісто продавлюється шнеками макаронного преса через формуючі матриці з певними розмірами та формою отворів (фільтер).

**Сушіння макаронних виробів.** Мета сушіння – закріпити форму виробів та запобігти розвитку в них мікроорганізмів. Це найважливіша стадія технологічного процесу, від якої істотно залежить якість виробів. Надмірно інтенсивне сушіння призводить до появи висушених виробів з тріщинами, а повільне сушіння, особливо на першій стадії видалення вологи, може призвести до закисання та пліснявіння виробів.

**Стабілізація та охолодження висушених макаронних виробів.** Перед пакуванням виробу необхідно повільно охолодити протягом не менше 4 годин до температури навколишнього середовища за рахунок обдування повітрям. При цьому відбувається стабілізація виробу: остаточно вирівнюється вологість по всій його товщині, розсмоктовуються внутрішні напруги, що викликають розтріскування, і знижується маса продукту за рахунок випаровування 0,5 ... 1,0% вологи.

**Упаковка макаронних виробів.** Складається з наступних операцій: подача виробів на пакувальні столи або в бункери, сортування та видалення брака, перевірка на магнітних сепараторах, фасування в тару, включаючи дозування порцій, ущільнення на вібраторі та маркування.

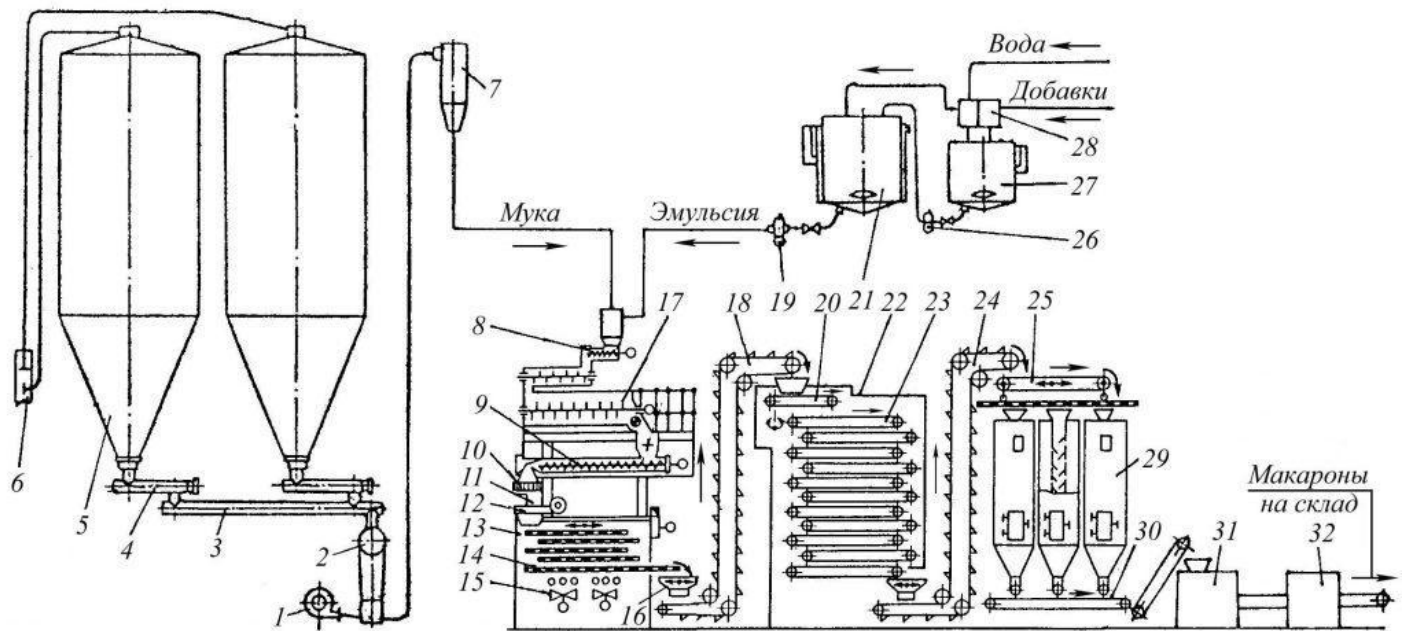


Рисунок 1 – Технологічна лінія виробництва макаронних виробів

## 1.2 Пристрій і принцип дії лінії

Пристрій та принцип дії лінії. Автомуківоз підключають до борошноприймального щитка 6 і завантажують борошно в один з силосів 5 для її зберігання. За допомогою шнекових живильників 4 борошно вивантажують з різних силосів 5 в потрібних пропорціях і змішують гвинтовим конвеєром 3. Після контрольного просіювання в відцентровому просіювачі 2 борошно через роторний живильник подається повітродувкою 1 тістомісильне відділення. Борошно відокремлюється від повітря, що транспортує, в циклоні 7.

Частина води та добавки-збагачувачі через дозатори 28 завантажують у змішувач 27 і готують концентровану емульсію. Насосом 26 її разом з частиною води, що залишилася, дозують у видатковий бак 21, з терморегулюючої сорочкою. З цього бака готова емульсія подається насосом 19 тістомісильне відділення.

Борошно і емульсію дозаторами 8 безперервно подають в тістомішувач 17. Він має три окремі камери, через які послідовно проходить оброблювана суміш, що дозволяє збільшити тривалість замісу до 20 хв. На завершальному етапі замісу в останній камері суміш вакуумується за допомогою вакуум-насоса. Завдяки цьому виходить щільніша структура макаронного тіста без повітряних включень, а також надалі висушені вироби з рівномірною структурою без раковин.

Потім суміш надходить у шнеки макаронного преса 9. У початковій частині шнекової зони суміш піддається інтенсивному перемішуванню, пересуваючись по шнековому каналу до формуючих отворів

матриці, вона перетворюється на щільну пов'язану пластифіковану масу - макаронне тісто. У передматричній камері преса створюється тиск 6... 12 МПа, під дією якого через матрицю 10 випресовуються сирі пасма тесту.

Ножі 11, обертаючись у площині вихідних отворів матриць, відрізають від тестового потоку необхідні по довжині заготовки тестові, які обдуваються повітрям з кільцевого сопла 12.

Сирі заготовки макаронних виробів направляються в секції вібраційного підсушувача 13. У секції продукт проходить зверху вниз по п'яти ситах 14, що вібрує, обдується повітрям від вентилятора 15 і підсушується. Потім потік підсушених тестових заготовок об'єднується у вібралотку 16 і елеватором 18 транспортується до пристрою 20, яке розподіляє їх рівномірним шаром по товщині по всій площі верхнього ярусу 23 сушарки 22. Тестові заготовки, проходячи зверху вниз стрічкові конвеєри. Залежно від асортименту та продуктивності лінії до її складу включають дві або три стрічкові конвеєрні сушарки, встановлені послідовно. У них тестові заготовки проходять попереднє та остаточне сушіння.

Після сушіння нагріті заготовки елеватором 24 і рухомим стрічковим конвеєром 25 направляються бункера 29 накопичувача-стабілізатора. Вони заготовки поступово остигають до температури приміщення цеху, у яких відбувається вирівнювання вологовмісту.

Готові вироби системою конвеєрів 30 подають у фасувальну машину 31 і упаковують коробки з картону або пакети з полімерної плівки. У машині 32 пакети упаковують у торговельну тару та відправляють на склад.[2]

## 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Таблиця 1 – Перелік параметрів технологічного процесу

| Параметр    | Позиція технологічної схеми | функція              | Відхилення | Значення           |                    |
|-------------|-----------------------------|----------------------|------------|--------------------|--------------------|
|             |                             |                      |            | Min                | Max                |
| Рівень      | Силос                       | Контроль, управління | 5%         | 0,2 м              | 4 м                |
| Рівень      | Силос                       | Контроль, управління | 5%         | 0,2 м              | 4 м                |
| Рівень      | На дозаторі                 | Контроль, управління | 5%         | 0,2 м              | 1 м                |
| Тиск        | На тістомісильній машині    | Контроль, управління | 5%         | 6 Мпа              | 12,0 Мпа           |
| Температура | На підсушувачі              | Контроль, управління | 5%         | 120 <sup>0</sup> С | 130 <sup>0</sup> С |
| Температура | На сушарці                  | Контроль, управління | 5%         | 120 <sup>0</sup> С | 130 <sup>0</sup> С |
| Рівень      | На змішувачі                | Контроль, управління | 5%         | 0,2 м              | 1 м                |
| Вага        | На дозаторі                 | Контроль, управління | 5%         | 40 кг              | 50 кг              |
| Температура | На розхідному баку          | Контроль, управління | 5%         | 75 <sup>0</sup> С  | 85 <sup>0</sup> С  |
| Рівень      | На розхідному баку          | Контроль, управління | 5%         | 0,2 м              | 1 м                |
| Рівень      | На бункері                  | Контроль, управління | 5%         | 0,2 м              | 1 м                |

|      |            |                         |    |       |       |
|------|------------|-------------------------|----|-------|-------|
| Вага | На бункері | Контроль,<br>управління | 5% | 40 кг | 50 кг |
| Вага | На бункері | Контроль,<br>управління | 5% | 40 кг | 50 кг |
| Вага | На бункері | Контроль,<br>управління | 5% | 40 кг | 50 кг |

## **3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ**

### **3.1 Канали контролю і управління**

Після аналізу потреб у виробництві було підібрано канали контролю та управління для різних етапів процесу. Ці канали мають забезпечити ефективне керування процесом виробництва. Тому вони повинні бути інтегровані для автоматизації процесів та підвищення продуктивності.

#### **3.1.1 Рівень сировини в силосі**

Установка датчика рівня сировини в силосі забезпечує точний контроль запасів. Це дозволяє уникнути переповнення і оптимізує виробничі процеси. Такий підхід сприяє ефективному використанню ресурсів та зменшенню втрат.

#### **3.1.2 Рівень у дозаторі**

Встановлення датчика рівня у дозаторі дозволяє точно контролювати обсяги видачі сировини. Це сприяє уникненню переповнення і забезпечує рівномірність дозування. Завдяки цьому забезпечується якісна і точна обробка сировини під час виробництва.

#### **3.1.3 Тиск в тістомісильній машині**

Контроль тиску в тістомісильній машині дозволяє забезпечити стабільність та однорідність якості тіста. Це допомагає уникнути перевитрат сировини та забезпечує оптимальні умови для формування тістових виробів. Правильний тиск в машині забезпечує ефективну роботу обладнання та дозволяє зберігати стандарти якості продукції.

#### **3.1.4 Температура у підсушувачі**

Контроль температури у підсушувачі дозволяє забезпечити оптимальні умови для висушування макаронних виробів. Підтримка правильної температури сприяє якісному процесу підсушування продукту. Контроль температури допомагає уникнути перегріву або недостатньої теплової обробки, забезпечуючи стабільну якість продукту.

#### **3.1.5 Температура у сушарці**

Контроль температури у сушарці для виготовлення макаронних виробів дозволяє забезпечити оптимальні умови для процесу сушіння. Підтримка правильної температури сприяє однорідному сушінню та збереженню текстури та смакових якостей макаронних виробів. Контроль температури допомагає уникнути перегріву чи недостатньої теплової обробки, що може вплинути на якість та тривалість зберігання макаронних виробів.

#### **3.1.6 Рівень у змішувачі**

Контроль рівня у змішувачі дозволяє забезпечити оптимальну консистенцію суміші та якість кінцевого продукту. Підтримка правильного рівня сировини у змішувачі сприяє однорідному

розподілу компонентів та уникненню перерозбавлення. Контроль рівня допомагає уникнути недостатнього або зайвого додавання матеріалу, забезпечуючи оптимальні умови для процесу змішування.

### **3.1.7 Вага у дозаторі**

Контроль ваги у дозаторі дозволяє точно дозувати воду та різні добавки для виготовлення продукту. Підтримка правильної ваги забезпечує однорідність і якість кінцевого продукту шляхом точного дозування кожного компонента. Контроль ваги допомагає уникнути перевитрати води та добавок, забезпечуючи ефективне виробництво та економію ресурсів.

### **3.1.8 Температура у розхідному баку**

Контроль температури у розхідному баку, допомагає підтримувати оптимальні умови для стабільності емульсії. Підтримка правильної температури забезпечує стабільність складу та властивостей емульсії, що є важливим для подальшого використання цього продукту на наступних етапах виробництва. Контроль температури у розхідному баку є ключовим елементом для забезпечення якості .

### **3.1.9 Рівень у розхідному баку**

Контроль рівня у розхідному баку, допомагає уникнути переповнення емульсії. Підтримка правильного рівня рідини в баці забезпечує стабільність складу та властивостей емульсії, необхідної для подальшого використання на виробничих лініях. Контроль рівня у розхідному баку є важливим для ефективного управління процесом виробництва та запобігання можливим простоїв у роботі обладнання.

### **3.1.10 Рівень у бункері**

Контроль рівня у бункері має кілька важливих функцій. Він не лише допомагає забезпечити оптимальні умови для збереження макаронних виробів після сушки, але й запобігає можливому переповненню в бункері. Підтримка правильного рівня також гарантує стабільність властивостей продукту та його однорідність, що важливо для подальшої якості.

### **3.1.11 Вага у бункері**

Контроль ваги у бункері відіграє ключову роль у процесі виробництва макаронних виробів. Він дозволяє точно визначити кількість продукту, яка зберігається в бункері, та уникнути можливого переповнення. Підтримка правильної ваги забезпечує стабільність виробничого процесу та дозволяє уникнути відхилень у якості продукту. Такий контроль є важливим для забезпечення ефективності виробництва та якості макаронних виробів.

