

Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

"Система управління технологічної лінії виробництва пшеничних здобних сухарів"

Керівник роботи

викладач

_____ ст. викладач, к.т.н. Худолей Г.М.

Дипломник:

студентка групи

Медведкова Н.О

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри системотехніки
та інформаційних технологій
_____ Г. М. Худолей
« 16 » квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську роботу

студент Медведкова Надія Олександрівна

1. Тема проекту Система управління технологічної лінії виробництва
пшеничних здобних сухарів

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

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

3. Вихідні дані до виконання роботи:

- завдання кафедри _____

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокування.

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

4.4 Розрахункова частина.

5. Перелік графічних матеріалів:

5.1. Функціональна схема автоматизації.

7. Календарний план:

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

8. Дата видачі завдання 17 квітня 2024 року.

Керівник роботи ____ ст. викладач, к.т.н. _____ Худолей Г.М.
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУ - 01ш _____ Медведкова Н.О.
Підпис Прізвище І.П.

РЕФЕРАТ

Система управління технологічної лінії виробництва пшеничних здобних сухарів. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 66 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 30 рисунків, 5 таблиць; 1 креслення.

У даній роботі розглядається питання розробки системи управління технологічною лінією з виробництва пшеничних здобних сухарів. Автоматизація знижує необхідність втручання людини в технологічні процеси і підвищує адаптивність до порушень, які можуть виникнути в процесі роботи обладнання. Створення системи управління цим технологічним процесом дозволяє ефективно управляти великими і потужними агрегатами, але зусилля людини обмежені автоматичним моніторингом і налаштуванням керуючих пристроїв.

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

SUMMURY

Management system of the production line of wheat butter crackers. Bachelor work. Shostkin Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor thesis contains 66 sheets of explanatory note, including 30 figures, 5 tables; 1 drawing.

This work deals with the development of a technological line control system for the production of butter crackers. Automation reduces the need for human intervention in the technological process and increases adaptability to disturbances that may occur during the operation of the equipment. The creation of control systems for this technological process allows efficient management of large and powerful units, while human efforts are limited to setting and adjusting automatic control and management devices.

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ...	9
РОЗДІЛ 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ.....	21
2.1 Вибір параметрів технологічного процесу	21
2.2 Канали контролю і управління.....	21
2.3 Контури управління	28
РОЗДІЛ 3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	30
3.1 Вибір датчиків.....	30
3.2 Вибір та контролера	39
3.3 Електрична принципова схема.....	44
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	46
4.1 Ідентифікація об'єкта.....	46
4.2 Математична модель об'єкта	47
4.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання вологості	48
4.4. Модель первинного перетворювача	49
4.5 Математична модель регулятора	50
4.6 Математична модель виконавчого пристрою.....	50
4.7 Математична модель системи автоматичного регулювання вологості	51
4.8. Побудова моделі за допомогою математичного пакета MATLAB.....	51
4.9 Одержання передаточних функцій об'єкта.....	56
4.10 Параметрична оптимізація системи методом розширеної амплітуднофазової характеристики	59
4.11 Розробка алгоритму роботи програми збору даних про стан автоматизованої лінії....	65
4.12 Розробка програми збору даних про стан автоматизованої систем	65
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70
ДОДАТКИ.....	72

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АФХ - амплітудно-фазова характеристика

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

КЗ – котушки запалювання

ККД – коефіцієнт корисної дії

ОР – об'єкт регулювання

ПІ-регулятор - пропорційно-інтегральний регулятор

ПК – продувочний клапан

ПЛК - програмовано логічний контролер

ПП – первинний перетворювач

Р – регулятор

РАФХ - Розширена амплітудно-фазова характеристика

САР - системи автоматичного регулювання

ВСТУП

1. Хлібопекарська промисловість України вважається однією з важливих галузей національної економіки. Залежно від рівня виробничих потужностей, ступеня автоматизації і механізації технологічних процесів і різноманітності асортименту продукції, що випускається, це може задовольнити потреби населення в різних видах хлібобулочних виробів і зіграти важливу роль в підтримці соціальної стабільності. Сучасне виробництво хліба досягається за рахунок високого ступеня автоматизації та механізації технологічних процесів, впровадження новітніх технологій, постійного розширення асортименту хлібобулочних виробів, широкого використання коштів малих підприємств.

Подальший розвиток технологічної бази в хлібопекарській промисловості включає модернізацію існуючого обладнання, впровадження антикорозійних заходів для захисту від агресивних середовищ, раціональне поєднання спеціального і універсального обладнання для виробництва різних видів продукції, підвищення експлуатаційної надійності і ремонтпридатності обладнання, розробку технічного обладнання для невеликих пекарень, а також комп'ютерів і мікропроцесорів на лініях і окремих виробничих майданчиках. Це повинно включати впровадження нових технологій.

Якість і ефективність роботи пекарні багато в чому залежить від технічного рівня її обладнання. На сьогоднішній день вітчизняне технічне оснащення хлібопекарських підприємств не завжди відповідає закордонним аналогам за такими показниками, як продуктивність, експлуатаційна надійність, енергоефективність і ступінь автоматизації. Але тільки розробка і впровадження конкурентоспроможного вітчизняного обладнання дозволить хлібопекарській галузі піднятися на необхідний рівень розвитку.

Використання сучасного обладнання відіграє важливу роль у підвищенні якості, зниженні собівартості продукції та виведенні нашої країни на якісно новий рівень обслуговування населення.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка системи автоматизації технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів на базі сучасної мікропроцесорної техніки.

Основні завдання, які вирішуються:

- розробити систему автоматичного керування лінії виробництва сухарних виробів для якої провести вибір приладів і засобів автоматизації;
- розробити математичну модель об'єкта дослідження та побудувати графік перехідного процесу;

- провести синтез системи автоматичного регулювання;
- розробити алгоритм роботи програми збору даних про стан автоматизованої лінії;

Об'єктом дослідження є система автоматизації технологічних процесів.

Предметом дослідження є розробка системи автоматизації технологічних процесів виробництва сухарних виробів.

РОЗДІЛ 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

Панірувальні сухарі виготовляються у вигляді тіста для випічки і проходять певний технологічний процес, що надає їм необхідні властивості для збереження і задоволення смакових потреб споживачів. Вони характеризуються своєю хрусткою скоринкою, яка покриває м'ясо всередині.

Основною сировиною для виготовлення панірувальних сухарів також є борошно, але в залежності від особливостей виробу можна використовувати і інші види борошна, такі як житнє, кукурудзяне і вівсяне. Крім того, тісто може містити різні добавки, такі як дріжджі, сіль, цукор, молоко, вершкове масло. Вони покращують смак і консистенцію продукту.

Процес приготування панірувальних сухарів включає в себе такі етапи, як змішування інгредієнтів для приготування тіста, формування виробів, сушка або випічка, охолодження і упаковка. Під час формування тіста використовуються різні техніки, такі як пресування, витягування або заливка в спеціальні форми з піском або без нього, щоб надати виробу бажану форму і текстуру.

Після формування виріб випікається або сушиться в спеціальній печі або сушарці, де проходить процес контрольованого нагріву для досягнення бажаної консистенції і гостроти.

Таким чином, технічний процес виробництва панірувальних сухарів включає в себе кілька важливих етапів, що забезпечують якість і смакові характеристики кінцевого продукту.

Розпушувач отримують з борошнистих зерен м'якої пшениці, структура яких пухка. Додаткові компоненти перетворюють в рідкі або напіврідкі форми, такі як розчини, емульсії або суспензії.

В процесі замісу і бродіння тіста для випічки досягається бажана кислотність і фізичні властивості, такі як еластичність, збереження форми і газоутворення. Ці властивості необхідні для отримання максимальної кількості тестових заготовок під час випічки.

Процес виробництва випічки можна розділити на кілька етапів, включаючи зберігання і підготовку сировини, приготування тіста, обробку, випічку тестових заготовок, охолодження і зберігання. Кожен з цих етапів включає в себе ряд технічних операцій, необхідних для виробництва високоякісної продукції.

Зберігання та підготовка сировини до виробництва здійснюється шляхом зберігання борошна в спеціальній ємності, такий як силос або мішок. Перед використанням, при необхідності, окремі порції борошна перемішують для поліпшення хлібопекарських властивостей, проціджують через сито для видалення домішок і пропускають через пристрій для вилучення металевих магнітних домішок.

Сировина, що використовується у виробництві хлібобулочних виробів, поділяється на основні, такі як борошно, дріжджі, сіль і вода, а також додаткові, такі як цукор, жир і молочні продукти.

Сіль поміщають в пакет або зберігають разом в окремому приміщенні. Перед використанням її розчиняють у воді для отримання сольового розчину. У сучасних пекарнях сіль можна зберігати у вигляді насиченого розчину. Перед використанням розчин фільтрують, захищають і використовують у виробництві.

Пресовані дріжджі зберігають в холодильнику і подрібнюють перед вживанням. У спеціальному дрожжемешалке готують дріжджову суспензію в теплій воді, яку використовують для приготування тіста.

Воду зберігають в ємностях для холодної або гарячої води. Перш ніж використовувати його для приготування тіста, холодну і гарячу воду змішують в певних пропорціях для досягнення потрібної температури.

Цукор зберігають у пакетиках, перед вживанням розчиняють у воді, а потім проціджують.

Твердий жир зберігають в ящиках або бочках, а рідкий - в спеціальних ємностях. Перед використанням твердий жир розтоплюють і проціджують через сито відповідного розміру. Рідкі жири і масла фільтрують таким же чином.

Яйця попередньо дезінфікують, розбивають і проціджують через сито перед використанням.

Приготування тіста полягає в підготовці сировини за певним рецептом. Для приготування пшеничного тіста використовується метод з антипригарним покриттям або на опарі. При використанні методу з антипригарним покриттям всі інгредієнти змішуються і вимішуються до отримання однорідної маси, після чого тісто залишається на певний час для бродіння.

При опарному способі спочатку готують опару з частини борошна, води і дріжджів. Після дозрівання додайте інші інгредієнти в опару і замісіть тісто. Під час бродіння дріжджові клітини зброджують цукор з борошна, що призводить до утворення спирту і вуглекислого газу, розпушують тісто і надають йому необхідні фізичні і ароматичні властивості.

Приготування тіста включає в себе поділ його на частини відповідної маси, формування і расстойку в спеціальній шафі. Під час вистоювання тестові заготовки розпушуються, що забезпечує отримання хорошого обсягу хліба і утворення пористої структури.

Після того, як тісто сформовано, його випікають в різних типах хлібопекарських печей. У процесі випічки заготовки з тіста перетворюються в хліб з характерною скоринкою і ароматом за участю теплофізичних, мікробіологічних, біохімічних, колоїдних і хімічних процесів.

Після випічки Хліб охолоджують і укладають в коробку або лоток, після чого його поміщають у візок або контейнер для подальшого транспортування. Продукти, які не відповідають критеріям, будуть відбраковані.

Сьогодні більшість пекарень не мають механізованих зерносховищ. Всі операції, пов'язані з укладанням, транспортуванням і завантаженням хліба для подальшого зберігання і доставки, виконуються вручну.

Процес сушіння солодких пшеничних сухарів на виробництві є важливим етапом, який впливає на якість і тривалість зберігання продуктів. Основна мета цього процесу-видалити вологу з випічки, щоб забезпечити термін зберігання і стабільність якості сухарів.

Основні етапи процесу сушіння пшеничних сухарів з маслом включають в себе:

Приготування в духовці або сушарці: піч або сушарка спеціально налаштовані для виконання процесу сушіння. Температура, вологість і час випікання ретельно контролюються для досягнення оптимальних умов сушіння сухарів.

Помістіть сухарі в духовку або сушарку: сухарі поміщаються на спеціальну решітку або деко в духовці або сушарці таким чином, щоб забезпечити рівномірний нагрів і циркуляцію повітря.

Нагрівання: піч або сушарка поступово нагріваються до заданої температури, яка зазвичай знаходиться в діапазоні 100-150°C.

Сушка: під час сушіння навколо сухарів циркулює гаряче повітря, випаровуючи вологу з поверхні. Тривалість цього процесу може відрізнятись залежно від розміру та товщини сухарів та параметрів сушарки.

Охолодження: після завершення процесу сушіння крихти охолоджуються перед упаковкою. Це допомагає уникнути конденсації вологи на поверхні сухарів і забезпечує стабільність якості.

Упаковка: після охолодження сухарі упаковуються у відповідну упаковку для зберігання та транспортування. Це можуть бути картонні коробки, полімерні пакети або інші види упаковки, які забезпечують захист від зовнішніх факторів і гарантують довгострокову свіжість продукту.

Важливою частиною процесу сушіння є контроль таких параметрів, як температура і час сушіння, для досягнення оптимальної якості і терміну зберігання сухарів. Технологія сушіння залежить від безлічі факторів, в тому числі від виду продукту, обсягу виробництва і наявності обладнання.

Процес виробництва сухарів складний, і для забезпечення високої якості продукції необхідно точно контролювати кожен етап. Основною сировиною для виробництва є борошно, вода, дріжджі, сіль, цукор та інші добавки.

Виробничий процес включає етапи змішування інгредієнтів, формування тіста, сушіння або випікання в спеціальній печі, охолодження та пакування. Певні методи сушіння та параметри відіграють важливу роль у формуванні текстури та хрусткості хлібних крихт.

Дослідження та розробка технології виробництва пшеничних сухарів спрямовані на підвищення продуктивності, поліпшення якості продукції та впровадження екологічно чистої технології виробництва. Розуміння цього процесу важливо для виробників, щоб підвищити конкурентоспроможність і задовольнити потреби споживачів.

Лінії з виробництва хлібобулочних виробів, що використовуються в галузі, дозволили комплексно автоматизувати виробничий процес. Впровадження таких ліній дозволило підвищити продуктивність праці і збільшити обсяги виробництва цих виробів. При цьому немає суттєвої різниці в тому, яке рішення відповідає вимогам.

Установка для промислового виробництва в пекарні або хлібозаводі, лінія для виробництва окремого продукту (наприклад, тільки для виробництва хліба) або рішення, що дозволяє змінювати обладнання і виробляти різні продукти (наприклад, для використання в якості лінії з виробництва хліба, лінії з виробництва сухарів або спеціальні лінії з виробництва хліба).). Для нашої роботи була обрана промислова лінія Калинівського машинобудівного заводу, яка вигідно відрізняється своєю продуктивністю, високими санітарними стандартами і використанням найсучаснішої електроніки для управління (рис. 1.1).



Рис. 1.1. – Автоматизована лінія виробництва сухарних виробів Калинівського машинобудівного заводу.

Промислова лінія для виробництва панірувальних сухарів, що використовується в пекарнях, довела свою надійність, оскільки може працювати з максимальною продуктивністю в режимі 24 годин на добу [1].

Автоматизація технологічних процесів при виробництві панірувальних сухарів актуальна і необхідна в сучасних промислових умовах. Одним з важливих об'єктів в даному контексті є процес приготування тіста, який здійснюється за допомогою машини безперервної дії.

Описаний технологічний процес є складним і вимагає ретельного аналізу для досягнення оптимальних результатів при виготовленні хлібобулочних виробів.

Схема автоматизації процесу приготування тіста, що включає машину безперервної дії, передбачає використання спеціального обладнання для змішування і обробки інгредієнтів. Технічний процес передбачає послідовну подачу борошна, рідкої закваски і добавок в тістомісильну машину і перемішування до отримання однорідної тестової маси. Наступним етапом є транспортування цієї маси на конвеєр для подальшої обробки і випічки.

Однак для досягнення оптимальних результатів у виробництві хлібобулочних виробів необхідно ретельно проаналізувати технічний процес, включаючи деякі параметри, такі як потужність машини, частота обертання та температура, та ефективно контролювати ці параметри для забезпечення якості та ефективності виробництва. У цьому розділі ми детально розглянемо схему автоматизації процесу приготування тіста і

проаналізуємо її як об'єкт управління, з метою вдосконалення технічного процесу при виготовленні хлібобулочних виробів.

Процес безперервного приготування тіста має свої особливості, які впливають на якість готового виробу. 1. Однією з них є строго фіксований ряд технічних операцій, що унеможлиблює повторне втручання для усунення дефектів в напівфабрикатах або готової продукції. Наприклад, при порційному замісі ви можете регулювати параметри тесту, але при безперервному замісі це неможливо, так як воно вже вийшло з тістоміса. Таким чином, вирішення цієї проблеми зводиться до регулювання подачі одного з компонентів, наприклад, губки.¹

Використання рідкої опари на першому етапі спрощує її транспортування, підвищує стабільність роботи обладнання, полегшує управління процесом приготування тіста і знижує витрати на бродіння борошна. Крім того, обсяг і консистенція продукту на різних етапах приготування впливають на продуктивність і тип обладнання, а отже, на габарити і вага всього тестоприготовительного агрегату. Крім того, чим більше продукт і чим вище його в'язкість, тим більше енергії буде потрібно для його переміщення. Таким чином, двофазне приготування тіста на рідкій опарі має свої переваги в порівнянні з густою опарою. З огляду на це, рекомендується використовувати двофазну схему приготування тіста на рідкій опарі, особливо при роботі з різними сортами борошна.

Схема автоматизації безперервного процесу приготування тіста забезпечує контроль температури борошна і опари, сигналізацію рівня борошна, а також контроль і регулювання вологості тіста на тістомісильних машинах. Крім того, передбачено локальне і дистанційне керування роботою електроприводу обладнання та виконавчих механізмів, яке залежить від зміни вологості тканини [12].

