

Форма № Н-9.02

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазурі**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Одинцов А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи

«Модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури»

Робота містить 46 сторінок, 22 ілюстрацій, 3 таблиць, 15 використаних джерел.

Ключові слова: дозування, векторне керування, тензодатчики, модульний оптимум, контролер.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження можливості модернізації автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є лінія виробництва шоколадної глазури.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в модернізації існуючої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури з використанням сучасної елементної бази.

В якості ідеї розроблена нова система керування основної вагової станції. Розроблена система керування електроприводом вагової станції, виконано дослідження динамічних режимів його роботи. Виконано синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції.

Підібраний сучасний контролер SIMATIC, що зменшить цикл опитування модулів, що при збільшенні швидкості подачі сировини призводило до помилок у дозуванні продуктів.

В цілому модернізація системи автоматизації дозволить не тільки покращити якість продукції, а й досягти підвищення продуктивності лінії. При цьому відбудеться звільнення працівників лінії від виконання низки рутинних та небезпечних операцій.

ABSTRACT

of the qualification work

"Modernization of the automated control system for the technological process of chocolate glaze production"

The work contains 47 pages, 22 illustrations, 3 tables, 15 sources used.

Keywords: dosing, vector control, strain gauges, modular optimum, controller.

The subject of the bachelor's qualification work is the study of the possibility of modernization of the automated control system for the technological process of chocolate glaze production.

The object of the bachelor's qualification work is the chocolate glaze production line.

The purpose of the bachelor's qualification work is to modernize the existing automated control system for the technological process of chocolate glaze production using a modern element base.

As an idea, a new control system for the main weighing station was developed. A control system for the electric drive of the weighing station was developed, and a study of its dynamic modes of operation was performed. A digital weight regulator was synthesized in the electromechanical system of the weighing station.

A modern SIMATIC controller was selected, which will reduce the module polling cycle, which, with an increase in the raw material feed rate, led to errors in product dosing.

In general, the modernization of the automation system will allow not only to improve product quality, but also to achieve an increase in line productivity. At the same time, line workers will be freed from performing a number of routine and dangerous operations.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки

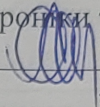
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Одинцову Антону Сергійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури»**. Керівник проекту **Леві Леонід Ісаакович, д.т.н., професор**, затверджена наказом вищого навчального закладу №306/1 ф.а від 03.03.2025 року.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) основна вагова станція – 200кг; вага жиру – 46,5 кг; вага какао – 7,6кг; вага сухого молока – 22,7кг; цукор – 73,2кг; потужність електропривода вагової станції – 1,1кВт; номінальна швидкість обертання – 1000об/хв.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури. Існуюча автоматизована система керування виробництва шоколадної глазури як об'єкт модернізації. Вибір основних елементів лінії виробництва шоколадної глазури. Вибір електропривода вагової станції та розробка схеми його керування. Дослідження роботи електропривода змішувача вагової станції. Синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції. Розробка функціональної схеми. Вибір засобів автоматизації. Розробка робочого місця оператора. Мнемосхема лінії виробництва шоколадної глазури.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 1. Актуальність, мета та задачі модернізації автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури.
 2. Аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури.
 3. Технологічна схема лінії виробництва шоколадної глазури кондитерської фабрики «АВК».
 4. Конфігурація апаратних засобів системи керування до модернізації.


5. Система керування електропривод вагової станції.
6. Дослідження роботи електропривода змішувача вагової станції.
7. Синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції.
8. Конфігурація апаратних засобів системи керування після модернізації.
9. Висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

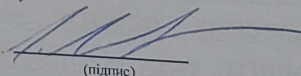
Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата початку	Категорія	Відсоток виконання	
1	Аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури. Існуюча автоматизована система керування виробництва шоколадної глазури як об'єкт модернізації	13.04.25		10%	Пл. 1, 2
2	Вибір основних елементів лінії виробництва шоколадної глазури	22.04.25	I	20%	Пл. 3
3	Вибір електропривода вагової станції та розробка схеми його керування. Дослідження роботи електропривода змішувача вагової станції	09.05.25		50%	Пл. 4,5
4	Синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції. Розробка функціональної схеми. Вибір засобів автоматизації	22.05.25	II	60%	Пл. 6, 7
5	Розробка робочого місця оператора. Мнемосхема лінії виробництва шоколадної глазури	28.05.25		70%	Пл. 8, 9
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.06.25	III	100%	

Студент


(підпис)

Одинцов А.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Леві Л.І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ШОКОЛАДНОЇ ГЛАЗУРІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ	
1.1 Аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури	9
1.2 Існуюча автоматизована система керування виробництва шоколадної глазури як об'єкт модернізації	11
2. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ШОКОЛАДНОЇ ГЛАЗУРІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОГО З НИХ	15
2.1 Вибір основних елементів лінії виробництва шоколадної глазури	15
2.2 Вибір електропривода вагової станції та розробка схеми його керування	17
2.3 Дослідження роботи електропривода змішувача вагової станції	21
2.4 Синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції	28
3. МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ШОКОЛАДНОЇ ГЛАЗУРІ	
3.1 Розробка функціональної схеми	34
3.2 Вибір засобів автоматизації	36
3.3 Розробка робочого місця оператора	41
3.4 Мнемосхема лінії виробництва шоколадної глазури	42
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТОК А	48
ДОДАТОК Б	54

ВСТУП

Актуальність роботи. Останнім часом автоматизація технологічних процесів перетворилася на один із найбільш перспективних у галузі наукових досліджень та інженерної думки. Автоматизація дозволяє використовувати передові технології для оптимізації процесів, значного полегшення праці людини, мінімізації ризику та підвищення загальної ефективності. З переходом до ринкової економіки українські виробники все більше уваги приділяють не тільки обсягам виробництва та асортименту випуску виробів, а й підвищенню якості готової продукції. Саме якість починає грати головну роль у просуванні продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Тому для виробництва шоколадної глазури питання модернізації автоматизованої системи управління є актуальною задачею.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в модернізації існуючої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури з використанням сучасної елементної бази.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес виробництва шоколадної глазури на підприємстві «АВК».

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є модернізація автоматизованої системи виробництва шоколадної глазури, а саме вузла основної вагової станції (процес дозування та перемішування інгредієнтів).

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури;
- виявити недоліки існуючої автоматизованої системи керування;
- обґрунтувати напрямки можливої модернізації;
- провести вибір вагової станції;
- розрахувати електропривод вагової станції;
- розробити функціональну та структурну схеми автоматизованого електропривода вагової станції;

- виконати синтез цифрового регулятора ваги в ваговій станції;
- розробити функціональну схему модернізованої САК шоколадної глазури;
- обрати засоби автоматизації технологічного процесу виробництва шоколадної глазури;
- провести вибір сучасних апаратно-програмних засобів.

У роботі використана комплексна методика дослідження, що поєднує методи математичного моделювання та інструментальні засоби. При побудові моделей використовувалися методи теорії електричних машин, теорії автоматичного керування, методи експериментально-теоретичного моделювання та комп'ютерної обробки інформації.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ШОКОЛАДНОЇ ГЛАЗУРИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

1.1 Аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури

Спочатку розберемо детально поняття глазури. Отже, глазур - це кондитерський напівфабрикат, який використовується для покриття поверхні кондитерських виробів, таких як цукерки, пряники, торти та тістечка.

Для виготовлення глазури використовують тонко подрібнені інгредієнти, серед яких цукор та/або його замінники, масло какао та/або жири, що є еквівалентами або замінниками масла какао, а також терте какао та/або какао-порошок, а також інші харчові компоненти [1].

Розглянемо та опишемо різні види глазури.

Безпосередньо шоколадна глазур – це глазур, що містить не менше 25% загального сухого залишку какао-продуктів, зокрема, не менше 32% масла какао, а також цукру не більше 58,5% та вмісту вологи не більше 1,3%.

Кондитерська глазур – це суміш цукру, какао-продуктів та жиру, який може бути як лауриновим, так і нелауриновим замінником масла какао.

Молочна шоколадна глазур – це глазур, що містить не менше 15 % загального сухого залишку какао, щонайменше 5 % олії какао, не менше 10 % сухих молочних речовин або продуктів їх переробки, а також щонайменше 2,5 % молочного жиру.

Біла шоколадна глазур – це глазур, що містить не менше 10 % олії какао та щонайменше 14 % сухих молочних речовин або продуктів їх переробки, зокрема, не менше 2,5 % молочного жиру [2].

Поетапно розберемо технологічний процес виробництва глазури, який складається з чотирьох основних етапів (рис. 1.1). Перший етап охоплює операції дозування різних інгредієнтів (до 8 на кожен партію) та їх змішування. Дозування здійснюється на ваговій станції, яка може складатися

з двох баків. Верхній бак, розташований на тензодатчиках, призначений для зважування однієї дози, тоді як нижній бак виконує роль буфера, що сприяє прискоренню процесу дозування. Додатковий бак, об'ємом 3000 кг, слугує накопичувальним резервуаром для збору всієї партії інгредієнтів перед подальшою обробкою [1].

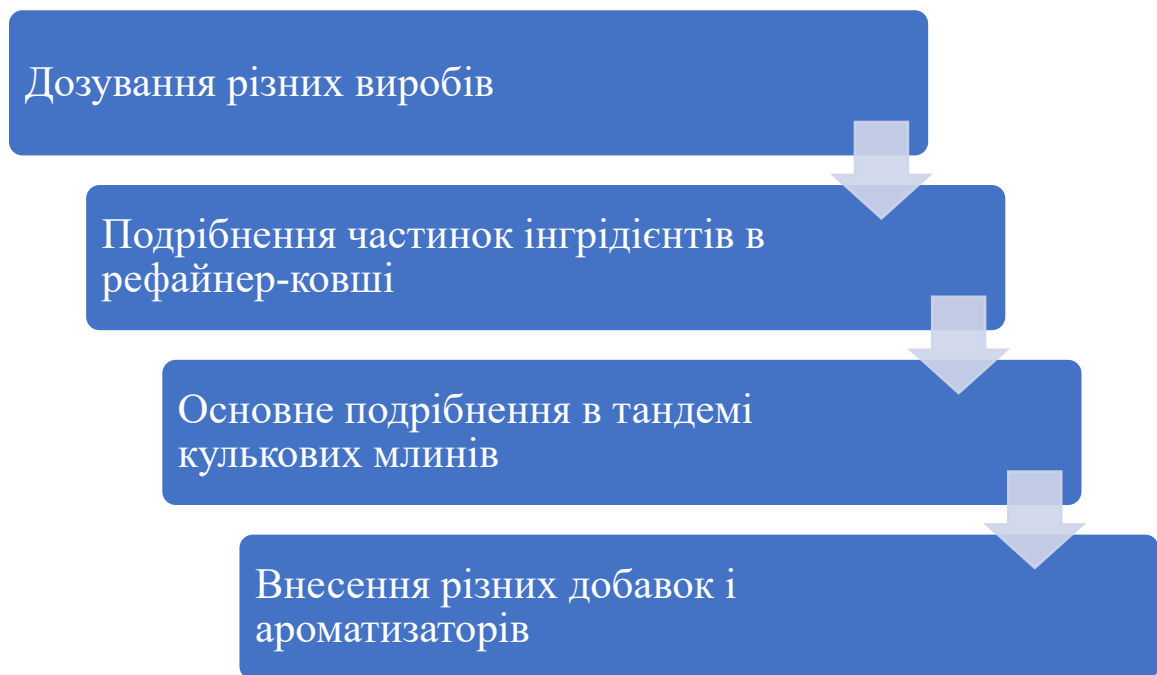


Рисунок 1.1 – Етапи технологічного процесу виробництва шоколадної глазури

На другому етапі обробки здійснюється попереднє подрібнення частинок інгредієнтів крупи до 75 мкм за допомогою рефайнер-конше. Ця специфічна машина виконує одночасно операції подрібнення та конширування, що полягає у тривалому перемішуванні підігрітого шоколаду для видалення небажаної вологи та летючих речовин. Особливістю цього етапу є контроль температури обладнання разом із підтримкою заданого струму головного двигуна. Автоматизація процесів заливки та зливу продукту з рефайнер-конша звільняє оператора від рутинних завдань [2].

На третьому етапі обробки відбувається основне подрібнення в тандемі кулькових млинів. Цей процес є вирішальним для якості кінцевого продукту. Ключовим фактором, що впливає на результати помелу, є швидкість подачі

вихідних матеріалів у млин. Регулювання цієї швидкості здійснюється за допомогою спеціальних програмованих PID-контролерів, які орієнтуються на показання витратоміра (для першого млина) та датчика рівня в проміжному баку (для другого млина). Оскільки процес помелу супроводжується значним небажаним нагріванням, на цьому етапі жорстко контролюється температура продукту під час обробки.

Останній четвертий етап обробки передбачає додавання різних добавок та ароматизаторів, а також можливе й конширування. Для точного дозування добавок використовується ваговий бачок, підвішений на трьох тензодатчиках компанії Scaime [3].

Відмітимо, що як і будь-який технологічний процес, кожен етап виробництва шоколадної глазури має свої певні особливості.

Однак у своїй роботі ми зосереджуємося саме на першому етапі, оскільки він визначає подальший технологічний процес, правильність рецептури шоколадної глазури та її смакові якості.

1.2 Існуюча автоматизована система керування виробництва шоколадної глазури як об'єкт модернізації

Об'єктом модернізації у нашій дослідницькій роботі була обрана автоматизована лінія для виробництва шоколадної глазури, виготовлена в Голландії, але фактично змонтована на кондитерській фабриці «АВК». Відтоді вона щомісяця виробляє 200 тон шоколадних мас на вітчизняний та зарубіжний ринки.

Компанія АВК є однією з провідних вітчизняних кондитерських компаній. Її історія становлення – це понад 30 років наполегливої праці команди, спрямованої на досягнення найвищих стандартів якості продукції. АВК входить до ТОП-25 інноваційних компаній України завдяки впровадженню сучасних продуктів, які сприяють покращенню культури споживання. Виробничі потужності компанії розташовані в місті Дніпро.