### 3.2 Контури управління

#### 3.2.1 Контур управління рівня сировини в силосі

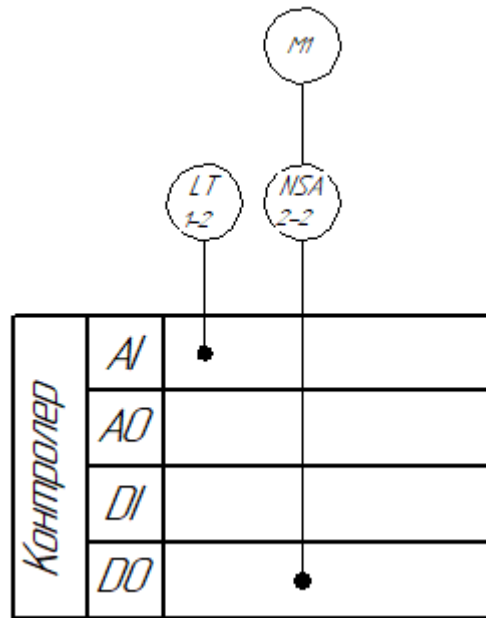


Рисунок 2 – Контур управління рівня сировини в силосі

На контурі встановлено хвильовий радарний рівнемір для точного вимірювання рівня сировини в силосі. Керування та захист електродвигуна здійснюється за допомогою магнітного пускача.

#### 3.2.2 Контур управління рівня у дозаторі

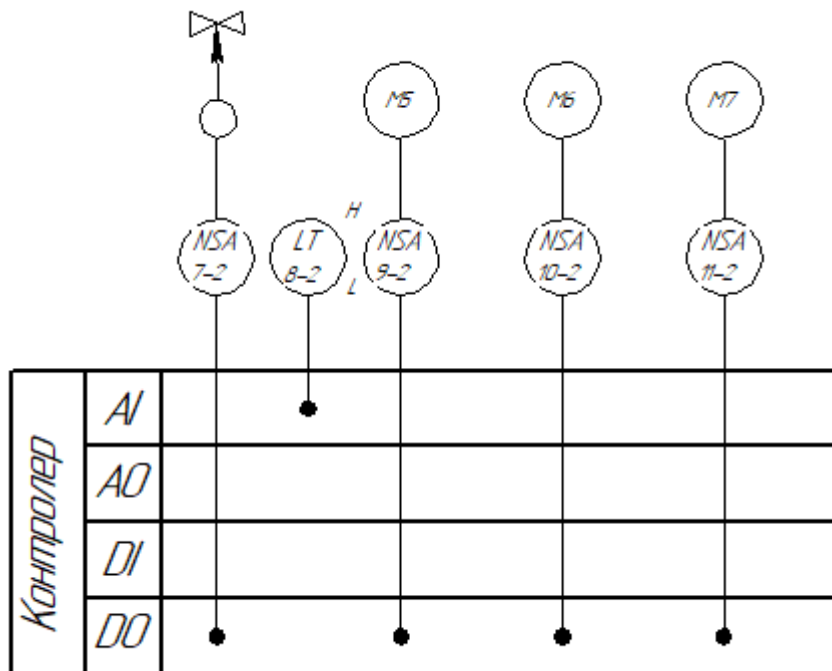


Рисунок. 3 – Контур управління рівня у дозаторі



На контурі встановлено радарний рівнемір для моніторингу рівня. Керування потоком у трубопроводі забезпечується за допомогою електромагнітного клапана. Також використовуються магнітні пускачі для управління та захисту електродвигунів

### 3.2.3 Контур управління тиску в тістомісильній машині

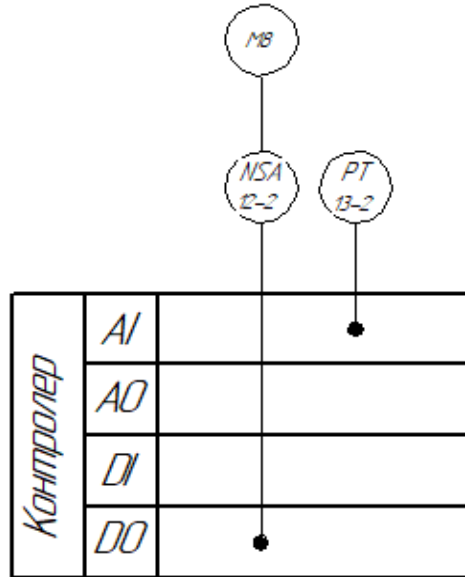


Рисунок 4 – Контур управління тиску в тістомісильній машині

Для цього контуру використовується датчик тиску, встановлений на тістомісильній машині, для точного моніторингу тиску. Також здійснюється керування магнітним пускачем для управління та захисту електродвигуна.

### 3.2.4 Контур управління температури у підсушувачі

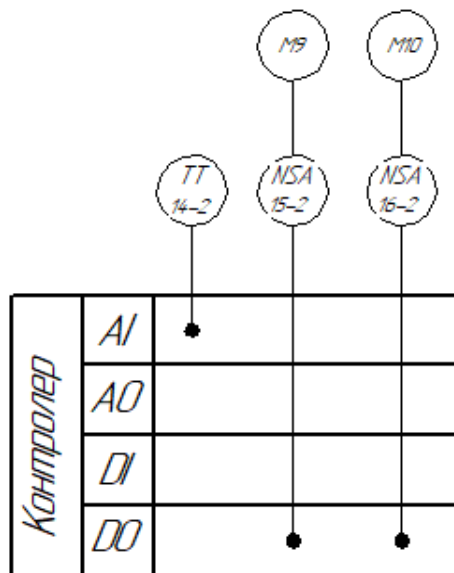


Рисунок 5 – Контур управління температури у підсушувачі

Для цього контуру використовується датчик температури. Також здійснюється керування магнітними пускачами для управління та захисту електродвигунів.

### 3.2.5 Контур управління температури у сушарці

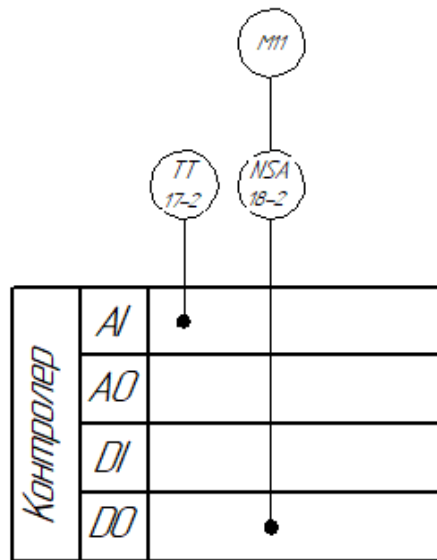


Рисунок 6 – Контур управління температури у сушарці

Для даного контуру використовується датчик температури. Цей датчик забезпечує підтримання необхідної температури та керує магнітним пускачем, який виконує функції управління та захисту електродвигуна.

### 3.2.6 Контур управління рівня у змішувачі

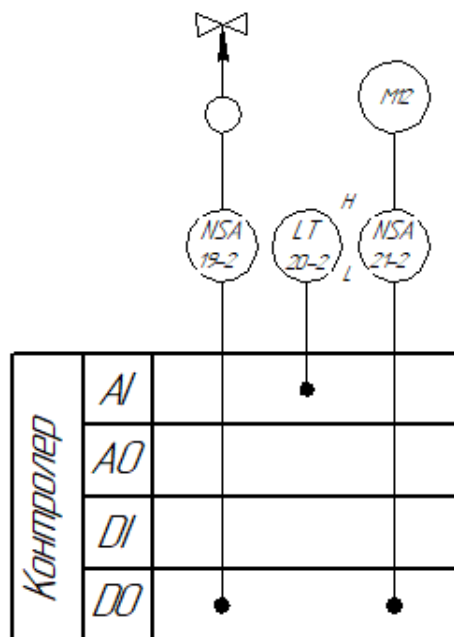


Рисунок 7 – Контур управління рівня у змішувачі

У цьому контурі використовується хвильовий радарний рівнемір для моніторингу рівня. Керування подачею сировини здійснюється за допомогою електромагнітного клапана. Також здійснюється керування магнітним пускачем для управління та захисту електродвигуна.

### 3.2.7 Контур управління ваги у дозаторі

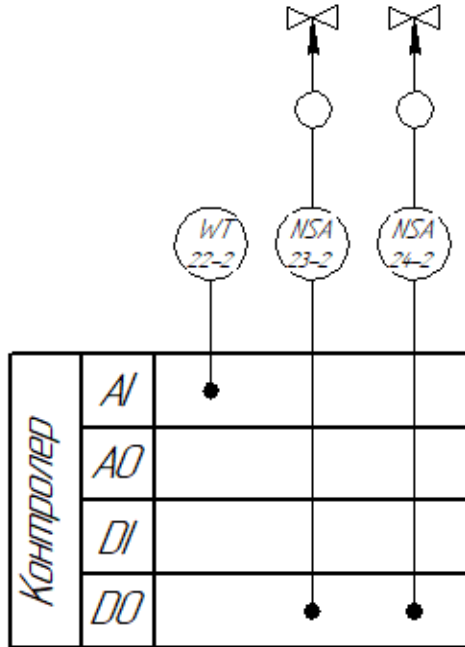


Рисунок 8 – Контур управління ваги у дозаторі

У цьому контурі використовується тензодатчик для регулювання подачі води та домішок. Регуляція здійснюється за допомогою електромагнітних клапанів, що забезпечує точне дозування компонентів.

### 3.2.8 Контур управління температури у розхідному баку

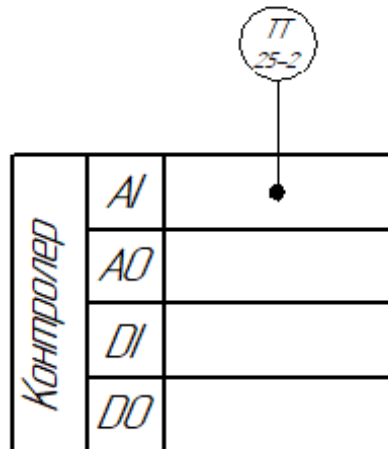


Рисунок 9 – Контур управління температури у розхідному баку

Для цього контуру використовується датчик температури. Він контролює температуру у розхідному баку.

### 3.2.9 Контур управління рівня у розхідному баку

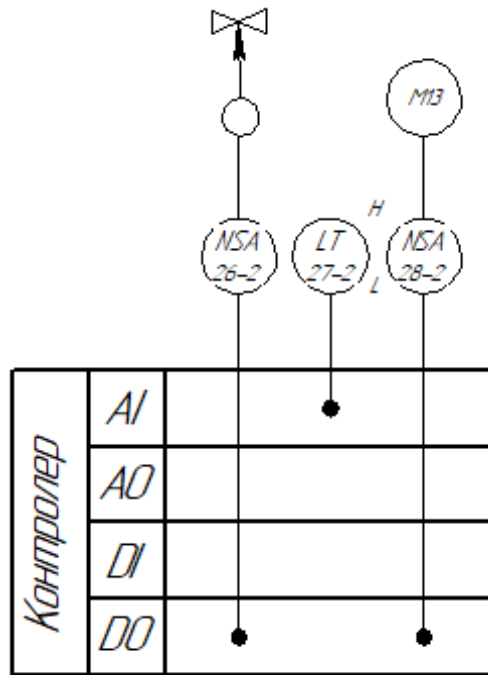


Рисунок 10 – Контур управління рівня у розхідному баку

Для цього контуру використовується високопродуктивний хвильовий радарний рівнемір для моніторингу рівня. Керування подачею сировини здійснюється за допомогою електромагнітного клапана. Також виконується керування магнітним пускачем для управління та захисту електродвигуна.

### 3.2.10 Контур управління рівня у бункері

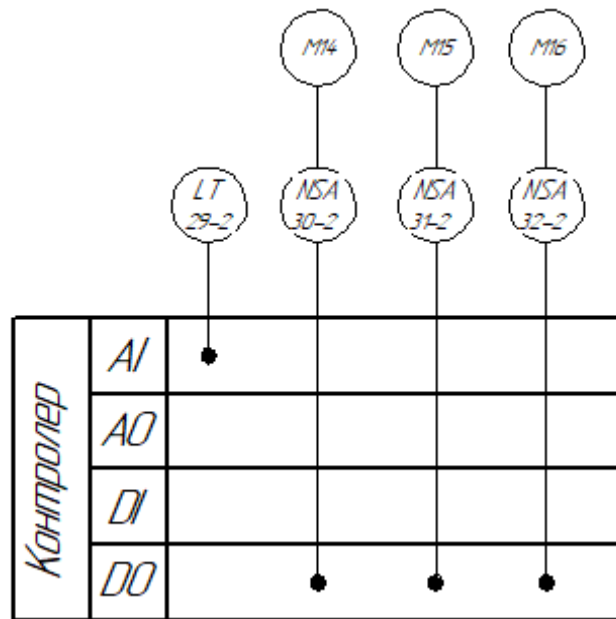


Рисунок 11 – Контур управління рівня у бункері

Для цього контуру використовується високопродуктивний хвильовий радарний рівнемір, який контролює магнітні пускачі для управління та захисту електродвигуна.

### 3.2.11 Контур управління ваги у бункері

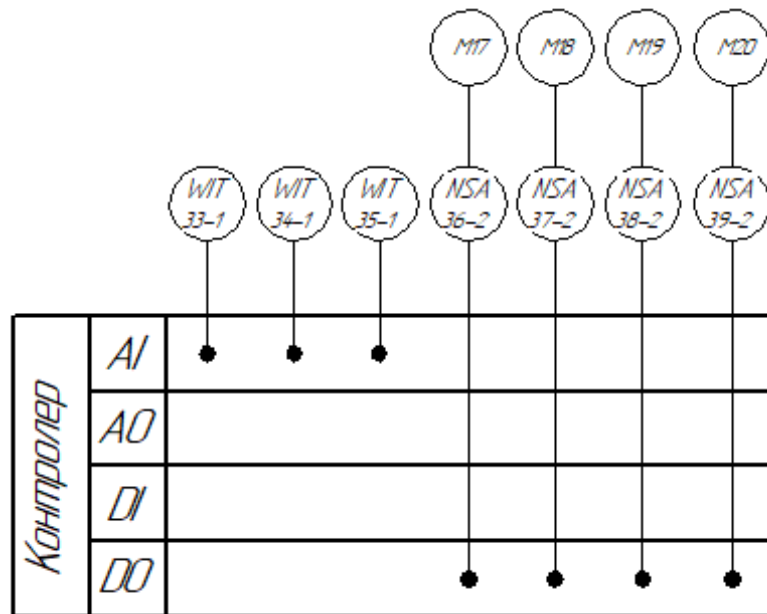


Рисунок 12 – Контур управління ваги у бункері

Для цього контуру використовуються тензодатчики, призначені для бункерів. Вони контролюють магнітні пускачі, які здійснюють управління та захист електродвигунів.