Температура опари і тесту - важливий параметр, що впливає на його якість. На початку процесу приготування температура інгредієнтів, що використовуються для замішування тіста, зазвичай стабільна. Борошно і вода складають основну частину тіста і опари, а також ряд інших інгредієнтів (дріжджі, сіль і т.д.), тому борошно і вода складають основну частину тіста і опари. Їх температура регулюється під час приготування, але контроль температури тіста і опари зводиться до контролю температури води, використовуваної для замісу тіста, з урахуванням температури борошна.

Температура повітря в камері для приготування тіста зазвичай підтримується на рівні, відповідному температурі опари і самого тесту. В процесі бродіння температура практично не змінюється і залишається в межах, встановлених технічними вимогами. У

зв'язку з цим, щоб уникнути відхилень від встановлених значень, у виробничих умовах здійснюється тільки контроль температури борошна, опари і тесту.

Для контролю температури використовується термометр опору, а рівень борошна в бункері дозатора перевіряється за допомогою ультразвукового рівнеміра. Вміст вологи в тканині є важливим параметром, і для його визначення використовується вологомір надвисокої частоти.

Після приготування тісто подається на стрічковий конвеєр, який направляє його на наступний етап виробництва. Технологічний режим приготування тіста регулюється таким чином, щоб продуктивність тістомісильної машини відповідала продуктивності печі, що дозволяє уникнути частих зупинок тістомісильної машини.

Основним регульованим фактором в цьому процесі є підтримка необхідної вологості тесту після виходу з тістомісильної машини. Вологість визначається за допомогою надвисокочастотного вологоміра, і цей параметр регулюється шляхом зміни кількості опари з добавками, яка подається в пристрій зі станції дозування.

Продуктивність тістомісильної машини підтримується за рахунок зміни кількості борошна, що подається на вхід, за допомогою електроприводу і двигуна мультиварки. Номінальне значення продуктивності має становити - 800 кг/год.

Для забезпечення якості процесу необхідно контролювати температуру всіх пристроїв. Регулювання температури опари і тесту полягає в регулюванні температури води, що подається для замісу тіста, з урахуванням температури борошна для замісу тіста.

У сухарях міститься значна кількість жиру і цукру, тому процес бродіння тестових напівфабрикатів і калібрування заготовок з панірувальних сухарів вимагає більш тривалого часу. Після формування і укладання в форму шафи для остаточного калібрування тестові заготовки з панірувальних сухарів калібруються. Подача в тунельну піч відбувається автоматично за допомогою передавального конвеєра. Випічка панірувальних сухарів здійснюється без спарювання при низьких температурах. Охолодження панірувальних сухарів в шафі необхідно для підвищення жорсткості і пластичності конструкції, що забезпечує мінімальну кількість відходів і обрізків при обробленні. Лінія з 1 духовкою працює в 3-х змінному режимі: 1-я Зміна - випічка панірувальних сухарів, 2-я і 3-я зміни - сушка панірувальних сухарів. Таким чином, холодильна шафа служить в якості пристрою для зберігання, а піч перемикається на 2 різних режиму - випічку і сушку.

Сушка панірувальних сухарів можлива тільки в печі для випічки, так як випромінюючі компоненти теплопередачі забезпечують фарбування країв панірувальних сухарів відповідно до стандарту. Високопродуктивна виробнича лінія з виробництва

сухарів оснащена 2 печами: 1 для випічки сухарів, інша 1 для їх сушіння. бувши. При цьому площа 2-й печі повинна бути в 2 рази більше, щоб відрегулювати роботу лінії. Після нарізки напівфабрикати розкладаються з боків печі за допомогою відкидного механізму. Після сушіння сухарі охолоджуються (стабілізуються) на конвеєрі і упаковуються в автоматичну машину.

Лінія призначена для виробництва сухарних виробів (рис.1.2). Устаткування лінії забезпечує виконання наступних технологічних операцій:

- приготування опари;
- тісторозділення;
- випічка плит;
- різання плит;
- охолодження сухарів;
- приготування тіста;
- розстойка сухарних плит;
- витримка плит;
- сушка скибок;
- упаковка.

Продуктивність печі, кг/год, для сухарів – 400.

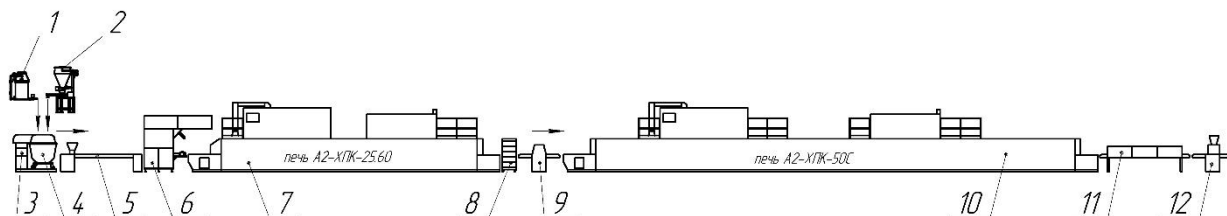


Рис. 1.2 –Лінія з виробництва сухарних виробів Калинівського машинобудівного заводу

Лінія складається:

1. Дозатор рідких компонентів;
 Дозатор борошна;
 Машина тістомісильна спіральна;
 Діжа підкатна;
 Посадчик сухарних плит А2-ХКС-25;
 Шафа вистоювання;
 Піч А2-ХПК-25.60;
 Стелажі для витримки;
 Машина для різання;
 Піч А2-ХПК-50С для сушіння сухарів;

Шафа відстоювання

Пакувальний автомат.

Давайте поговоримо про кожен елемент виробничого процесу лінії з виробництва панірувальних сухарів Калинівського машинобудівного заводу:

Дозатор рідких інгредієнтів:

Забезпечує оптимальну обробку рідких інгредієнтів і підвищує їх розчинність.

Тиск: 0,2-0,5 МПа. За точністю дозування і запобіганням переливання криві стежать.

Дозатор борошна:

Дозатор борошна за вагою: 100-1000 кг. Відрегулюйте точне дозування борошна відповідно до потреб виробництва.

Швидкість дозування: 5-20 кг/с. забезпечує рівномірне і стабільне дозування.

Спиральна Тістомісильна машина:

Забезпечує необхідну консистенцію тесту для подальшої обробки.

Час замісу: 5-15 хвилин. Регулюється в залежності від кількості тесту і його консистенції.

Забезпечує оптимальні умови для калібрування тесту.

Пристрій для завантаження панірувальних сухарів:

Температура в шафі для формування: 28°C-32°C. підтримує ідеальну температуру для рівномірного формування тіста.

Піч для випічки панірувальних сухарів: Духовка

Температура: 180°C-220°C. забезпечує ефективну випічку і утворення скоринки.

Час випічки: 15-30 хвилин. Її можна регулювати для отримання бажаної кількості панірувальних сухарів.

Підставка для зберігання:

Забезпечує стабілізацію продукту і його охолодження.

Ріжучий верстат:

Швидкість нарізки: 150-300 сухарів в хвилину. Регулюється для точної нарізки і запобігання пошкоджень.

Піч для сушіння панірувальних сухарів:

Температура печі: 120°C-150°C дозволяє видалити залишки вологи і надати панірувальним сухарям необхідну структуру.

Час сушіння: 20-40 хвилин. Вона регулюється для досягнення бажаної якості панірувальних сухарів.

Конвеєр для охолодження:

Швидкість конвеєра: 1-3 м / хв. забезпечує контрольоване охолодження продукту.

Пакувальна машина:

Швидкість упаковки: 20-50 упаковок в хвилину. Регулюється для ефективної упаковки готової продукції.

Ці параметри дозволяють оптимізувати виробничий процес і забезпечити високу якість панірувальних сухарів[1].

Важливо забезпечити можливість дистанційного керування всіма двигунами, регулювання температури в хлібопекарській печі, шафах попереднього і остаточного калібрування, а також відображення таких показників, як рівень в бункері дозатора борошна (табл.1.2).

Таблиця 1.2 - Основні регламентні обмеження процесу

Апарат	Параметр			Функції системи автоматизації
	Найменування і розмірність	Номінальне значення	Граничне значення	
Ваговий дозатор борошна	Вага, кг	0,7	0,1-1	Покази, сигналізація
	Температура, °C	25	23-27	Покази, сигналізація
	Рівень, м	2	2,1	Покази, сигналізація
Станція дозування	Температура, °C	29	34	Покази, сигналізація
	Витрати, м ³ /с	0,9	1	Покази, сигналізація
Тістомісильна машина	Вологість, %	28	25-40	Покази, сигналізація
	Витрати, кг/год	800	840	Покази, сигналізація
	Температура, °C	36	33-38	Покази, сигналізація

Тому основним завданням регулювання в даному випадку є забезпечення на певному рівні стабільності таких параметрів, як продуктивність тістомісильної машини і вологість тесту. Зміни продуктивності тістомісильної машини і вологості личинок є основними причинами збоїв в технологічному процесі.

На підставі аналізу технічного процесу приготування тіста з використанням машини безперервної дії типу RZ-кото можна зробити деякі висновки про автоматизацію виробництва пшеничних сухарів.

По-перше, важливо враховувати, що технічний процес приготування тіста вимагає точного контролю і регулювання таких параметрів, як продуктивність тістомісильної машини і вологість тесту. Ці параметри мають вирішальне значення для забезпечення якості сухарних виробів та ефективності виробництва.

Крім того, важливо відзначити, що основними причинами збоїв в цьому процесі є зміни продуктивності тістомісильної машини і вологості опари. Тому система управління

повинна бути налаштована таким чином, щоб ефективно компенсувати ці зміни і забезпечувати стабільність параметрів процесу.

На закінчення можна сказати, що ефективна Автоматизація технічного процесу приготування тіста є важливим аспектом для забезпечення якості та продуктивності виробництва пшеничних здобних сухарів. Розуміння і контроль параметрів процесу дозволяє досягти бажаних результатів і підвищити конкурентоспроможність вашої продукції на ринку.

Управління включає в себе використання датчиків для отримання інформації про хід процесу виробництва хлібобулочних виробів і формування керуючих впливів на виконавчий механізм.

Метою дипломної роботи бакалавра є розробка системи для автоматизації технічного процесу лінії з виробництва пшеничних панірувальних сухарів з метою підвищення ефективності. Оптимізація цих процесів. Підвищити безпеку комплексу для навколишнього середовища. Звести до мінімуму нещасні випадки, викликані людським фактором.

Система управління повинна нормально функціонувати в умовах виробничого цеху. Все обладнання повинно мати належну конструкцію і відповідне маркування. Обладнання повинно працювати в агресивному середовищі.

Умови експлуатації:

- температура навколишнього повітря: від 0 °С до 45 °С;
- відносна вологість повітря: від 10 до 80%;
- атмосферний тиск: від 84 до 107 кПа;
- напруга живлення: 220В ± 10%;
- частота живильної мережі: 50 ± 2 Гц.

Система повинна відповідати вимогам надійності компонентів і забезпечувати надійний зв'язок між елементами системи.

Технічна лінія з виробництва пшеничних сухарів призначена для автоматизації управління виробництвом. Це включає в себе використання датчиків для отримання інформації про процес виробництва і генерування керуючих впливів на виконавчий механізм.

Метою випускної кваліфікаційної роботи на ступінь бакалавра є розробка систем автоматизації технічних процесів лінії з виробництва хлібних крихт для підвищення ефективності, оптимізації цих процесів, забезпечення безпеки та мінімізації нещасних випадків через людський фактор.

Важливим аспектом є забезпечення нормальної роботи системи управління в умовах виробничого цеху. Пристрій повинен відповідати пропонованим вимогам і працювати в агресивних умовах експлуатації.

Умови експлуатації, такі як температура, вологість, атмосферний тиск, напруга живлення і частота живлення, визначаються таким чином, щоб забезпечити надійність і стабільність роботи системи.

В результаті успішного виконання цих завдань підвищується продуктивність і ефективність виробництва пшеничних здобних сухарів, що забезпечує високий рівень безпеки і надійності в роботі обладнання.

РОЗДІЛ 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ

2.1 Вибір параметрів технологічного процесу

Після докладного аналізу процесу виробництва здобних сухарів було виокремлено ключові параметри, що впливають на цей процес.

Для систематизації цих даних було створено таблицю, в якій зібрано перелік цих параметрів технологічного процесу (табл .2.1).

Таблиця 2.1 – Перелік параметрів технологічного процесу [1].

Параметр	Позиція технологічної схеми	Функція	Відхилення	Значення Min	Значення Max
Вага	Ваги в бункері	Контроль та регулювання	±10%	250 кг	275кг
Рівень	Дозатор рідких компонентів	Контроль та регулювання	±10%	1.5м	0.165м
Рівень	Дозатор борошна	Контроль та регулювання	±10%	0.9м	1м
Швидкість замішування	Тістоміс	Контроль та регулювання	±10%	54 об/хв	66 об/хв
Рівень	Діжа підкатна	Контроль	±10%	1.8м	2м
Швидкість подачі	Посадчик сухарних плит А2-ХКС-25	Контроль, регулювання	±10%	1м/хв	1.1м/хв
Позиціонування	Посадчик сухарних плит А2-ХКС-25	Контроль	±5%	0.1м	0.105м
Температура	Шафа вистоювання	Контроль	±10%	30°C	33°C
Вологість	Шафа вистоювання	Контроль	±10%	60%	66%
Температура	Піч А2-ХПК-25.60	Контроль, регулювання	±5%	180°C	190°C

Враховуючи опрацьовані дані, важливо вибрати регуляторні, адміністративні та управлінські канали.

2.2 Канали контролю і управління

2.2.1 Витрати рідких компонентів, які поступають до тістомісильної машини

Для підтримки оптимального рівня рідинних компонентів у приймальній ємності та уникнення її переповнення, важливо контролювати й регулювати витрату сировини для опари (цукрового розчину, сольового розчину, рослинного жиру, дріжджової суспензії). Це досягається за допомогою датчика витрати, встановленого в трубопроводі подачі рідинних компонентів. Управління цим процесом здійснюється через частотний перетворювач, що змінює частоту обертів двигуна приводу насоса, забезпечуючи потрібну витрату рідинних елементів для тіста.

2.2.2 Витрати борошна, що поступає до тістомісильної машини

Для уникнення переповнення приймальної ємності й забезпечення оптимального рівня борошна необхідно контролювати та регулювати його подачу. Для цього в дозаторі борошна встановлено спеціальний датчик, який автоматично вимірює обсяг борошна й передає ці дані до системи керування. Управління подачею борошна здійснюється за допомогою частотного перетворювача, що регулює швидкість подачі борошна, змінюючи частоту обертів двигуна приводу дозатора борошна.

Механізм, що містить турнікет у корпусі, відповідає за дозування борошна. Для забезпечення потрібного рівня борошна використовується датчик рівня, який пов'язаний з системою подачі борошна. Борошно поступає до живильника, де його об'єм заповнюється. Турнікет дозатора з кишнями, що наповнені борошном, обертається неперервно, в результаті чого борошно постачається до інжектора ультразвукового сопла. За допомогою потоку повітря борошно переноситься до виробничих бункерів.

Швидкість обертання дозатора вимірюється за допомогою перетворювача кута повороту - імпульс (GE), який підключений до дискретного входу ПЛК. Керування дозуванням борошна здійснюється за допомогою керованого двигуна (M) через дискретний вихід ПЛК. Керуючі сигнали для двигуна генеруються ПЛК та подаються на підсилювач потужності (FY) (рис. 2.5).

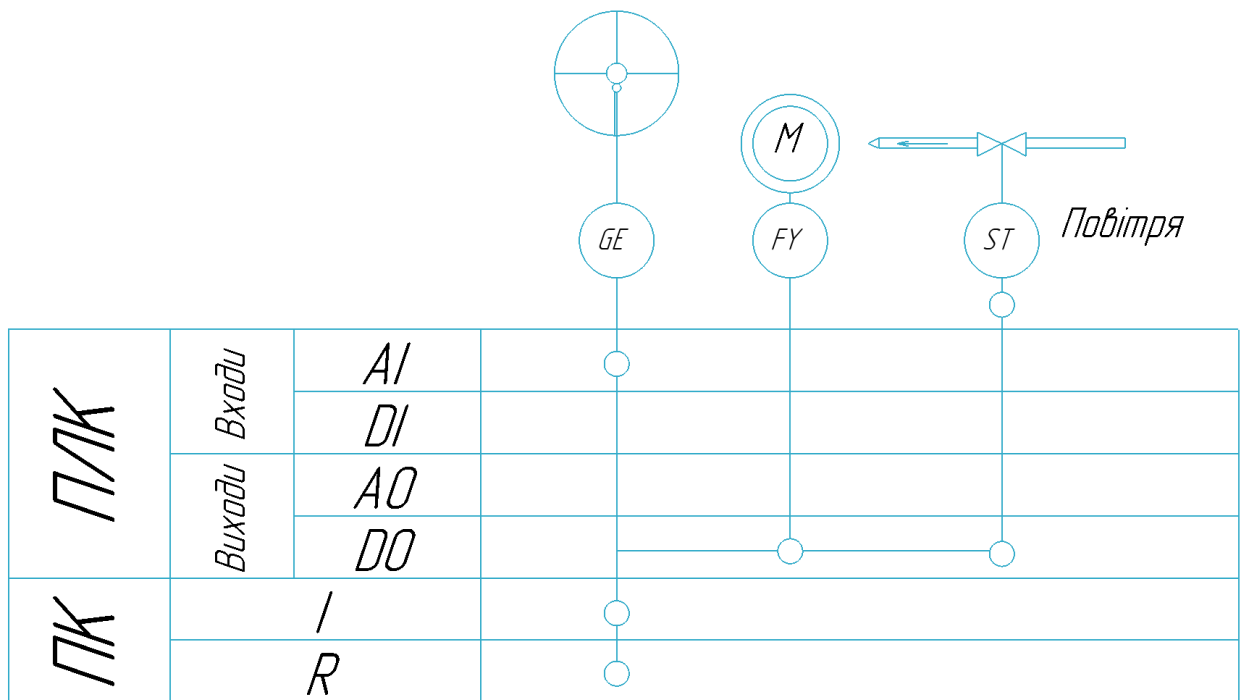


Рисунок 2.5 – Контур керування дозуванням борошна

подавання борошна у силоси виконується в ручному режимі з транспорту доставки борошна [7].