До складу лінії компанії «АВК» входять складові, що детально візуалізовані на рисунку 1.2, а саме:

- 14 технологічних установок із відповідними приводами, клапанами та трубопроводами;
- комплекс контрольно-вимірювальної апаратури (аналогові датчики рівня, ваги, струму, температури, витрати, цифрові датчики протоки, положення тощо);
- керуючу частину, в яку входять виконавчі пристрої, перетворювачі, пристрої плавного пуску, модулі розподіленого збору інформації, контролери та система візуалізації.

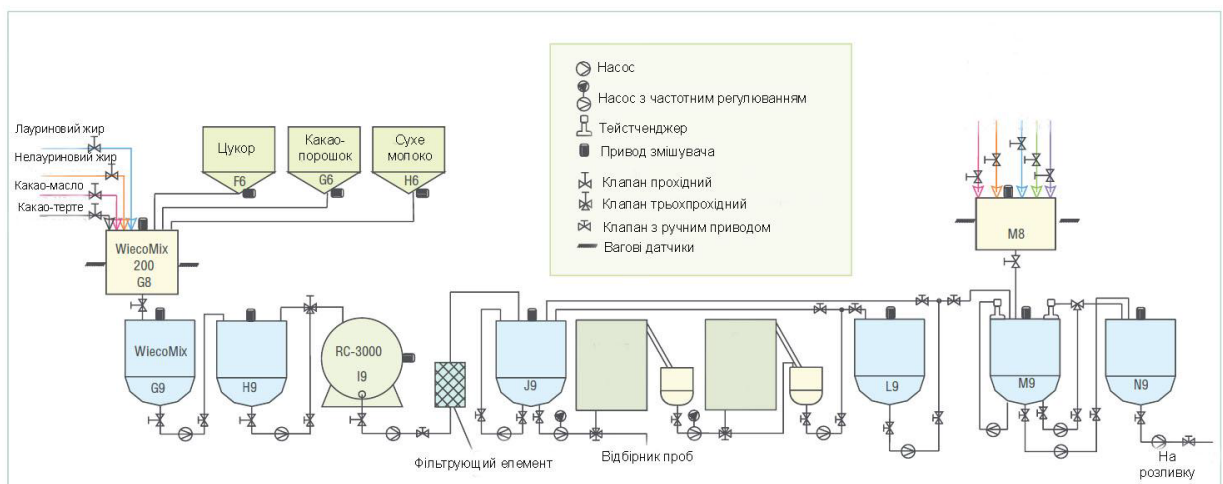


Рисунок 1.2 – Технологічна схема лінії №2 кондитерської фабрики «АВК»

F6 – бункер цукру-піску; G6 – бункер какао-порошку; H6 – бункер сухого молока; G8 – основна вагова станція (до 200 кг); G9 – буферний бак (до 200 кг); Н9 – накопичувальний бак (до 3000 кг); I9 – рефайнер-конш; J9 – накопичувальний бак (до 3000 кг); K9 – кульковий млин WieneRoto W-155; K10 – кульковий млин Caotech Cao-2000; L9 – накопичувальний бак (до 3000 кг); M8 – вагова станція добавок (до 200 кг); M9 – коншируючий бак (до 5000 кг); N9 – бак зберігання (до 8000 кг)

Система керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури розроблена на базі контролера S5-115U компанії Siemens (див. рис. 1.3). Для візуалізації процесів використано програмне забезпечення Citect v5.0.

Зв'язок між контролером і комп'ютером здійснюється за протоколом AS511 (9600 біт/с) через перетворювач RS-485/RS-232 [3].

Основними недоліками початкової версії системи були такі:

- висока помилка дозування інгредієнтів;
- низька швидкість передачі по каналах зв'язку, який викликав більші затримки між подачею команди оператором та її відпрацюванням (до десятків секунд);
- моральне старіння апаратури, ускладнює процес її обслуговування та усунення аварійних ситуацій;
- порівняно довгий цикл опитування модулів контролером, що при збільшенні швидкості подачі сировини призводило до помилок у дозуванні продуктів;
- наявність великої кількості ручних налаштувань.



Рисунок 1.3 – Контролер S5-115U фірми Siemens лінії виробництва шоколадної глазури

Саме тому, наша робота направлена на вивчення модернізації системи керування виробничою лінією шоколадної глазури, а саме:

- 1) Заміна основних елементів лінії виробництва шоколадної глазури, таких як кульковий млин та вагова станція [4].
- 2) Вибір електропривода для вагової станції та аналіз її роботи.
- 3) Дослідження функціонування тензодатчиків вагової станції.

4) Перехід на сучасне обладнання, включаючи датчики температури, рівня та витратоміри.

5) Розробка нової системи керування процесом виробництва шоколадної глазури.

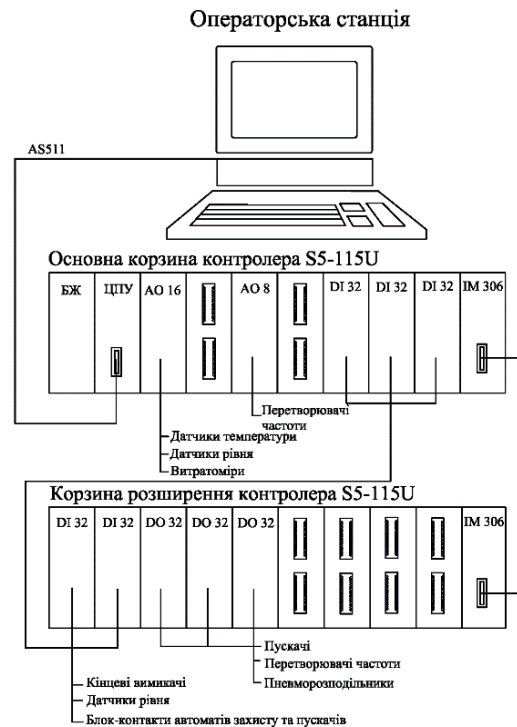


Рисунок 1.4 – Конфігурація апаратних засобів системи керування лінією виробництва шоколадної глазури до модернізації

AI 16/8 – модуль аналогового введення 16/8 канальний;

AO 8/4 – модуль аналогового виводу 8/4 канальний; DI 32/16 – модуль дискретного введення 32/16 канальний; DO 32/16 модуль дискретного виведення 32/16 канальний; БП – блок живлення; ЦПУ – модуль центрального процесора; ІМ 306 – інтерфейсний модуль

Висновки за розділом

Провели аналіз технологічного процесу виробництва глазури. Для подальшого аналізу був обраний етап дозування, що суттєво впливає на правильність рецептури шоколадної глазури та її смакові якості. Виявлені основні недоліки існуючої системи керування. Окреслені основні напрямлення для модернізації.

2. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ШОКОЛАДНОЇ ГЛАЗУРІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОГО З НИХ

2.1 Вибір основних елементів лінії виробництва шоколадної глазури

Відзначимо, що основний процес приготування шоколадних мас виконується на рефайнер-коншах, що візуалізовані на рисунках 2.1 та 2.2.



Рисунок 2.1 – Рефайнер-конш лінії виробництва шоколадної глазури



Рисунок 2.2 – Кульковий млин лінії виробництва шоколадної глазури

Розглянемо поняття та принцип роботи кулькового млина. Кульковий млин - це циліндр, заповнений кульками, через який продукт подається знизу вгору. Насос, що забезпечує подачу продукту, оснащений частотним

перетворювачем, що сприяє подрібненню частинок молока та цукру. Головною метою цього пристрою є отримання продукту з визначеною дисперсністю на виході.

У попередній системі керування, яка зазвичай використовувалась при виробництві глазури, не вдавалося досягти стабільного помелу. Після тривалих експериментів були відкинуті пропозиції щодо стабілізації таких параметрів, як тиск у подаючій трубі, струм двигуна млина та середня витрата. Єдиною прийнятною виявилася ідея стабілізації миттєвої витрати [7].

Отже, приходимо до висновку, що продуктивність змішування з кожним днем стає все більш важливою. Для досягнення оптимальних результатів у таких процесах, як робота кульового млина, а також для забезпечення високої якості кінцевого продукту, необхідно досягти однорідного змішування основних матеріалів. У змішувачах рідких сумішей критично важливо, щоб усі тверді частинки були рівномірно оточені жировими частинками, що дозволяє зменшити в'язкість до мінімуму. Лише міцно спроектовані системи, засновані на принципі змішування з протилежним обертанням, можуть задовольнити ці вимоги.



Рисунок 2.3 – Вагова станція Wiesomix лінії виробництва шоколадної глазури[8]

Зазначимо, що деякі інгредієнти, наприклад, лікер, порошок, цукор, лецитин тощо, можуть автоматично подаватися у верхню ємність для

зважування та змішування. Ця ємність отримує всі необхідні компоненти, які точно зважуються за допомогою тензодатчиків. Змішування розпочинається відразу після додавання першого рідкого інгредієнта. Зовнішня мішалка завжди обладнана пружинними скребками на стінках і дні, що забезпечує самоочищення внутрішнього резервуара та покращує процес змішування. Навіть повторне змішування сегрегованого цукру можливе після короткочасної зупинки.

Після завершення подачі всіх інгредієнтів та встановленого часу змішування, готовий продукт буде самопливом надходити в нижню ємність. Ця ємність відповідає за інтенсивне змішування, тоді як верхній резервуар готується до зважування, дозування та змішування наступної партії. З нижнього резервуара забезпечується безперервний потік продукту для подальшої обробки.

2.2 Вибір електропривода вагової станції та розробка схеми його керування

Відомо, що ключовим елементом системи електропривода є електродвигун, який може бути представлений електричними машинами постійного або змінного струму. Відомо, що використання електродвигунів змінного струму підвищує надійність електропривода та знижує капітальні й експлуатаційні витрати. Ці переваги, за інших рівних умов, обумовлюють популярність електроприводів змінного струму.

При виборі типу електродвигуна основним критерієм є економічність. Це означає, що електродвигун повинен бути максимально простим у конструкції, легким в експлуатації, надійним у роботі, доступним за ціною, а також мати відносно невелику вагу та компактні розміри. Відповідно до цього принципу, для електроприводу вагової станції доцільно обрати асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

Серед переваг асинхронних двигунів варто виокремити наявність:

1. Широкий діапазон регулювання частоти обертання (від 0 до номінальної частоти і вище до максимальної);
2. Три порівняно прості та надійні методи регулювання частоти обертання: зміна напруги на обмотці якоря, регулювання струму збудження та додавання опору в колі обмотки якоря;
3. Високі значення пускових моментів;
4. Можливість забезпечення плавного пуску та електричного гальмування;
5. Вища перевантажувальна здатність у порівнянні з машинами змінного струму.

Таблиця 2.1 – Параметри електродвигуна типу 4A80S4УЗ [9]

Номінальна потужність	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	1,1
Фазна напруга	$U_{\text{ФН}}$, В	220
Синхронна частота обертання	$n_{\text{Н}}$, об/хв	1000
Ковзання	$S_{\text{НОМ}}$, %	2,3
Критичне ковзання	$S_{\text{К}}$, %	16,0
ККД	η , %	74,0
$\cos \varphi$		0,74
$m_{\text{П}}=M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$		2,0
$m_{\text{М}}=M_{\text{min}}/M_{\text{НОМ}}$		1,6
$m_{\text{К}}=M_{\text{К}}/M_{\text{НОМ}}$		2,2
$i_{\text{П}}=I_{\text{П}}/I_{\text{НОМ}}$		4,0
Індуктивний опір контуру намагнічування	X_{μ} , в.о.	1,6
Активний опір статора	R_1' , в.о.	0,12
Індуктивний опір статора	X_1' , в.о.	0,11
Активний опір ротора	R_2'' , в.о.	0,11
Індуктивний опір ротора	X_2'' , в.о.	0,19
Момент інерції двигуна	$J_{\text{Д}}$, кг · м ²	0,0031

Зауважимо, що серія 4А охоплює основні двигуни, що мають кілька модифікацій. Перші з них відповідають загальним вимогам і призначені для використання в стандартних умовах. Це трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, розраховані на частоту живлення 50 Гц.

По факту серія 4А представляє собою масову лінію АД, призначену для використання в різних промислових секторах. Вона охоплює потужності в діапазоні від 0,06 до 400 кВт і доступна в 17 варіантах висоти вісі обертання – від 50 до 355 мм.

Використання принципу векторного керування дає змогу розробляти високодинамічні електромеханічні системи, які можуть бути застосовані в різних сферах і забезпечують практично будь-який необхідний діапазон регулювання швидкості. Зазвичай векторне керування гарантує дотримання закону частотного керування.

У силових схемах електроприводів з векторним керуванням зазвичай застосовують перетворювач частоти, що складається з випрямляча та інвертора напруги. Для малих потужностей можливе використання безпосередніх перетворювачів частоти. Вихідна напруга формується за принципом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Функціональна схема системи векторного керування короткозамкнутим асинхронним двигуном (АД), коли всі регульовані координати можуть бути виміряні, візуально зображена на рис. 2.4. Система складається з двох каналів керування: модулем вектору потокозчеплення ротора та кутовою швидкістю ротора. Кожен канал містить два контури регулювання.

Завдання сигналів здійснюється в системі координат $(d - q)$, орієнтованій по вектору потокозчеплення ротора $\tilde{\Psi}_r$, тобто $\psi_{rd} = |\tilde{\Psi}_r| = \Psi_r$, $\psi_{rq} \equiv 0$.

На рис. 2.4 введено наступні позначення: НВ, ШІМ-ІН – некерований випрямляч і інвертор напруги з ШІМ- комутацією перетворювача частоти; АД – асинхронний двигун; ДС, ДПР, ТГ – датчики струму, потокозчеплення ротора і швидкості відповідно; ПК – перетворювачі координат; ВА – векторний аналізатор; БК – блок компенсації; РШ, РП, РСd, РСq – регулятори швидкості, потокозчеплення ротора, d – і q - складових струму статора відповідно; ЗІ – задатчик інтенсивності.

2.3 Дослідження роботи електропривода змішувача вагової станції

Розглянемо етап синтезу регулятора струму.