## **4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **4.1 Вибір датчиків**

#### **4.1.1 Вибір датчиків рівня**

##### **4.1.1.1 Rosemount 5300 – високопродуктивний хвильовий радарний рівнемір**

Рівнеміри 5300 – досконалі двопровідні хвильові радарні рівнеміри для вирішення складних завдань вимірювання рівня та рівня межі розділу двох рідин, вимірювання рівня сипких речовин. Рівнеміри 5300 виправдовують усі очікування, пов'язані з найкращими у своєму класі радарними контрольо-вимірювальними приладами для технологічних процесів – чудова надійність, найсучасніші функції забезпечення безпеки, простота роботи з пристроями та необмежені можливості підключення. [3]

Технологія прямого перемикання портів прийому та передачі сигналів (Direct Switch Technology) дозволяє отримувати потужніший сигнали в порівнянні з іншими двопровідними хвильовими датчиками рівня, що підвищує стабільність та надійність вимірювань.

Функція проектування кінця зонда (Probe End Projection) дозволяє проводити вимірювання середовищ навіть із дуже низьким коефіцієнтом діелектричної проникності у широкому діапазоні.

Проста інтеграція в нову або існуючу систему керування, з можливістю вибору між аналоговим вихідним сигналом 4-20 мА з накладеним цифровим сигналом HART, вихідним сигналом Modbus з підтримкою сигналізації.

Широкий вибір типів хвильових рівнемірів дозволяє підібрати рівнемір практично для будь-якого застосування, включаючи процеси з екстремально високими температурами та тиском для роботи у складних технологічних умовах.

Надійна модульна конструкція та багатопараметричний вихідний сигнал Multivariable™ дозволяють підвищити безпеку експлуатації при зниженні витрат на монтаж та підключення.

Рівнемір практично не чутливий до таких властивостей середовища, як висока запиленість, пара та внутрішні конструкції технологічних апаратів та резервуарів.

Виносні камери Rosemount 9901 – високоякісні камери для технологічних рівнемірів.



Рисунок 13 – Хвильовий радарний рівнемір Rosemount 5300

Технічні характеристики [4] Rosemount 5300:

Вимірювані середовища: рідкі (нафта, темні та світлі нафтопродукти, вода, зріджені гази, кислоти та ін.), сипкі (пластик, зольний пил, цемент, пісок, цукор, злаки тощо)

Діапазон вимірів: від 0,1 до 50 м

Вихідні сигнали: 4-20 мА з цифровим сигналом на базі протоколу HART, Foundation Fieldbus та Modbus

Інтервал між перевірками: 5 років

Базові умови: одинарний зонд стандартного виконання, вода за температури 25°C

Випромінювана потужність: номінальна 300 мкВт, максимальна 45 мВт

Час запуску: до 40 с

Похибка вимірів:  $\pm 3$  мм або 0,03 % діапазону вимірів, залежно від відстані від опорної поверхні (фланця) до поверхні середовища

Відтворюваність:  $\pm 1$  мм

Робоча температура: -196 - +400 °C

Робочий тиск: повний вакуум до 345 бар

За типом виміру: хвильовий радарний

#### **4.1.1.2 Двопровідний хвилеводний радарний рівнемір TDR-2000 [5]** використовує принцип TDR.

Прилад надсилає малопотужні імпульси шириною в наносекунду вздовж електропровідного кабельного зонда з відомою швидкістю розповсюдження (швидкістю світла). Коли імпульс досягає поверхні середовища або фази двох рідин (змінена діелектрична проникність  $\epsilon_r$ ), частина його відбивається назад до електронного модуля. Ефективність відбитого сигналу залежить від діелектричної проникності  $\epsilon_r$  різниці середовищ або шарів. Відбитий імпульс виявляється як сигнал електричної напруги та обробляється електронікою. Рівнева відстань прямо пропорційна часу польоту імпульсу. Дані вимірюючого рівня перетворюються в струм 4-20 мА, що відображається на РК-дисплеї. З даних про рівень можна розрахувати подальші вимірювальні значення, такі як об'єм і маса. На технологію TDR не впливають інші властивості середовища, а також простору над ним.

Призначений для вимірювання відстані, рівня, об'єму рідин, паст, суспензій і порошкоподібних продуктів; застосовується в резервуарах, силосах, жорстких трубах, реакційних судинах і резервуарах рівня.

#### **ОСОБЛИВОСТІ**

- Нечутливий до змін діелектрика, тиску, провідності, вакууму, вологості, пилу, в'язкості, пари, піни, рН, об'ємної щільності, температури або турбулентності
- Не піддається впливу умов наповнення або спорожнення, таких як пил, шум і рух матеріалу
- Простота установки в нові резервуари або модернізація існуючих резервуарів
- Можна встановлювати під час експлуатації бака
- Не вимагає спеціальної конфігурації для компенсації навколишніх або структурних умов
- Заводське калібрування та налаштування
- Конструкція передавача мінімізує вимоги до обслуговування





Рисунок 14 – Хвильовий радарний рівнемір TDR-2000

Технічні характеристики TDR-2000:

Робоча потужність 24 В постійного струму (від 18 до 35 В постійного струму)

Температура навколишнього середовища (від -20° до 60° С)

Температура процесу від -30° до 100° С

Робочий тиск 40 бар

Точність Довжина кабелю < 10 м; точність  $\pm 0,8''$  (20 мм)

Довжина кабелю > 10 м; точність  $\pm 0,20\%$  довжини

Діелектрична проникність > 2.1

Вихід 4-20 мА, зв'язок HART, кінцевий резистор 750 Ом макс

Максимальний діапазон вимірювання 24,0 м

Верхня зона нечутливості: 40 см, якщо  $\epsilon_r < 10$ ; (30 см), якщо  $\epsilon_r > 10$

Довжина дна: 36 см

Захист від проникнення IP67 (NEMA 4-4X)

**Остаточний вибір датчика:**

У виробничому процесі можливо використати як TDR-2000 від Bindicator, так і Rosemount 5300. TDR-2000 добре підходить для стандартних вимірювань у ситуаціях, де вимоги до точності є помірними. Проте, Rosemount 5300 є кращим вибором для більш складних умов, де необхідна висока точність і надійність. Тому було обрано Rosemount 5300, оскільки він надає кращу продуктивність в умовах, де точність рівневих вимірювань має вирішальне значення, таких як великі силоси для борошна. Це забезпечить надійне управління матеріалами на всіх етапах виробництва, від дозування до складування готової продукції.

## 4.1.2 Вибір датчика тиску

### 4.1.2.1 Датчик тиску АІР-30

Один із найкращих інтелектуальних датчиків тиску з широкими функціональними можливостями. Датчики призначені для безперервного перетворення на уніфікований струмовий вихідний сигнал або цифровий сигнал у стандарті протоколу HART вхідних вимірюваних величин. [6]

Датчики оснащені сучасними тензорезистивними або ємнісними детекторами. Тензорезистивні рецептори за технологією КНК мають високу перевантажувальну здатність до 500% від верхньої межі вимірювань. Ємнісні сенсори мають високу стабільність метрологічних характеристик.

Прилад має не тільки дуже широкі діапазони вимірів (наприклад, для надлишкового тиску від 0,04 кПа до 60 МПа), але й можливість переналаштування діапазонів коефіцієнтом до 1:60. Це дозволяє проводити високоточні вимірювання зі значеннями основної похибки від 0,1%. Вихідний сигнал перетворювача - уніфікований струмовий 4...20 мА або комбінований 4...20/0...5 мА. У виконанні «HART» перетворювач формує відповідний частотно-модульований сигнал.

Датчики оснащені багатофункціональним 4-розрядним РК-індикатором з підсвічуванням та графічною шкалою. Датчики мають модульну структуру: модуль сенсора та модуль електроніки. Усі модулі одного виду взаємозамінні. Це забезпечує високу ремонтпридатність датчика. Усі датчики захищені дворівневим паролем від несанкціонованого доступу. Налаштування параметрів датчика здійснюється за допомогою зовнішньої або внутрішньої клавіатури або HART-протоколу.

У перетворювач вбудовані пристрої сигналізації та регулювання, що істотно спрощує використання приладу в системах АСУ ТП.



Рисунок 15 – Датчик тиску АІР-30

Основні характеристики:

Верхні межі вимірів:

абсолютний тиск (штуцерні ТА) - 0,4 кПа ... 6 МПа;

надлишковий тиск (штуцерні TG, фланцеві CG) - 0,04 кПа ... 60 МПа;

надлишковий тиск-розрідження (штуцерні TV, фланцеві CV) -  $\pm 0,02$  кПа...(-0,1...+2,4) МПа;

диференціальний тиск (фланцеві CD) - 0,025 кПа ... 16 МПа;

гідростатичний тиск (фланцеві CL) - 1 кПа ... 250 кПа;

Глибина переналаштування діапазонів – 60:1;

Сенсори датчиків:

S1 - тензометричні сенсори;

S2 - ємнісні сенсори;

S3 - тензометричні мультисенсори з компенсацією впливу статичного тиску;

Вихідний сигнал – 4...20 мА; 0...5 мА; 4...20/0...5 мА (на вибір); HART;

Конфігурація - клавіатура (внутрішня або зовнішня), HART-протокол;

Похибка – від  $\pm 0,1$  %;

Кліматичні виконання – С3 (-20...+70 °С), С2 (-40...+70 °С), Д3 (-50...+70 °С), ТВ4.1 (-50. ...+70 °С);

Пиловолодозахист - IP65, IP67;

Індикація — РК-індикатор з підсвічуванням та графічною шкалою;

Обертання індикатора на 90°, 180°, 270°;

Обертання корпусу на  $\pm 135^\circ$ ;

Пристрої сигналізації та регулювання:

2 уставки і 2 оптореле ( $\sim 250 \times 0,1$  А);

2 уставки та 2 електромагнітних реле ( $\sim 250 \times 3$  А);

Електромагнітна сумісність (EMC) - IV-A;

Гарантія – 5 років

#### 4.1.2.2 Датчик тиску DMK 331P

Призначений для вимірювання в'язких та агресивних середовищ із високим тиском. DMK 331P виконаний на основі керамічного чутливого елемента, відмінними рисами якого є низька температурна похибка, хороша лінійність та довготривала стабільність. Можливий вибір заповнюючої рідини: силіконова олія (стандартно), харчова олія, галокарбон. Для використання при високих температурах можливе спеціальне виконання з охолоджуючим елементом (радіатором).

Різні варіанти вихідних сигналів та електричних роз'ємів дозволяють використовувати DMK 331P у багатьох областях. Датчик може використовуватись також у вибухонебезпечних зонах.

Датчик тиску DMK 331P призначений для вимірювання тиску гігієнічних та хімічних процесів в діапазоні від 1 до 400 бар. Датчик має конструктивно вбудований роздільник середовищ з торцевою мембраною, що передбачає захист від засмічення та налипання вимірюваного середовища. Штуцер датчика виготовляється з корозійностійкої нержавіючої сталі 316L, яка стійка до більшості неагресивних середовищ загальнопромислових застосувань. Модульна концепція виробу дозволяє поєднувати різні механічні та електричні приєднання, матеріали ущільнень, мембран та опції, що дозволяє застосовувати дану модель для вирішення широкого кола завдань щодо вимірювання тисків серед складних складів та температур.

Області застосування:

- контроль технологічних процесів у харчовій промисловості;
- контроль технологічних процесів у фармацевтичній промисловості;
- контроль технологічних процесів у хімічній промисловості;
- Вимірювання тисків забруднених, в'язких і високотемпературних середовищ.



Рисунок 16 – Датчик тиску DMK 331P

Характеристики [7]

Діапазони тиску: від 0...1 до 0...400 бар, абсолютне, надлишкове, розрідження

Основна похибка: 0,5 / 0,25 % ДІ

Вихідний сигнал: 0/4...20 мА, 0...10 В, 0...5 В, HART-протокол

Сенсор: керамічний тензорезистивний

Діапазон температур вимірюваного середовища: -20...+300°C

Клас захисту: IP 65-68

Механічне приєднання: VARIVENT®, M20x1.5, G½", G¾", G1", G1½", фланець, харчові виконання (DIN 11851, Clamp)

Електричне приєднання: DIN 43650, Binder 723 (5 конт.), M12x1 (4 конт.), кабельне введення PG7, Виссаеер

#### **Остаточний вибір датчика:**

Для вибору між датчиками тиску AIP-30 та DMK 331P для макаронного пресу, DMK 331P видається більш підходящим. Він спеціально розроблений для використання в харчовій промисловості з особливою увагою до гігієнічності, має нержавіючу сталь у всіх контактних частинах і легко очищається, що є ідеальним для застосувань, де необхідне регулярне миття. Вибір цього датчика забезпечить надійне та точне вимірювання тиску в умовах, що вимагають високих стандартів чистоти.

### **4.1.3 Вибір датчика температури**

#### **4.1.3.1 Sensit PTS 45-100 датчик температури**

Датчик опору призначений для контактного вимірювання температури до 400 °С. Температурний датчик в поєднанні з центральним тримачем або захисною гільзою може використовуватись для вимірювання температури в різних сферах промислового середовища. Діапазон температур становить від -50 до 400 °С. Датчик може бути використаний для будь-яких систем управління, сумісних з вихідними сигналами чутливого елемента. Датчики призначені для роботи в хімічно неагресивному середовищі.