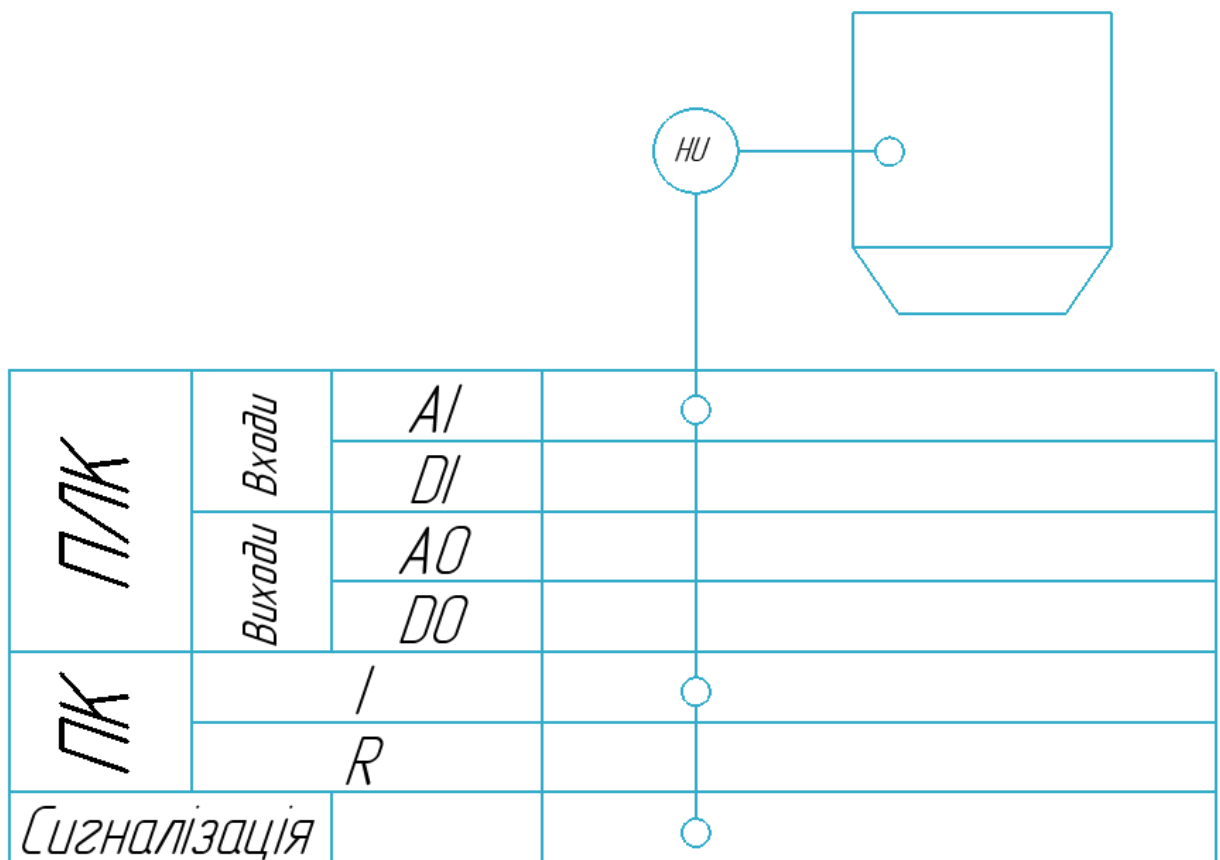


Рисунок 2.6 - Моніторинг рівня в силосах.

Індикація рівня здійснюється на панелі АРМ оператора. Також передбачається сигналізація для попередження про наповнення або спорожнення силосів. Світлова сигналізація автоматично вимикається, коли рівень повертається до нормального режиму.

2.2.3 Оберти тістомісильної машини

Для забезпечення якісного замішування тіста та уникнення можливих перешкод необхідно ефективно керувати швидкістю роботи машини тістомісильної спіральної. З цієї метою встановлено систему контролю швидкості, яка надає змогу моніторити та регулювати оберти спіралі. Керування процесом замішування відбувається через електронний контролер, який автоматично регулює швидкість обертання спіралі відповідно до налаштувань, забезпечуючи оптимальну консистенцію тіста.

2.2.4 Контроль рівня в робочих бункерах

Рівень борошна у робочих бункерах перевіряється за допомогою перетворювача рівня - електричний сигнал (LE), який підключений до аналогового входу ПЛК (рис. 2.8).

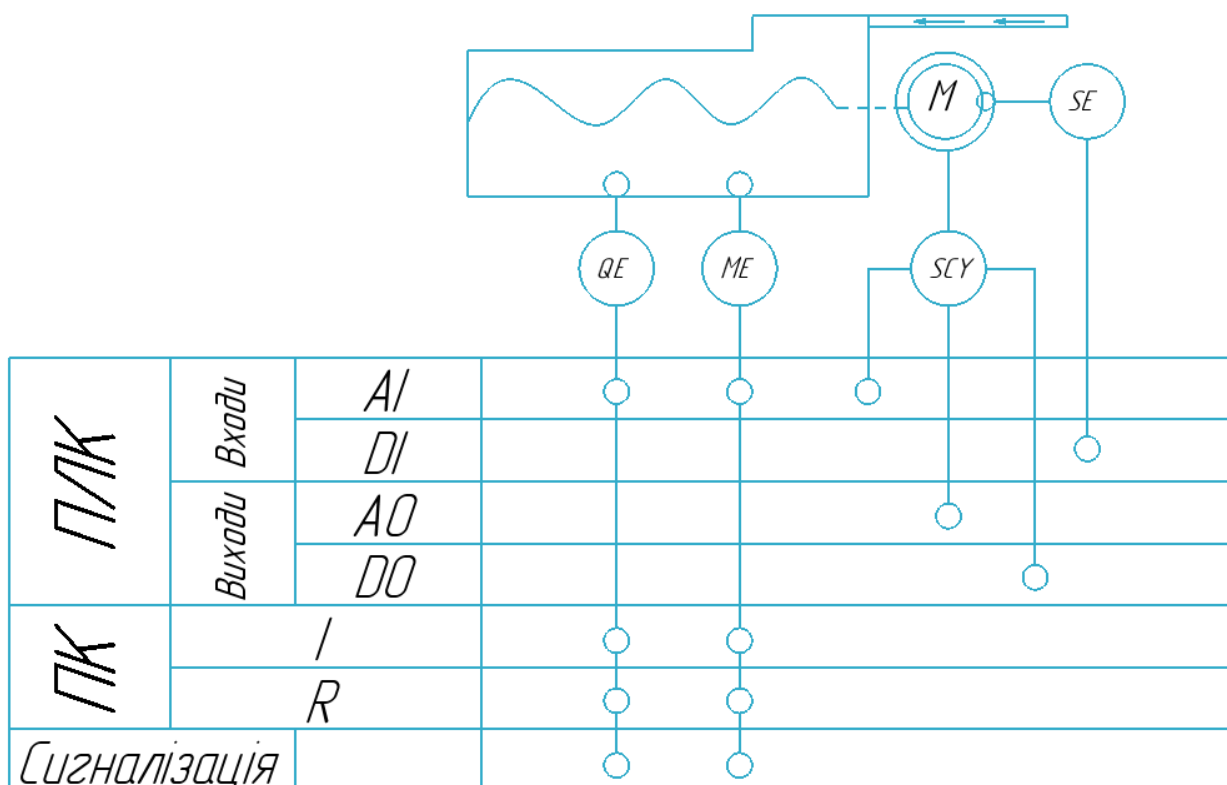


Рисунок 2.9 - Моніторинг якісних показників тіста

Контроль в'язкості тіста здійснюється за допомогою непрямого методу, вимірюючи швидкість з використанням перетворювача кутового положення - частота (SE), підключеного до дискретного входу ПЛК, та моменту обертання на валу приводу мішалки. Величина моменту обчислюється на основі споживаного струму, напруги на статорі та частоти, з частотного перетворювача (ПЧ) (SCY), і подається на аналоговий вихід, підключений до аналогового входу ПЛК. ПЛК обробляє ці дані та коригує якість

тіста шляхом видачі керуючих сигналів на дозатори відповідних компонентів. На основі аналізу ОК, його контурів керування та сигналізації розроблена схема функціональної автоматизації (дод.4).

2.2.5 Швидкість подачі посадчика сухарних плит

Для забезпечення оптимальної роботи посадчика сухарних плит важливо контролювати й регулювати швидкість подачі плит. Для цього встановлено датчик швидкості, який вимірює швидкість подачі плит і передає цю інформацію до системи керування. Керування відбувається за допомогою частотного перетворювача, який регулює частоту обертів двигуна, що приводить у дію механізм подачі плит, забезпечуючи потрібну швидкість процесу. Крім датчика швидкості, можуть використовуватися також енкодери для точного вимірювання швидкості та положення механізму подачі, що сприяє більшій точності та стабільності роботи посадчика.

2.2.6 Позичіонування у посадчику сухарних плит

Для забезпечення точного позиціонування сухарних плит у посадчику необхідно контролювати їхнє розташування. З цією метою встановлено систему позиціонування, яка вимірює та регулює положення плит у реальному часі. Основним елементом цієї системи є оптичний датчик, що забезпечує високу точність і швидкість виявлення. Керування процесом здійснюється за допомогою спеціального контролера, який отримує сигнали від датчика і автоматично коригує позицію плит відповідно до заданих параметрів, забезпечуючи точність і ефективність роботи посадчика.

2.2.7 Температура у шафі відстоювання, печах випікання та сушіння

Для забезпечення оптимального процесу вистоювання важливо контролювати та регулювати температуру в шафі вистоювання. Для цього встановлено датчик температури, який вимірює температуру всередині шафи і передає цю інформацію до системи керування. Керування відбувається за допомогою регулятора температури, який отримує дані від датчика і автоматично коригує температуру, забезпечуючи стабільний температурний режим у шафі вистоювання. Крім датчика температури, можуть використовуватися також додаткові термопари для більш точного вимірювання температури у різних зонах шафи, що сприяє рівномірному вистоюванню продукту.

Для забезпечення якісної випічки сухарних плит важливо контролювати та регулювати температуру у печі. Для цього встановлено датчик температури, який постійно вимірює температуру у печі і передає ці дані до системи керування. Керування процесом випічки відбувається за допомогою регулятора температури, який автоматично

коригує роботу опалювальних елементів печі, забезпечуючи потрібний температурний режим.

Вимірювання температури виконується за допомогою перетворювача Температура-Струм (ТЕ), який з'єднується з аналоговим входом програмованого логічного контролера (ПЛК). У цьому ПЛК, відповідно до встановленого алгоритму, через дискретний вихід формується керуючий сигнал для підсилювача потужності на тиристорах (ТУ).

Температура відображається та реєструється на персональному комп'ютері (ПК) оператора. У разі виходу температури за межі норми передбачена звукова та світлова сигналізація. Звукову сигналізацію можна вимкнути вручну, а світлова автоматично вимикається, коли температура повертається до нормального рівня (рис. 2. 1).

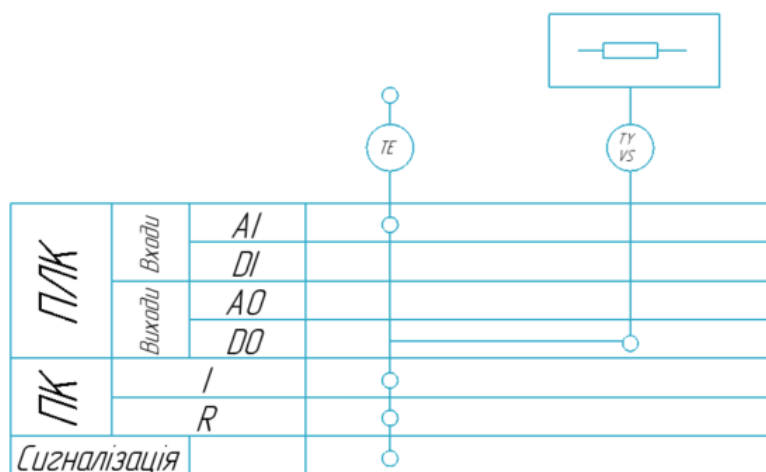


Рисунок 2.1 – Контур керування температурою

Індикація та реєстрація температури виконується на ПК АРМ оператора. При виході температури з нормального режиму передбачена звукова та світлова сигналізація. У АРМі передбачено ручне відключення звукової сигналізації, світлова сигналізація відключається автоматично, при поверненні температури у робочий режим.

2.2.10 Вологість у шафі відстоювання

Для забезпечення оптимального процесу вистоювання важливо контролювати та регулювати вологість у шафі вистоювання. З цією метою доцільно встановити кілька датчиків вологості в різних зонах шафи, що дозволить отримувати більш точні дані про рівень вологості. Ці датчики вимірюють рівень вологості всередині шафи і передають цю інформацію до системи керування.

Керування процесом відбувається за допомогою регулятора вологості, який отримує дані від датчиків і автоматично коригує рівень вологості шляхом регулювання роботи температури печі або вентиляторів. Це забезпечує стабільний і оптимальний вологісний режим у всіх зонах шафи вистоювання.

Коли вологість у лінії сушіння перевищує або знижується нижче заданого порогу, можна вжити різноманітних заходів для коригування процесу сушіння і підтримки вологості на необхідному рівні. Ось деякі можливі зміни параметрів лінії:

1. **Швидкість сушіння:** Якщо вологість занадто висока, можна збільшити швидкість сушіння, щоб видалити більше води з продукту. У разі занадто низької вологості можна зменшити швидкість сушіння, щоб уникнути пересушування.
2. **Температура сушіння:** Зміни температури можуть також впливати на вологість продукту. Збільшення температури може прискорити процес сушіння, тоді як зниження температури може допомогти запобігти перегріву або пересушуванню.

Для спрощення регулювання нами запропоновано збільшення температури у печі для сушіння (рис. 2.)

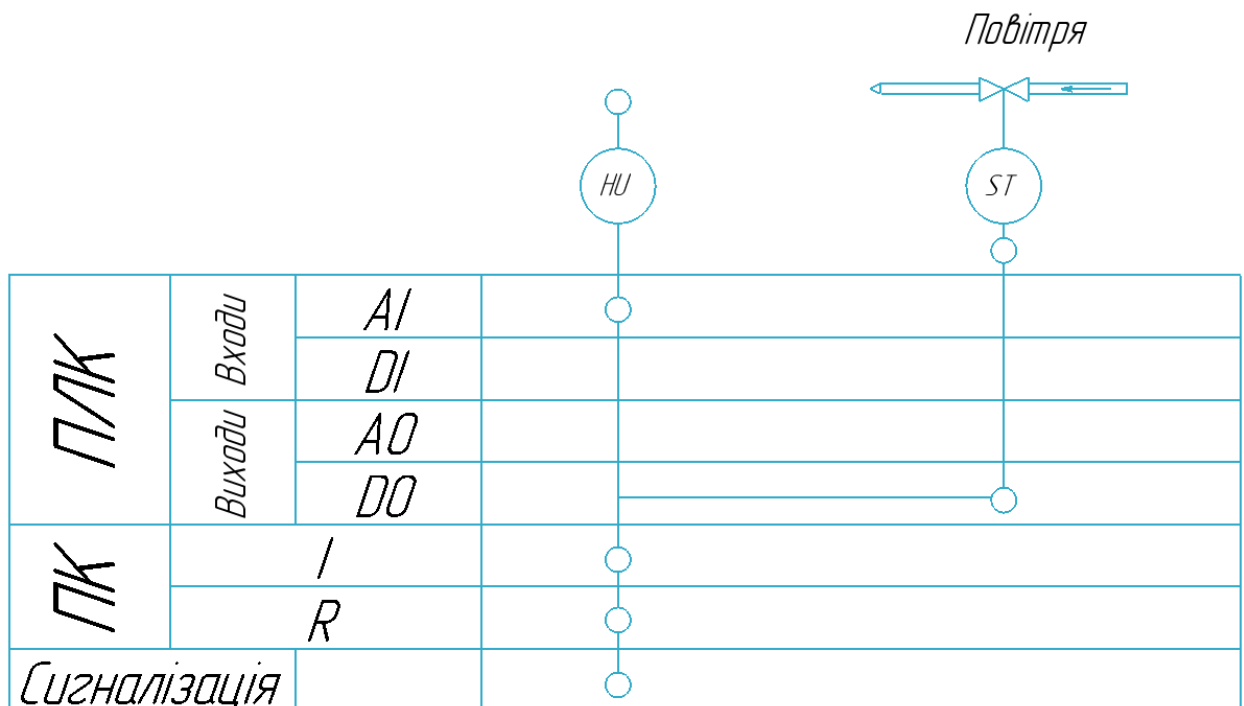


Рисунок 2. – Контур керування вологості

Нами рекомендується використовувати простий контур управління, який включає в себе базові елементи для забезпечення стабільності вологості в системі. Одним із зручних та доступних варіантів є замкнутий контур управління з ПЛК та відповідними датчиками та виконавчими пристроями. Ось кілька елементів, які необхідно включити в такий контур:

1. Сенсор вологості, який може надійно вимірювати рівень вологості у середовищі.
2. Програмований логічний контролер (ПЛК): Використання ПЛК дозволить нам програмувати логіку керування вологості. Він може обробляти дані з сенсорів та керувати виконавчими пристроями, такими як вентилятори або нагрівачі.