Запишемо передавальну функцію для розімкнутого контуру стабілізації струму:

$$W_{\text{роз.к.стаб.1}}(p) = W_{\text{PC}}(p) \cdot \frac{k_{\text{II}}}{T_{\text{II}} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_{\text{IE}}}{T_{\text{IE}} \cdot p + 1}; \quad (2.1)$$

де: R_{IE} – сумарний активний опір фази двигуна, Ом.

$$W_{\text{роз.к.стаб.1}}(p) = W_{\text{PC}}(p) \cdot \frac{k_{\text{II}}}{T_{\text{II}} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_{\text{IE}}}{T_{\text{IE}} \cdot p + 1}; \quad (2.2)$$

Отримаємо бажану передавальну функцію розімкнутого контуру стабілізації струму:

$$W_{\text{б.роз.к.стаб.1}}(p) = \frac{1/k_{3.с.}}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)}; \quad (2.3)$$

Приймаємо $a_{\text{T}} = 2$ відповідно до налаштуванням регулятора на МО,
 $T_{\mu} = T_{\text{II}}$.

Виразуємо передавальну функцію регулятора:

$$W_{\text{PC}}(p) = \frac{1/k_{3.с.}}{2 \cdot T_{\text{II}} \cdot p \cdot (T_{\text{II}} \cdot p + 1)} \cdot \frac{T_{\text{II}} \cdot p + 1}{k_{\text{II}}} \cdot \frac{T_{\text{IE}} \cdot p + 1}{1/R_{\text{IE}}} = \frac{T_{\text{IE}} \cdot p + 1}{k_{3.т.} \cdot 2 \cdot T_{\text{II}} \cdot p \cdot k_{\text{II}} \cdot 1/R_{\text{IE}}} \quad (2.4)$$

Позначимо:

$$W_{\text{PII}}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{\text{III}} \cdot p}; \quad (2.5)$$

Тоді вираз буде виглядати наступним чином:

$$W_{\text{PC}}(p) = \frac{T_{\text{IE}} \cdot p + 1}{T_{\text{III}} \cdot p} \cdot \quad (2.6)$$

Вивчимо синтез регулятора потоку.

Розрахуємо передавальну функцію для розімкнутого контуру стабілізації потоку:

$$W_{\text{роз.к.стаб.П}}(p) = W_{\text{РП}}(p) \cdot W_{\text{зам.к.стаб.І}}(p) \cdot \frac{k_r \cdot L_r}{T_2 \cdot p + 1}; \quad (2.7)$$

$$W_{\text{роз.к.стаб.П}}(p) = W_{\text{РП}}(p) \cdot W_{\text{зам.к.стаб.І}}(p) \cdot \frac{k_r \cdot L_r}{T_2 \cdot p + 1}; \quad (2.8)$$

Передавальна функція замкнутого контуру регулювання потоку буде мати вигляд [6]:

$$W_{\text{зам.к.стаб.І}}(p) = \frac{W_{\text{роз.к.стаб.І}}(p)}{1 + W_{\text{роз.к.стаб.І}}(p) \cdot k_{3.С.}} = \frac{1/k_{3.С.}}{2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p + 1}; \quad (2.9)$$

Бажана передавальна функція розімкнутого контуру стабілізації потоку виглядає як наступне співвідношення:

$$W_{\text{б.роз.к.стаб.П}}(p) = \frac{1/k_{3.П.}}{a_T \cdot T_{\text{мс}} \cdot p \cdot (T_{\text{мс}} \cdot p + 1)}; \quad (2.10)$$

Приймаємо $a_T = 2$, $a_I = 2$ відповідно до налаштування регулятора на МО, а некомпенсовану постійну часу приймаємо $T_{\text{мс}} = a_{\text{П}} \cdot T_{\text{П}}$.

Обчислимо передавальну функцію регулятора:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{1/k_{3.П.}}{2 \cdot 2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p + 1}{1/k_{3.С.}} \cdot \frac{T_2 \cdot p + 1}{k_r \cdot L_r} = \frac{k_{3.С.} \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_{\text{П}} \cdot p \cdot k_{3.П.} \cdot L_m} \quad (2.11)$$

Позначимо:

$$T_{\text{ИП}} = \frac{k_{3.П.} \cdot 4 \cdot T_{\text{П}} \cdot L_{12}}{k_{3.С.}}; \quad (2.12)$$

Тоді вираз набуде наступного вигляду [5]:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{\text{ИП}} \cdot p} \quad (2.13)$$

Вивчимо синтез регулятора швидкості.

Передавальна функцію розімкнутого контуру стабілізації швидкості має вигляд:

$$W_{\text{роз.к.стаб.С}}(p) = \frac{1}{|\Psi_2| \cdot k_{3.П.}} \cdot W_{\text{РС}}(p) \cdot W_{\text{зом.к.стаб.І}}(p) \cdot |\Psi_2| \cdot \frac{3}{2} \cdot p_{\text{П}} \cdot k_r \cdot \frac{1}{J \cdot p}; \quad (2.14)$$

Передавальна функція замкнутого контуру регулювання потоку має вигляд співвідношення:

$$W_{\text{зам.к.стаб.І}}(p) = \frac{W_{\text{раз.к.стаб.І}}(p)}{1 + W_{\text{раз.к.стаб.І}}(p) \cdot k_{3.С.}} = \frac{1/k_{3.С.}}{2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p + 1}; \quad (2.15)$$

Бажана передавальна функція розімкнутого контуру стабілізації потоку визначається як:

$$W_{\text{б.роз.к.стаб.ІІІ}}(p) = \frac{1/k_{3.ІІІ.}}{a_T \cdot T_{\text{мс}} \cdot p \cdot (T_{\text{мс}} \cdot p + 1)}; \quad (2.16)$$

Приймаємо $a_T = 2$, $a_C = 2$ відповідно до налаштуванням регулятора на МО, а некомпенсовану постійну часу $T_{\text{мс}} = a_C \cdot T_{\text{П}}$.

Розраховуємо передавальну функцію регулятора [7]:

$$\begin{aligned} W_{\text{РС}}(p) &= \frac{1/k_{3.ІІІ.}}{2 \cdot 2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{\text{П}} \cdot p + 1}{1/k_{3.С.}} \cdot \frac{2 \cdot k_{3.ІІІ.} \cdot J \cdot p}{3 \cdot p_{\text{П}} \cdot k_r} = \\ &= \frac{k_{3.П.} \cdot k_{3.С.} \cdot J}{3 \cdot p_{\text{П}} \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{\text{П}} \cdot k_{3.ІІІ.}} = k_{\text{РС}} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Наступним кроком є обчислення регуляторів.

Розраховуємо регулятор струму:

$$T_I = \frac{k_{3.С.} \cdot 2 \cdot T_{\text{П}} \cdot k_{\text{П}}}{R_{\text{ІЕ}}}; \quad (2.18)$$

$$T_I = \frac{2,26 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 31,13}{16,32} = 0,009\text{с.}$$

$$R_{\text{ІЕ}} = r_1 + k_r^2 \cdot r_2'; \quad (2.19)$$

$$R_{\text{ІЕ}} = 7,097 + 0,901^2 \cdot 11,366 = 16,32\text{Ом}$$

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{T_{\text{ІЕ}} \cdot p + 1}{T_I \cdot p}; \quad (2.20)$$

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{0,004 \cdot p + 1}{0,009 \cdot p};$$

$$T_{1E} = \sigma \cdot \frac{L_s}{R_{1E}}; \quad (2.21)$$

$$T_{1E} = 0,168 \cdot \frac{0,324}{16,32} = 0,004c.$$

Регулятор потоку:

$$T_{III} = \frac{k_{3.П.} \cdot 4 \cdot T_{II} \cdot L_m}{k_{3.С.}}; \quad (2.22)$$

$$T_{III} = \frac{10,47 \cdot 4 \cdot 0,001 \cdot 0,299}{2,26} = 0,006c$$

$$W_{PII}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{III} \cdot p}; \quad (2.23)$$

$$W_{PII}(p) = \frac{0,03 \cdot p + 1}{0,006 \cdot p};$$

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r}; \quad (2.24)$$

$$T_2 = \frac{0,332}{11,366} = 0,03c.$$

Тоді, розрахунок регулятора швидкості буде мати вигляд:

$$k_{PIII} = \frac{k_{3.П.} \cdot k_{3.С.} \cdot \sum J}{3 \cdot p_{II} \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot k_{3.Ш.}}; \quad (2.25)$$

$$k_{PIII} = \frac{10,47 \cdot 2,26 \cdot 0,5}{3 \cdot 3 \cdot 0,901 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 0,104} = 6323$$

У каналі керування потоком під час синтезу регулятора струму ми встановили, що довжина проекції базисного струму на вісь X дорівнює проекції на вісь Y. Однак розрахункова довжина проекції на вісь X відрізняється від тієї, що була прийнята під час синтезу регулятора струму. Щоб обмежити довжину вектору, необхідно ввести ланку обмеження сигналу. Далі визначимо потрібну напругу для обмеження сигналу за допомогою пропорції:

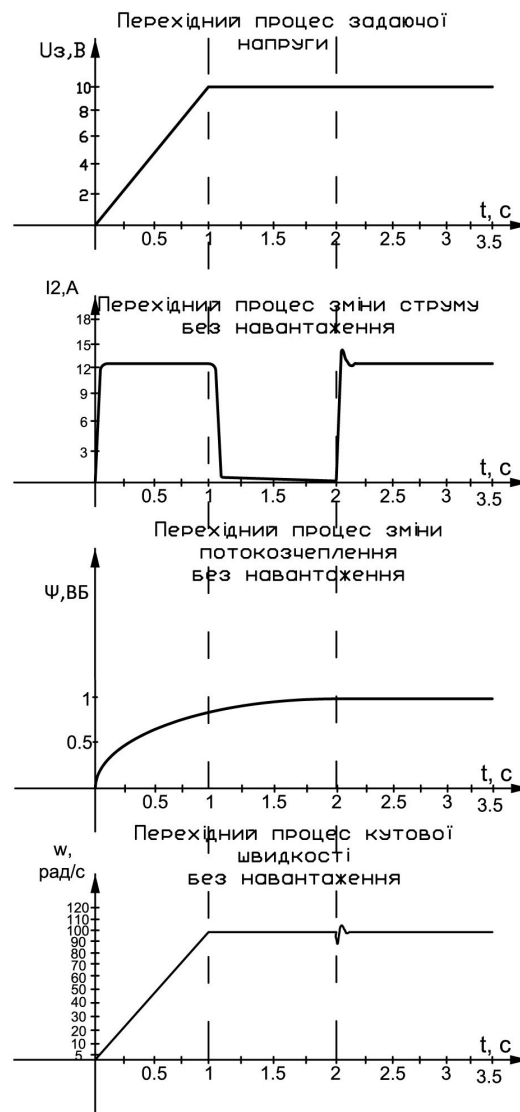


Рисунок 2.7 – Графіки перехідних процесів електропривода вагової станції

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика системи визначається рівнянням [12]:

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|. \quad (2.28)$$

В свою чергу, логарифмічна фазочастотна характеристика системи має вигляд [12]:

$$\varphi(\omega) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(W(j\omega)). \quad (2.29)$$

Для побудови логарифмічних характеристик використаний математичний пакет MathCAD 2024.

Передавальна функція розімкненого контуру струму має наступний

ВИГЛЯД:

$$W_{PC}(p) = \frac{1/k_{3.C.}}{2 \cdot T_{II} \cdot p \cdot (T_{II} \cdot p + 1)} \cdot \frac{T_{II} \cdot p + 1}{k_{II}} \cdot \frac{T_{IE} \cdot p + 1}{1/R_{IE}} = \frac{T_{IE} \cdot p + 1}{k_{3.T.} \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot p \cdot k_{II} \cdot 1/R_{IE}} \quad (2.30)$$

Передавальна функція розімкненого контуру поточкозчеплення має

ВИГЛЯД:

$$W_{PII}(p) = \frac{1/k_{3.П.}}{2 \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{II} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{II} \cdot p + 1}{1/k_{3.C.}} \cdot \frac{T_2 \cdot p + 1}{k_r \cdot L_r} = \frac{k_{3.C.} \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_{II} \cdot p \cdot k_{3.П.} \cdot L_m} \quad (2.31)$$

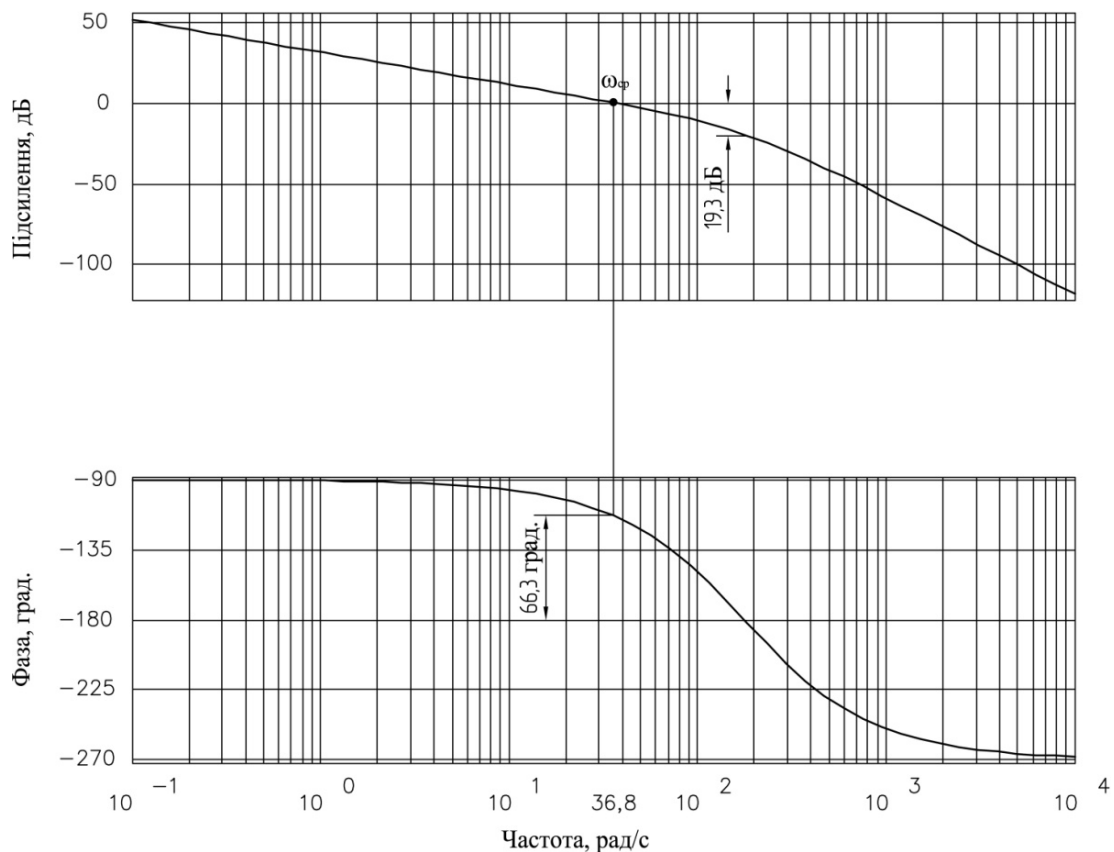
Як видно з побудованих характеристик для кожного контуру, запас за амплітудою та фазою дорівнює [12]:

