

Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут сумського державного університету
Центр заочної та дистанційної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій
Спеціальність 6.151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

"Система управління технологічною лінією виробництва карамелі"

Керівник проекту
асистент

П. С. Пата

Дипломник:
студент групи СУ-91-ШО

О.О. Осадченко

Номер залікової книжки:

Шостка – 2023

РЕФЕРАТ

Осадченко Олександр Олександрович. Система управління технологічної лінії виробництва карамелі. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2023 рік.

Робота містить 1 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 1 рисунків, 1 таблиці, 2 креслень, 1 демонстраційних плакатів.

Робота присвячена розробці систем управління технологічною лінією виробництва карамелі. Автоматизація дозволяє ефективно контролювати та підтримувати технологічні показники протягом всього виробничого процесу, що впливає на якість продукції. Завдячуючи автоматизації, на основних виробничих процесах робота працівників зводиться до налагодження та контролю за приладами системи управління.

Ключові слова: система управління, технологічний процес, регулюючий мікропроцесорний контролер, технологічні показники.

РЕФЕРАТ

Александр Александрович Осадченко. Система управления технологической линией производства карамели. Бакалаврская работа. Шосткинский институт Сумского государственного университета. Шостка, 2023 год.

Работа содержит 1 листов пояснительной записки с учетом 1 рисунков, 1 таблицы, 2 чертежей, 1 демонстрационных плакатов.

Работа посвящена разработке систем управления технологической линией производства карамели. Автоматизация позволяет эффективно контролировать и поддерживать технологические показатели в течение всего производственного процесса, влияющего на качество продукции. Благодаря автоматизации, на основных производственных процессах работа работников сводится к отладке и контролю за приборами системы управления.

Ключевые слова: система управления, технологический процесс, регулирующий процессор, технологические показатели.

ABSTRACT

Oleksandr Oleksandrovych Osadchenko. Management system of the technological line of caramel production. Bachelor work. Shostkin Institute of Sumy State University. Shostka, 2023.

The work contains 1 sheet of explanatory note, including 1 drawing, 1 table, 2 drawings, 1 demonstration poster.

The work is devoted to the development of control systems for the technological line of caramel production. Automation allows you to effectively control and maintain technological indicators throughout the entire production process, which affects the quality of products. Thanks to automation, in the main production processes, the work of employees is reduced to setting up and controlling the devices of the control system.

Keywords: control system, technological process, regulating microprocessor controller, technological indicators.

ЗМІСТ

Список скорочень та умовних позначень

Ошибка! Закладка не определена.

Вступ

Ошибка! Закладка не определена.

1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	5
2 Вибір параметрів технологічного процесу	9
3 Вибір каналів контролю та управління	11
4 Вибір засобів автоматизації	16
5 Розрахункова частина	26
6 Розробка асупт та структурної схеми системи управління	42
Висновок	45
Список використаних джерел	46

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце
АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом
АЦП – аналого-цифровий перетворювач
ВО – виконуючий орган
ВМ – виконуючий механізм
КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика
МУ – мета управління
ОУ – об'єкт управління
П-регулятор – пропорційний регулятор
ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор
ПІД-регулятор – пропорційно – інтегрально -диференційний регулятор
ПЗ – програмне забезпечення
ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом
ПЛК – програмований логічний контролер
ПК – персональний комп'ютер
ППП – пристрій плавного пуску
ПТК – програмно-технічний комплекс
ПЧ – перетворювач частоти
ПУ – пристрій управління
РКІ – рідкокристалічний індикатор
РО – робочий орган
САПР – система автоматизованого проектування
САР – система автоматичного регулювання
САУ – система автоматичного управління
ТО – термоперетворювач опору
ТП – технологічний процес
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач
ЦД – цифровий дисплей
ЦП – центральний процесор
ШІМ – широто-імпульсна модуляція
ПФ – Передаточна функція

ВСТУП

Провідною, стратегічно важливою галуззю економіки України є харчова промисловість. Розвиток виробництва продуктів харчування на пряму впливає на рівень економічного зростання та соціальної стабільності в країні. Завжди актуальним завданням для харчової галузі є забезпечення виготовлення якісної, конкурентоспроможної продукції, що залежить від чіткого дотримання технологічних параметрів (тиск, температура, фізико-хімічні властивості сировини чи продукту, тривалість процесу), технологічного рівня виробництва та контролю якості готової продукції.

Подальше збільшення ефективності роботи підприємств і підвищення продуктивності праці складно собі уявити без засобів автоматичного контролю та регулювання технологічних процесів.