3. Виконавчі пристрої, які будуть відповідати за зміну вологості. В нашому випадку, це електропневмоперетворювач, який використовується для підведення уніфікованого пневматичного сигналу до регулювального пневматичного клапана.
4. Зворотній зв'язок: Для більшої точності та стабільності необхідно мати зворотний зв'язок, що дозволяє контролювати вологість у реальному часі і реагувати на зміни.
5. Інтерфейс користувача: інтерфейс для користувача, LCD-дисплей або веб-інтерфейс, щоб зручно відображати дані про вологість і стан системи.

Цей простий контур управління забезпечить достатню функціональність для виконання роботи з управління вологості.

2.3 Контури управління

Після аналізу технічного процесу, його стадій і фізичних процесів приступайте до розробки схем контролю, регулювання та управління. На цьому етапі ви можете створити систему, яка максимально ефективно відповідає управлінню виробничим процесом. Контролюючи різні параметри і забезпечуючи оптимальну роботу, ми гарантуємо стабільність і якість продукції. Такий підхід дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси і знижувати витрати, забезпечуючи при цьому високу якість продукції[2].

Схема контролю витрат

На лінії з виробництва масляних сухарів для контролю подачі рідких і сипучих компонентів в тістомісильну машину необхідно використовувати витратомір, який забезпечує точне і надійне вимірювання об'ємної витрати рідких компонентів. 1. Одним з варіантів є електромагнітний витратомір, який може ефективно працювати з рідинами різної в'язкості і вологості, а також з сипучими компонентами. Такі витратоміри дозволяють стабільно і точно контролювати витрату рідких компонентів на лінії з виробництва хлібних крихт.[5]

Універсальні перемикачі, магнітні пускачі і кнопки можуть бути використані в ланцюзі управління дозаторами рідких інгредієнтів і борошна для виробництва сухарів. Кількість перемикаються пристроїв залежить від кількості використовуваних дозаторів [4].

На основі структурної схеми технічного процесу і розглянутих схем контролю і керуючої апаратури може бути розроблена функціональна схема автоматизації системи

управління технологічним процесом виготовлення сухарів. Дана функціональна схема [дод.3] містить необхідні елементи і засоби управління, контролю і регулювання для забезпечення ефективності технічного процесу виробництва пшеничних здобних сухарів.

РОЗДІЛ 3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

При автоматизації процесу виробництва крекерів найкращим рішенням є централізована система контролю і управління. Для цього ми вибрали найновіше обладнання для автоматизації та пристрої для моніторингу, перегляду та реєстрації. Основними критеріями при виборі цих інструментів були надійність і єдність [6].

Наші розрахунки засновані на тому факті, що мінімальні технічні засоби забезпечують стабільну і безаварійну роботу пристрою. Це знижує складність системи і підвищує ефективність автоматизації процесу виробництва крекерів.

3.1 Вибір датчиків

Для реалізації контурів регулювання, контролю та управління, які були розглянуті, необхідно використовувати датчики, що вимірюють витрату, рівень та температуру.

3.1.1 Вибір витратомірів

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.

У нашому контурі використовується електромагнітний витратомір MAGFLO MAG 1100 Food (рис.4.1). Витратомір зазвичай оснащений двома токовими виходами в діапазоні 4...20 мА. Ці виходи дозволяють передавати сигнал про виміряний об'ємний розхід робочої речовини до системи контролю та регулювання [12].



Рис. 3.1 – 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 нашій бакалаврській 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 приготуванням тіста вбудована в обладнання SIEMENS, включаючи низькорівневу.

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 крихт ми вибрали ультразвуковий рівнемір "зонд" (рис. 3.2) 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 бункерному дозаторі борошна 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 ETFE або PVDFa 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 Intelligence. 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 компенсації.



Рис. 3.2 – 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

Ми обрали потоковий мікрохвильовий вологомір MICRORADAR – 114C 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 вологи 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. 3.3) 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.3.3 – Поточний НВЧ - вологомір MICRORADAR-114С

З метою регулювання вологості тіста на лінії подачі опари в тістомісильну машину ставимо регулювальний пневматичний клапан, а для підведення до нього уніфікованого пневматичного сигналу необхідно встановити електропневмоперетворювач ЕП3211 з вхідним сигналом (рис. 3.4) - 4 ... 20мА.



Рис. 3.5 – Електропневмоперетворювач ЕП3211

У нашій лінії виробництва здобних сухарів, 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 вологість 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.

Борошно подається в тістомісильну машину за допомогою автоматичного дозатора безперервної дії. Для цього процесу 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. 3.4. Високоточний ваговий дозатор для малої подачі MILLTRONICS Weighfeder 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. 3.1 – Термометр серії SITRANS T

Термометр опору низькому тиску з приєднувальної 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 вибрати термометр опору з 1 вимірювальним опором RH00. У цьому випадку він підключається до трехпроводної ланцюга.

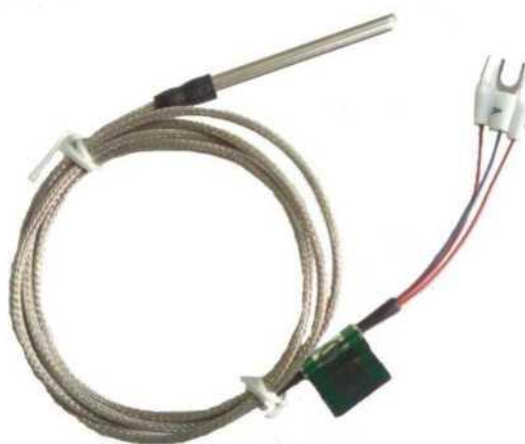


Рис. 3.2 - Вимірювальний резистор RH00

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-L", завдяки відмові від гальванічної розв'язки і універсальному підключенню датчика, доступна недорога альтернатива.



Рис. 3.3 – 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 в трубопроводі для подачі добавок до закваски 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 використовуйте 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 в камері попереднього армування і в камері остаточного армування ми вибираємо одну і ту ж термопару.

Таблиця 3.1 - Характеристики термопари 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, що подається в пальник, 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. 1). 3.4). 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. 3.4 – 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 $\sim 120/230$ 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.3.5). 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 MMC ємністю до 8 Мб. (MMC 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. 3.5 – 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 входним уніфікованим сигналом 4 ... 20 мА;
- один модуль виводу аналогових сигналів (AO, 4 канали) 8M 332 з вихідним 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 вихідним 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. 3.11 – 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.

Крок 7 Вибір інженерного пакету і SCADA-системи 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.

3.3 Електрична принципова схема

Електрична принципова схема системи автоматичного управління технічним процесом виробництва панірувальних сухарів відображає взаємозв'язок між окремими електричними пристроями, пристосуваннями, девайсами і засобами автоматизації з урахуванням принципу дії і порядку виконання робіт, її окремих елементів. Перед створенням схеми необхідно підключити електродвигуни, пристрої, регулятори та інші елементи до мережі, щоб визначити систему ідентифікації загальних комутаційних і захисних пристроїв. Електрична схема підключення показана в положенні відключення

живлення, якщо немає примусового впливу на пристрій і його компоненти. Це положення є початковою точкою електричної схеми.

Більшість елементів, розміщених в електричній схемі, вже показані на структурній схемі: контролер з усіма модулями, перетворювач частоти з асинхронним електродвигуном, Кінцевий вимикач, Відеотермінал.

Всі з'єднання в електричному ланцюзі являють собою дроти або джгути проводів, тобто кабелі, які з'єднують окремі компоненти схеми. Товстий дріт - це Джгут проводів, а тонка основна лінія показує один провід, в основному провід живлення +24 В і заземлення. Дроти в джгуті проводів для підключення до керуючих і виконавчих пристроїв пронумеровані відповідно до їх призначення [11].

Модуль живлення Siemens PS307 / необхідний для живлення всієї системи управління, його потужність становить 600 Вт, розрахункове навантаження - 590 Вт, такий модуль живлення можна використовувати в якості джерела живлення.

Лампа поруч з контактором, яка включає асинхронний двигун компресора, необхідна для подачі сигналу про роботу компресора.

Кнопки "Пуск" і "Стоп", показані на електричній схемі поруч з контактором, включають або вимикають контактор асинхронного двигуна компресора.

Автоматичний вимикач відключає пристрій від напруги живлення в момент сильного стрибка струму, який може бути викликаний коротким замиканням або неправильним розрахунком загального навантаження після спрацьовування автоматичного вимикача. 3, Автоматичний вимикач відключає перетворювач частоти, який контролює положення автоматичного оператора. 2, автоматичний вимикач включає вимкніть асинхронний двигун компресора, 1, Автоматичний вимикач від'єднайте модуль живлення системи управління від вхідної напруги живлення, 1, Автоматичний вимикач від'єднайте систему управління від напруги живлення 24 В.

Загальні блоки показані на функціональних схемах, на яких зображені автоклави і автооператори, і до них додані Компресори.

На електричній схемі всі роз'єми пристрою показані відповідно до технічної документації на конкретний пристрій [додаток 1].

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1 Ідентифікація об'єкта

Головною метою ідентифікації є отримання математичного опису об'єкта. Це можна зробити за допомогою аналітичного або експериментального методів. Аналітичний метод включає аналіз і застосування фізичних законів під час дослідження процесів, що відбуваються у об'єкта. Експериментальний метод, з свого боку, передбачає збір необхідних даних, наприклад, кривої розгону, безпосередньо з об'єкта. Цей метод використовується для перевірки адекватності аналітично отриманої моделі [15].

4.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

Регулювання вологості тіста на виході тістомісильної машини є важливим аспектом виробництва здобних сухарів з кількох причин:

1. **Якість продукції:** Вологість тіста безпосередньо впливає на якість здобних сухарів. Надмірна вологість може призвести до неправильної структури і текстури сухарів, що робить їх менш привабливими для споживачів.
2. **Консистенція тіста:** Відповідна вологість тіста допомагає забезпечити правильну консистенцію тіста для подальшого формування та пекарських операцій. Це важливо для забезпечення правильної форми та розміру сухарів.
3. **Продуктивність і ефективність виробництва:** Правильно налаштоване регулювання вологості тіста дозволяє оптимізувати процес виробництва, зменшуючи відходи матеріалу і забезпечуючи стабільну якість продукції.
4. **Безпека продукту:** Відповідна вологість тіста допомагає уникнути псування та забезпечує довший термін придатності здобних сухарів, що є важливим аспектом з точки зору безпеки продукту.

Отже, регулювання вологості тіста на виході тістомісильної машини є ключовим етапом у виробництві здобних сухарів, що впливає на якість, консистенцію, продуктивність та безпеку продукту.

В якості відповідального контуру регулювання візьмемо контур регулювання вологості тіста на виході тістомісильної машини, так як цей параметр багато в чому буде визначати якість продукції, що виготовляється з цього тіста.

Структурна схема об'єкта буде мати наступний вигляд (рис. 4.1):

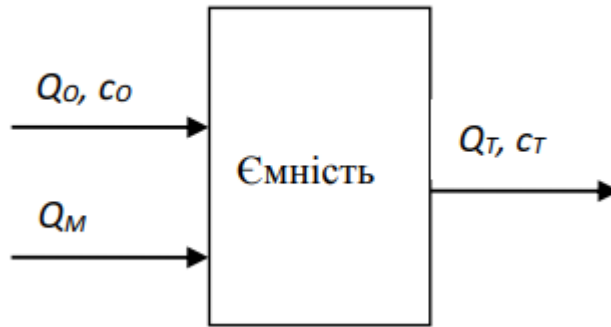


Рис. 4.1 - Структурна схема об'єкта моделювання

де q_o - об'ємна витрата опари, m^3/c ;

C_o - вологість опари, %;

Q_m - об'ємна витрата борошна, m^3/c ;

Q_{T_1} - об'ємна витрата тіста на виході, m^3/c ;

Q_T - вологість тіста на виході, %;

У ємності відбувається конвективний перенос тепла від входу до виходу.

Балансове співвідношення в загальному виді виглядає наступним чином:

$$\Sigma n - \Sigma y = \frac{dr}{dt} \quad (4.1)$$

Σn – потік речовини або енергії, що приходить в об'єкт;

Σy – потік речовини або енергії, що виходить з об'єкта;

$\frac{dr}{dt}$ похідна за часом від кількості речовини або енергії, що перебуває в об'єкті.

4.2 Математична модель об'єкта

Рівняння матеріального балансу може бути замінене балансом обсягів:

$$Q_o + Q_m + Q_T = \frac{dV}{dt} \quad (4.2)$$

де V - об'єм тіста в ємності.

$$V = S \cdot H \quad (4.3)$$

де, S – площа поперечного перерізу змішувача, приймаємо $S=3,5 m^2$;

H – рівень рідини, м.

В якості даного обсягу приймемо обсяг камери попереднього змішування тістомісильної машини, так як практично весь об'єм камери інтенсивної обробки зайнятий валами.

Об'ємні витрати тіста на виході розраховуються за формулою:

$$Q_T = S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (4.4)$$

де S_o – площа отвору в дні тістомісильної машини, m^2 , ($S_o=0,1 m^2$);

g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ($g=9,8 m/c^2$);

H – рівень рідини, м (початкове значення приймаємо $H=1,5m$).

Початкова умова, тобто значення Q_o в момент часу, рівна нулю знаходиться з моделі статички об'єкта.

Матеріальний баланс по одному компоненту - опари - виглядає наступним чином:

$$Q_o \cdot c_o - Q_T \cdot c_T = \frac{d(V \cdot c_T)}{dt}, \quad (4.5)$$

де c_o – вологість опари, % ($c_o = 66\%$);

c_T – результуюча вологість тіста, % (також знаходимо з рівнянь моделі статички).

З врахуванням рівнянь (4.2), (4.3), (4.4), (4.5) і початкових умов, одержуємо математичну модель динаміки об'єкта:

$$\begin{cases} Q_M + Q_o - Q_T = \frac{dV}{dt} \\ Q_T = S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \\ V = S \cdot H \\ Q_o \cdot c_o - Q_T \cdot c_T = \frac{d(V \cdot c_T)}{dt} \\ c|_{t=0} = c_0 \end{cases} \quad (4.6)$$

У синтезованій системі автоматичного регулювання (САР) задане значення підтримується зміною витрати опари, яка подається в змішувач.

4.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання вологості

Крім об'єкта регулювання САР вологості містить первинний перетворювач, ПІ-регулятор і виконавчий пристрій у вигляді клапана (рис. 4.2).

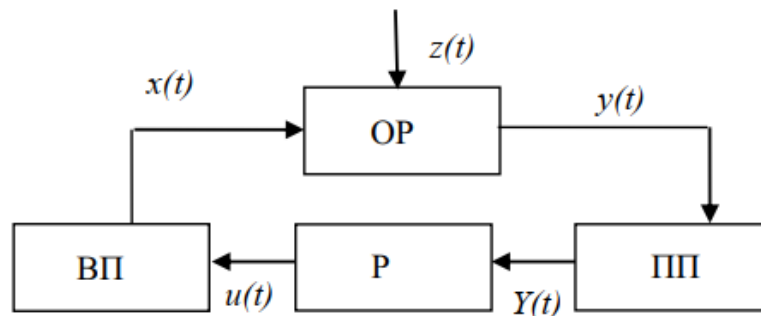


Рис. 4.2 – Структурна схема САР

ОР – об'єкт регулювання (змішувач);

ПП – первинний перетворювач;

Р – регулятор (ПІ-регулятор);

ВП – виконавчий пристрій (клапан);

$x(t)$ – витрати опари на вході в тістомісильну машину;

$y(t)$ – вологість тіста (регульований параметр);

$Y(t)$ – приведена вологість тіста (безрозмірна величина 0...1)

$u(t)$ – керуючий вплив (0...1);

$z(t)$ – зміна вологості опари на вході в об'єкт (збурюючий вплив).

4.4. Модель первинного перетворювача

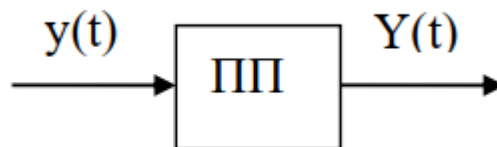


Рис. 4.3 – Структурна схема первинного перетворювача

де $y(t)$ – вологість тіста (регульований параметр);

$Y(t)$ – вихідний сигнал з первинного перетворювача (0...1).