Рисунок 17 – Датчик температури Sensit PTS 45-100

Характеристики [8]

Тип чутливого елемента: Pt 1000

Діапазон вимірювання температури: -50 °C до +400 °C

Точність чутливого елемента:  $t = \pm(0.3+0.005|t|)$  в °C

Матеріал стержня з чутливим елементом: нержавіюча сталь DIN 1.4301

Довжина стержня з чутливим елементом: 100 мм

Матеріал головки підключення: алюмінієвий сплав

Клас захисту: IP 54, згідно EN 60529

Вихід: 4 - 20 мА

Робоча температура: -25 до 70 °C

Робочий атмосферний тиск: 70 до 107 кПа

Вага: 0.25 кг

#### **4.1.3.2 Датчик температури Endress+Hauser TM311**

Датчики температури Endress+Hauser - це високоякісні прилади, які використовуються для вимірювання температури рідин, газів та інших середовищ. Датчики Endress+Hauser виготовляються з високоякісних матеріалів та відповідають найвищим стандартам якості. Вони використовуються в широкому спектрі застосунків, включаючи промисловість, енергетичний сектор, медицину та фармацевтику.

Термодатчики Endress+Hauser доступні в різних моделях, які відрізняються діапазоном вимірювання, точністю та конструктивними особливостями. Датчики Endress+Hauser можуть бути виготовлені з різних матеріалів, в тому числі нержавіючої сталі, латуні та бронзи. Вони також можуть бути оснащені різними типами вимірювальних перетворювачів, в тому числі терморезисторами, термопарами та термоелементи.

Перетворювачі температури Endress+Hauser - це надійний та точний інструмент, який ідеально підходить для вимірювання температури в широкому спектрі застосунків. Вони виготовляються з високоякісних матеріалів та відповідають найвищим стандартам якості. Датчики Endress+Hauser доступні в різних моделях, які можна підібрати під будь-які потреби.

Ось деякі з ключових переваг датчиків температури Endress+Hauser [9]:

- Високі показники точності та надійності
- Широкий діапазон вимірювання
- Виготовлення з високоякісних матеріалів

- Відповідність найвищим стандартам якості
- Доступність різних моделей та типів



Рисунок 18 – Датчик температури Endress+Hauser TM311

#### Характеристики

Тип пристрою: Датчик температури

Діапазон вимірювання мін. 0 °C

Діапазон вимірювання макс. 200 °C

Вимірювальний елемент Pt100, клас A

Динаміка реакції T05/T09 5/< 20 с

Налаштування: IO-Link

Робоча напруга мін. 10 В

Робоча напруга макс. 35 В

Тип напруги DC

Вихід аналоговий

Максимальний вихідний струм. <= 23 mA

Вихідний сигнал 4-20 mA

Стійкість до тиску 50 бар

З'єднання з процесом G 1/2 зовнішня різьба ISO228

Довжина занурювальної частини 30 мм

Діаметр зонда 6 мм

Матеріал з'єднання з процесом 316L

Температура навколишнього середовища мін. -40 °C

Температура навколишнього середовища макс. 85 °C

Клас захисту IP69K

**Остаточний вибір датчика:**

Для моніторингу температур у таких умовах як підсушувач, сушарка та розхідний бак з емульсією, було розглянуто два датчики: Endress+Hauser TM311 та Sensit PTS 45-100. Endress+Hauser TM311 вирізняється високою стійкістю до агресивних середовищ і точними вимірюваннями, тоді як Sensit PTS 45-100 є універсальним і підходить для різних умов експлуатації, зокрема в харчовій промисловості.

Було обрано Endress+Hauser TM311, оскільки вища точність і надійність цього датчика краще відповідає вимогам моєї специфічної виробничої потреби, особливо в аспекті стійкості до агресивних середовищ, що є ключовим для тривалої і безперебійної роботи обладнання.

**4.1.4 Вибір датчиків ваги**

**4.1.4.1 MHT1 Compression Force Transducer**, доступний у діапазоні від 1 кг до 200 кг. Цей датчик налаштований для вимірювання сил стиснення і використовує технологію тензорезистора з повним мостом, яка забезпечує відмінну стабільність в довгостроковому використанні та високу продуктивність навіть у застосуваннях, що вимагають більше ніж 1 мільйон циклів навантаження. [10]

Виготовлений з алюмінію (1 кг - 20 кг) і нержавіючої сталі (50 кг 200 кг) і захищений від вологи епоксидним покриттям. MHT1 може постачатися зі стандартними конфігураціями кабелів або з промисловими стандартними роз'ємами. Як додаткова допомога для системних інтеграторів, МК може постачатися як інтелектуальний перетворювач із підтримкою TEDS (Transducer Electronic Data Sheet), який забезпечує вбудовану мікросхему пам'яті, яка зберігає дані про виробництво та калібрування.





Рисунок 19 – Тензодатчик MHT1 Compression Force Transducer

#### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ [11]

Вантажопідйомність кг 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200

Вихід мВ/В  $1 \pm 20\%$  для 1 кг - 20 кг,  $1,5 \pm 20\%$  для 50 кг - 200 кг

Напруга збудження (постійний або змінний струм) В 5 (рекомендовано), 10 (макс.)

Вхідний опір  $\Omega$   $1000 \pm 150$

Вихідний опір  $\Omega$   $350 \pm 70$

Макимально допустиме навантаження % FS 150

Повторюваність % FS max  $\pm 0,1$

Загальна похибка % FS max  $\pm 0,8$

Нульовий баланс % FS max 2

Компенсований діапазон температур  $^{\circ}\text{C}$  від -15 до +70

Діапазон робочих температур  $^{\circ}\text{C}$  від -20 до +80

Матеріал - алюмінієвий корпус (1-20 кг) і кришка з нержавіючої сталі

Корпус з нержавіючої сталі (50-200 кг) і кришка з нержавіючої сталі

#### 4.1.4.2 Датчик вимірювання напруги та стиснення RS PRO Load Cell

RS PRO представляє тензодатчик RS PRO на стиснення та натяг. Цей тензодатчик виготовлений з нержавіючої сталі, щоб забезпечити міцність і тривалий термін служби вашого продукту. Цей тензодатчик стиснення був розроблений компанією RS PRO із можливістю вимірювання як сили стиснення, так і сили тяги. Цей тензодатчик був розроблений як мініатюрний тензодатчик із

найвищою точністю зі зварною міцною конструкцією з нержавіючої сталі, щоб усунути або звести до мінімуму вплив позаосьових навантажень. [12]

Особливості та переваги:

Цей тензодатчик має діапазон навантажень від 1 кг до 500 кг

Низькопрофільний тензодатчик із невеликим дизайном не займає багато місця та не буде громіздким на вашому робочому місці

Клас точності С3, який був класифікований і перевірений відповідно до тензодатчика OIML R60, точно відповідає вимогам, визначеним для багатьох факторів, які мають вирішальне значення для якості результатів вимірювань.

Датчик навантаження має робочу температуру від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$ , що робить його ідеальним для широкого діапазону середовищ.

Цей тензодатчик виготовлений з нержавіючої сталі, що забезпечує міцність і довговічність продукту

Клас захисту IP66 означає, що ваш тензодатчик захищений від пилу

Датчик навантаження має нелінійність 0,3% R.O

Максимальна напруга збудження 10 В постійного струму

Вплив температури на вихід датчика навантаження становить 0,1% R.O/ $^{\circ}\text{C}$

Дозвіл на модифікацію дозволяє повністю зварити цей елемент для підводного застосування



Рисунок 20 – Тензодатчик RS PRO Load Cell

#### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Діапазон ваги: Від 1 кг до 500 кг, що забезпечує велику універсальність для різних застосувань.

Точність: Клас точності С3, що гарантує високу точність вимірювань.

Матеріал: Виготовлений з нержавіючої сталі, що забезпечує міцність і тривалий термін служби.

Захист: Клас захисту IP66, що робить датчик стійким до пилу та води.

Робоча температура: Від -20°C до 80°C, що дозволяє використовувати датчик у різних умовах.

Висока мініатюрність: Його малий розмір не становить перешкоду на робочому місці.

#### **Остаточний вибір датчика:**

Для наших потреб на дозаторах та бункерах ми розглянули два датчики: MHT1 Compression Force Transducer і RS PRO Load Cell. MHT1 є універсальним із діапазоном вимірювань від 1 кг до 200 кг, що забезпечує велику гнучкість, але RS PRO Load Cell ідеально відповідає нашим вимогам з максимальним діапазоном до 50 кг, що є оптимальним для наших застосувань на дозаторах та бункерах. Було обрано RS PRO Load Cell через його високу точність і спеціалізацію для вагових вимірювань в конкретному діапазоні, а також через його міцну конструкцію з нержавіючої сталі та захистом IP66, що забезпечують тривалу надійність у важких умовах експлуатації.

## **4.2 Вибір контролера**

При підготовці до вибору контролера для автоматизації нашого виробничого процесу, особливу увагу було звернуто на визначення кількості необхідних входів та виходів, що відіграють ключову роль у забезпеченні точності та ефективності управління. З огляду на потреби в управлінні критичними параметрами процесу, ми зібрали вимоги до контролера у таблицю, яка представляє збалансований підхід до кількості необхідних інтерфейсів:

Таблиця 2 – Вимоги до входів/виходів контролера.

| Порти            | Кількість сигналів |
|------------------|--------------------|
| Аналогові входи  | <b>14</b>          |
| Дискретні входи  | <b>0</b>           |
| Аналогові виходи | <b>0</b>           |
| Дискретні виходи | <b>25</b>          |

## **Порівняння контролерів Siemens S7-1200 та S7-300**

Переваги Siemens S7-300:

- Підтримує різноманітні промислові комунікаційні протоколи, що забезпечує легку інтеграцію з іншими системами автоматизації.
- Часто використовуються в більших системах, які вимагають численних ввідів/виводів.
- Доступний за нижчою ціною, що може бути привабливим для бюджетно обмежених проєктів.

Недоліки:

- Підтримка контроллера завершилась 2023 року.

Переваги Siemens S7-1200:

- Ідеальний для середніх та малих проектів автоматизації.
- Простіший в налаштуваннях та програмуванні через сучасні інструменти як TIA Portal.
- Має здатні обслуговувати від 10 до 284 дискретних та від 2 до 51 аналогового каналу введення-виведення.
- Включає більш сучасні технології зв'язку та інтеграції.
- Вища ціна може відштовхнути деякі малі та середні підприємства, але забезпечить довгострокову інвестицію з огляду на оновлення та підтримку.

Недоліки:

- Більша ціна порівняно з S7-300

На основі оцінки потреб входів/виходів та загальних технічних вимог, Siemens S7-1200 видається більш відповідним для нашого застосування, незважаючи на його вищу вартість. Його можливість легкого масштабування, сучасні технології та підтримка забезпечують нам гнучкість та можливість адаптуватися до майбутніх технологічних оновлень. Тим часом, S7-300, хоча й дешевший, може стати більш дорогим у довгостроковій перспективі через вищі витрати на експлуатацію та підтримку в більш складних установках.

#### **4.2.1 Контролер S7-1200**

Програмовані контролери SIMATIC S7-1200-це нове сімейство системних мікроконтролерів для вирішення різних завдань автоматизації малого рівня. Ці контролери мають модульну конструкцію та універсальне призначення. Вони здатні працювати в реальному масштабі часу, можуть використовуватися для побудови щодо простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Ethernet, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання. [13]

Програмовані контролери S7-1200 мають компактні пластикові корпуси зі ступенем захисту IP20, можуть монтуватися на стандартну 35мм профільну шину DIN або монтажну плату та працюють у діапазоні температур 0..50°C або -20...60°C. Вони здатні обслуговувати від 10 до 284 дискретних та від 2 до 51 аналогового каналу введення-виведення. При однакових з S7-200 конфігураціях введення-виведення контролер S7-1200 займає на 35% менший монтажний об'єм.

До центрального процесора (CPU) програмованого контролера S7-1200 можуть бути підключені комунікаційні модулі (CM), сигнальні модулі (SM) та сигнальні плати (SB) вводу-виводу дискретних та аналогових сигналів. Спільно з ними використовуються 4-канальний комутатор Industrial Ethernet (CSM 1277) та модуль блоку живлення (PM 1207).

Кожен центральний процесор S7-1200 оснащений вбудованим інтерфейсом Ethernet, який використовується для програмування та діагностики, обміну даними з іншими системами автоматизації, пристроями та системами людино-машинного інтерфейсу. Всі типи центральних процесорів оснащені двома аналоговими входами, набором дискретних входів та виходів, а також блоком живлення датчиків з вихідною напругою = 24В. Підключення зовнішніх ланцюгів виконується через термінальні знімні блоки з контактами під гвинт. Центральні процесори допускають підключення до трьох комунікаційних модулів та встановлення однієї сигнальної плати (SB) вводу-виводу. Додатково до CPU 1212C може підключатися до 2, до CPU 1214C, 1215C і 1217C- до 8 сигнальних модулів (SM).

Сигнальні модулі (SM) розширення дозволяють адаптувати контролер до вимог розв'язуваного завдання. Вони дозволяють збільшувати кількість входів і виходів, з якими працює центральний процесор, доповнювати систему введення-виводу дискретними та аналоговими каналами з необхідними параметрами вхідних та вихідних сигналів. Сигнальні модулі встановлюються праворуч від центрального процесора. Комунікаційні модулі встановлюються ліворуч від центрального процесора і підключаються до внутрішньої шини через вбудовані в кожен модуль з'єднувачі. Максимально можна використовувати 3 будь-які комунікаційні модулі з усіма типами центральних процесорів.



Рисунок 20 – Контролер Siemens S7-1200

Характеристики: [14]

Торгова марка Siemens

Пам'ять 4 Мб

Інтерфейс програмування Profinet

Тип виходу Цифровий, Релейний

Мінімальна робоча температура -20 °C

Категорія напруги 85 → 264 В змінного струму  
Тип мережі Ethernet  
Кількість виходів 10 (цифровий вихід, релейний вихід)  
Використовувана мова програмування FBD, LAD, SCL  
Кількість комунікаційних портів 1  
Вихідний струм 2 А  
Тип входу: аналоговий, цифровий  
Кількість входів 14 (цифровий вхід, 2 перемикача як аналоговий вхід)  
Максимальна робоча температура +60 °С  
Розміри 100 x 110 x 75 мм  
Тип комунікаційного порту Ethernet, Profinet, UDP  
Обсяг програми 75 кБ  
Глибина/Довжина/Ширина 75 мм/100 мм/110 мм  
Тип монтажу: DIN-рейка, настінний монтаж

#### **4.2.2 Додаткові модулі розширення контролера**

Для досягнення необхідних 14 аналогових входів та 25 дискретних виходів із контролером Siemens S7-1200, нам знадобляться додаткові модулі розширення. Ось які модулі нам потрібні:

1. Аналогові входи:

SM 1231 AI - це модуль аналогових входів, який забезпечує 8 каналів. Нам потрібно використати два таких модулі для отримання 16 аналогових входів, що перекриває нашу потребу в 14 входах.