Автоматизація виробництва передбачає впровадження інноваційних технологій та обладнання останнього покоління. За рахунок використання сучасного програмного забезпечення вона дозволяє розраховувати та планувати ресурси, вести оперативний контроль. Автоматизація харчової промисловості дозволяє виконувати більшість трудомістких операцій без залучення персоналу, за допомогою чого знижує відсоток помилок, пов'язаних з людським чинником, а значить і якість готової продукції

У харчовій промисловості доцільно автоматизувати весь виробничий процес підприємства. Це дозволить не тільки підвищити якість продукції, а й збільшити швидкість приймання та переробки сировини та істотно знизити ресурсні витрати. Сучасні автоматизовані лінії з програмним забезпеченням значно скорочують виробничі площі та енерговитрати, що впливає на ціноутворення кінцевого продукту.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Характеристика продукції, сировини та напівфабрикатів.

Карамельна маса широко використовується в кондитерському виробництві при виготовленні цукерок (льодяникова карамель, що виготовляється повністю з карамельної маси, карамельні цукерки з начинкою), у виробництві халви, для виготовлення прикрас для кондитерських виробів.

За фізичними властивостями карамельна маса – аморфна субстанція, що в гарячому вигляді, при 100°С, перебуває у стані в'язкої рідини, при 60 - 65°С - стає більш щільною та пластичною, за такої температури вона може приймати будь яку форму під дією тиску, а під час охолодження нижче 35 - 40°С значно твердіє, стає склоподібною та досить ломкою.

Хімічний склад карамелі являє собою перенасичений розчин сахарози, глюкози, фруктози та інших цукрів. Ці характеристики враховуються в технологічному процесі виробництва. Не можливо отримати якісну карамель простим уварюванням цукру.

Для підтримки аморфного стану карамельної маси тривалий час до цукрового сиропу необхідно додавати речовини, які уповільнюють процес кристалізації цукрів. З цією метою у виробництві карамелі застосовують патоку у такому співвідношенні: на 100 одиниць цукру закладають 50 одиниць патоки. Або для запобігання кристалізації використовують патоку в поєднанні з інвертним сиропом. Таким чином - основною сировиною карамельного виробництва є цукор та патока. Як додаткові компоненти використовують харчові кислоти для запобігання кристалізації, барвники для надання необхідного привабливого кольору, ароматичні та смакові добавки.

Карамельну масу одержують шляхом уварювання водного розчину цукру та анти кристалізатора до залишкової вологості 2 - 4 %.

Кожне виробництво має свої особливості обумовленні специфікою сировини і властивостями кінцевого продукту. Ці параметри необхідно враховувати при плануванні послідовності та параметрів технологічного процесу і виборі АСУ.

Технологічний процес виробництва карамелі не є виключенням. Особливості виробництва карамелі полягають у тому, що карамельна маса є дуже нестійкою субстанцією: цукор прагне прийняти властивий йому кристалічний стан. Друга особливість полягає в тому, що при нагріванні цукрової суміші змінюється хімічний склад сахарози. Після таких змін цукри відрізняються високою гігроскопічністю, що погіршує зовнішній вигляд готового виробу та значно скорочують термін зберігання карамелі. Тому на всіх стадіях технологічного процесу потрібно створити умови, які забезпечують підвищення стійкості карамельної маси. Тому, для скорочення тривалості видалення вологи з технологічного розчину та зниження температури уварювання, карамельну суміш уварюють під вакуумом. Кислоти вмісні харчові добавки вводять після попереднього охолодження маси. Обов'язковою умовою при приготуванні карамелі є охолодження увареної маси в найкоротші терміни, оскільки від швидкості охолодження карамельної маси напряму залежить швидкість кристалізації сахарози, так як при швидкому зниженні температури в'язкість маси значно збільшується.

Готову карамель необхідно захистити (ізолювати) від навколишнього середовища. Поглинаючи вологу з повітря незахищена карамель швидко псується: зволожується, стає липкою, цукри окислюються, карамель втрачає товарний вигляд, технологічні властивості. Для запобігання цьому готову, охолоджену карамель пакують, при цьому використовують вологостійкі пакувальні матеріали.

Стадії технологічного процесу. Виробництво карамелі включає наступні стадії та операції:

- підготовка сировини до виробництва: звільнення від тари та зберігання цукру, патоки, додаткових складових; просіювання сипучих продуктів та фільтрація рідких компонентів, десульфитація, темперування, розчинення;

- приготування карамельного сиропу: дозування цукру-піску, патоки (інвертного сиропу) та питної води, розчинення цукру, змішування з патокою та уварювання рецептурної суміші;

- приготування карамельної маси шляхом уварювання карамельного сиропу під вакуумом;

- обробка карамельної маси: охолодження маси, дозування карамельної маси, кислоти, есенції та барвника, змішування маси з добавками, вирівнювання температури по всьому об'єму маси;

Характеристика комплексів устаткування. Етапи технологічного процесу виробництва карамелі виконуються за допомогою комплексів обладнання для приготування карамельного сиропу. До складу цих комплексів входять ємності для зберігання та пристрої для дозування рецептурних компонентів, змішувачі та варильні апарати.