Інерційність первинного перетворювача (ПП) нескінченно мала в порівнянні з інерційністю об'єкту. На виході первинного перетворювача є електричний сигнал. Електричний сигнал може бути за струмом, за напругою, з різними діапазонами, цифровий і т.д., але в будь-якому випадку мінімальному значенню вимірюваної величини відповідає мінімальне значення вихідного сигналу, а максимальному - максимальне значення вихідного сигналу. Для однаковості моделі вихідний сигнал в моделі представляється безрозмірною змінною, що змінюється в межах від 0 до 1. Опис статичної характеристики:

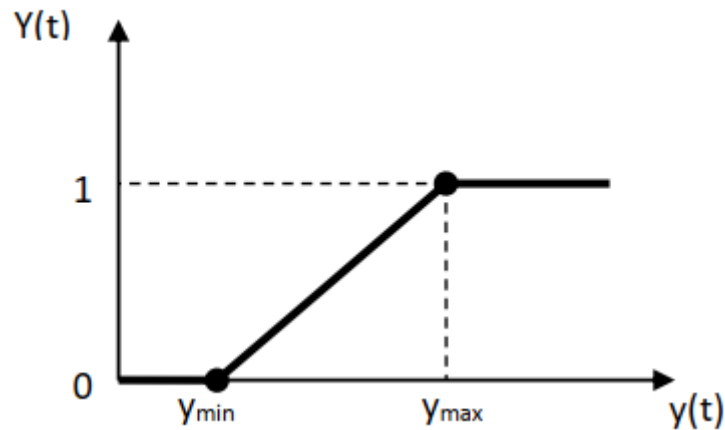


Рис. 4.4 – Статична характеристика первинного перетворювача де y_{\max} , y_{\min} – межі вимірювання конкретного перетворювача.

Таким чином, математичний опис моделі первинного перетворювача буде мати наступний вид:

$$Y(t) = \frac{c_T}{c_{\max} - c_{\min}} \quad (4.7)$$

4.5 Математична модель регулятора

Залежність, за якою вихідний сигнал первинного перетворювача $Y(t)$ перетворюється в регулюючий вплив U , називається законом регулювання. Керуючий вплив регулятора визначається законом регулювання. Для ПІ-закону регулювання:

$$U = K_y \varepsilon + \frac{1}{T_1} \int \varepsilon dt \quad (4.8)$$

де K_y – коефіцієнт підсилення регулятора;

T_1 – час інтегрування;

ε – похибка регулювання.

Приймаємо, що в початковий момент часу регулюючий вплив дорівнює нулю.

$$U|_{t=0} = 0 \quad (4.9)$$

Похибка регулювання чи неузгодженість ε знаходиться за наступною формулою:

$$\varepsilon = \frac{c_T - c_3}{c_{\max} - c_{\min}} = Y(t) - \frac{c_3}{c_{\max} - c_{\min}} \quad (4.10)$$

4.6 Математична модель виконавчого пристрою

Нехтуємо інерційністю виконавчого пристрою. Ступінь відкриття клапана вважаємо:

$$A = A_0 + U \quad (4.11)$$

де U – регулюючий вплив;

A_0 – початкова степінь відкриття клапана. Приймаємо $A_0=0,5$.

Розгінну характеристику в нашому випадку будемо вважати лінійною.

$$Q_O = k_p \cdot A \quad (4.12)$$

де A – степінь відкриття клапана;

k_p – коефіцієнт передачі клапана. Знаходимо з початкових умов:

$$k_p = Q_O^0 / A_0$$

4.7 Математична модель системи автоматичного регулювання вологості

Враховуючи рівняння (4.5), (4.7), (4.10), (4.11), (4.12), (5.13) одержимо модель динаміки САР вологості:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_M + Q_O - Q_T = \frac{dV}{dt} \\ Q_T = S_O \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \\ V = S \cdot H \\ Q_O \cdot c_O - Q_T \cdot c_T = \frac{d(V \cdot c_T)}{dt} \\ c|_{t=0} = c_0 \\ H|_{t=0} = H_0 \\ Y(t) = \frac{c_T}{(c_{\max} - c_{\min})} \\ \varepsilon = \frac{c_T - c_3}{(c_{\max} - c_{\min})} = Y(t) - \frac{c_3}{(c_{\max} - c_{\min})} \\ U = K_y \varepsilon + \frac{1}{T_I} \int \varepsilon dt \\ A = A_0 + U \\ k_p = Q_O^0 / A_0 \end{array} \right. \quad (4.14)$$

4.8. Побудова моделі за допомогою математичного пакета MATLAB

Ефективне використання можливостей комп'ютерного моделювання для реалізації динамічних моделей у значній мірі залежить від програмного забезпечення, яке повністю

автоматизує процес формулювання та розв'язання задачі. Останнім часом для чисельного дослідження прикладних задач, окрім спеціалізованих програмних засобів, широко застосовують універсальні математичні системи. Серед таких систем найбільш поширеними та популярними є MATLAB.

MATLAB – це середовище і мова технічних розрахунків, призначений для вирішення широкого спектра інженерних і наукових завдань будь-якої складності в будь-яких галузях.

Для побудови математичної моделі за допомогою математичного пакета MATLAB за рівняннями математичної моделі необхідно в Simulink скласти блок-схему моделі.

Для побудови схеми модельованого об'єкта в додатку Simulink (додаток, орієнтований на моделювання динамічних систем з використанням функціональних блоків) скористаємося наступними блоками



Constant - константа;



Gain - множення на константу чи змінну;



Sum - сумування;



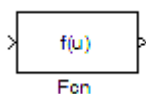
Integrator - інтегрування сигналу;



Scope - перегляд результату (візуалізація графіків);



Product – множення сигналів;



Fcn - перетворення вхідного сигналу в вихідний у відповідності із закладеною в блоці функцією

Для визначення усіх констант створюємо M-файл.

У цьому файлі описуємо всі задані константи, а також початкові значення, знайдені з статичних моделей.

Далі у вікні MATLAB натискаємо лівою кнопкою миші посилання Simulink, після чого відкривається вікно Simulink Library Browser, де в меню File вибираємо рядок New/Model. У діалоговому вікні в меню File вибираємо рядок Model Properties, після чого з'являється наступне вікно, в якому вибираємо вкладку Callbacks і в рядку ініціалізації Model Initialization Function записуємо ім'я нашого M-file без розширення і натискаємо

кнопку ОК. Для побудови блок-схеми в Simulink (рис. 4.5) необхідно скопіювати блоки з бібліотеки Simulink Library Browser в робоче вікно.

Збурюючим впливом в нашій системі є зміна вологості, що надходить в ємність опари.

Спочатку будуюмо блок-схему для моделі об'єкта.

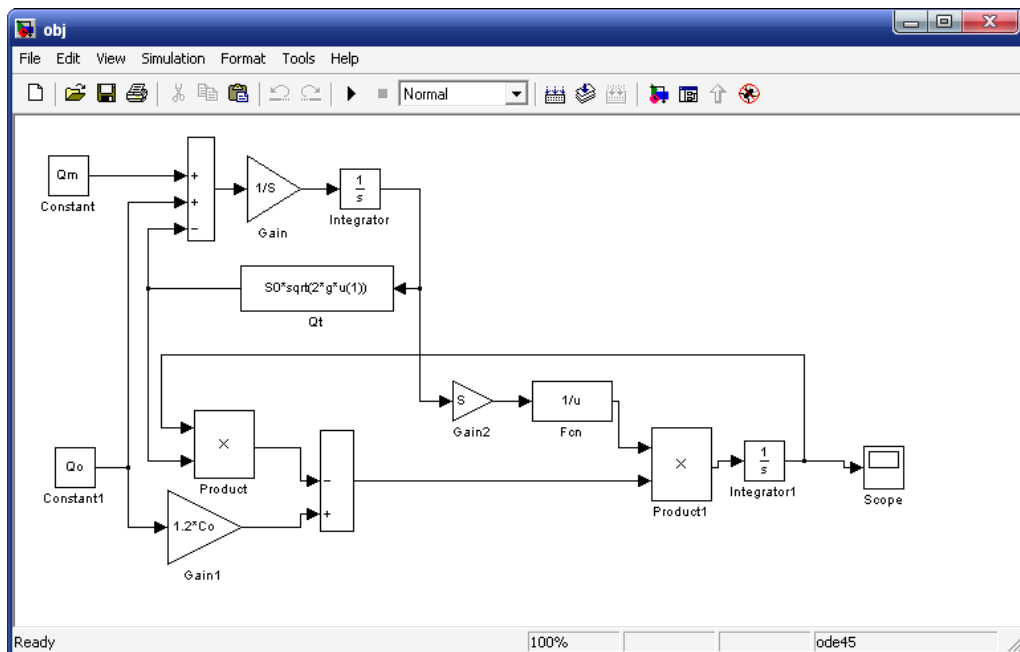


Рис. 4.5 – Імітаційна модель об'єкта в MATLAB

Перехідна характеристика об'єкта при ступінчастій зміні вологості опари на 20% буде виглядати наступним чином:

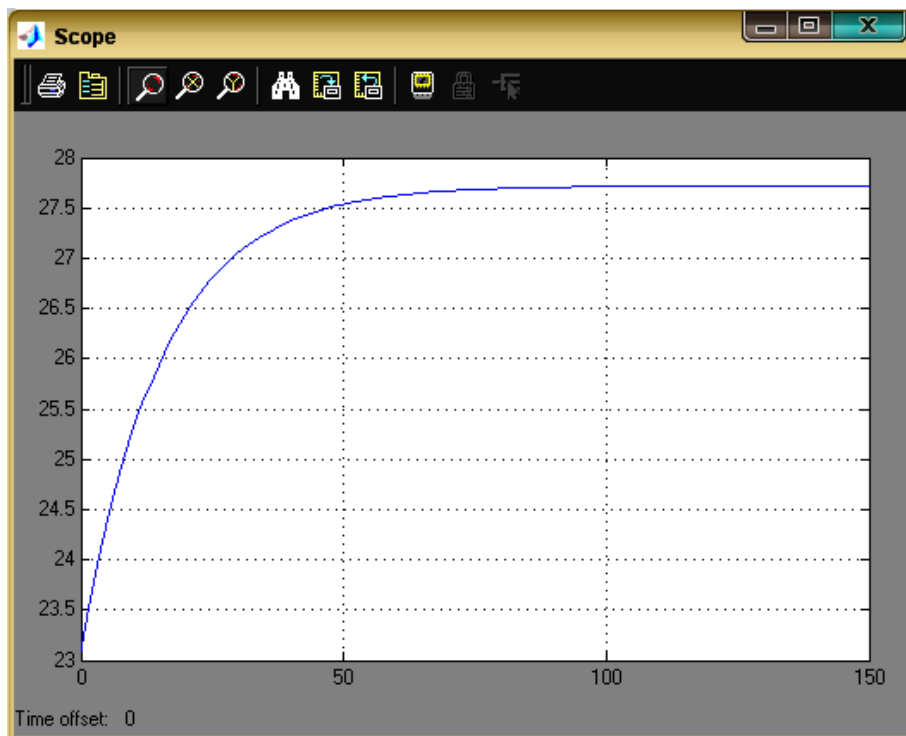


Рис. 4.6 – Перехідна характеристика об'єкта при ступінчастій зміні вологості опари

Створений нами об'єкт заносимо в підсистему (рис. 4.7):

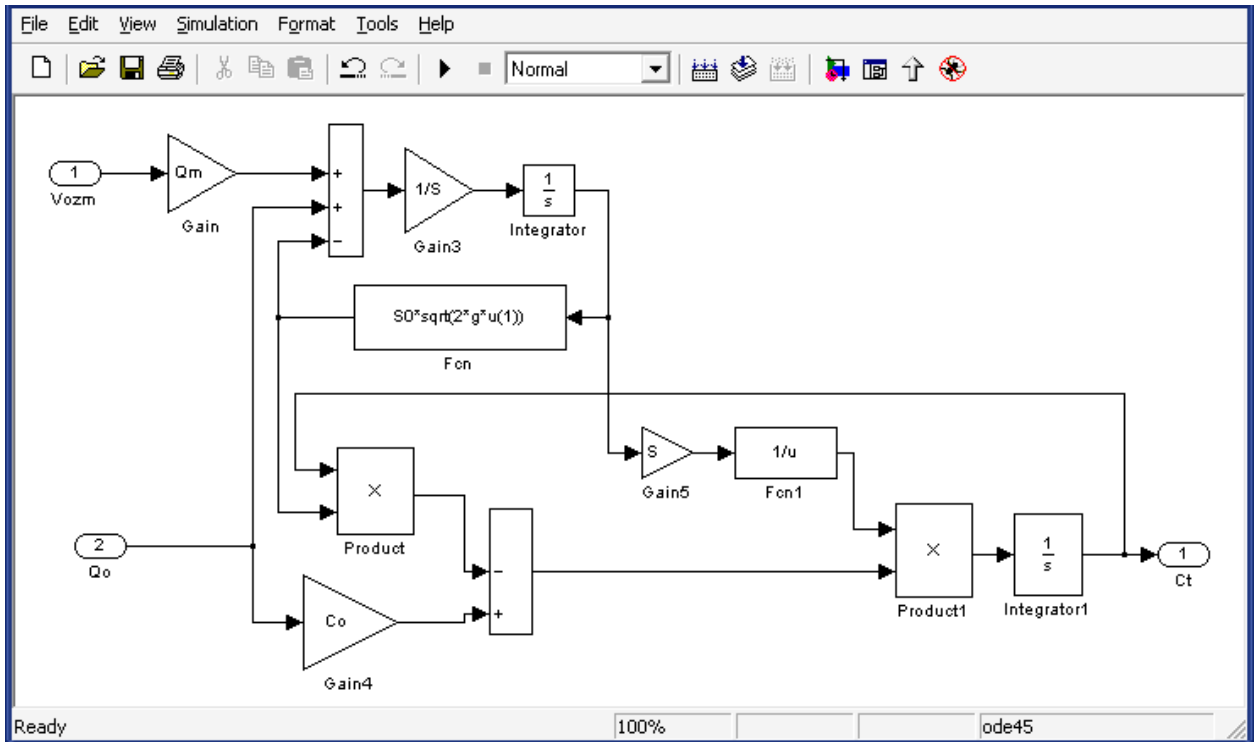


Рис. 4.7 – Підсистема «Об'єкт»

Вхід «Vozm» необхідний для подачі збурення.

На вхід «Qo» надходить сигнал від виконавчого пристрою, змінюючий витрати опари.

Вихід «Ct» служить для передачі сигналу, вихідного параметра, вологості в контур регулювання.

Аналогічно створюємо модель ПІ-регулятора у вигляді підсистеми «ПІ-регулятор» (рис. 4.8):

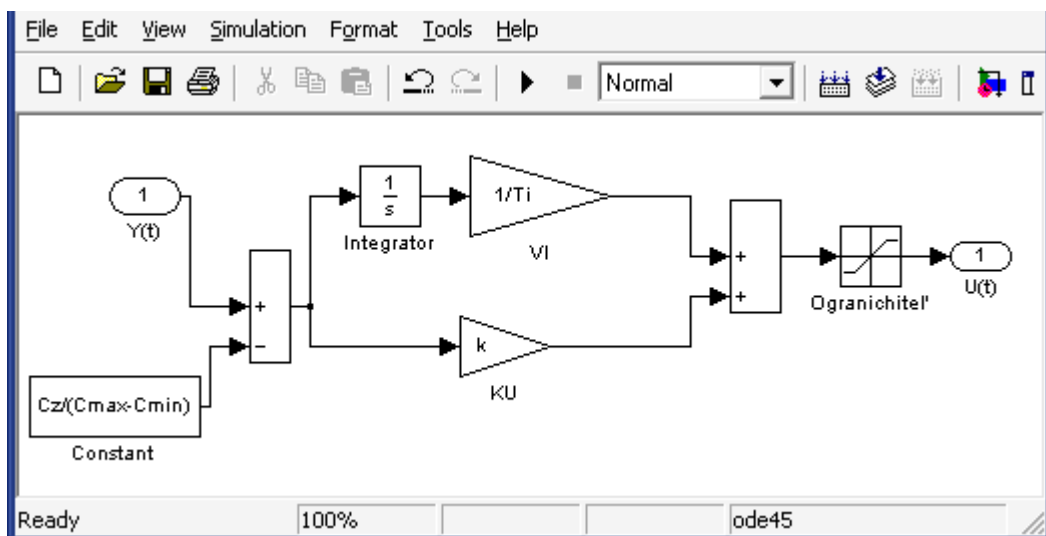


Рис. 4.8 – Підсистема «ПІ-регулятор»

де блоки: «KU» – для множення похибки регулювання на коефіцієнт підсилення;

«VI» – для врахування часу інтегрування;

«*Ogranichitel*» – необхідний для запобігання виходу значення величини керуючого впливу за допустимі межі (0...1);

«*Integrator*» – у властивостях задаємо початкове регулюючий вплив рівний нулю.

Модель виконавчого пристрою створюємо по аналогії (рис. 3.9).