– розімкнений контур струму:

$$\Delta L(\omega) = 18,5 \text{ дБ}; \Delta \psi(\omega) = 65,0^\circ;$$

– розімкнений контур поточкозчеплення:

$$\Delta L(\omega) = 19,5 \text{ дБ}; \Delta \psi(\omega) = 67,0^\circ;$$



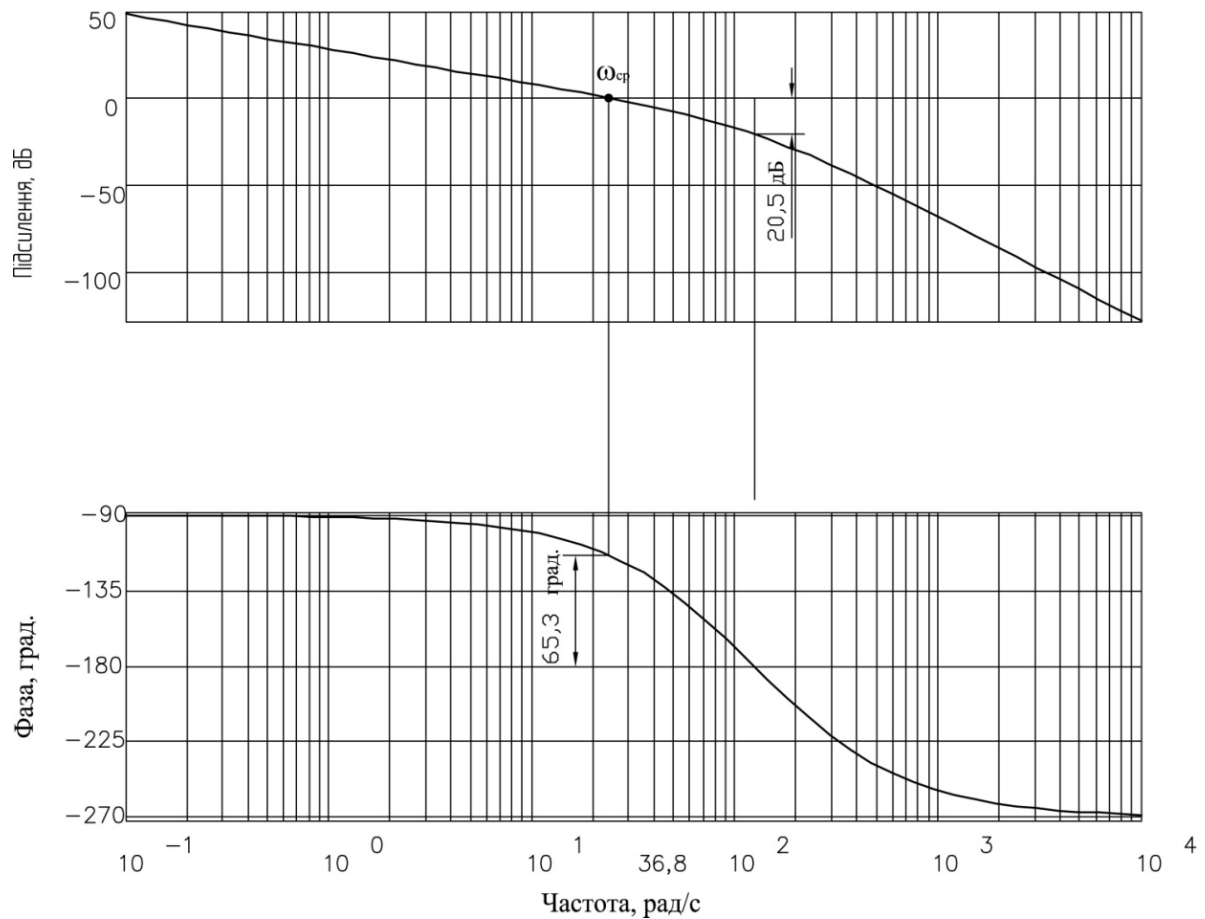


Рисунок 2.8 – АЧХ та ФЧХ розікнутого контуру струму та потокозчеплення САК електроприводом вагової станції

2.4 Синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції

Сучасні цифрові системи керування базуються на мікроконтролерах, де сигнали представлені у вигляді дискретних значень за рівнем і часом збору даних. Однією з найважливіших переваг цифрових систем керування є можливість їх програмного переналаштування шляхом редагування програми мікроконтролера [7].

Для обробки дискретних даних слід застосовувати цифрові регулятори, оскільки вони забезпечують вищу якість керування в порівнянні з аналоговими регуляторами.

Синтез регулятора слід почати з визначення структури об'єкта керування. Розглянемо цю задачу в загальному контексті.

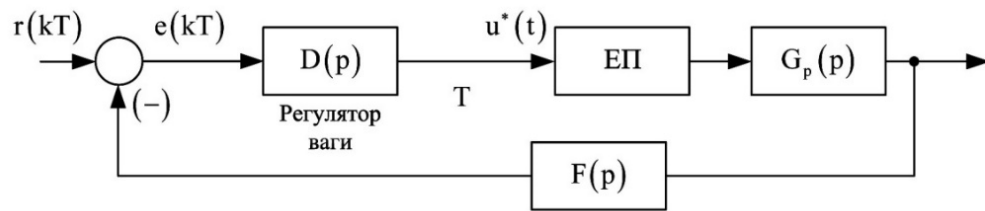


Рисунок 2.9 – Структурна схема слідкуючого електроприводу вагової станції з регулятором ваги

$D(\delta)$ – передавальна функція регулятора ваги; ЕП – передавальна функція електроприводу; $G_p(\delta)$ – передавальна функція об'єкта керування; $F(\delta)$ – передавальна функція виміральної системи

Для розробки алгоритму керування потрібно перетворити всі безперервні передавальні функції в дискретну область, використовуючи z-перетворення.

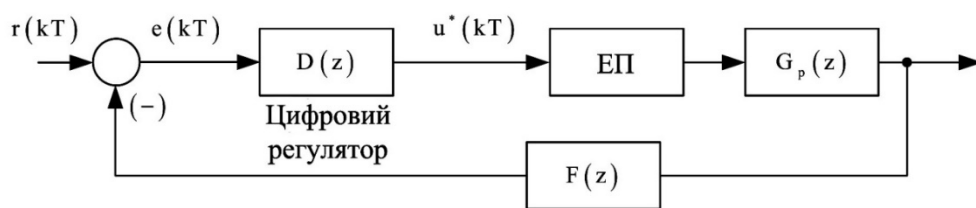


Рисунок 2.10 – Структурна схема цифрової системи керування електропривода вагової станції в дискретному поданні

Для синтезу регулятора розглянемо модель автоматичного регулювання (АД) у формі аперіодичної ланки першого порядку [13]. Еквівалентна постійна часу визначається як:

$$T_e = \frac{X_{1H} + X'_{2H}}{\omega_{0\text{ел.ном}}} + J_E; \quad (2.32)$$

Перехідний процес автоматичного регулювання АД та еквівалентної аперіодичної ланки зображено на рисунку 2.11.

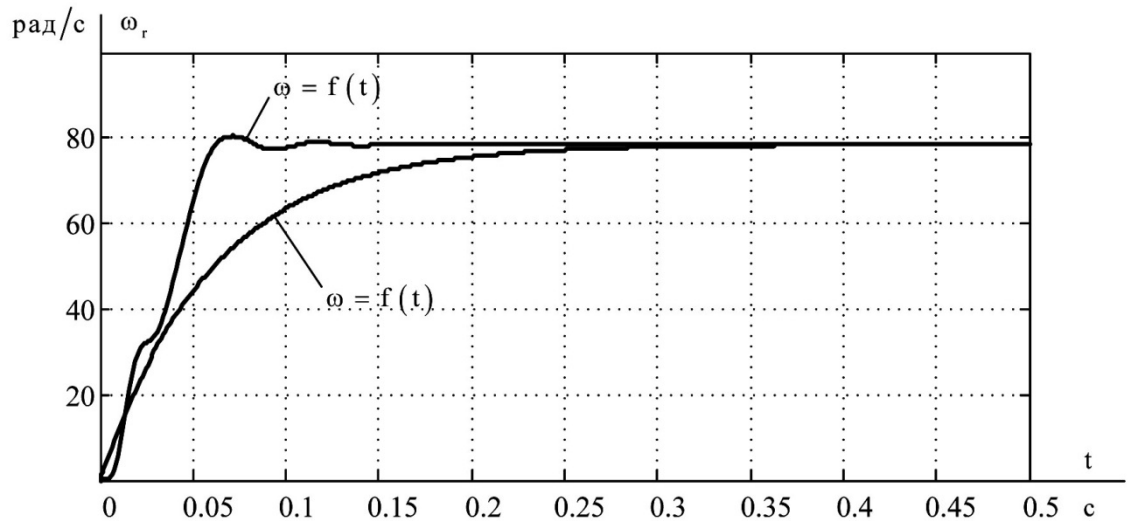


Рисунок 2.11 – Перехідний процес АД вагової станції і еквівалентної аперіодичної ланки

Передавальну функцію шнекового дозатора можна уявити як інтегруючу ланку з коефіцієнтом передачі шнека. Структурна схема системи ілюструється на рисунку 2.12.

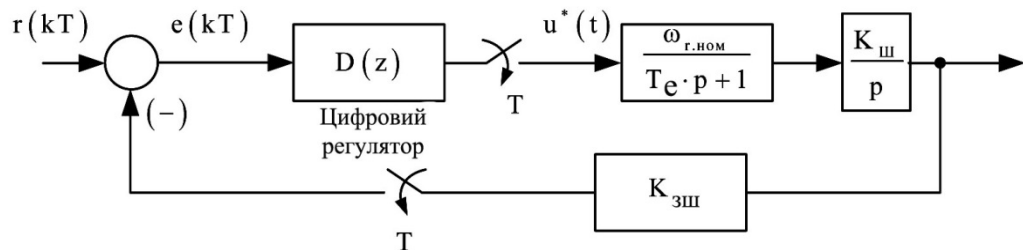


Рисунок 2.12 – Структурна схема системи керування електроприводом вагової станції та об'єкта регулювання

Відображення постійного значення в дискретній області відповідає оригіналу в безперервній області. Отриманий контур містить аперіодичну ланку першого порядку та інтегруючу ланку, що дозволяє здійснити налаштування за допомогою П-регулятора [10]:

$$D(z) = k_{\text{пер}} = \frac{1}{\alpha \cdot T_E \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{ос}}}; \quad (2.33)$$

де: α – коефіцієнт налаштування регулятора.

Для здійснення перехідного процесу без перерегулювання (налаштування на лінійний оптимум) $\alpha = 4$.

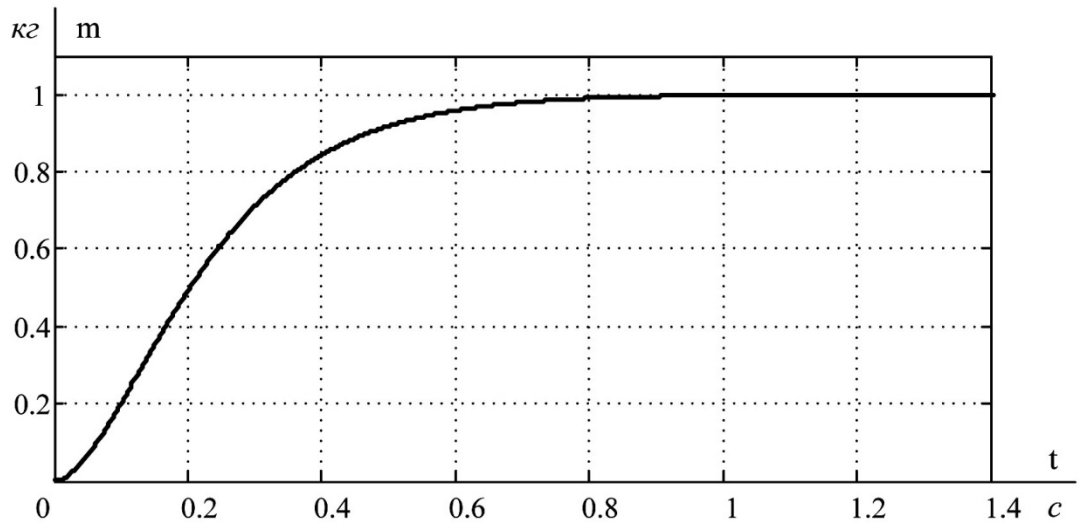


Рисунок 2.173– Перехідний процес оптимізованої системи керування електроприводом вагової станції

З рисунка 2.17 видно, що процес дозування відбувається без перерегулювання протягом часу, що становить $3 \dots 4 T_E$.

При налаштуванні регулятора не було враховано затримку часу, пов'язану з «падаючим стовпом» матеріалу в бункер. Ця затримка варіюється в залежності від рівня заповнення бункера. Щоб компенсувати помилку, що виникає під час дозування, потрібен додатковий алгоритм адаптації.

Синтез регулятора ваги на основі модульного оптимуму.

У системах дозування перерегулювання перехідного процесу є фактором, що впливає на точність дозування, тому його слід усунути, налаштувавши перерегулювання на нуль. Ваги з розімкнутим контуром, налаштовані на модульний оптимум, повинні мати таку передавальну функцію:

$$W_{MO}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu B} \cdot p \cdot (T_{\mu B} \cdot p + 1)}; \quad (2.34)$$

де: $T_{\mu B}$ – мала постійна часу контуру ваги.

Приймаємо малу некомпенсовану постійну вагу контуру, яка дорівнює величині транспортної затримки подачі інгредієнту. Ця величина розрахована за формулою (2.24) для незаповненого бункера-дозатора експериментальної установки $T_{\mu B} = T_{T3} = 0,33$ с.