2. Дискретні виходи:

SM 1222 DQ - цей модуль дискретних виходів надає 16 каналів. Використання двох таких модулів забезпечить 32 дискретних виходи, що значно перевищує потрібні 25.

## **5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

Технологічний процес сушіння макаронних виробів критично важливий для забезпечення їх якості та тривалості зберігання. Це один із найбільш тривалих етапів виробництва, від коректності проведення якого залежать такі характеристики продукції, як міцність, стекловидність перелому та кислотність.

Якщо не видалити з тесту владу, то в ньому будуть розвиватися різні фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні процеси, які приводять до порції продукту. Для запобігання розвитку цих процесів виробу піддаються консервуванню знежиренням – сушці до вологи не більше 13 %. [15]

Макаронні вироби, як коллоїдні капілярно-пористі матеріали, вимагають особливо ретельного підходу до сушіння для запобігання пошкоджень таких, як тріщини або закисання.

Сушіння макаронних виробів проводиться в рекомендованих конвективних умовах за допомогою прямого контакту з нагрітим повітрям, температура якого зазвичай підтримується в межах оптимальних значень. Сучасні технологічні лінії дозволяють автоматизувати цей процес, забезпечуючи стабільність температурних режимів від нагрівання до охолодження, що істотно впливає на кінцеву якість макаронних виробів.

Об'єктом дослідження в даній роботі є установка для сушіння макаронів, де технологічні параметри нагріву та охолодження підбираються таким чином, щоб мінімізувати ризики пошкодження продукту та забезпечити його високу якість. Оптимальне управління цими параметрами є ключовим для досягнення бажаних характеристик готових макаронних виробів.

Для розробки математичної моделі об'єкта керування необхідно виконати всебічне дослідження його реакції на серію стандартних вхідних сигналів. Це включає аналіз поведінки об'єкта керування під час впливу різних зовнішніх факторів, що дозволяє глибше зрозуміти його характеристики та можливості реагування на введені керуючі команди. Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA 49 системою zenon. Таке програмне забезпечення надає не лише можливість управління процесами в реальному часі, але й забезпечує функції глибокого аналізу та дослідження об'єкта керування. Завдяки цьому, можливо детально вивчити всі аспекти роботи системи та оптимізувати її роботу. Виходячи з цього і розроблена структурна схема системи керування, яка наведена на рисунку 21. Ця схема ілюструє основні компоненти та зв'язки між ними, визначаючи тим самим ключові точки впливу та контролю в системі.

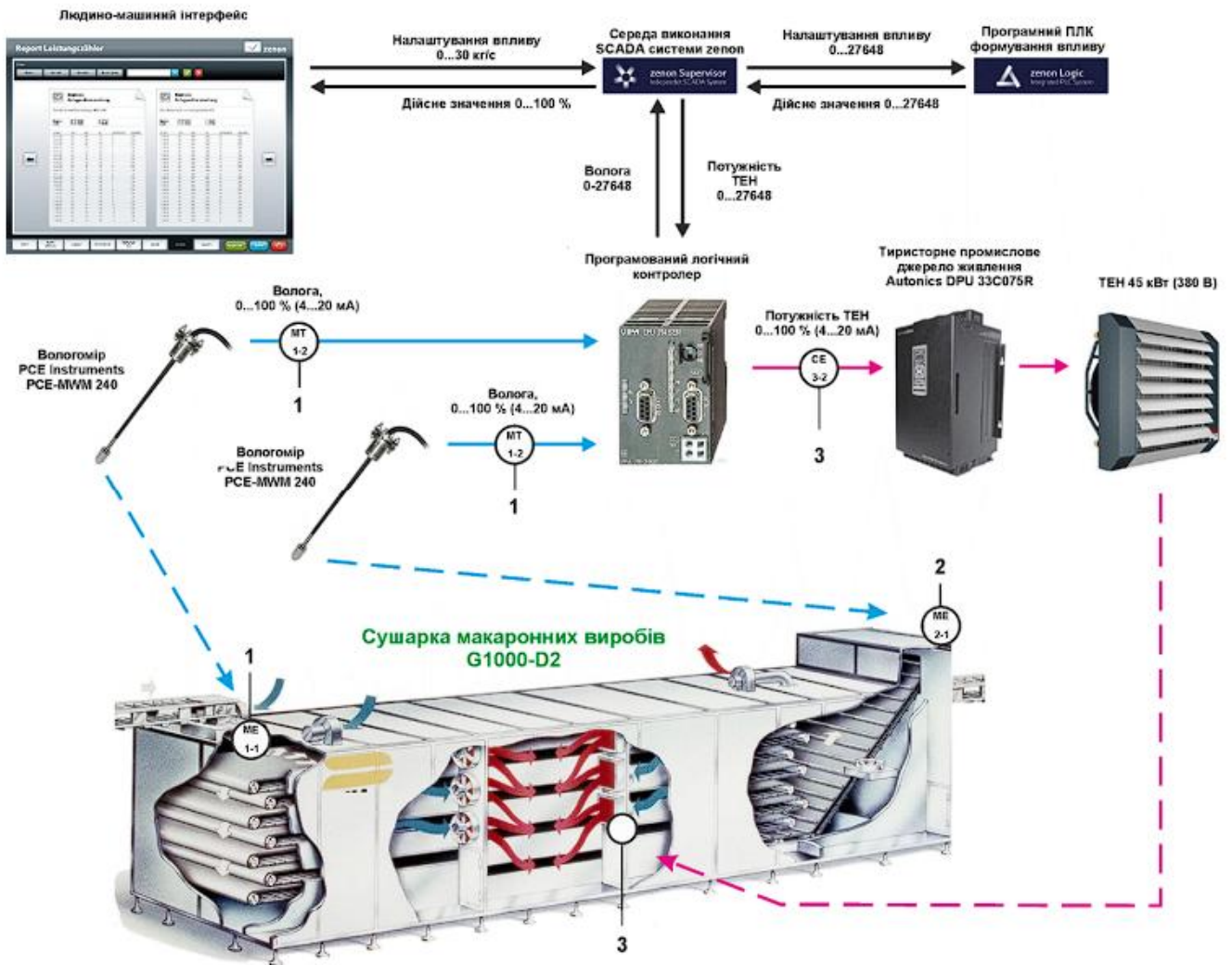


Рисунок 21 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає потужність ТЕН, яка номінально змінюється у діапазоні 15 ...45 кВт за рахунок чого через певний час виконуються зміна дійсного значення - вологості макаронних виробів. Значення зміни вологості макаронних виробів у сушарці в нашому випадку - це різниця вологості макаронних виробів на вході (20...28 %) в сушарку та виході (5...8 %); з сушарки. У нашому випадку номінальний діапазон становить  $20-8=12$ ... $28-5=23$ , а розширений може становити 10...26 %

### 5.1 Аналітичний метод отримання математичної моделі об'єкта управління

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана безперервна сушарка макаронних виробів G1000-D2 з автоматизованої лінії TF GROUP – PASTA G1000, яка призначена для сушіння широкого асортименту макаронних виробів (вермішель, павутинка, ріжки, спіралі, труби,



черепашки та багато інших). Макаронні вироби з вологістю 20...28 % поступають по ланцюговому конвеєру у верхню зону сушки сушарки. Далі вологі вироби по системі пересипних стрічкових конвеєрів просуваються вздовж всієї зони сушки у нижню її частину, а далі з нижньої частини зони вже сушки висушені з вологістю 5...8 % макаронні вироби по похилому ланцюговому конвеєру транспортуються з сушарки. Ланцюговий і стрічковий конвеєрний пристрій оснащено одним спільним редуктором, швидкість обертів якого залежить від електродвигуна, який керується інверторним перетворювачем частоти. Час просування макаронних виробів по зоні сушки становить 3...6 год. Регульовані по потужності групи електронагріву з ТЕН забезпечують необхідну температуру сушіння 40...95 °С, яка залежить від часу сушіння та визначеного показника техпроцесу. Групи повітрообміну забезпечують подачу свіжого холодного повітря у сушарку та виведення гарячого вологого повітря з сушарки. Система впускних і випускних трубопроводів має пропорційні вентилятори подачі свіжого повітря і видалення гарячого вологого повітря. У кваліфікаційній роботі обрано канал керування «потужність нагрівача – вологість макаронних виробів» як більш впливового на якість роботи макаронних виробів. Для побудови системи керування сушаркою макаронних виробів G1000-D2 за обраним каналом маємо наступні основні технічні показники: – вологість виробів на вході:

- 20...28 %;
- вологість виробів на виході: 5...8 %;
- ТЕН: пропорційне керування; 45 кВт (380 В).

Таким чином для синтезу системи керування і моделюванні її роботи з метою перевірки її працездатності перш за все треба мати модель самого об'єкту керування - сушаркою макаронних виробів G1000-D2, яка є регульованою за вологістю макаронних виробів, в залежності від потужності ТЕН. При цьому всі інші вхідні і вихідні параметри об'єкта керування мають бути фіксованими і знаходитись у номінальному стані. Регулювання потужності ТЕН здійснюються за допомогою тиристорного промислового джерела живлення Autonics DPU 33C075R з аналоговим вхідним каналом 4...20 мА. Вологість макаронних виробів на вході і виході сушарки G1000-D2 вимірюється за допомогою УВЧ вологомірів PCE Instruments PCE-MWM 240, встановлених у вхідній і вихідній воронках. Виміряні значення за допомогою вбудованих перетворювачів трансформуються в стандартні аналогові сигнали 4...20 мА.

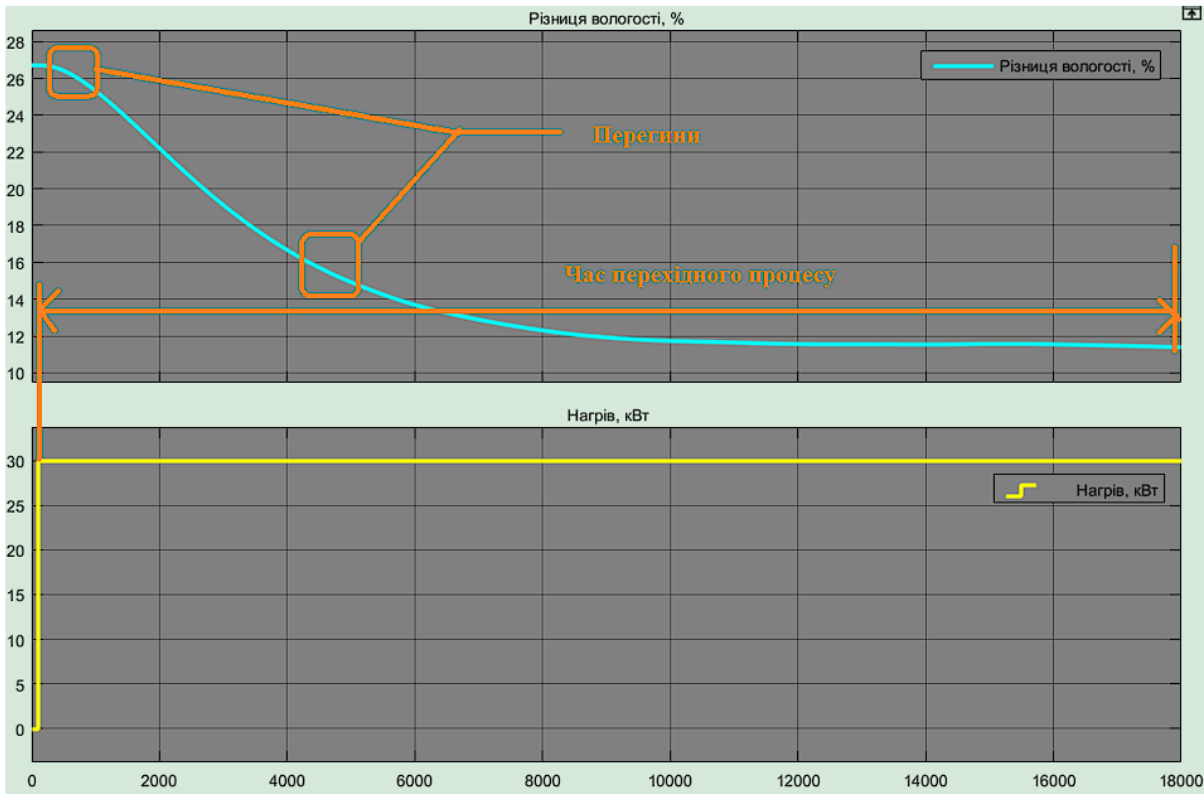
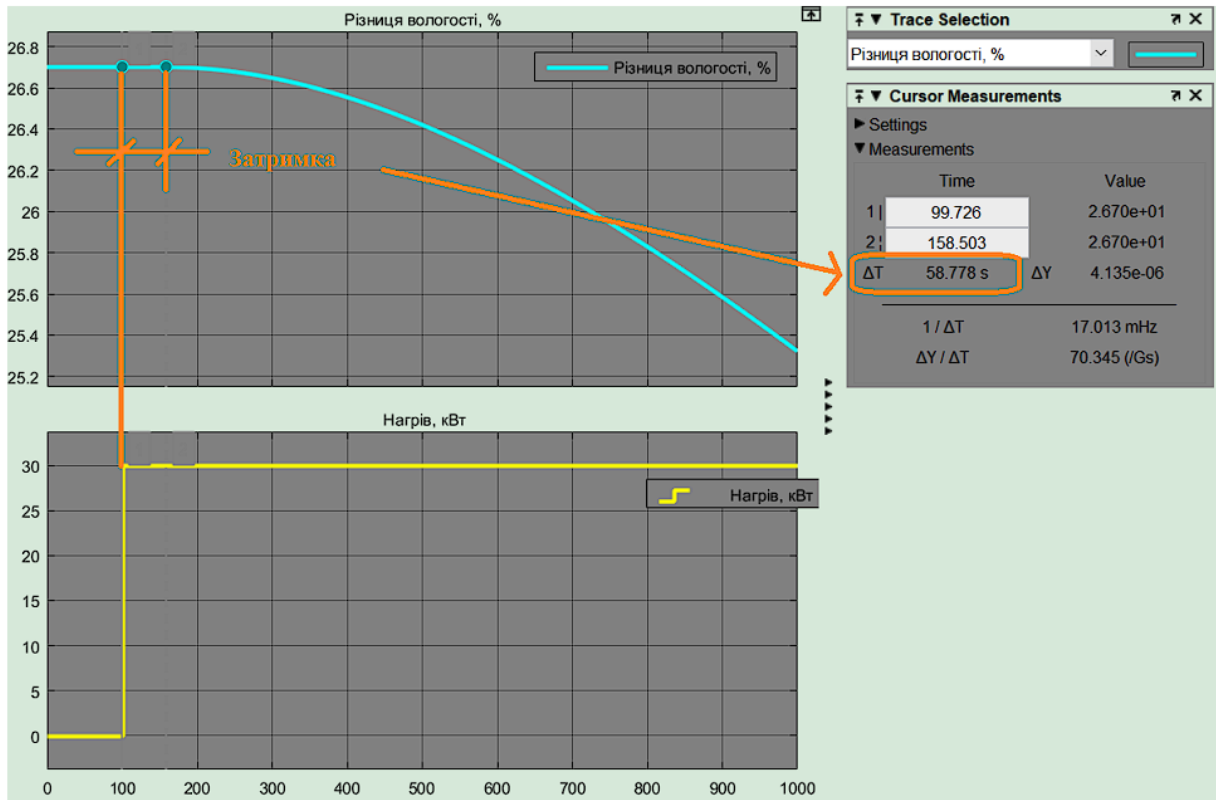