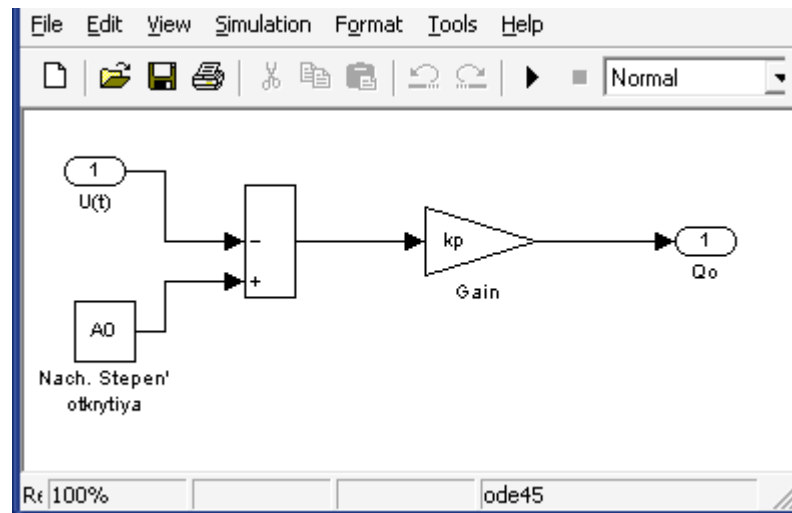


Рис. 4.9 – Імітаційна модель виконавчого пристрою

Вихідний сигнал виконавчого пристрою - нові витрата опари Q_0 при уточненій (новій) ступені відкриття регулюючого органу A .

За допомогою функцій блоку «Fcn» створюємо модель первинного перетворювача.

Після об'єднання всіх створених нами підсистем, об'єднуємо їх у відповідності зі структурною схемою САР вологості (рис. 4.10).

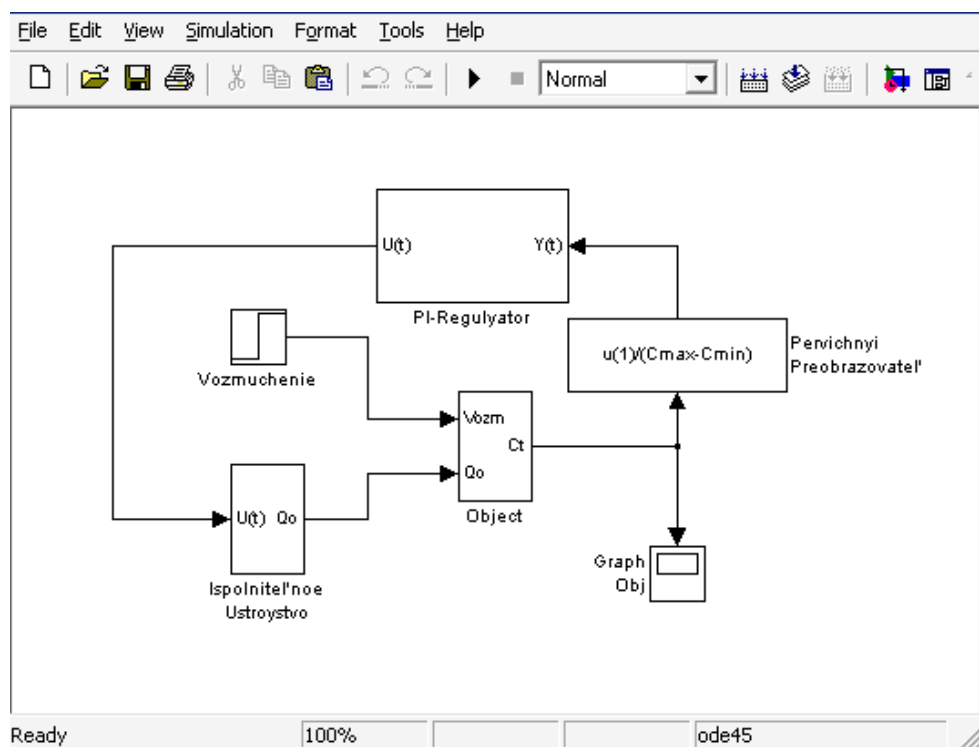


Рис. 4.10 – Імітаційна модель САР вологості

Процес моделювання проводимо в інтервалі часу від 0 до 300 с. В результаті одержуємо наступні графіки перехідного процесу при налаштуваннях регулятора $K_y=1$ і $T_I=2$ (рис. 4.11):

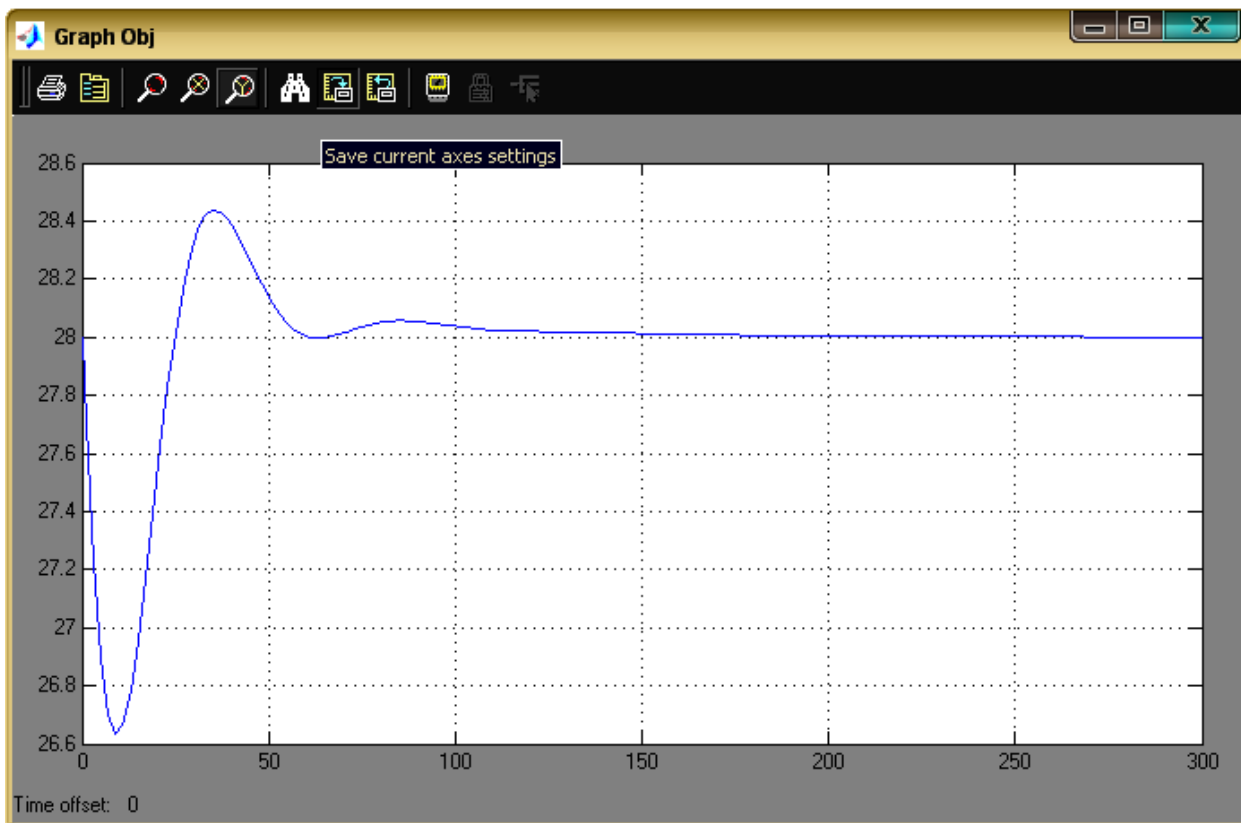


Рис. 4.11 – Перехідний процес в САР вологості

В даному розділі ми успішно використали MATLAB для побудови імітаційної моделі об'єкта системи керування. Використовуючи різні функціональні блоки Simulink, ми змогли побудувати реалістичну модель, що дозволила аналізувати та тестувати систему керування без прямого впливу на реальну систему. В ньому ми показали як працює система автоматичного регулювання (САР), визначили налаштування регулятора.

4.9 Одержання передаточних функцій об'єкта

Для роботи зі схемою необхідно знати передаточну функцію об'єкта. Знаходимо передаточну функцію для тістомісильної машини за відомою кривою розгону.

Знаходимо експериментальну криву розгону до одиничного ступінчастого впливу за формулою:

$$h(t) = \frac{y(t)-y(t_0)}{(c_{\max}-c_{\min}) \cdot A} \quad (4.15)$$

де $y(t)$ – експериментальні значення вологості тіста, %; $y(t_0)$ – експериментальні значення вологості в початковий момент часу, %;

$c_{max}=100\%$ – максимальне значення вологості тіста на виході зі змішувача, %;

$c_{min}=0\%$ – мінімальне значення вологості тіста на виході із змішувача, %

$A=0,2$ – амплітуда вхідного ступінчатого сигналу, виражена у відсотках. Тоді крива розгону, приведена до одиничного ступінчатого впливу матиме вид:

$$h(t) = \frac{y(t)-27,7}{(100-0)\cdot 0,2} = \frac{y(t)-27,7}{20} \quad (4.16)$$

Будемо апроксимувати тістомісильну машину як об'єкт з самовирівнювальною характеристикою, що представляє собою дві аперіодичні ланки першого порядку без запізнювання. Тоді передаточна функція має наступний загальний вигляд:

$$W(s) = \frac{k}{(T_1\cdot s+1)\cdot(T_2\cdot s+1)} \quad (4.17)$$

де k – коефіцієнт підсилення об'єкта;

T_1, T_2 – постійні часу аперіодичної ланки.

Для визначення параметрів необхідно скористатися номограмою, визначивши попередньо коефіцієнт b :

$$b = \frac{h_{tp}}{h_0(20)} = 0.263 \quad (4.18)$$

У вашому випадку значення $T_1=14.94$ та $T_2=0.49$ були отримані шляхом апроксимації, через аналіз даних про реакцію системи на вхідний ступінчатий сигнал. Ці значення відображають характерні часові константи системи, що впливають на її динаміку.

Визначаємо коефіцієнт підсилення об'єкта:

$$k = h_{ni\delta c} = 0,923 \quad (4.19)$$

Перехідна характеристика визначається формулою:

$$ha(t) = k - \frac{k}{T_1-T_2} \cdot (T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - T_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (4.20)$$

Площа Sa під цією кривою визначається за формулою:

$$Sa = \int_0^{100} ha(t) dt \quad (4.21)$$

Площа S під експериментальною кривою визначається за формулою:

$$S = \sum_{i=0}^{20} \frac{h_i(t)+h_{i+1}(t)}{2} \cdot (t_{i+1} - t_i) \quad (4.22)$$

Похибка апроксимації ε повинна відповідати умові:

$$\varepsilon = \left| \frac{S-Sa}{S} \right| \cdot 100\% < 1\% \quad (4.23)$$

Проводимо перевірку умови і одержуємо $\varepsilon=0.147\%$, що задовольняє (4.23). В результаті одержуємо передаточну функцію об'єкта у виді:

$$W(s) = \frac{0.923}{(14.94\cdot s+1)(0.49\cdot s+1)} \quad (4.24)$$

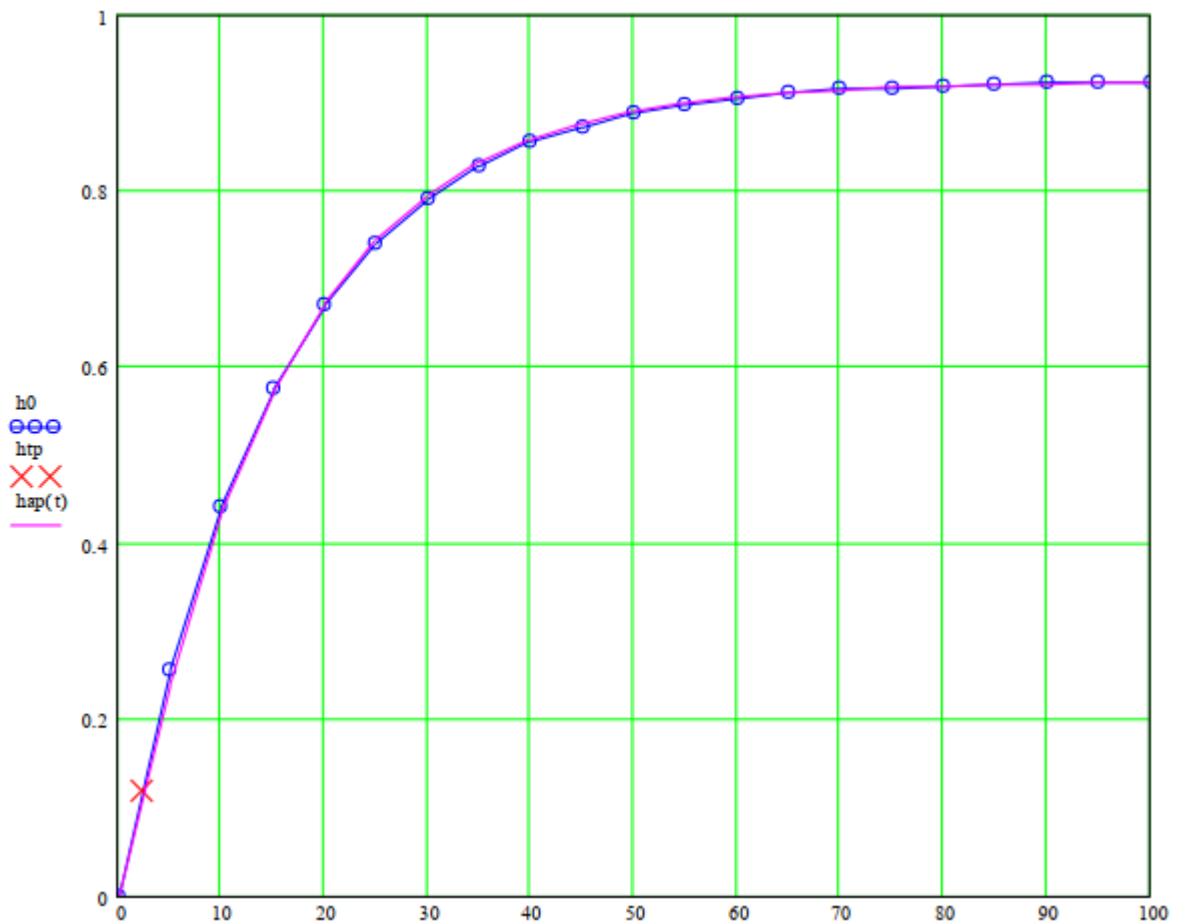


Рис. 4.12 – Апроксимуюча і експериментальна перехідні характеристики

Отримання передаточних функцій об'єкта є необхідною для налаштування регулятора та для проведення аналізу системи. Передаточна функція ОУ дозволяє отримати математичну модель системи, що дозволяє провести аналіз та синтез керуючих систем.

У даному розділі ми звернулися до експериментальних методів для визначення передаточної функції об'єкта системи керування. Використовуючи аналітичні та експериментальні дані, ми змогли встановити параметри об'єкта та отримати математичну модель, яка є основою для подальшого аналізу та налаштування системи керування.

Наш підхід відповідає стандартній процедурі для визначення передаточної функції об'єкта управління на основі експериментальних даних.

Узгоджуючись зі стандартною методологією, що є коректними для вирішення поставленої задачі. Ви успішно виконали всі необхідні кроки для отримання передаточної функції об'єкта, що є важливим для подальшого проектування системи автоматичного регулювання вологості [21].

Побудова моделі за допомогою математичного пакета MATLAB та одержання передаточних функцій об'єкта дозволили нам успішно розглянути та оптимізувати роботу

системи керування, що є ключовим завданням у розробці ефективних технологічних процесів [24].

4.10 Параметрична оптимізація системи методом розширеної амплітуднофазової характеристики

Розширена амплітудно-фазова характеристика (РАФХ), позначається як $W(m, i\omega)$, одержується з передаточної функції $W(S)$ при заміні:

$$S = -m \cdot \omega + i \cdot \omega S = -m \cdot \omega + i \cdot \omega \quad (4.25)$$

де m – степінь коливальності; ω – частота.

РАФХ є відображенням прямої на площину АФХ (рис. 3.25).

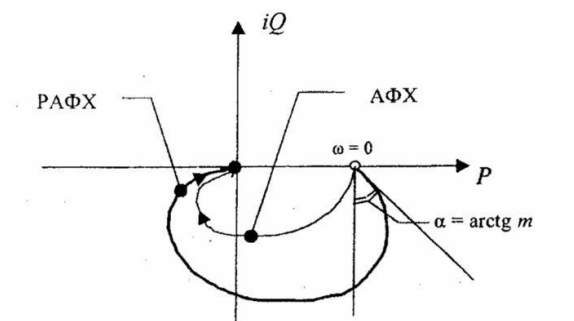


Рис. 4.13 – Зображення АФХ і РАФХ.

РАФХ охоплює АФХ. Дотична в точці $\omega=0$ завжди вертикальна, а кут α між АФХ і РАФХ в цій точці рівний $\arctg(m)$.

Якщо розімкнута система має степінь коливальності не нижче заданого m^* , то замкнута система буде мати m^* , якщо РАФХ розімкнутої системи $W_{роз}(m^*, i\omega)$ проходить через критичну точку $(-1; i0)$. Якщо РАФХ розімкнутої системи не охоплює критичну точку, то степінь коливальності замкнутої системи вищий, ніж m^* .