Провідний комплекс обладнання лінії призначений для приготування карамельної маси, формування та охолодження карамелі. У його складі знаходяться дозатори карамельного сиропу, смакових добавок і барвників, вакуум-апарат, охолоджувальна машина, що темперує, формуюча машини, охолоджувачі.

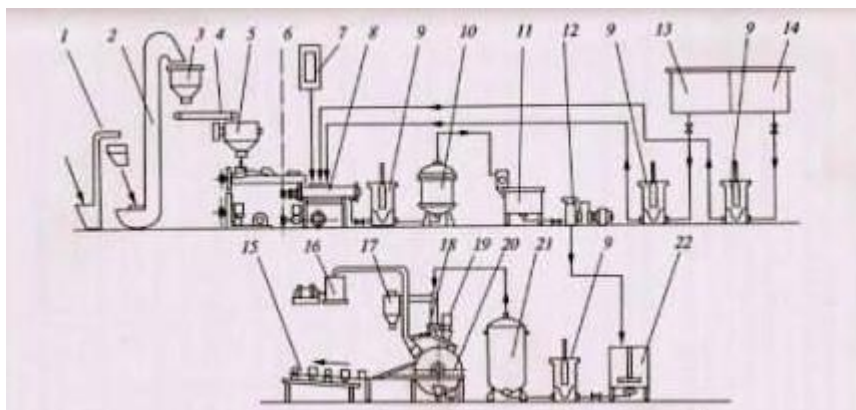


Рисунок 1 - Машинно-апаратурна схема виробництва карамелі

Цукор-пісок, який є основним компонентом при виробництві карамелі, з мішків через решітку з розміром комірки не більше 5 мм завантажується у приймальну воронку просіювача 1 (див. рис. 1). Після очищення від сторонніх домішок ковшовим елеватором 2 він подається в бункер-накопичувач 3, з якого конвеєром стрічковим 4 надходить у дозатор сипучих компонентів 5 або стрічковими вагами подається для приготування сиропу.

Патока та інвертний сироп дозується насосами-дозаторами 9, а вода - об'ємним дозатором 7. Патока і інвертний сироп зберігаються в збірниках 13 і 14. Віддозовані за рецептурою компоненти змішуються в змішувачі безперервної дії 8.

Насос-дозатор 9 подає сироп в варильний змішниковий апарат 10. Уварений сироп з проміжної ємності 11 через стаканчастий фільтр 12 надходить у збірник сиропу 22.

Карамельна маса уварюється в змішниковому варильному апараті 21 і через паровідділювач 17 уварена карамельна маса надходить у вирву 19 охолоджувальної машини 20, з якої виходить безперервною стрічкою певної товщини (2-6 мм) і ширини (від 25 до 28 мм).

2 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Проаналізував процес виробництва карамелі, було виділено ряд параметрів, які мають на нього ключовий вплив.

Для зручності інформацію структуровано у табличний вигляд:

Таблиця 1 – Перелік параметрів технологічного процесу

Параметр	Позиція технологічної схеми	функція	Значення	
			Min	Max
Рівень	Бойлер	Контроль, сигналізація	0,1 м	1 м
Рівень	Бак з патокою	Контроль, сигналізація	0,2 м	2,0 м
Рівень	Бак з інвертним сиропом	Контроль, сигналізація	0,2 м	2,0 м
Рівень	Ємність зберігання	Контроль, сигналізація	0,2 м	2,0 м
Рівень	Збірник сиропу	Контроль, сигналізація	0,2 м	4,0 м
Тиск	Паро-провід	Контроль, сигналізація	0,07МПа	1,6МПа
Тиск	Паро-провід	Контроль, сигналізація	0,07МПа	1,6МПа
Тиск	Паро-провід	Контроль, сигналізація	0,07МПа	1,6МПа

Температура	Бойлер	Контроль, управління	65 °С	70 °С
Температура	Варильний змійниковий апарат	Контроль, управління	125 °С	150 °С
Температура	Вторинна нагріваюча колона	Контроль, управління	110 °С	120 °С

3 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

Узявши данні з попередніх пунктів, зробимо вибір каналів регулювання, контролю та управління.