Постійна часу транспортної затримки на T_{T3} в контурі регулювання ваги на порядок більше, ніж в регульованому електроприводі. Тому в даній САР, регульований привід можна уявити пропорційною ланкою.

$$k_{PEП} = \frac{\omega_{\text{макс}}}{U_{\text{рв.макс}}}; \quad (2.35)$$

Передавальна функція розімкнутого контуру ваги (див. рис. 2.14) для цієї системи визначається наступним чином [20]:

$$W_{\text{розм}}(p) = W_{\text{рв}}(p) \cdot k_{PEП} \cdot \frac{k_{ш}}{p} \cdot \frac{1}{1 + T_{T3} \cdot p}; \quad (2.36)$$

Структурна схема контуру ваги представлена на рисунку 2.18.

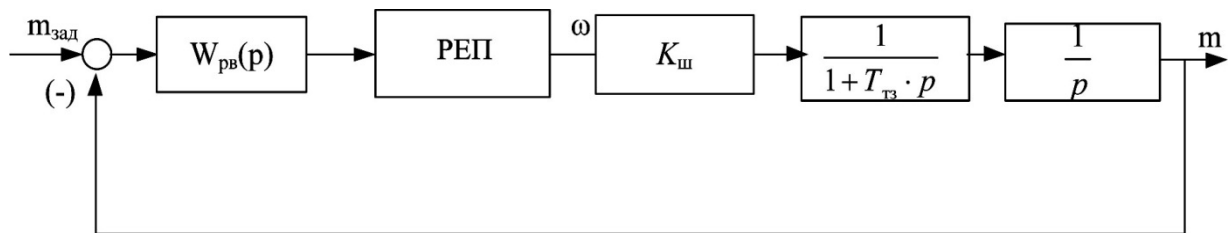


Рисунок 2.14 – Структурна схема лінеаризованого контуру ваги

На рисунку 2.18 прийняті наступні позначення:

$W_{\text{рв}}(p)$ – передавальна функція регулятора ваги;

$K_{ш}$ – коефіцієнт передачі дозатора;

T_{T3} – постійна часу транспортної затримки.

Передавальну функцію розімкнутого контуру ваги порівнюємо з бажаною передавальною функцією, що дозволяє нам визначити передавальну функцію регулятора ваги.

$$W_{\text{рв}}(p) = \frac{(T_{T3} \cdot p + 1)}{k_{ш} \cdot k_{PEП} \cdot 2 \cdot T_{\mu B} \cdot (T_{\mu B} \cdot p + 1)} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{PEП} \cdot 4 \cdot T_{\mu B}}; \quad (2.37)$$

$$\text{де: } k_{PB} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{РЕП} \cdot 4 \cdot T_{\mu B}} - \text{коефіцієнт посилення регулятора ваги.}$$

Таким чином, при налаштуванні контуру ваги на модульний оптимум отримуємо регулятор ваги пропорційного типу з коефіцієнтом передачі k_{PB} .

На досягнуті результати позитивно вплинуло застосування двоступінчастого дозування продукту. Коли до граничної ваги дози препарату залишається менше 10 кг, за допомогою частотного перетворювача зменшується швидкість обертання шнека або насоса, що подає продукт. Це дозволяє з більшою точністю відсікати дозу.

Таблиця 1.2 – Результати тестового дозування на модернізованій ваговій станції WiscoMix

		Жир	Какао	Сухе молоко	Цукор
Номінальна вага дози		46,5 г	7,6 г	22,7 г	73,2 г
Помилка на 1 дозу	абс.	±300 г	±170 г	±300 г	±580 г
	відн.	±0,65 %	±2,3 %	±1,3 %	±0,8 %
Помилка на партію (20 доз)	абс.	±660 г	±40 г	±10 г	±240 г
	відн.	±0,07 %	±0,02 %	±0,002 %	±0,016 %

Висновки за розділом

Обрали основні елементи лінії виробництва шоколадної глазури, а саме рефайнер-конш, кульковий млин, вагову станцію. Для вагової станції вибрали електропривод серії 4А. Розробили функціональну та структурну схеми керування електроприводом вагової станції. Як видно з побудованих характеристик для кожного контуру системи керування електроприводом вагової станції, САК стійка до зовнішніх збурень. Виконали синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції.

3. МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ШОКОЛАДНОЇ ГЛАЗУРИ

3.1 Розробка функціональної схеми

Новий сучасний варіант автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСК ТП) розроблений на базі системи керування процесами SIMATIC PCS7 Compact компанії Siemens. Основою системи є комп'ютер SIMATIC RI 45, який оснащений вбудованим модулем центрального процесора CPU 416-2DP у виконанні SlotPLC. Зв'язок між процесорним модулем і комп'ютером здійснюється через шину ISA, а взаємодія з зовнішніми пристроями відбувається за допомогою комунікаційного контролера через інтерфейс PROFIBUS-DP [11].

Промисловий комп'ютер з модулем CPU 416-2DP виконує функції контролера, інженерної та операторської станцій. Він розташований в операторській кімнаті і через мережеву карту та Ethernet з'єднаний з комп'ютером верхнього рівня. Цей комп'ютер використовується як робоче місце начальника виробництва та як веб-сервер для підключення віддалених користувачів. Комп'ютер верхнього рівня відображає зображення з екрана операторської станції, але не виконує керуючих функцій, а лише слугує для моніторингу технологічного процесу.

Модуль CPU 416-2DP, за допомогою інтерфейсу PROFIBUS-DP, з'єднаний зі станціями розподіленого введення-виведення ET200M, які встановлені в шафах керування на території виробничого приміщення (див. рис. 3.1). Він також взаємодіє з модулями розподіленої периферії інших ліній та ділянок. У шафах, поряд зі станціями ET200M, розміщені інтерфейсні реле, пристрої захисного відключення (ПЗВ), частотні перетворювачі, пристрої плавного пуску та інше обладнання (рис. 3.1). Це обладнання підключене до модулів введення-виведення через сигнальні виводи, а силові з'єднання

виконані з клем, розташованих внизу шаф. Від цих клем здійснюється розведення безпосередньо до датчиків та виконавчих пристроїв. Комутаційні можливості системи після модернізації наведені в таблиці 3.1.

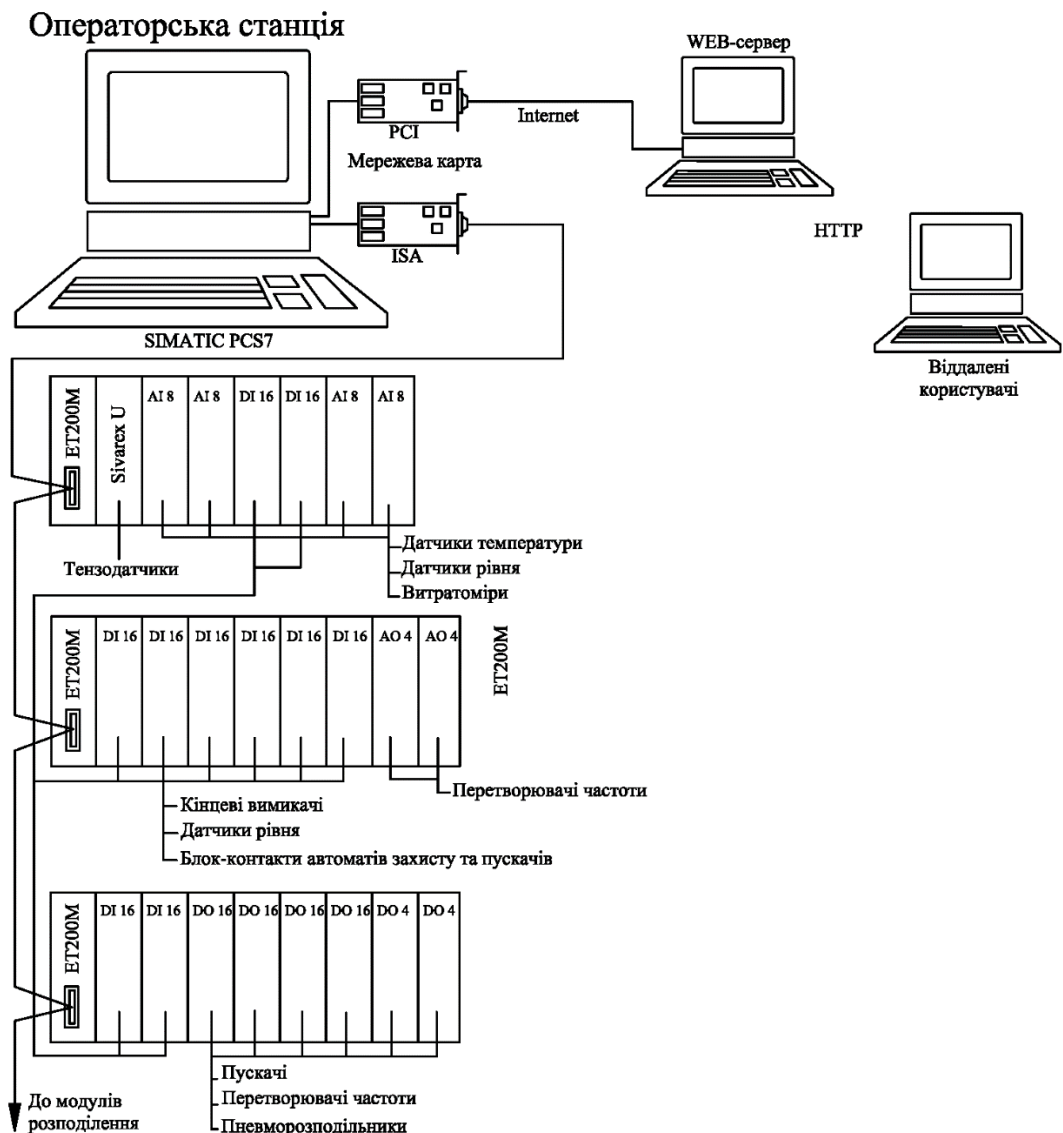


Рисунок 3.1 – Конфігурація апаратних засобів системи керування лінією виробництва шоколадної глазури після модернізації

AI 16/8 – модуль аналогового введення 16/8 канальний; AO 8/4 – модуль аналогового виводу 8/4 канальний; DI 32/16 – модуль дискретного введення 32/16 канальний; DO 32/16 модуль дискретного виведення 32/16 канальний; БП – блок живлення; ЦПУ – модуль центрального процесора; ІМ 306 – інтерфейсний модуль

Таблиця 3.1 – Комутаційні повноваження системи керування

Тип входу чи виходу	Кількість
Цифровий вхід	160
Цифровий вихід	96
Аналоговий вхід	32+2 (для тензодатчиків)
Аналоговий вихід	8

3.2 Вибір засобів автоматизації

SIEMENS є одним з небагатьох світових виробників, які можуть запропонувати інтегровану платформу для вирішення різноманітних завдань комплексної автоматизації в усіх секторах і етапах промислового виробництва від прийому сировини та комплектуючих до відвантаження готової продукції. Цю платформу називають Totally Integrated.

Основні переваги концепції Totally Integrated Automation у поєднанні з SIMATIC PCS7 досягаються:

1. Можливість масштабованого розвитку виробництва та зниження витрат на всіх етапах життєвого циклу системи.
2. Висока продуктивність та якість використовуваних компонентів, а також мінімізація інженерних витрат.
3. Гнучкість і масштабованість, що дозволяє використовувати як невеликі лабораторні системи, так і потужні комплексні системи автоматизації підприємств.
4. Захист інвестицій, який забезпечується поетапною модернізацією виробничих систем SIEMENS та інших виробників.
5. Підтримка функцій забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, навколишнього середовища, обладнання та підприємства.
6. Послідовні технологічні інноваційні рішення.
7. Підтримка функцій дистанційного обслуговування та технічної підтримки через глобальні мережі.

SIMATIC ET 200M – це багатофункціональна станція системи розподіленого введення/виведення, що дозволяє використовувати в своєму складі сигнальні, функціональні та комунікаційні модулі програмованого контролера SIMATIC S7-300. Вона може комплектуватися інтерфейсними модулями для підключення до промислових мереж PROFIBUS DP або PROFINET IO [12].



Рисунок 3.2 – Модуль введення/виведення SIMATIC ET 200M лінії виробництва шоколадної глазури

У мережі PROFIBUS DP станція ET 200M виконує функції стандартного веденого DP пристрою. Вона здатна підтримувати обмін даними з провідним пристроєм DP зі швидкістю до 12 Мбіт/с. У мережі PROFINET IO ET 200M виконує функції приладу введення-виведення та здатна підтримувати обмін даними з контролером введення-виведення зі швидкістю 100 Мбіт/с.

Кожна станція включає до свого складу один або два (для підключення до резервованої мережі PROFIBUS DP) інтерфейсного модуля IM 153 та кілька модулів програмованого контролера S7-300. При необхідності вона може комплектуватись блоком живлення. Порядок розміщення модулів S7-300 може бути довільним [12].

Допустимий склад та кількість використовуваних модулів S7-300, а також набір підтримуваних функцій визначається типом встановленого інтерфейсного модуля, а також типом ведучого мережевого пристрою.

Монтаж модулів станції може виконуватись двома способами: з використанням або без використання активних шинних з'єднувачів.

Перший варіант рекомендується для станцій ET 200M, що працюють під керуванням програмованих контролерів S7-400/ S7-400H/S7-400F/S7-400FH. Він забезпечує можливість підключення станції до резервованих каналів мережі PROFIBUS DP, а також виконання "гарячої" заміни модулів станції. Для монтажу використовуються спеціальні профільні шини ET 200M, на які встановлюються активні з'єднувачі шини, що формують внутрішню шину станції. На активні шинні з'єднувачі встановлюються інтерфейсні та інші модулі станції.

Другий варіант монтажу аналогічний монтажу модулів програмованого контролера S7-300. Усі модулі станції встановлюються на стандартну профільну шину S7-300 та фіксуються у робочих положеннях гвинтами. Внутрішня шина станції формується внутрішньою шиною кожного модуля і шинними з'єднувачами, що входять у комплект поставки всіх сигнальних, функціональних та комунікаційних модулів S7-300. «Гаряча» заміна модулів у цьому випадку не підтримується.