Таким чином, щоб замкнута система мала задану степінь коливальності, при $m=m^*$ повинна виконуватись умова:

$$W_{роз}(m, i\omega) = -1. \quad (4.26)$$

Рівняння (5.26) рівносильне системі рівнянь:

$$\begin{cases} M_{роз}(m, \omega) = 1 \\ f_{роз}(m, \omega) = -\pi \end{cases} \quad (4.27)$$

де $M_{роз}$ – розширена амплітудно-частотна характеристика (РАЧХ);

$f_{роз}$ – розширена фазочастотна характеристика (РФЧХ).

В одноконтурній системі об'єкт-регулятор РАФХ розімкнутої системи $W_{роз}(m, i\omega)$ визначається як:

$$W_{роз}(m, i\omega) = W_{об}(m, i\omega) \cdot W_{рег}(m, i\omega) \quad (4.28)$$

Тоді система (3.28) перепишеться у виді:

$$\begin{cases} M_{об}(m, \omega) \cdot M_{рег}(m, \omega) = 1 \\ f_{об}(m, \omega) \cdot f_{рег}(m, \omega) = -\pi \end{cases} \quad (4.29)$$

При відомих характеристиках об'єкта ($M_{об}(m, \omega)$, $f_{об}(m, \omega)$) з системи (3.29) можна розрахувати оптимальні налаштування промислового регулятора.

РАФХ пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора визначається за формулою:

$$W_{рег}(m, i\omega) = -(C_1 + C_0 / (-m\omega + i\omega)), \quad (4.30)$$

де C_1 – коефіцієнт підсилення регулятора;

C_0 – передаточний коефіцієнт інтегральної складової. Розрахункові формули для налаштувань ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} C_1 = \frac{1}{M_{об}(m, \omega_p)} \cdot [m \cdot \sin(-f_0(m, \omega_p)) \cos(-f_0(m, \omega_p))] \\ C_0 = \frac{1}{M_{об}(m, \omega_p)} \cdot m(m^2 + 1) \cdot \omega_p \cdot \sin(-f_0(m, \omega_p)) \end{cases} \quad (4.31)$$

де ω_p – робоча частота.

Отже маємо систему рівнянь (5.31) з трьома невідомими: C_1 , C_0 , ω_p . Це означає, що існує багато пар (C_1 , C_0), які забезпечують необхідне значення степені коливальності в даній системі. При цьому кожна пара значень (C_1 , C_0) відповідає робочій частоті ω_p .

Для знаходження оптимальних налаштувань необхідно вибрати робочу частоту, а потім за формулою (4.31) розрахувати оптимальні C_1 , C_0 . З цією метою будують криві рівної коливальності в осях C_1 , C_0 (рис. 4.14).

У відповідності з рис. 4.14 крива рівної коливальності при $m=0$ розбиває площину налаштувань на область стійкої (під кривою) і нестійкої (над кривою) роботи системи. При русі по кривій рівної коливальності зліва направо, тобто від точки $\omega=0$, значення робочої частоти зростають від $\omega=0$ до $\omega=\omega_n$ (частота ω_n відповідає ПІ-регулятору, так як $C_0=0$).

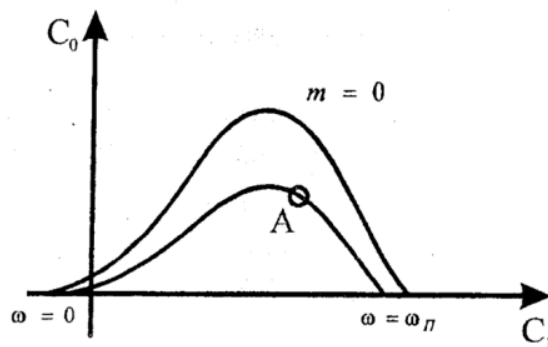


Рис. 4.14 – Криві рівної коливальності

Мінімуму інтегрального квадратичного критерію відповідає точка на кривій рівної коливальності поблизу її вершини по правій гілці (рис. 4.14, точка А). Рекомендується вибирати робочу частоту із співвідношення (4.32), де ω_0 відповідає вершині кривої $m=const$:

$$\omega_p = 1.22 \cdot \omega_0 \quad (4.32)$$

В промислових ПІ-регуляторах в якості налаштувань використовується коефіцієнт підсилення регулятора (K_P) і час інтегрування (T_I) чи час іздрому (T_{I3}), пов'язані з величинами C_I , C_0 наступними формулами:

$$K_p = C_1 \quad (4.33)$$

$$T_1 = \frac{1}{C_0} \quad (4.34)$$

$$T_{I3} = \frac{C_1}{C_0} \quad (4.35)$$

з діапазону степенів коливальності $m[0,221; 0,366]$ вибираємо значення 0,36. При вибраному значенні m будемо криву рівної коливальності.

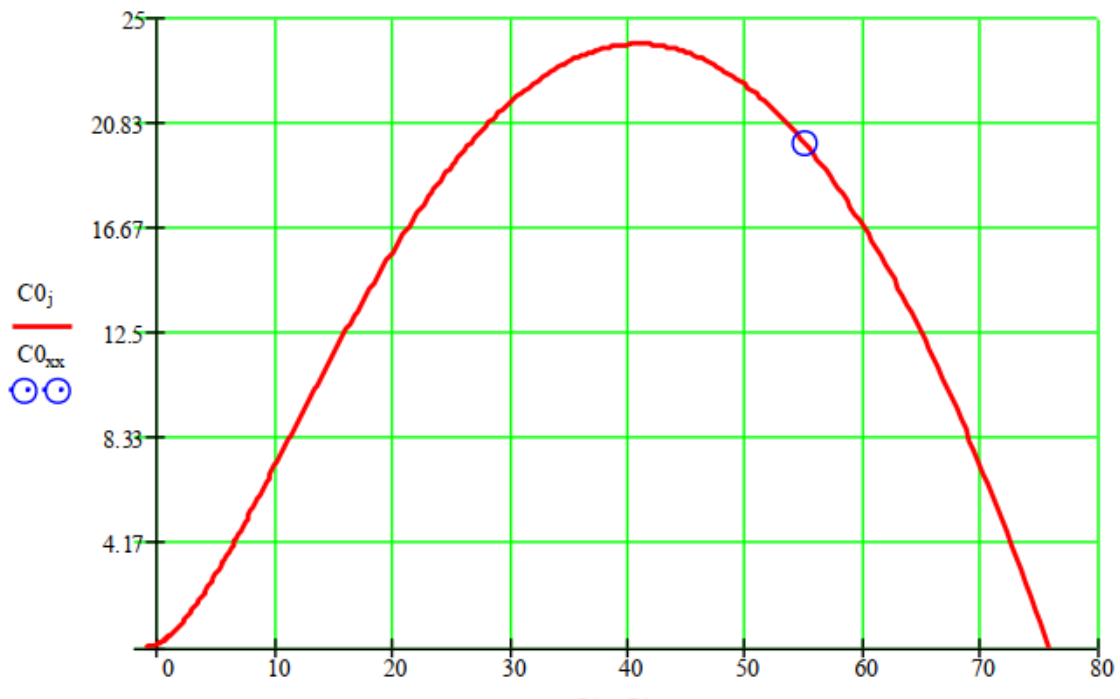


Рис. 5.14 – Крива рівної коливальності

За формулою (4.32) знаходимо робочу частоту:

$$\omega_p = 1.22 \cdot \omega^0 = 1.22 \cdot 1.95 = 2.379$$

Визначаємо значення ω , при якому C_0 кривої досягає максимуму, у відповідності з рис. 5.14 і знаходимо за формулою (4.31) необхідні коефіцієнти. Підставляємо відомі значення C_0 і C_1 в (4.33), (4.34) і (4.35), одержуємо шукані значення $K_P = 55,022$ і $T_I = 0,05$, $T_{I3} = 2,751$. Одержані значення K_P і T_I підставляємо у формулу передаточної функції ПІ-регулятора $W_P(S)$:

$$W_p(S) = K_p + \frac{1}{T_I \cdot s} \quad (4.36)$$

і отримуємо передаточну функцію регулятора:

$$W_p(S) = 55.022 + \frac{1}{0.05 \cdot s} \quad (4.37)$$

Знаходимо частоти, що лежать по обидві сторони від знайденої раніше робочої частоти. Знаходимо коефіцієнт підсилення регулятора і час інтегрування для кожної з частот:

$$\begin{aligned} \omega_{p1} = 2.26 & & K_{p1} = 50.879 & T_{I1} = 0.045 \\ \omega_{p2} = 2.498 & & K_{p2} = 59.305 & T_{I2} = 0.058 \end{aligned}$$

Будуємо перехідні характеристики замкнутої системи в безрозмірній величині $h(t)$ і в процентах $H(t)$ для трьох варіантів налаштувань (рис. 4.15), тобто реакцію системи на одиничний вплив. $h(t)$ знаходимо з допомогою зворотного перетворення Лапласа, перевід в проценти здійснюємо за формулою:

$$y(t) = h(t) \cdot (C_{max} - C_{min}) \cdot A + T3 \quad (4.38)$$

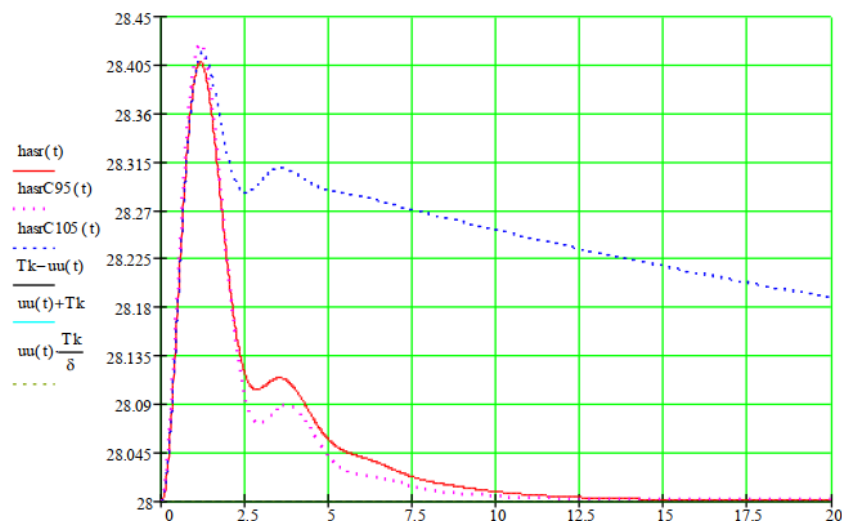


Рис. 4.16 – Перехідні характеристики (у відсотках)

Визначаємо критерії якості процесів регулювання для трьох робочих частот. Інтегральний квадратичний критерій рівний:

$$I_{kv} = \int_0^{t_p} H(t)^2 dt \quad (4.39)$$

$$I_{kv} = 5.398 \cdot 10^{-4} \quad (4.39)$$

Прямі (часові) критерії якості:

Y_c – статистична похибка

$$Y_c = Y_y - Y_z \quad Y_{din} = 0,02 \quad (4.40)$$

де $Y_y = 28\%$ – усталене значення,

$Y_z = 28\%$ – задане значення.

Отже, $Y_c=0$ (наявність інтегральної складової гарантує відсутність статичної помилки). - динамічна похибка – максимальне відхилення від усталеного значення:

Y_{din} – динамічна похибка максимальне відхилення від усталеного значення:

$$Y_{din} = 0,02$$

Степінь затухання – різниця сусідніх амплітуд одного знаку, віднесена допершої амплітуди:

$$\psi = \frac{Y_1 - Y_3}{Y_1} \quad (4.41)$$

де $Y_1 = Y_{din} = 0,02$

$Y_3 = 0,0056$

Звідси $\psi = 0,726$. Тоді степінь коливальності рівна:

$$m = \frac{\ln(1-\psi)}{-2\pi} \quad (4.42)$$

$$m = 0.206$$

Ці ж критерії застосовуємо для двох інших частот. В результаті одержимо налаштування регулятора, які відображені у виді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Налаштування регулятора

ω_p	Ikv	Y_{din}	ψ	m	K_p	Tu
2.26	0.000542	0.021	0.792	0.25	50.879	0.045
2.379	0.00054	0.02	0.726	0.206	55.022	0.05
2.498	0.0049	0.021	0.258	0.047	59.305	0.58

При $\omega_p = 2.379$ досягається мінімум інтегрального квадратичного критерію $Ikv = 0.00054$, а степінь коливальності не нижче заданої. Тому приймаємо за оптимальні саме ці налаштування (другий рядок таблиці 4.1).

У даній частині роботи ми досліджували метод розширеної амплітудно-фазової характеристики (РАФХ) для оптимізації параметрів системи керування. Значення РАФХ отримуються з передаточної функції об'єкта системи за допомогою певної заміни. Метод РАФХ дозволяє оцінити степінь коливальності системи та визначити параметри регулятора для досягнення заданих характеристик роботи системи.

Цей метод дозволяє оцінити степінь коливальності системи та визначити параметри регулятора для досягнення заданих характеристик роботи системи.

Основні етапи дослідження:

1. Отримання експериментальних даних:

- Експериментальна крива розгону до одиничного ступінчастого впливу була записана та перетворена для подальшого аналізу.
2. **Аналіз експериментальних даних:**
 - Дані були перетворені в стандартну форму для порівняння з моделями аперіодичних ланок.
 3. **Апроксимація об'єкта двома аперіодичними ланками першого порядку:**
 - Було визначено коефіцієнт підсилення k та постійні часу T_1 і T_2 для моделювання об'єкта.
 - Перевірка адекватності моделі шляхом обчислення площ під експериментальною кривою та аналітичною кривою перехідної характеристики.
 4. **Оптимізація параметрів системи керування:**
 - Використання методу РАФХ для визначення оптимальних параметрів пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора.
 - Розрахунки за формулами методу РАФХ дозволили отримати оптимальні налаштування промислового регулятора для забезпечення стабільності та точності роботи системи керування.
 5. **Перевірка налаштувань регулятора:**
 - Аналіз перехідних характеристик системи підтвердив ефективність запропонованого методу оптимізації параметрів системи керування.
 - При $\omega_p=2.379$ досягається мінімум інтегрального квадратичного критерію $I_{kv}=0.00054$, а степінь коливальності не нижче заданої, що свідчить про оптимальність налаштувань.

У процесі досліджень були використані математичні моделі та експериментальні дані для визначення передаточних функцій та характеристик об'єкта системи. За допомогою розрахунків за формулами методу РАФХ були отримані оптимальні налаштування промислового регулятора для забезпечення стабільності та точності роботи системи керування.

Одним з ключових результатів є визначення оптимальних параметрів пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора за допомогою методу РАФХ. Отримані значення коефіцієнта підсилення регулятора та часу інтегрування дозволяють досягти бажаної якості регулювання системи при різних умовах роботи.

Налаштування регулятора були перевірені за допомогою аналізу перехідних характеристик системи. Отримані результати підтвердили ефективність запропонованого методу оптимізації параметрів системи керування.

Таким чином, метод розширеної амплітудно-фазової характеристики є потужним інструментом для оптимізації параметрів систем керування, що дозволяє досягти бажаних характеристик роботи системи з високою точністю і ефективністю.

4.11 Розробка алгоритму роботи програми збору даних про стан автоматизованої лінії

Алгоритми управління є важливим компонентом програмного забезпечення. Програмований логічний контролер (ПЛК) обробляє сигнал від датчика, обчислює значення керуючого сигналу відповідно до заданого закону управління і видає його на виконавчий механізм. Період опитування залежить від динамічних параметрів процесу і становить від хвилин до десятків секунд.

Наведена структурна схема алгоритму роботи печі.:

PK1, PK2-продувний клапан, напір 1-ї зони і 2-ї зони. - Головні запірні клапани на подавальному газопроводі, K31, K32 - котушки запалювання, ZP1, ZP2-клапани запальних пальників, MG1, MG2-клапани "малого газу", VG1, VG2 - клапани "великого газу", t1, t2 - поточна температура, відповідно, першої і другої зон пекарної камери, t1, t2 - це температура газу "з печі" першої і другої печей відповідно, а n-кількість циклів, відповідне часу 4С.відповідно до правил техніки Система запалювання не може працювати при температурі 4°C за відсутності полум'я) [додатково 2].

4.12 Розробка програми збору даних про стан автоматизованої систем

Для розробки логіки технологічного процесу використовується пакет програмного забезпечення STEP 7 V. 5.4, а для візуалізації та керування зі станції оператора використовується SCADA-система SIMATIC WinCC v. 6.2 RunTime на 128 змінних.

Керуюча програма - це алгоритм керування, реалізований операторами на одній з мов програмування.

Як пристрій управління комплексом обраний програмований контролер SIEMENS S7-300. Обраний контролер підтримує максимальну кількість каналів вводу-виводу: дискретних-256, аналогових - 64. CPU 312 має робочу пам'ять в об'ємі 32 кБ, що буде достатньо для даного технологічного процесу.

Simatic WinCC (Windows Control Center) — система HMI, програмне забезпечення для створення людино-машинного інтерфейсу, складова частина сімейства систем автоматизації SIMATIC, вироблених компанією Siemens AG. Працює під управлінням

операційних систем сімейства Microsoft Windows і використовує базу даних Microsoft SQL Server (починаючи з версії 6.0).