Рисунок 22 – Аналіз динамічної характеристики

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 с запізненням:

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

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 3.1

Таблиця 3 – Відповідність отриманих моделей до перевіірочних 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 перевіірочними 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. 3.9): 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.

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

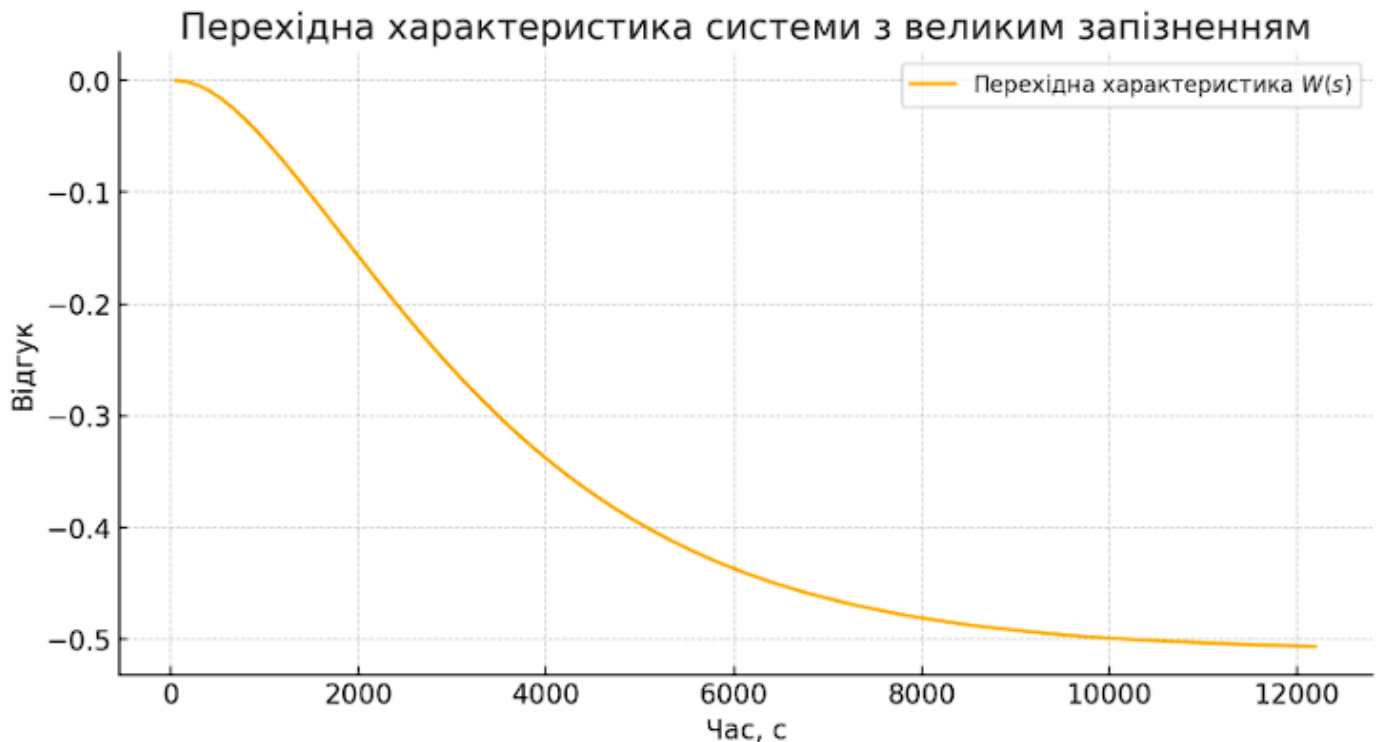


Рисунок. 23 - Перехідна характеристика об'єкта управління

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  $T1$  та  $T2$  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 процесом сушіння макаронів 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 вашого процесу сушіння макаронів.

## 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. Цей метод орієнтується на аналіз динамічних характеристик системи, зокрема на визначення оптимального коефіцієнта підсилення  $k_p$ . Для системи управління процесом сушіння макаронів 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

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

РЧХ ІІІ-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

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

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

Отримаємо 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

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

$$W(s, \tau) \text{ substitute } s = \omega \cdot (j - m) \rightarrow -0.51 \cdot \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]} \quad \text{Отримання розширеної АФЧХ об'єкта управління з передавальної функції}$$

$$W(m, \omega, \tau) := \frac{\exp[-\omega \cdot (i - m) \cdot \tau]}{[3005022 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 3467 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1]}$$

$$RW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Re}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$$

Отримання рехової та уявної частин інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління

$$IW(m, \omega, \tau) := \operatorname{Im}\left(\frac{1}{W(m, \omega, \tau)}\right)$$

$$K0(m, \omega, \tau) := (m^2 + 1) \cdot IW(m, \omega, \tau) \cdot \omega$$

$$K1(m, \omega, \tau) := m \cdot IW(m, \omega, \tau) - RW(m, \omega, \tau)$$

$$\omega := 0.03, 0.031..0.9$$

Вирази для розрахунку лінії рівного згасання отримані через речовинну та уявну частини інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління для ПІ-регулятора

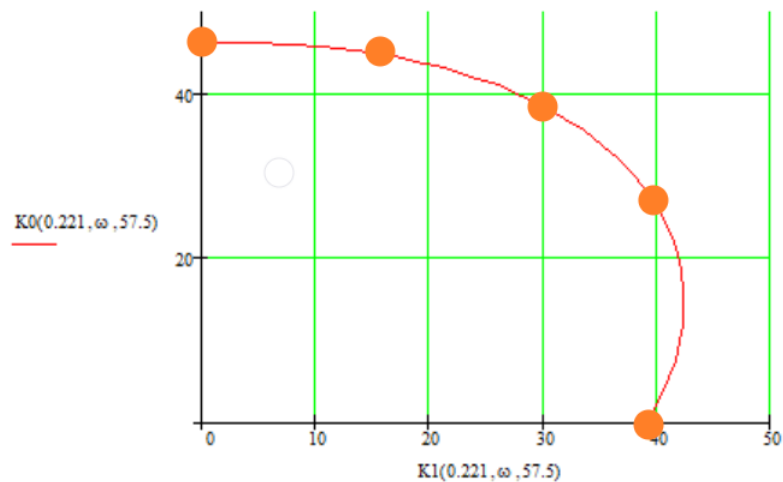


Рисунок 24 - Лінія рівного загасання та вибір налаштувань ПІ-регулятора у робочому діапазоні частот

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

Для цього використовуємо математичний пакет MathCAD

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

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

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

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

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

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

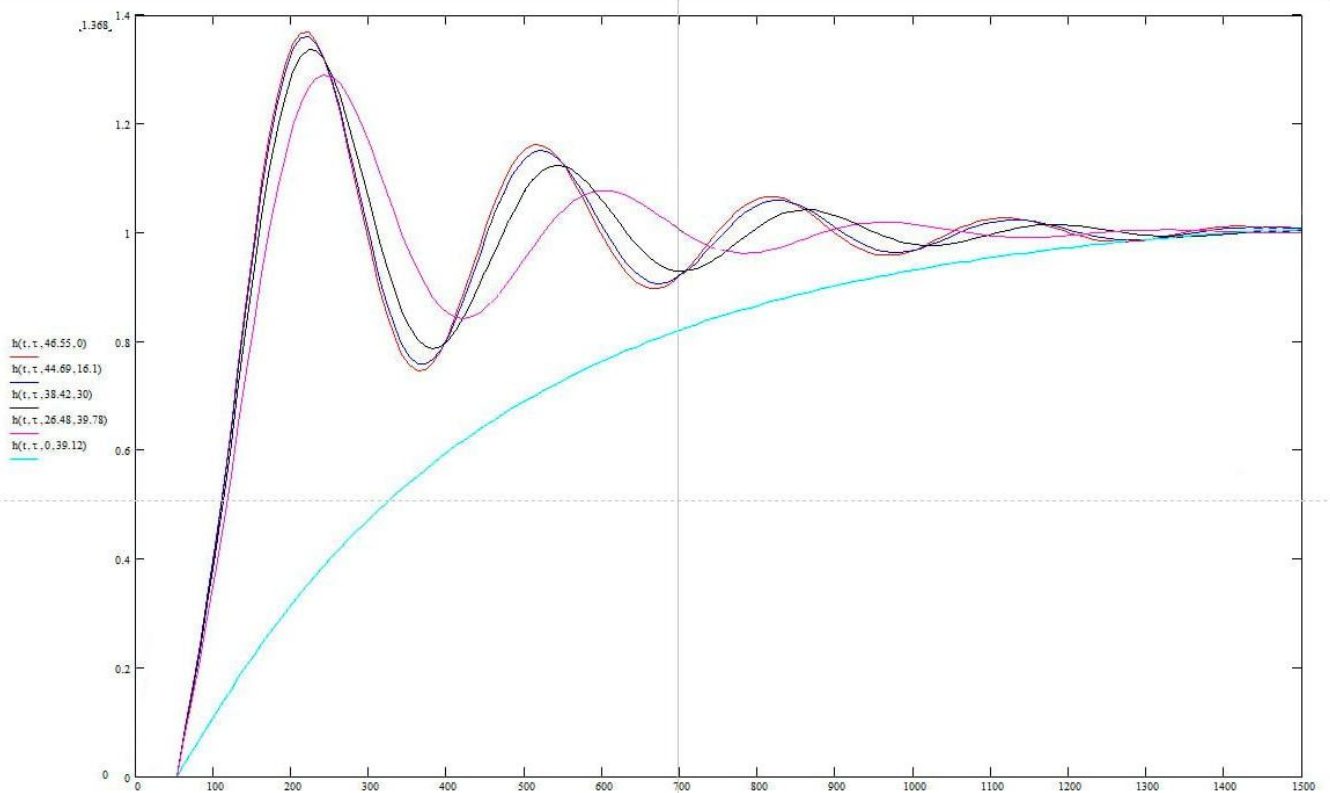


Рисунок 25 - Результати моделювання при налаштуваннях ПІ-регулятора, отриманих методом розширених АФЧХ

### 5.3.4 Отримання основних показників якості

За рис. 3 отримаємо основні показники якості для 5 перехідних процесів



Таблиця 4 - 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 1.1 можна побачити що найкращі показники якості забезпечує №3 перехідний процес. А №5 перехідний процес нам не підходить тому що має статичну похибку.

## **6. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**

Цей розділ присвячений детальному опису алгоритму роботи системи керування лінією виробництва макаронних виробів. Основна мета системи керування полягає у забезпеченні стабільної та ефективної роботи обладнання, контролі за якістю виробленої продукції та мінімізації людського фактора в процесах управління виробництвом.

### **Підготовка муки до замісу:**

Після завантаження муки в силоси, вона автоматично дозується за допомогою шнекових конвеєрів, що гарантує точне введення потрібної кількості муки у виробничий процес. Перед замісом мука проходить через серію просіювачів, де спеціальні сита відокремлюють будь-які згустки або інші включення, забезпечуючи однорідність і високу якість тіста. Цей процес контролюється за допомогою датчиків заповнення, які забезпечують безперервність подачі муки.

### **Приготування емульсії:**

Система контролює дозування води та різних добавок через автоматизовані дозатори. Вода і добавки змішуються в спеціальному блендері, формуючи концентровану емульсію. Готова емульсія під тиском перекачується в тестомесильне відділення. Процес змішування контролюється за допомогою датчиків рівня та температури, що гарантує оптимальні умови для наступного етапу замісу тіста.

### **Заміс тіста:**

У тестомесильній машині, обладнаній сенсорами температури та тиску, відбувається заміс муки з емульсією. Це обладнання забезпечує ретельне перемішування інгредієнтів, а також підтримку необхідного тиску і температури, що є критично важливим для досягнення бажаної текстури тіста.

### **Формування макаронних виробів:**

З пластифікованої маси тіста на макаронному пресі формуються вироби. Процес контролюється за допомогою оптичних і лазерних сенсорів, які вимірюють довжину і швидкість різання макаронів, забезпечуючи їх стандартність та однорідність.