У системах з провідними мережевими пристроями у вигляді програмованих контролерів S7-300/ S7-400/ WinAC конфігурування та обслуговування входів та виходів систем локального та розподіленого введення-виведення виконується одними й тими самими способами.

В одній станції ET 200M можна використовувати змішаний склад модулів S7-300: модулі стандартного та Ex-виконання, а також F-модулі. При використанні таких конфігурацій повинні витримуватись певні правила монтажу.

Модулі стандартного виконання рекомендується встановлювати безпосередньо за інтерфейсним модулем.

У станціях з активними шинними з'єднувачами модулі стандартного та Ex-виконання повинні розділятися спеціальними перегородками, які встановлюються на активні шинні з'єднувачі. У станціях без активних шинних

з'єднувачів модулі стандартного та Ex-виконання рекомендується розділяти хибним модулем DM 370.

Між стандартними та F-модулями необхідна установка роздільного модуля, що забезпечує захист F-модулів від перенапруг. При цьому F-модулі повинні отримувати живлення від власного блоку живлення U системах, що відповідають вимогам рівня безпеки SIL2, розділовий модуль може не встановлюватись.

При необхідності для підключення зовнішніх ланцюгів сигнальних модулів замість фронтальних штекерів можуть використовуватися гнучкі з'єднувачі, модульні з'єднувачі SIMATIC TOP Connect чи термінальні пристрої MTA.

У станціях ET 200M можна використовувати кілька типів інтерфейсних модулів. Інтерфейсні модулі IM 153-1 та IM 153-2 HF розраховані на підключення ET 200M до електричних (RS 485) каналів зв'язку PROFIBUS DP.

Інтерфейсний модуль IM 153-1 виступає як стандартний ведений пристрій PROFIBUS DP (DPV0/DPV1) з підтримкою розширеного набору функцій зв'язку S7. Він використовується разом із сигнальними модулями S7-300.

Інтерфейсний модуль IM 153-2HF виступає як стандартний ведений пристрій PROFIBUS DP (DPV0/DPV1) з повною підтримкою функцій S7 зв'язку для обміну даними з функціональними та комунікаційними модулями через внутрішню шину станції ET 200M може підключатися до резервованих каналів зв'язку PROFIBUS DP. Таке підключення виконується через пару інтерфейсних модулів IM 153-2 HF, встановлених на активному шинному з'єднувачі BM IM/IM. Всі інші модулі станції у разі теж повинні встановлюватися на активні шинні з'єднувачі. Інтерфейсний модуль IM 153-2HF підтримує додаткові функції, такі як підтримка технології CiR, оновлення операційної системи через PROFIBUS DP.

Інтерфейсний модуль IM 153-4 призначений для підключення станції ET 200M до мережі PROFINET IO. Для цього він оснащений вбудованим 2-

канальним комутатором Industrial Ethernet реального масштабу часу та двома гніздами RJ45. Наявність двох гнізд RJ45 дозволяє створювати магістральні структури мережі PROFINET IO без використання додаткових комунікаційних компонентів. IM 153-4 підтримує оновлення операційної системи через PROFINET IO.

Інтерфейсні модулі IM 153-2HF та IM 153-4 забезпечують підтримку функцій передачі повідомлень з часовими відмітками та функцій синхронізації, передачу параметрів налаштування інтелектуальні прилади польового рівня, підтримку функцій ідентифікації [13].

Таблиця 3.2 – Основні технічні дані інтерфейсних модулів станції ET 200M

	IM 153-1	IM 153-2 HF	IM 153-4 PN ST	IM 153-4 PN HF
Адресний простір введення-виведення	128 байт на введення/ 128 байт на виведення	244 байт на введення/ 244 байт на виведення	192 байт на введення/ 192 байт на виведення	672 байт на введення/ 192 байт на виведення
Підтримка гарячої заміни модулів	Так			
Кількість модулів в ET 200M	До 8 модулів S7-300/ET 200M		До 12 модулів S7-300/ET 200M	
Робота з провідними мережевими пристроями SIMATIC S7/WinAC				
Склад модулів	Сигнальні, функціональні та комунікаційні (PtP та ASi) модулі S7-300 залежно від типу модуля IM153			
Робота з іншими провідними мережевими пристроями				

Функції ET 200M	Стандартний введений пристрій PROFIBUS DP (DPV0/ DPV1)	Пристрій введення- виведення PROFINET IO
--------------------	--	---

3.3 Розробка робочого місця оператора

Відзначимо, що робоче місце оператора САК ТП, як показано на рисунку 3.3, побудоване на основі промислового комп'ютера Pentium II з тактовою частотою 333 МГц. Він працює під керуванням операційної системи Microsoft Windows NT Workstation 4.0 та має встановлену систему візуалізації Windows Control Center версії 4.02. Інформація відображається на чотирьох моніторах з діагоналлю 21 дюйм.



Рисунок 3.3 – Робоче місце оператора лінії виробництва шоколадної глазури

Система візуалізації виконує наступні функції:

- відображення технологічних процесів, що відбуваються на виробничій лінії (основна мнемо-схема та мнемосхеми окремих секцій);
- ручне керування пристроями (перемикання режимів «ручний/автомат» можливе як для окремих секцій, так і для конкретного пристрою);
- керування циклами в автоматичних режимах;

- архівування змінних (тренди згруповані за секціями);
- індикація аварійних та інформаційних повідомлень;
- розділення рівнів доступу для користувачів;
- автоматичне формування та друк звітів.

3.4 Мнемосхема лінії виробництва шоколадної глазури

Екран кожного монітора на робочому місці оператора поділений на три секції (рис. 3.4). У верхній частині розміщені кнопки для переходу між різними виробничими лініями, а також рядок для інформаційних та аварійних повідомлень. У нижній частині знаходяться кнопки для керування оболонкою, включаючи доступ, журнали тривоги та навігацію по ієрархії мнемосхем. У середній частині екрана відображається мнемосхема вибраної лінії. Кожен монітор може мати свої власні мнемосхеми. Неактивні пристрої позначені сірим кольором, працюючі – зеленим, а аварійні – червоним. Рівні наповнення баків представлені не лише у цифровому вигляді, але й графічно. З основної мнемосхеми лінії можна перейти до секційних мнемосхем, вікон налаштувань, трендів, рецептур та керування циклами [14].

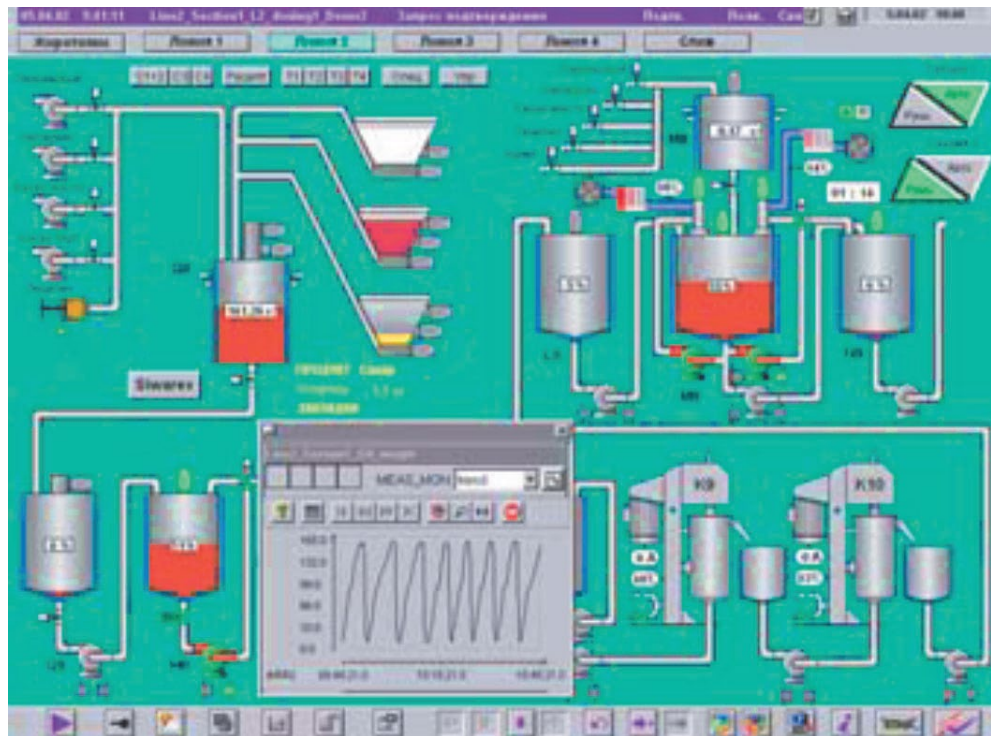


Рисунок 3.4 – Основна мнемосхема лінії виробництва шоколадної

глазурі

Отже, у результаті модернізації обладнання системи керування було встановлено більш продуктивні та надійні пристрої серії SIMATIC S7. Це значно розширило як комутаційні, так і функціональні можливості системи. Завдяки цьому до неї, через PROFIBUS-DP та модулі розподіленої периферії, було підключено датчики та виконавчі пристрої ще трьох ліній і двох допоміжних ділянок підприємства. Крім того, переміщення модуля центрального процесора, найважливішого елемента системи, як зазначалося вище, з виробничого приміщення в операторну створило більш ефективні умови для його подальшої експлуатації. Досліджено, що використання внутрішньої шини комп'ютера для зв'язку з контролером замість зовнішньої шини, також дозволило збільшити обсяг даних для візуалізації.

Висновок за розділом

Розробили нову функціональну схему технологічного процесу виробництва шоколадної глазури на базі SIMATIC PCS7. Вибрали основні засоби оновлення САК: операторську станцію, модуль введення/виведення, інтерфейсний модуль.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра досягнута, а саме модернізована автоматизована система керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури з використанням сучасної елементної бази.

У першому розділі провели аналіз технологічного процесу виробництва глазури. Для подальшого аналізу був обраний етап дозування, що суттєво впливає на правильність рецептури шоколадної глазури та її смакові якості. Виявлені основні недоліки існуючої системи керування. Окреслені основні напрямлення для модернізації.

У другому розділі обрали основні елементи лінії виробництва шоколадної глазури, а саме рефайнер-конш, кульковий млин, вагову станцію. Для вагової станції вибрали електропривод серії 4А. Розробили функціональну та структурну схеми керування електроприводом вагової станції. Як видно з побудованих характеристик для кожного контуру системи керування електроприводом вагової станції, САК стійка до зовнішніх збурень. Виконали синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції.

У третьому розділі розробили нову функціональну схему технологічного процесу виробництва шоколадної глазури на базі SIMATIC PCS7. Вибрали основні засоби оновлення САК: операторську станцію, модуль введення/виведення, інтерфейсний модуль.

Модернізована САК може бути використана для технологічних процесів, в яких відбувається дозування компонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія кондитерських виробів: навчальний посібник для К 95 самостійного вивчення курсу [Електронний ресурс] / укл. : З.І. Кучерук, Н.В. Шматченко. – Електрон. дані. – Х. :ХДУХТ,2020.
2. Хорольський, В. П. Х 81 Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник, / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2023. – 557 с.
3. Автоматизація виробничих процесів: навчальний посібник/.Б.М.Гончаренко,С. І. Осадчий,Л.Г.Віхрова та ін.Кіровоград: ЛисенкоВ.Ф.,2016-352с.
4. Ладанюк А.П.,Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. Київ:Ліра-К.,2016.312с.
5. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
6. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
7. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник / П. В. Леонт'єв та ін. ; за заг. ред. П. В. Леонт'єва. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 296 с.
8. Каталог вагових станцій. – Режим доступу: <https://duyviswiener.com/equipment/chocolate-processing/liquid-continuous-mixer/>

9. Каталог електродвигунів. – Режим доступу: https://elmo.ua/uk/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=bd_ru_zag&utm_content=&utm_term=асинхронный%20двигатель&gad_source=1&gad_campaignid=20802011209&gclid=Cj0KCQjwjJrCBhCXARIsAI5x66WhAMozZ8tIGfvQz_nRdQoYYF8793EV7nm3ON24qyZoHPGHkdK7_hkaAqE1EALw_wcB

10. Лілія ТРАСКОВЕЦЬКА, Людмила БОРОВИК, Олег БОРОВИК. Програмування в середовищі MATLAB Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: Навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2023.

11. ПО про комплексну автоматизації. – Режим доступу: <https://ia.ua/139-po-dlya-komplex-avtomatiz/>

12. Каталог модулів. – Режим доступу: <https://www.avigan.com.ua/page/simatic-et-200m/mp/4868/>

13. Каталог інтерфейсних модулів. – Режим доступу <https://www.avigan.com.ua/page/im-153-1-153-2/mp/5739/>

14. Пересада С. М., Ніконенко Є. О. Курсовий проект з керування електроприводами [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.М. Пересада, Є.О. Ніконенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.

15. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
CHAPTER 1
ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CHOCOLATE
GLAZE PRODUCTION AND JUSTIFICATION OF THE NECESSARY
MODERNIZATION

1.1 Analysis of the technological process of chocolate glaze production

First, let's analyze in detail the concept of glaze. So, glaze is a confectionery semi-finished product that is used to cover the surface of confectionery products, such as candies, gingerbread, cakes and pastries.

To make glaze, finely ground ingredients are used, including sugar and/or its substitutes, cocoa butter and/or fats that are equivalents or substitutes for cocoa butter, as well as grated cocoa and/or cocoa powder, as well as other food components.

Let's consider and describe different types of glaze.

Directly chocolate glaze is a glaze containing not less than 25% of the total dry residue of cocoa products, in particular, not less than 32% of cocoa butter, as well as sugar not more than 58.5% and a moisture content not more than 1.3%.

Confectionery glaze is a mixture of sugar, cocoa products and fat, which can be both lauric and non-lauric substitutes for cocoa butter.

Milk chocolate glaze is a glaze containing not less than 15% of the total dry residue of cocoa, at least 5% of cocoa butter, at least 10% of dry milk substances or products of their processing, as well as at least 2.5% of milk fat.

White chocolate glaze is a glaze containing not less than 10% of cocoa butter and at least 14% of dry milk substances or products of their processing, in particular, not less than 2.5% of milk fat.