Основні можливості WinCC:

- Візуалізація технологічного процесу (Graphic Designer);
- Конфігурація і налаштування зв'язку з контролерами різноманітних виробників (Tag Management);
- Відображення, архівування і протоколювання повідомлень від технологічного процесу (Alarm Logging);
- Відображення, архівування та протоколювання змінних (Tag Logging);
- Розширення можливостей системи за рахунок використання скриптів на мовах ANSI C, VBS і VBA;
- Проектування системи звітності (Report Designer);
- Взаємодія з іншими додатками, в тому числі і по мережі, завдяки використанню стандартних інтерфейсів OLE, ODBC і SQL забезпечує просту інтеграцію WinCC у внутрішню інформаційну мережу підприємства;
- Проста побудова систем клієнт-сервер;
- Побудова резервованих систем;
- Розширення можливостей шляхом використання елементів ActiveX;
- Відкритий OPC-інтерфейс (OLE for Process Control).

Взаємодія з пакетом Simatic Step 7.

Програма керування лінією з виробництва хлібобулочних виробів для логічного контролера пишеться згідно з розробленим алгоритмом керування.

Для початку опишемо алгоритм керування, а потім перейдемо до програми на мові програмування, яку ми вказали.

Алгоритм керування:

1. Старт системи:

- Перевірка готовності обладнання.
- Завантаження параметрів і налаштувань з бази даних.

2. Опитування датчиків:

- Отримання значень датчиків температури, вологості та інших параметрів.

3. Аналіз поточного стану:

- Перевірка стану обладнання.
- Аналіз температур та вологості в зоні печі.

4. Видача керуючих сигналів:

- Керування електромеханічними пристроями (насосами, клапанами, дверима печі тощо).
- Регулювання параметрів печі (температури, часу пекарських циклів тощо).

5. Перевірка робочого часу:

- Перевірка належності часу піддержання оптимальних умов роботи.

6. Відслідковування робочих циклів:

- Запис даних про виконані цикли в базу даних.

7. Завершення роботи:

- Збереження даних та параметрів.
- Відключення системи.

Програма керування на мові програмування для PLC (за допомогою STEP 7) [дод. 3].

Розроблена нами програма може бути загальним орієнтиром для автоматизації технологічної лінії виробництва здобних сухарів. Він включає в себе основні кроки алгоритму керування, які можна адаптувати під конкретні потреби та обладнання вашої хлібопекарні.

Цей шаблон надає загальну структуру для контролю за процесом виробництва, включаючи опитування датчиків, аналіз стану обладнання та середовища, керування електромеханічними пристроями, контроль робочого часу та відслідковування робочих циклів.

Проте, важливо пам'ятати, що наша програма може вимагати адаптації до конкретних вимог вашого обладнання та технологічного процесу. Для цього необхідно виконати наступні кроки:

1. **Адаптація датчиків:** Вибір датчиків (температури, вологості, тиску тощо), які використовуються на лінії виробництва та як вони інтегруються з системою керування.
2. **Конфігурація обладнання Siemens:** Вибір необхідних пристроїв для керування процесом (клапани, насоси, приводи тощо) та налаштування їх для відповідності виробничим потребам.
3. **Налаштування параметрів технологічного процесу:** Встановлення необхідних параметри (температура, час, швидкість тощо) для ефективного виробництва здобних сухарів.
4. **Інтеграція з базою даних:** Налаштунок взаємодії програмного забезпечення з базою даних для збереження та аналізу інформації про виробництво.
5. **Тестування та оптимізація:** Після впровадження програми необхідно провести тестування та внести необхідні корективи для оптимізації процесу виробництва.

Адаптуючи нашу проект до хлібопекарні, можна створити програму автоматизації, яка відповідає унікальним вимогам сучасного виробництва.

ВИСНОВКИ

1 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 електрообладнання, вдосконалено систему автоматизації технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів 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 процесом приготування тіста. Завданням розробленої в даному випадку системи управління є підтримка таких параметрів, як продуктивність тістомісильної машини і вологість тесту, на заданому рівні. Вибір автоматизованих пристроїв і інструментів здійснювався з урахуванням конкретного набору датчиків і автоматичного лінійного контролера.

Була складена математична модель тістомісильної машини. На основі імітаційного моделювання в програмному середовищі MatLab / Simulink ми провели параметричну оптимізацію регуляторів вологості в ній. Було розроблено управління роботою печі, складена технологічна схема управління і описана керуюча програма.

Розроблено алгоритм роботи програми та шаблон програми для збору даних про стан автоматичної лінії з виробництва панірувальних сухарів.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизована лінія виробництва сухарних виробів. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-khlibopekarskoi-promyslovosti/kompleksni-rishennya/liniya-z-virobnitstva-sukharnikh-virobiv> (Дата звернення: 23.03.2024)
2. Арсеньєв Ю.Н., Журавльов В.М. Проектвання систем логічного управління на мікропроцесорних пристроях: Навч. пос., Київ.: Вища. шк., 2011. 319 с.
3. Ауерман Л.Я. Технологія хлібопекарного виробництва: Підручник. 9-е изд.; перераб. и доп. Харків.: Професія, 2015. 416 с.
4. Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., В.О. Ковальов В.О. Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування. К.: Аграрна освіта, 2010.405 с.
5. Бондаренко В.Г. Сучасне обладнання хлібопекарській галузі. *Харчова і переробна промисловість*. 2005. № 1. С.26-27.
6. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизація технологічних процесів. К.: Колос, 2003. 344 с.
7. Головінський Б.Л., Шуруб Ю.В., Лисенко В.П. Теорія автоматичного управління. К.: Вид. центр НУБіП України, 2012. 240 с.
8. Драгилев А.И. Будова і експлуатація обладнання підприємств харчової промисловості. К.: Харчова промисловість, 2001. 257 с.
9. Дробот В.І. Технологічні розрахунки у хлібопекарському виробництві. К.: Кондор, 2010. 440 с.
10. Єрмолаєв С.О., Яковлев С.О., Експлуатація і ремонт електрообладнання та засобів автоматизації. К.: Урожай. 1996. 388 с.
11. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній. К.: Вища освіта, 2001. 286 с.
12. 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)
13. Корчемний М.О., Клендїй П.Б., Потапенко М.В. Теоретичні основи автоматики. Тернопіль: Навчальна книга «Богдан», 2011 304 с.
14. Ладанюк А. П., Кишенько В.Д., Луцька Н.М., Івашук В.В. Методи сучасної теорії управління: навч. посіб. для студ. ВНЗ. К.: НУХТ, 2010. 195 с.

15. 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.
16. 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.
17. Лісовенко О.Т., Руденко-Грицюк О.А., Литовченко І.М. та ін. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. К.: Наукова думка, 2000. 220 с.
18. Мікропроцесорні та виконавчі пристрої. К.: ІЗМН, 2017. 200 с.
19. Модульні пекарни. URL: <http://www.colaxm.com> (Дата звернення: 21.03.2024)
20. Нечаєв А.П., Шуб І.С., Аношина О. М. и др. Технології харчових виробництв. К.: Ауксма, 2005. 768 с.
21. 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>
22. Франц Дж. Торнли Дж. Математичні моделі в сільському господарстві. Елементи систем автоматизованого керування. К.: Машинобудування, 2009. 536 с.
23. Фурман І.А., Краснобаєв В.А., Скороделов В.В., Рисований А.Н. Організація і програмування мікроконтролерів: Підручник. Харків: Еспада, 2009. 248 с.
24. Лазарев Ю.Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. Київ: НТУУ "КПІ", 2011. 421 с.

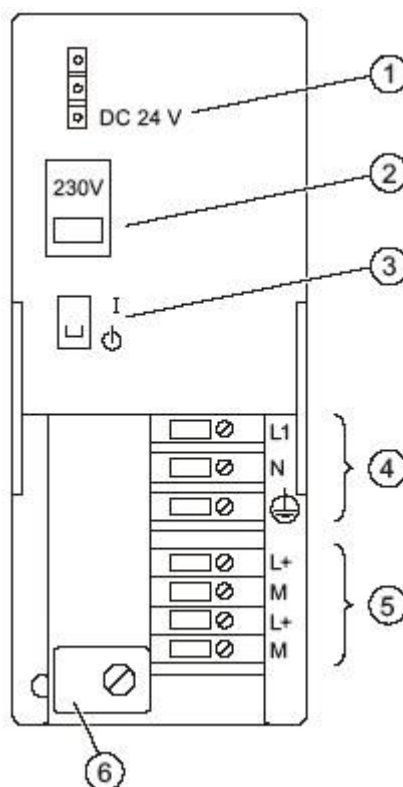
ДОДАТКИ

Джерело живлення Siemens S7-300

Блок живлення PS 307 (2 А) відрізняється такими характеристиками:

- вихідний струм 2 А
- номінальна вихідна напруга 24 у пост. струму; регульоване, стійке при короткому замиканні та холостому ході
- підключення до мережі постійного струму
- (номінальна вхідна напруга 24/48/72/96/110 пост. струму)
- надійна гальванічна розв'язка відповідно до EN 60 950
- може бути використаний як джерело живлення навантаження

Схема підключення PS 307; 2 А



- 1) Індикатор наявності вихідної напруги 24 пост. струму
- 2) Перемикач для вибору напруги в мережі
- 3) Вимикач напруги 24 пост. струму
- 4) Клеми для підключення напруги та захисного проводу
- 5) Клеми для вихідної напруги 24 пост. струму

Принципова схема PS 307; 2 А

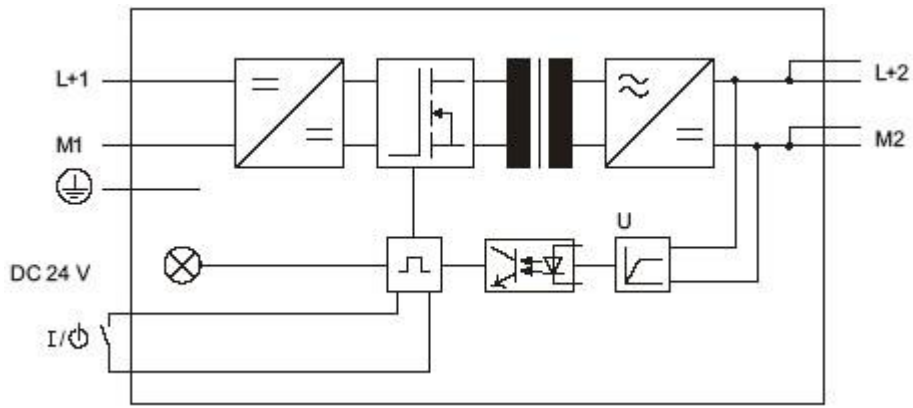
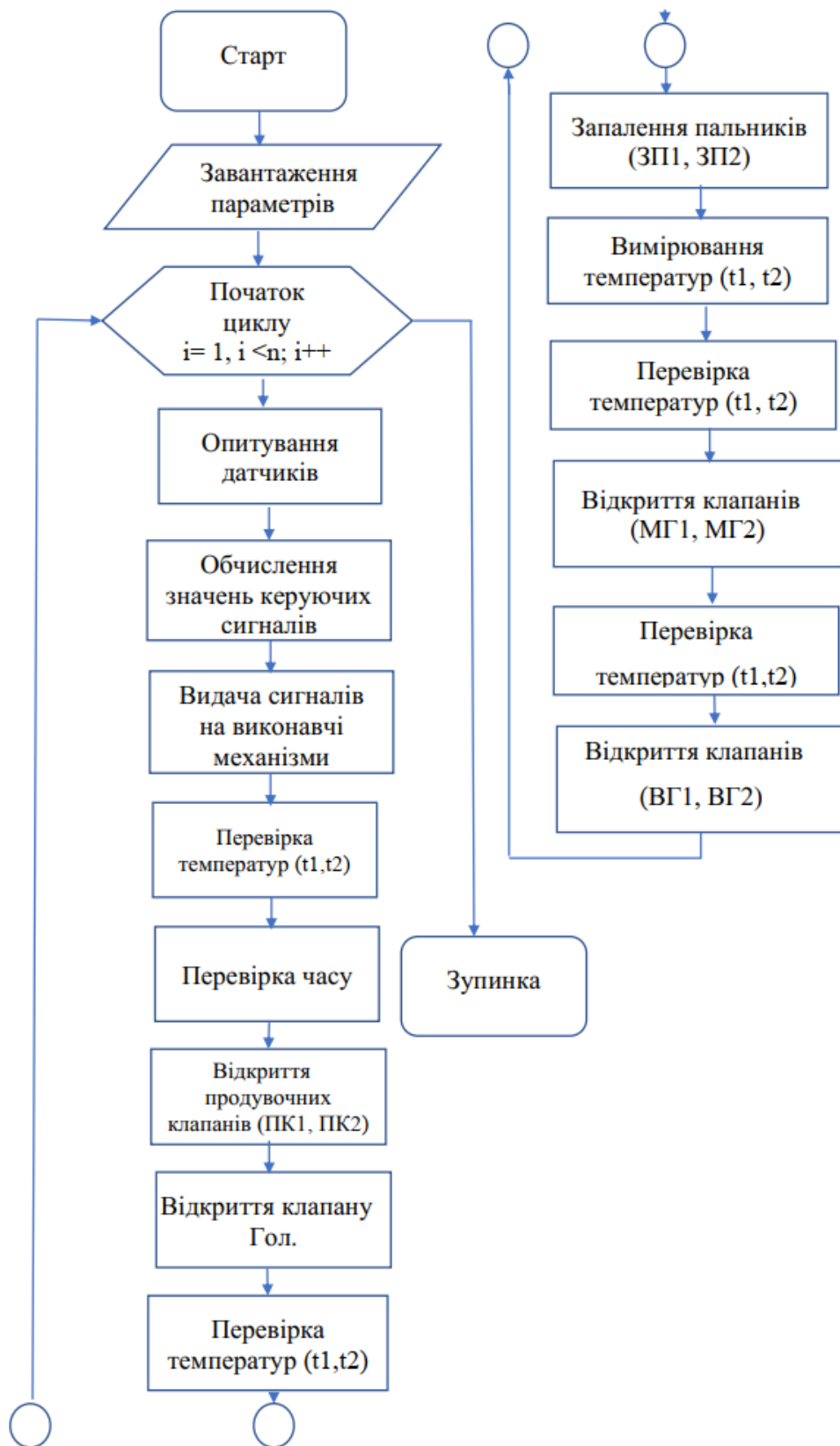


Рис. Д-1. Принципова схема блоку живлення PS 307; 2 А

Блок-схема алгоритму керування роботи печі



Додаток 3

Код програми

```
PROGRAM BreadLineControl
VAR
// Дискретні входи
StartButton : BOOL;
StopButton: BOOL;
// Аналогові входи
Temperature1: INT;
Temperature2: INT;
// Дискретні виходи
Valve1, Valve2, MainValve, IgnitionCoil1, IgnitionCoil2, SmallGasValve1, SmallGasValve2, BigGasValve1, BigGasValve2 :
BOOL;
// Аналогові виходи
HeatingTemperature1: INT: = 0;
HeatingTemperature2: INT: = 0;
// Інші змінні
CurrentCycle: INT: = 0;
WorkingTime: TIME: = T#0S;
// Технічні змінні
PreviousTime: TIME: = T#0S;
PreviousTemperature1, PreviousTemperature2 : INT: = 0;
END_VAR

// Основна логіка програми
BEGIN
// Опитування датчиків
Temperature1 := AnalogInput1;
Temperature2 := AnalogInput2;

// Перевірка кнопок старт/стоп
IF StartButton THEN
// Запуск процесу
WorkingTime := T#0S;
CurrentCycle := 0;
END_IF;

IF StopButton THEN
// Зупинка процесу
WorkingTime := T#0S;
CurrentCycle := 0;
END_IF;

// Обробка поточного стану
IF Temperature1 > SetTemperature1 THEN
Valve1 := FALSE;
IgnitionCoil1 := FALSE;
SmallGasValve1 := FALSE;
BigGasValve1 := FALSE;
END_IF;

IF Temperature2 > SetTemperature2 THEN
Valve2 := FALSE;
IgnitionCoil2 := FALSE;
SmallGasValve2 := FALSE;
BigGasValve2 := FALSE;
END_IF;

// Видача керуючих сигналів
IF CurrentCycle < MaxCycles THEN
// Відкриття клапанів, запалення та регулювання температур
```

```
Valve1 := TRUE;
Valve2 := TRUE;
MainValve := TRUE;
IgnitionCoil1 := TRUE;
IgnitionCoil2 := TRUE;
SmallGasValve1 := TRUE;
SmallGasValve2 := TRUE;
BigGasValve1 := TRUE;
BigGasValve2 := TRUE;
HeatingTemperature1 := SetTemperature1;
HeatingTemperature2 := SetTemperature2;
ELSE
// Завершення роботи
Valve1 := FALSE;
Valve2 := FALSE;
MainValve := FALSE;
IgnitionCoil1 := FALSE;
IgnitionCoil2 := FALSE;
SmallGasValve1 := FALSE;
SmallGasValve2 := FALSE;
BigGasValve1 := FALSE;
BigGasValve2 := FALSE;
END_IF;

// Відслідковування робочого часу
WorkingTime := WorkingTime + (CyclicInterruptTime - PreviousTime);
PreviousTime := CyclicInterruptTime;

// Запис даних в базу даних
IF CyclicInterruptTime > T#10M THEN
WriteToDatabase(CurrentCycle, Temperature1, Temperature2, WorkingTime);
PreviousTemperature1 := Temperature1;
PreviousTemperature2 := Temperature2;
END_IF;
END_PROGRAM
```