### **Сушіння макаронних виробів:**

Сушіння відбувається у камерах, де контролюється вологість та температура за допомогою сенсорів. Швидкість подачі макаронів і інтенсивність обдування регулюються для забезпечення рівномірного висушування.

### **Упаковка та зберігання готової продукції:**

На заключному етапі макарони автоматично фасуються, взважуються і маркуються. Усе це відбувається на автоматизованих лініях упаковки. Система моніторингу запасів управляє потоком

продукції на складі, забезпечуючи ефективне розподілення та зберігання. Кожен з цих процесів керується високорозвиненою системою автоматизації, яка забезпечує високу якість та ефективність виробництва макаронів, а також знижує ризики пов'язані з людським фактором.

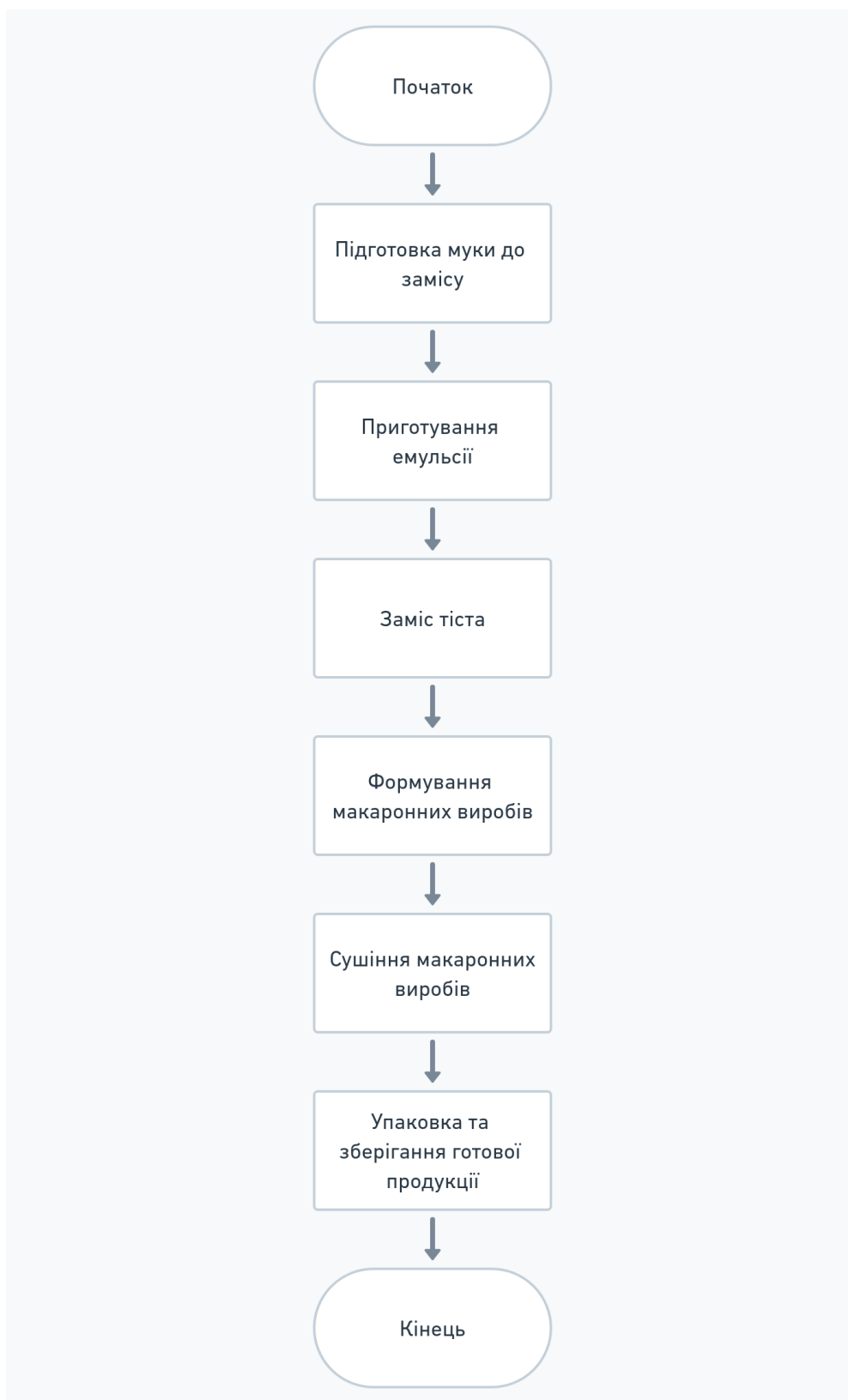


Рисунок 26 – Алгоритм роботи системи

6.1 Детальний алгоритм підготовки муки до замісу

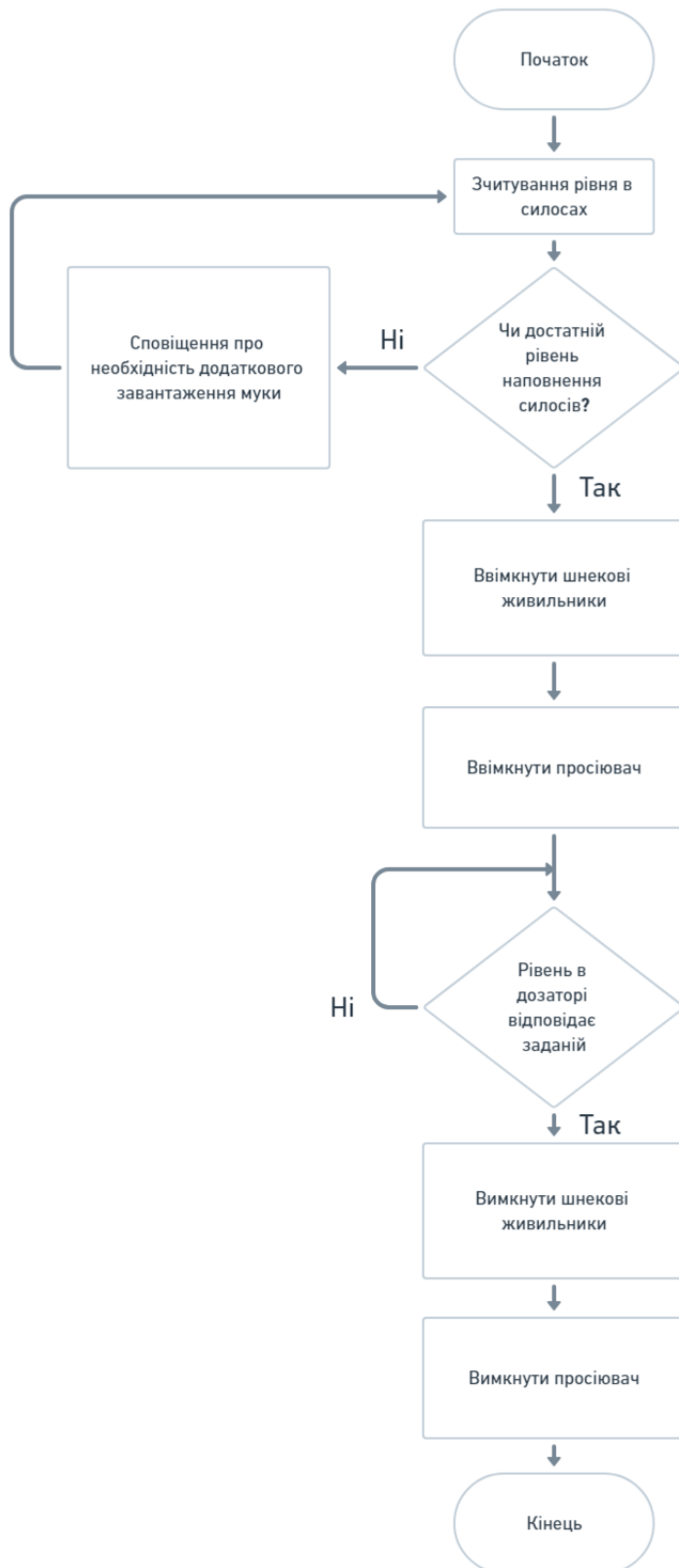


Рисунок 27 – Алгоритм підготовки муки до замісу

## 6.2 Детальний алгоритм приготування емульсії

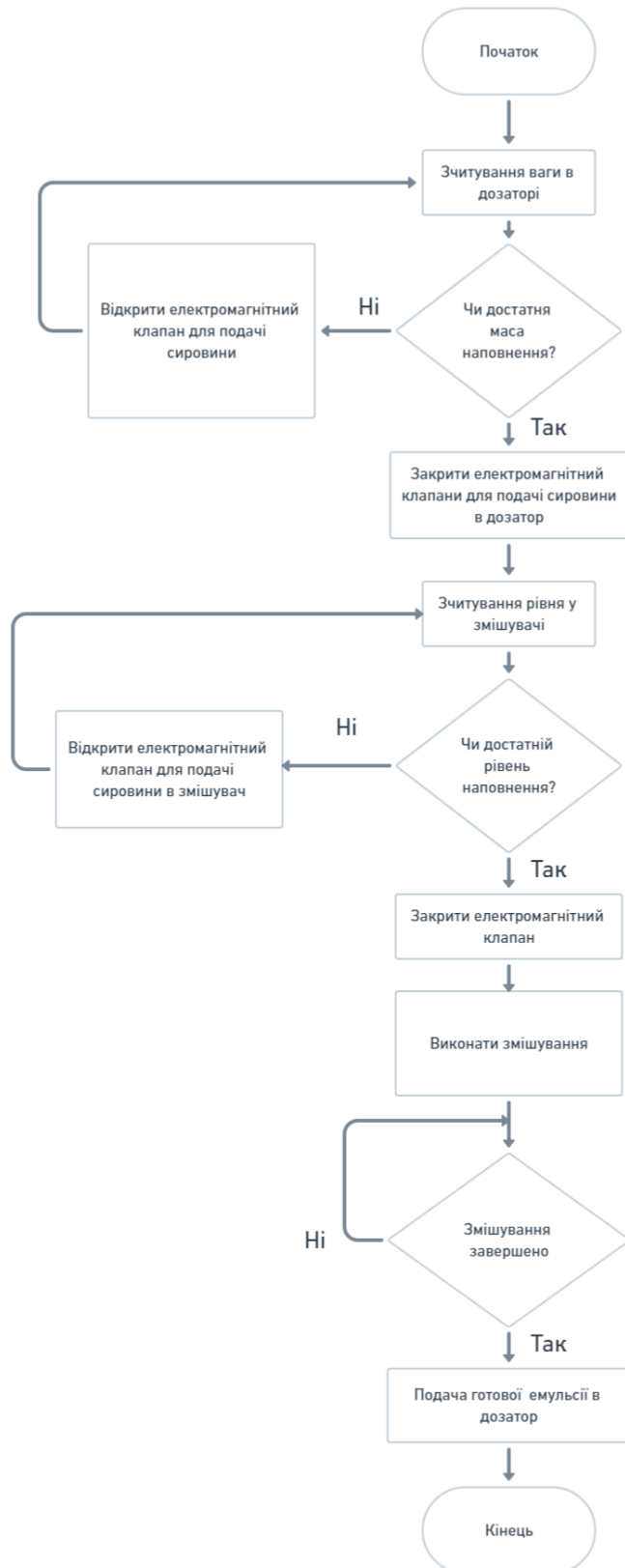


Рисунок 28 – Алгоритм приготування емульсії

### 6.3 Детальний алгоритм замісу тіста

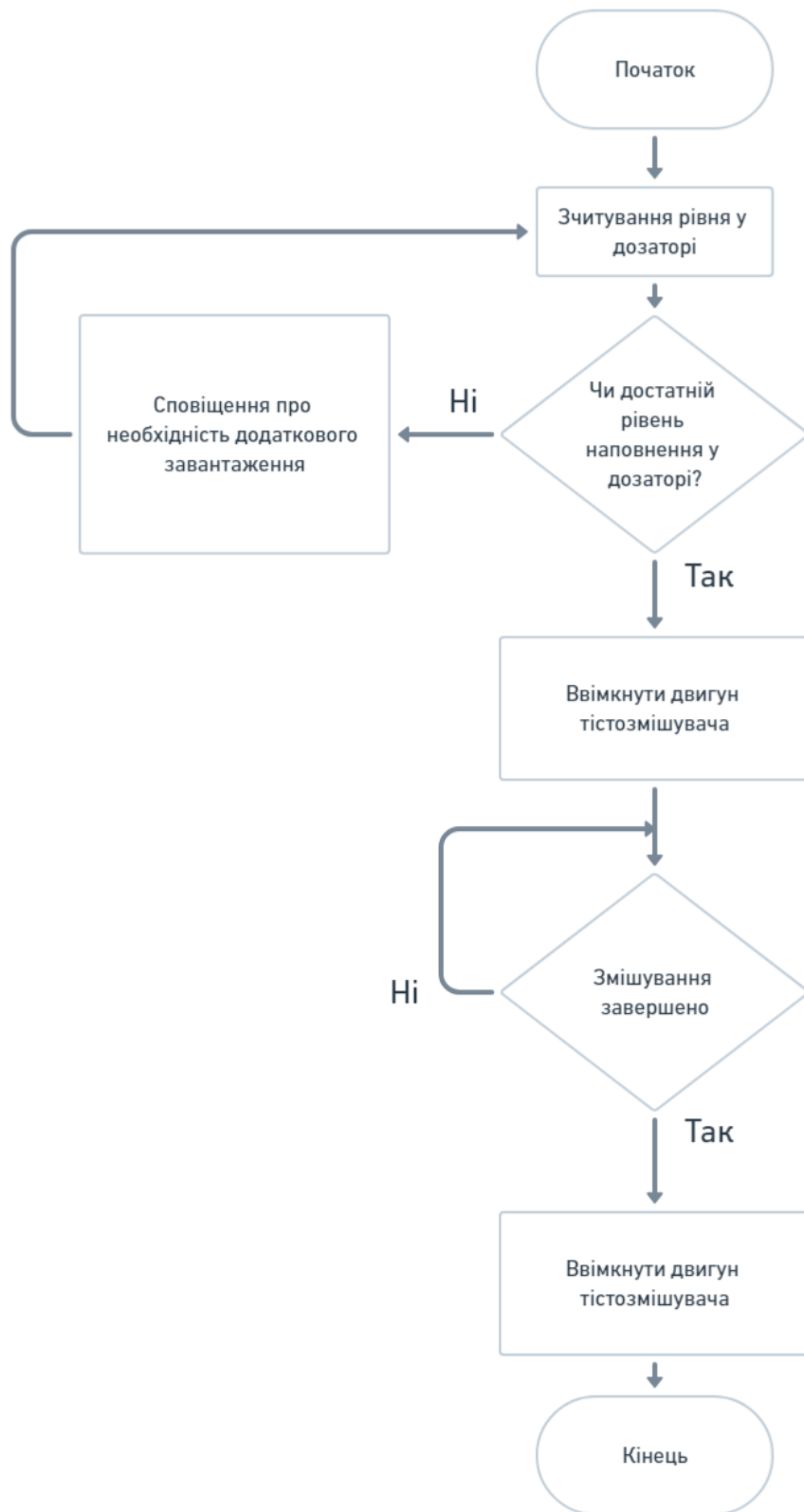


Рисунок 29 – Алгоритм замісу тіста

### 6.4 Детальний алгоритм формування макаронних виробів

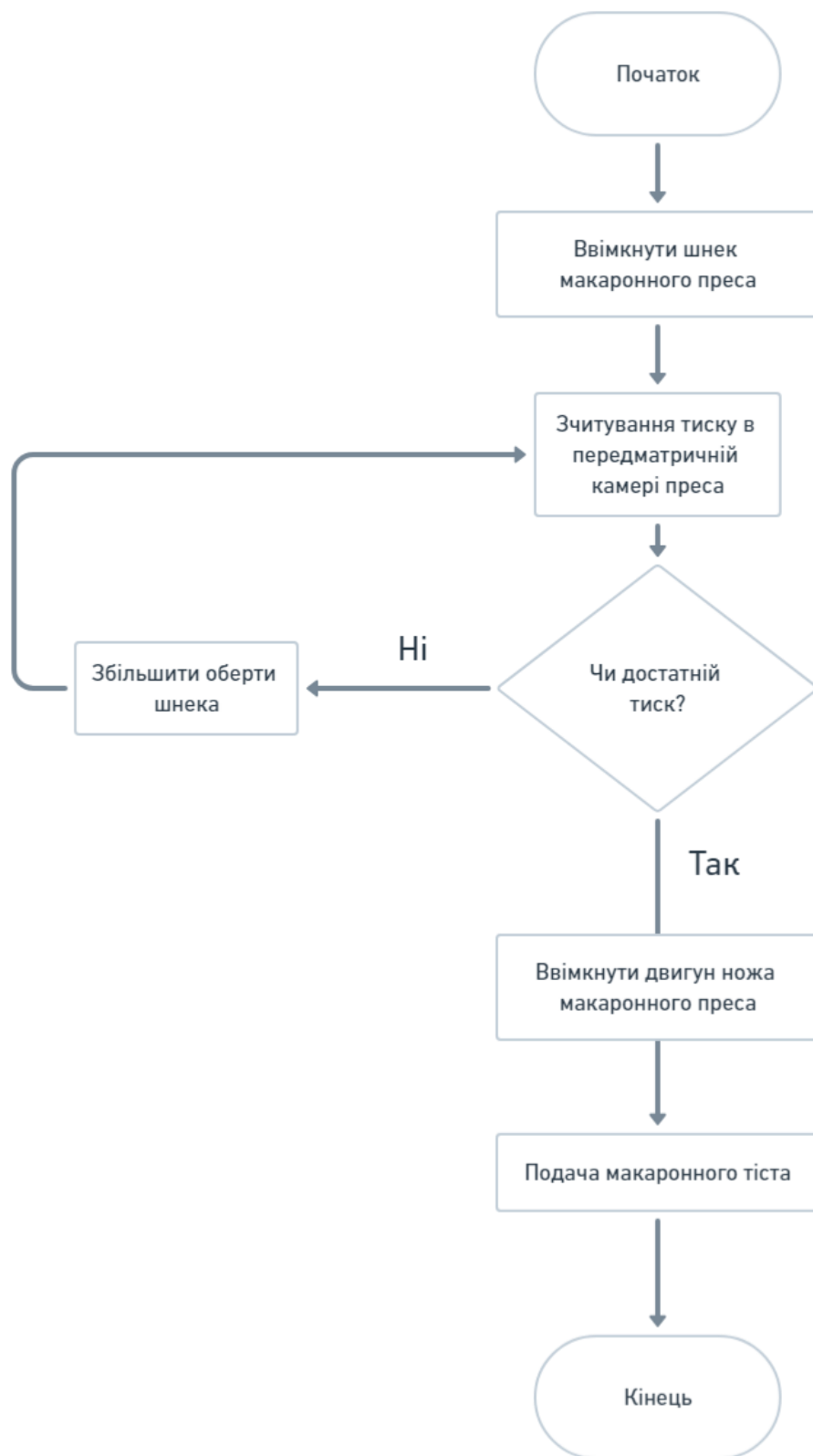


Рисунок 30 – Алгоритм формування макаронних виробів

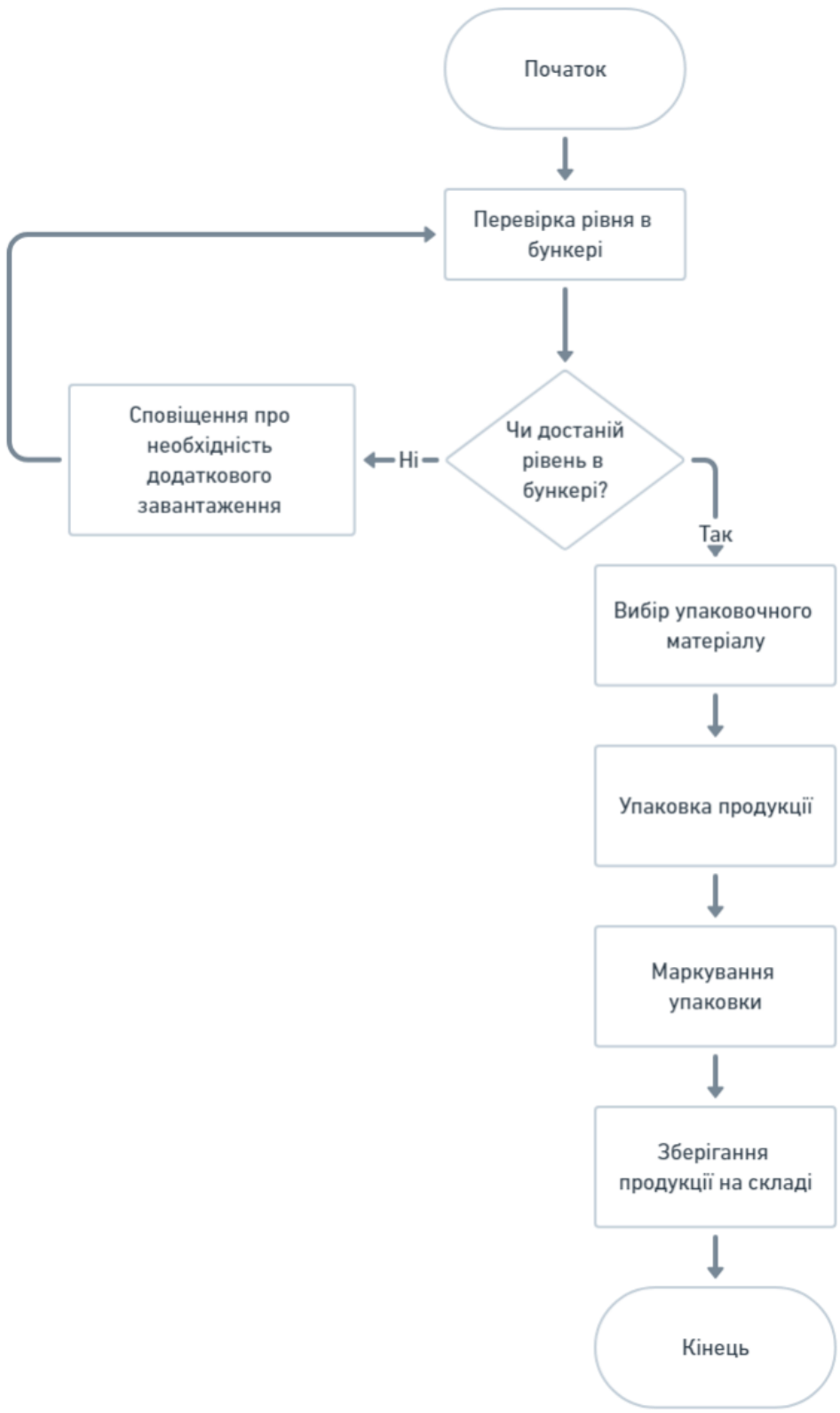
### 6.5 Детальний алгоритм сушіння макаронних виробів





Рисунок 31 – Алгоритм сушіння макаронних виробів

6.6 Детальний алгоритм упаковкування та зберігання готової продукції



### **Висновок**

У цій дипломній роботі було проведено глибокий аналіз та розробка системи управління автоматизацією виробництва макаронних виробів. Розглянуто весь технологічний процес, від вибору сировини до кінцевого продукту, і детально описано роль кожного компонента лінії виробництва.

Основна увага була приділена вибору та налаштуванню сучасних засобів автоматизації, що забезпечують високу точність і стабільність процесу виготовлення макаронних виробів. Було розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано найефективніші датчики та контролери, що дозволяють оптимізувати управління процесом і знизити ймовірність помилок.

На основі проведеного дослідження, були визначені ключові параметри регулювання процесу, що включають температурні режими, тиск і швидкість переміщення матеріалів. Також було розглянуто алгоритм роботи системи керування та їх вплив на загальну продуктивність виробництва.

Завдяки виконаній роботі було можливо не лише підвищити якість кінцевого продукту, але й забезпечити більшу безпеку та ергономічність робочих процесів. Результати цієї роботи можуть бути використані для подальшого вдосконалення технологій виробництва макаронних виробів та інших сфер харчової промисловості.

Таким чином, виконана робота демонструє важливість інтеграції сучасних технологій автоматизації в процеси виробництва, що дозволяє не тільки збільшити ефективність, але й забезпечити високу конкурентоспроможність на ринку.