Let us examine step by step the technological process of glaze production, which consists of four main stages (Fig. 1.1). The first stage covers the operations of dosing various ingredients (up to 8 per batch) and their mixing. Dosing is carried

out at a weighing station, which may consist of two tanks. The upper tank, located on strain gauges, is designed to weigh a single dose, while the lower tank acts as a buffer, which helps to speed up the dosing process. An additional tank, with a volume of 3000 kg, serves as a storage tank for collecting the entire batch of ingredients before further processing.

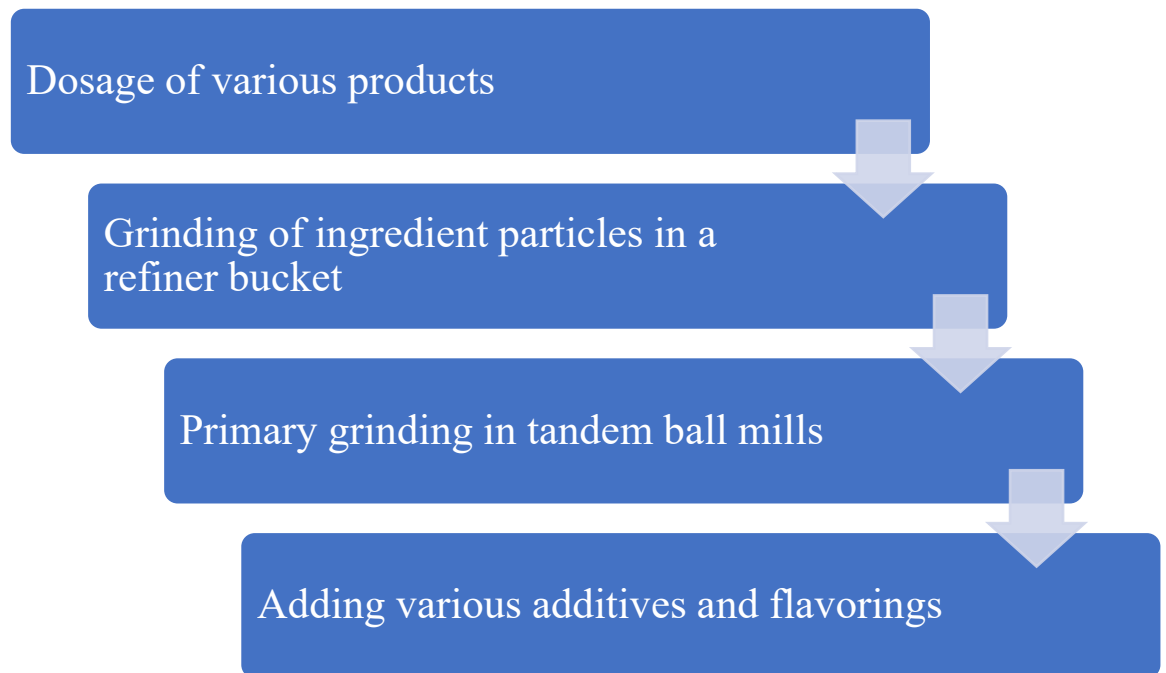


Figure 1.1 – Stages of the technological process of chocolate glaze production

At the second stage of processing, preliminary grinding of cereal ingredient particles to 75 microns is carried out using a refiner-conche. This specific machine simultaneously performs grinding and conching operations, which consists in prolonged mixing of heated chocolate to remove unwanted moisture and volatile substances. A feature of this stage is the control of the temperature of the equipment along with maintaining a given current of the main motor. Automation of the processes of pouring and draining the product from the refiner-conche frees the operator from routine tasks.

At the third stage of processing, the main grinding takes place in a tandem of ball mills. This process is crucial for the quality of the final product. The key factor affecting the grinding results is the speed of feeding the starting materials into the

mill. This speed is regulated using special programmable PID controllers, which are guided by the readings of the flow meter (for the first mill) and the level sensor in the intermediate tank (for the second mill). Since the grinding process is accompanied by significant unwanted heating, the temperature of the product during processing is strictly controlled at this stage.

The last, fourth stage of processing involves the addition of various additives and flavorings, and conching is also possible. For accurate dosing of additives, a weighing tank is used, suspended on three load cells from the Scaime company.

It should be noted that, like any technological process, each stage of chocolate icing production has its own specific features.

However, in our work, we focus on the first stage, since it determines the further technological process, the correctness of the chocolate icing recipe and its taste.

1.2 Existing automated control system for chocolate glaze production as an object of modernization

The object of modernization in our research work was an automated line for the production of chocolate glaze, manufactured in Holland, but actually installed at the AVK confectionery factory. Since then, it has been producing 200 tons of chocolate masses for the domestic and foreign markets every month.

AVK is one of the leading domestic confectionery companies. Its history of formation is more than 30 years of hard work of the team aimed at achieving the highest standards of product quality. AVK is among the TOP-25 innovative companies of Ukraine due to the introduction of modern products that contribute to the improvement of consumer culture. The company's production facilities are located in the city of Dnipro.

The AVK line includes the components that are visualized in detail in Figure 1.2, namely:

- 14 technological units with appropriate drives, valves and pipelines;

- a complex of control and measuring equipment (analog level, weight, current, temperature, flow rate sensors, digital flow rate, position sensors, etc.);
- a control part, which includes actuators, converters, soft starters, distributed information collection modules, controllers and a visualization system.

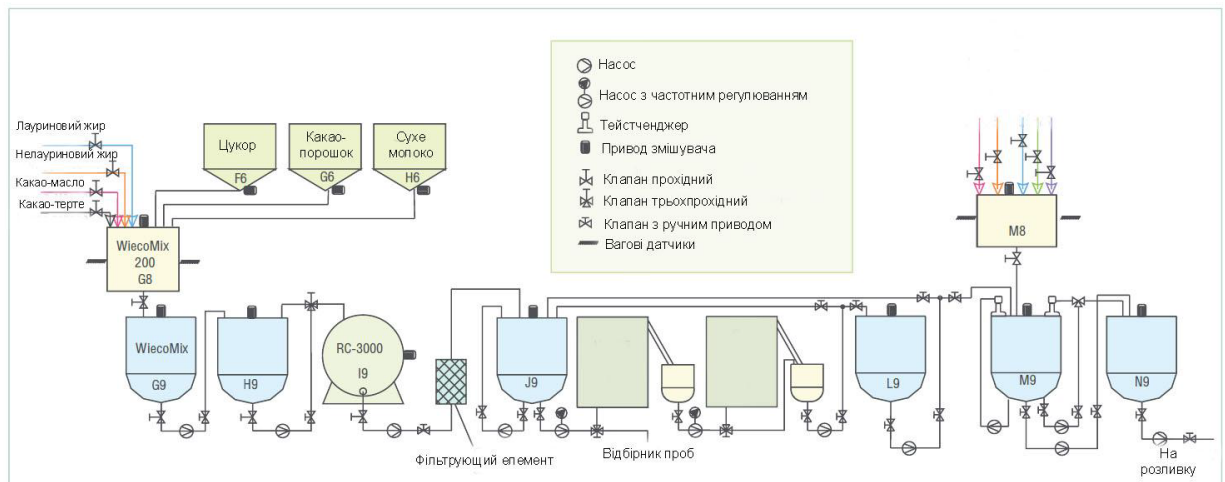


Figure 1.2 – Technological scheme of line No. 2 of the AVK confectionery factory

F6 – granulated sugar bunker; G6 – cocoa powder bunker; H6 – powdered milk bunker; G8 – main weighing station (up to 200 kg); G9 – buffer tank (up to 200 kg); H9 – storage tank (up to 3000 kg); I9 – refiner-conch; J9 – storage tank (up to 3000 kg); K9 – WieneRoto W-155 ball mill; K10 – Caotech Cao-2000 ball mill; L9 – storage tank (up to 3000 kg); M8 – additives weighing station (up to 200 kg); M9 – conching tank (up to 5000 kg); N9 – storage tank (up to 8000 kg)

The control system for the technological process of chocolate glaze production is developed on the basis of the S5-115U controller of the Siemens company (see Fig. 1.3). Citect v5.0 software was used for process visualization. Communication between the controller and the computer is carried out using the AS511 protocol (9600 bit/s) via an RS-485/RS-232 converter.

The main disadvantages of the initial version of the system were as follows:

- high error in ingredient dosing;
- low transmission speed over communication channels, which caused large delays between the operator giving a command and its execution (up to tens of seconds);

- obsolescence of the equipment, complicating the process of its maintenance and troubleshooting;
- relatively long cycle of module polling by the controller, which, with an increase in the raw material feed rate, led to errors in product dosing;
- the presence of a large number of manual settings.



Figure 1.3 – Siemens S5-115U Controller

That is why our work is aimed at studying the modernization of the control system of the chocolate glaze production line, namely:

- 1) Replacement of the main elements of the chocolate glaze production line, such as the ball mill and the weighing station.
- 2) Selection of an electric drive for the weighing station and analysis of its operation.
- 3) Study of the functioning of the weighing station strain gauges.
- 4) Transition to modern equipment, including temperature, level and flow meters.
- 5) Development of a new control system for the chocolate glaze production process.

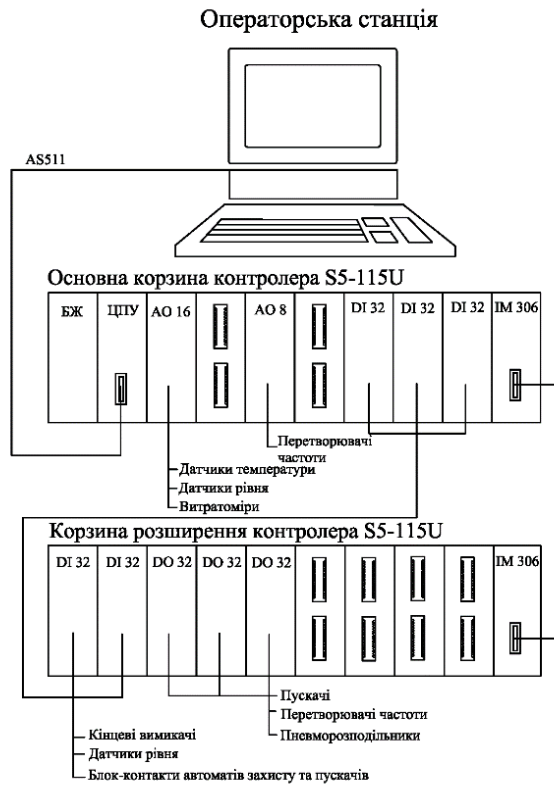


Figure 1.4 – Hardware configuration of the control system before modernization

AI 16/8 – analog input module 16/8 channels;

AO 8/4 – analog output module 8/4 channels; DI 32/16 – discrete input module 32/16 channels; DO 32/16 discrete output module 32/16 channels; BP – power supply unit; CPU – central processor module; IM 306 – interface module

Conclusions by section

An analysis of the technological process of glaze production was conducted. For further analysis, the dosing stage was selected, which significantly affects the correctness of the chocolate glaze recipe and its taste. The main shortcomings of the existing control system were identified. The main directions for modernization were outlined.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури

ДОДАТОК Б

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

студент 401МЕ групи

Керівник:

д.т.н, професор

Одинцов А.С.

Леві Л.І.

Полтава 2025

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в модернізації існуючої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури з використанням сучасної елементної бази.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є технологічний процес виробництва шоколадної глазури на підприємстві «АВК».

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є модернізація автоматизованої системи виробництва шоколадної глазури, а саме вузла основної вагової станції (процес дозування та перемішування інгредієнтів).

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури;
- виявити недоліки існуючої автоматизованої системи керування;
- обґрунтувати напрямки можливої модернізації;
- провести вибір вагової станції;
- розрахувати електропривод вагової станції;
- розробити функціональну та структурну схеми автоматизованого електропривода вагової станції;
- виконати синтез цифрового регулятора ваги в ваговій станції;
- розробити функціональну схему модернізованої САК шоколадної глазури;
- обрати засоби автоматизації технологічного процесу виробництва шоколадної глазури;
- провести вибір сучасних апаратно-програмних засобів.

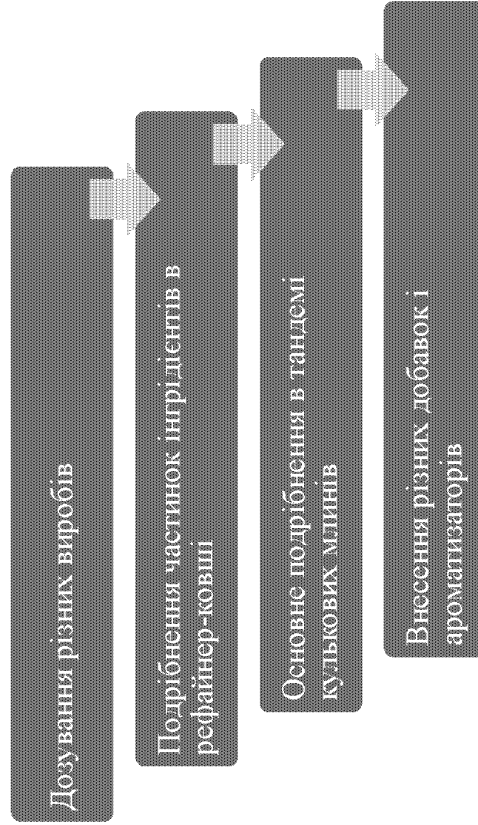
Аналіз технологічного процесу виробництва шоколадної глазури

Перший етап охоплює операції дозування різних інгредієнтів (до 8 на кожну партію) та їх змішування. Дозування здійснюється на ваговій станції, яка може складатися з двох баків. Верхній бак, розташований на тензодатчиках, призначений для зважування однієї дози, тоді як нижній бачок виконує роль буфера, що сприяє прискоренню процесу дозування.