## Список використаних джерел

1. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., БУХКАЛО С. І., КАПУСТЕНКО П. О., АРСЕНЬЄВА О. П., ОРЛОВА Є. І. Харчові технології у прикладах і задачах: навч. посіб. / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, С. І. БУХКАЛО, П. О. КАПУСТЕНКО та ін. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 576 с.
2. Опис до технологічної схеми виробництва макарон. [електронний ресурс]  
<https://remnabor.net/shema-linii-dlya-proizvodstva-makaronyh-izdeliy>
3. Опис рівнеміра Rosemount 5300. [електронний ресурс] <https://www.germiona.com.ua/page-73.html>
4. Технічні характеристики рівнеміра Rosemount 5300. [електронний ресурс] <https://trade-control.com.ua/products/rosemount-5300>
5. Опис рівнеміра TDR-2000: Технічна документація [електронний ресурс]  
<https://www.bindicator.com/wp-content/themes/andersonnegele/assets/guided-wave/pdf/tdr-2000-guided-wave-radar-installation-operation-manual.pdf>
6. Опис датчику тиску AIP-30. [електронний ресурс] <https://ukrenergy.com.ua/air30.html>
7. Технічні характеристики датчику тиску DMK 331P [електронний ресурс]  
<https://www.bdsensors.ru/products/datchiki-davleniya/DMK331P/>
8. Технічні характеристики датчику температури Sensit PTS 45-100 [електронний ресурс]  
[https://seltok.com/catalog/sensit-pts-45-160-datchik-temperaturi-pt-1000-50-c-do-400-c-160-mm-x-6-mm-ip-54/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwltKxBhDMARIsAG8KnqUXRW-Opb5uTC5\\_HOBhiWRec4FpUyVsFuIEEBqMрOCwfx3GLD68XNIaAkAWEALw\\_wcB](https://seltok.com/catalog/sensit-pts-45-160-datchik-temperaturi-pt-1000-50-c-do-400-c-160-mm-x-6-mm-ip-54/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwltKxBhDMARIsAG8KnqUXRW-Opb5uTC5_HOBhiWRec4FpUyVsFuIEEBqMрOCwfx3GLD68XNIaAkAWEALw_wcB)
9. Переваги датчика температури Endress+Hauser [електронний ресурс]  
<https://peko.com.ua/process-sensors/temperature-sensors/endress-hauser-tm311-aac0bg1bbb4a2>
10. Опис тензодатчик датчика на стиснення MHT1 Compression Force Transducer [електронний ресурс]  
<https://www.flintec.com/weight-sensors/force-sensors/miniature/mht1>
11. Технічні характеристики тензодатчик датчика на стиснення MHT1 Compression Force Transducer: Datasheet [електронний ресурс] <https://www.flintec.com/weight-sensors/force-sensors/miniature/mht1>
12. Опис тензодатчика датчика RS PRO на стиснення та натяг [електронний ресурс]  
<https://docs.rs-online.com/3b69/A700000007113716.pdf>
13. Опис контролера Siemens S7-1200 [електронний ресурс] <https://eleksun.com.ua/6es7214-1ag40-0xb0-programmiruemyy-kontroller-serii-simatic-s7-1200-cpu-1214c24v-14-di24v-10.html>
14. Технічні характеристики контролера Siemens S7-1200: Datasheet [електронний ресурс]  
<https://docs.rs-online.com/2040/0900766b81639d65.pdf>

15. Осипова, Г. А. (2009). Технологія макаронних виробів: навчальний посібник для вузів [електронний ресурс] [https://oreluniver.ru/file/chair/thkimp/study/Osipova\\_tehn\\_makaron.pdf](https://oreluniver.ru/file/chair/thkimp/study/Osipova_tehn_makaron.pdf)