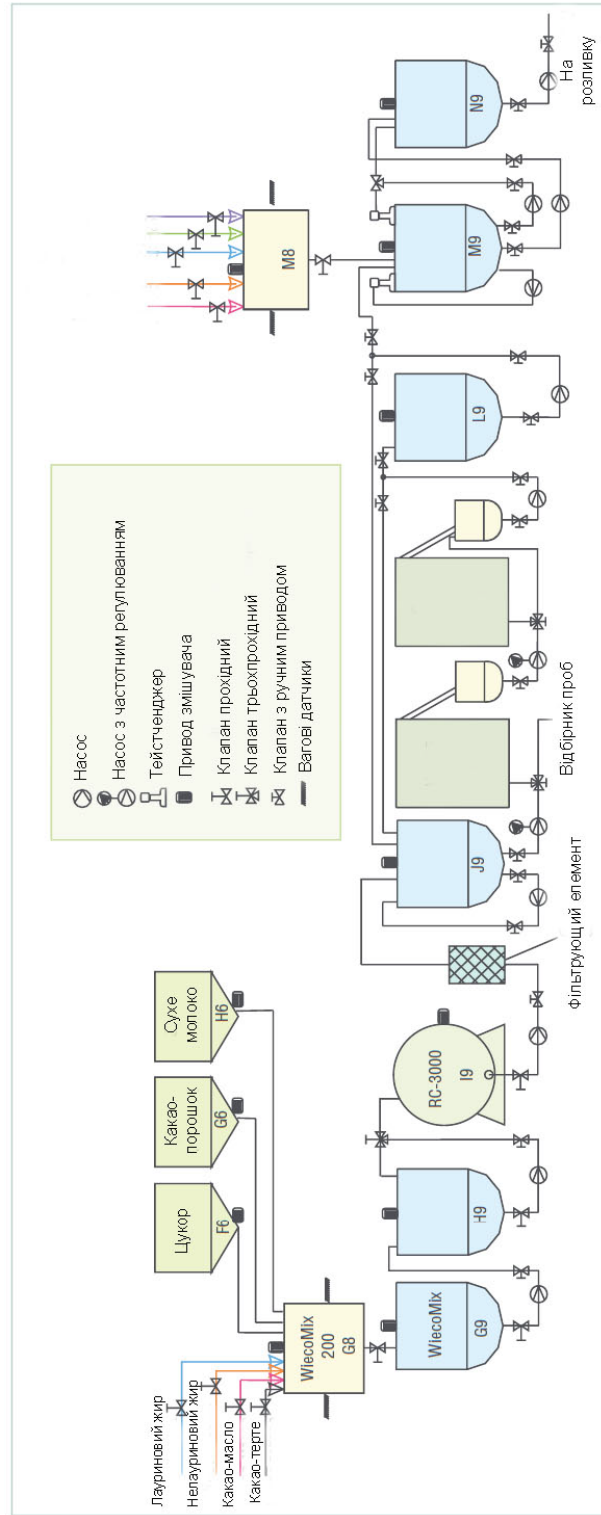
На другому етапі обробки здійснюється попереднє подрібнення частинок інгредієнтів крупи до 75 мкм з допомогою рефайнер-ковши. Ця специфічна машина виконує одночасно операції подрібнення та конширування, що полягає у тривалому перемішуванні підігрітого шоколаду для видалення небажаної вологи та летючих речовин.

На третьому етапі обробки відбувається основне подрібнення в тандемі кулькових млинів. Цей процес вирішальним для якості кінцевого продукту. Ключовим фактором, що впливає на результат помелу, є швидкість подачі вихідних матеріалів у млин. Регулювання цієї швидкості здійснюється за допомогою спеціальних програмованих РІС контролерів, які орієнтуються на показання витратоміра (для першого млина) та датчика рівня в проміжному баку (для другого млина).

Останній четвертий етап обробки передбачає додавання різних добавок та ароматизаторів, а також можливе конширування. Для точного дозування добавок використовується ваговий бачок, підвішений на трьох тензодатчиках.

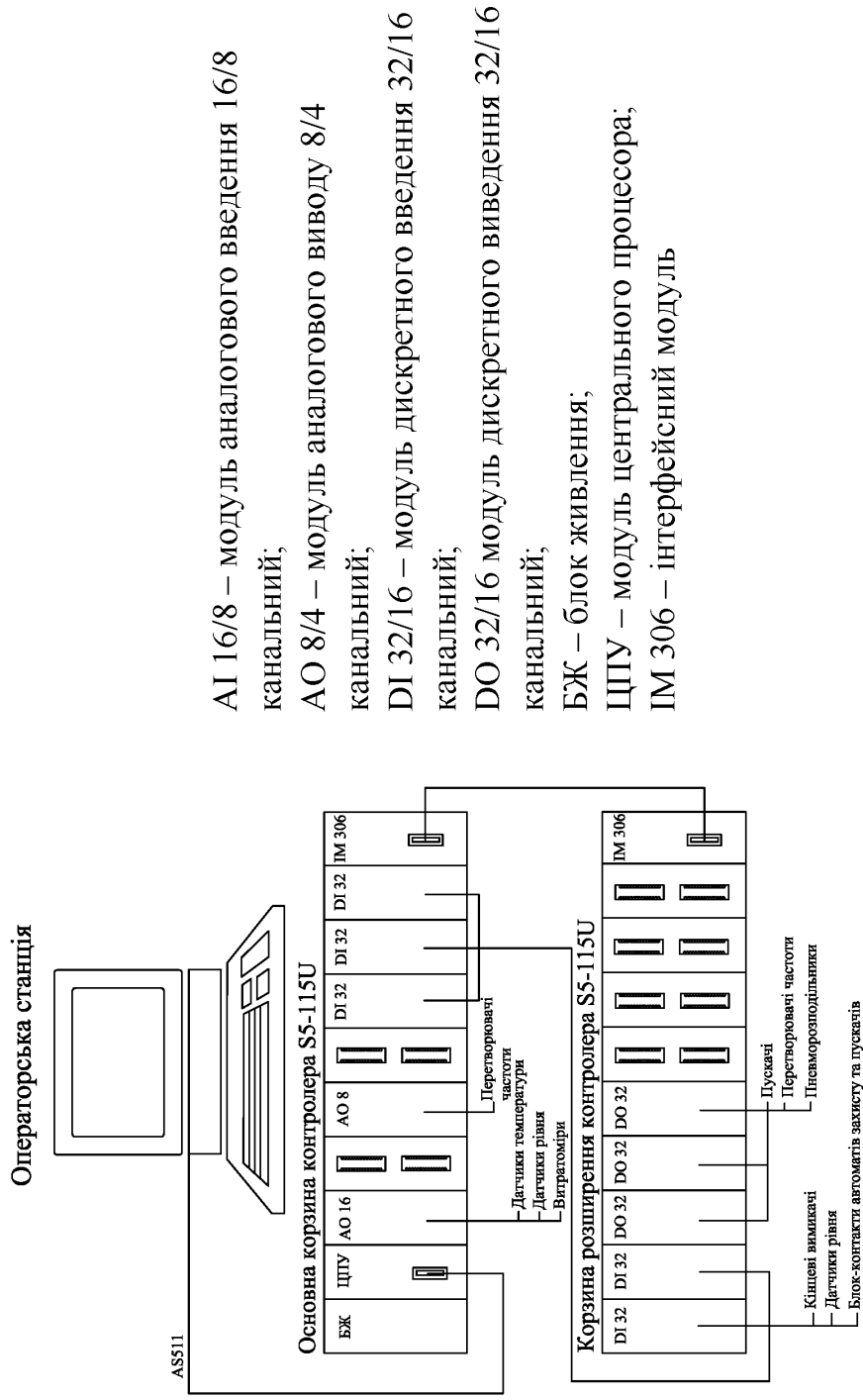


Технологічна схема лінії виробництва шоколадної глазури «АВК»

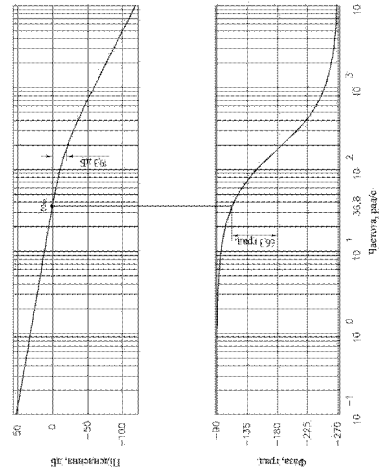
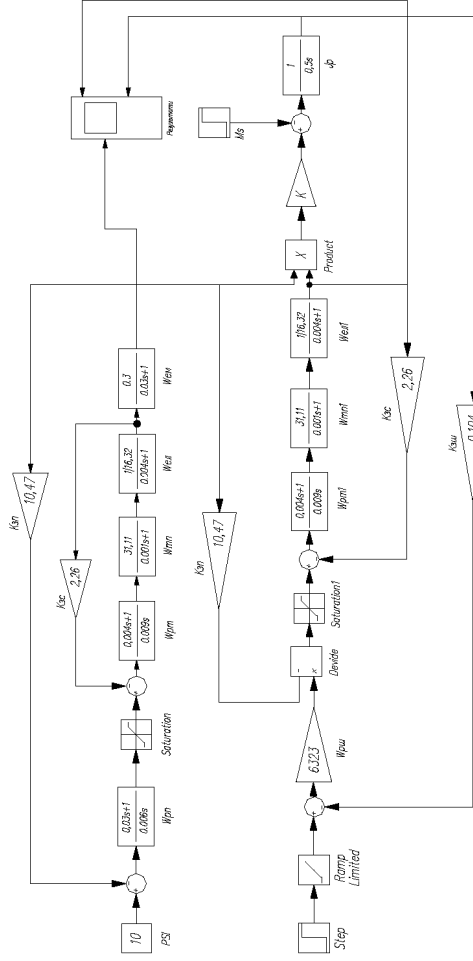


F6 – бункер цукру-піску; G6 – бункер какао-порошку; H6 – бункер сухого молока; G8 – основна вагова станція (до 3000 кг); G9 – буферний бак (до 200 кг); H9 – накопичувальний бак (до 3000 кг); I9 – рефайнер-конш; J9 – накопичувальний бак (до 3000 кг); K9 – кульковий млин WieneRoto W-155; K10 – кульковий млин Saotech Sao-2000; L9 – накопичувальний бак (до 3000 кг); M8 – вагова станція добавок (до 200 кг); M9 – коншируючий бак (до 5000 кг); N9 – бак зберігання (до 8000 кг)

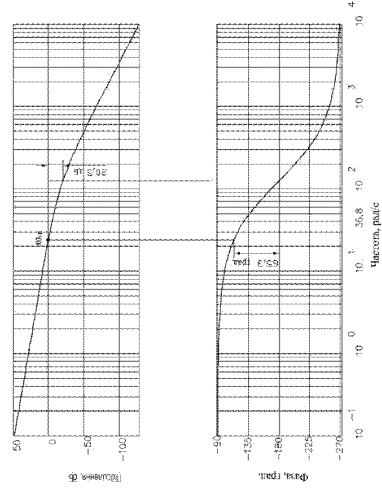
Конфігурація апаратних засобів системи управління до модернізації



Дослідження роботи електропривода змінювача вагової станції

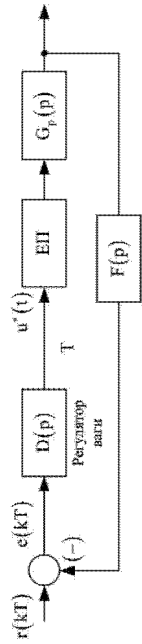


АЧХ розімкнутого контуру струму та поточозчеплення

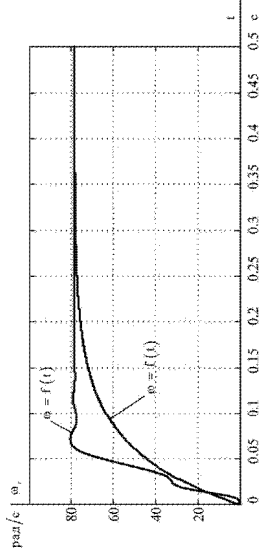
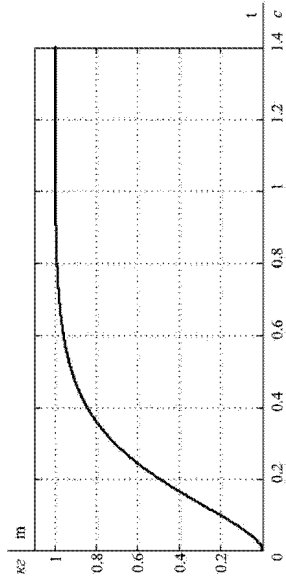


ФЧХ розімкнутого контуру струму та поточозчеплення

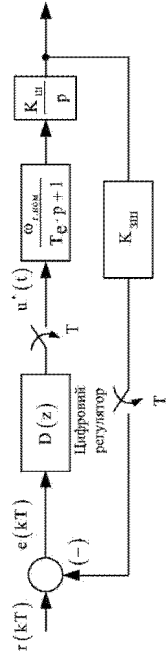
Синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції



Структурна схема слідуючого електроприводу з регулятором ваги

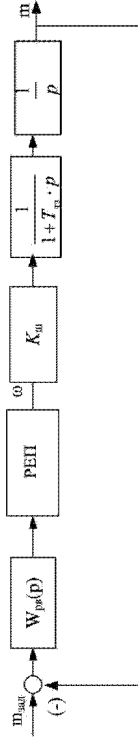


Перехідний процес АД і еквівалентної аперіодичної ланки



Структурна схема системи керування та об'єкта регулювання

Перехідний процес оптимізованої системи



Структурна схема лінеаризованого контуру ваги

Висновки

Мета кваліфікаційної робота бакалавра досягнута, а саме модернізована автоматизована система керування технологічним процесом виробництва шоколадної глазури з використанням сучасної елементної бази.

У першому розділі провели аналіз технологічного процесу виробництва глазури. Для подальшого аналізу був обраний етап дозування, що суттєво впливає на правильність рецептури шоколадної глазури та її смакові якості. Виявлені основні недоліки існуючої системи керування. Окреслені основні напрямлення для модернізації.

У другому розділі обрали основні елементи лінії виробництва шоколадної глазури, а саме рефайнер-конш, кульковий млин, вагову станцію. Для вагової станції вибрали електропривод серії 4А. Розробили функціональну та структурну схеми керування електроприводом вагової станції. Як видно з побудованих характеристик для кожного контуру системи керування електроприводом вагової станції, САК стійка до зовнішніх збурень. Виконали синтез цифрового регулятора ваги в електромеханічній системі вагової станції.

У третьому розділі розробили нову функціональну схему технологічного процесу виробництва шоколадної глазури на базі SIMATIC PCS7. Вибрали основні засоби оновлення САК: операторську станцію, модуль введення/виведення, інтерфейсний модуль.

Модернізована САК може бути використана для технологічних процесів, в яких відбувається дозування компонентів.

Дякую за увагу!