3.1 Канали контролю і управління

3.1.1 Рівень води у бойлері

З метою запобігання осушення бойлера необхідно контролювати та сигналізувати рівень води в ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.2 Рівень патоки у баці

З метою запобігання осушення ємності необхідно контролювати та сигналізувати рівень патоки в ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.3 Рівень інвертного сиропу у баці

З метою запобігання осушення ємності необхідно контролювати та сигналізувати рівень інвертного сиропу в ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.4 Рівень сировини в проміжній ємності

З метою запобігання переповнення приймальної ємності, також необхідно контролювати та сигналізувати рівень сировини в ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.5 Рівень сировини в збірнику сиропу

З метою запобігання переповнення приймальної ємності, також необхідно контролювати та сигналізувати рівень сировини в ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.6 Тиск на паро-проводі

З метою запобігання аварійних ситуацій на паро-проводі встановлено давач тиску.

3.1.7 Тиск на паро-проводі

З метою запобігання аварійних ситуацій на паро-проводі встановлено давач тиску.

3.1.8 Тиск на паро-проводі

З метою запобігання аварійних ситуацій на паро-проводі встановлено давач тиску.

3.1.9 Температура у бойлері

З метою кращого протікання процесу розчину, необхідно підтримувати відповідну температуру у бойлері. Для підтримки необхідної температури встановлено датчик температури, а на трубопроводі подачі пару встановлено регулюючий клапан.

3.1.10 Температура у варильному змійниковому апараті

З метою протікання процесу сировину, необхідно підтримувати відповідну температуру у варильному змійниковому апараті. Для підтримки необхідної температури встановлено датчик температури, а на трубопроводі подачі пару встановлено регулюючий клапан.

3.1.11 Температура у вторинній нагріваючій колоні

З метою протікання процесу сировину, необхідно підтримувати відповідну температуру у вторинній нагріваючій колоні. Для підтримки необхідної температури встановлено датчик температури, а на трубопроводі подачі пару встановлено регулюючий клапан.

3.2 Контури управління

Зрозумівши перебіг технологічного процесу, його ключові етапи, та фізичні процеси, розробимо контури контролю та управління.

3.2.1 Контур контролю рівня

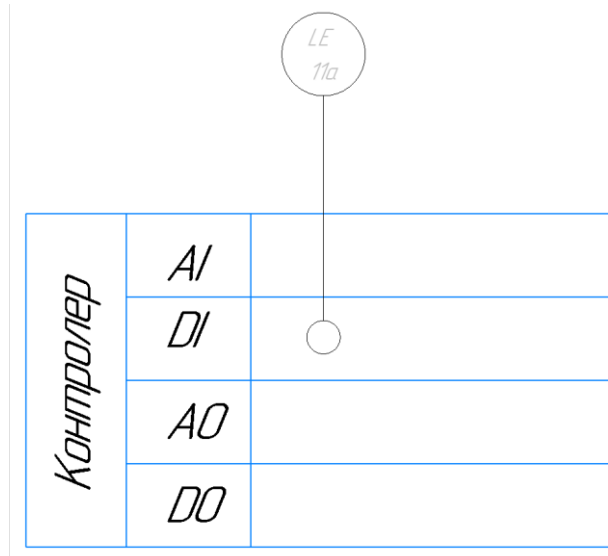


Рисунок 2 -Контур контролю рівня

В цьому контурі використовуємо однорівневий поплавковий давач рівня
ОВЕН ПДУ-1.1.100

3.2.2 Контур контролю тиску

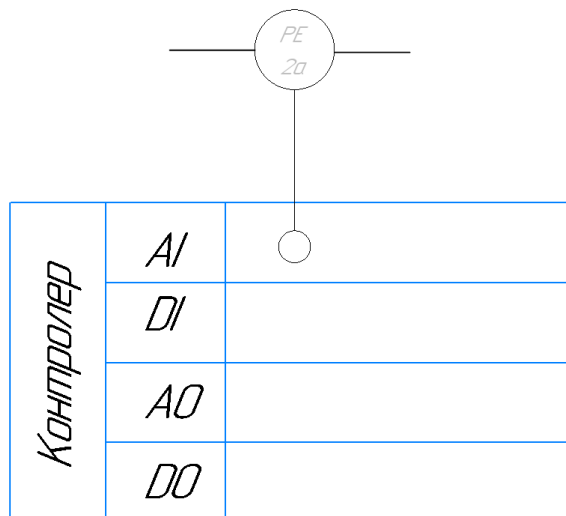


Рисунок 3 - Контур контролю тиску

В цьому контурі використовуємо давач тиску загальнопромисловий
ПД100-ДИ2,5-111-1

3.2.3 Контур управління температури

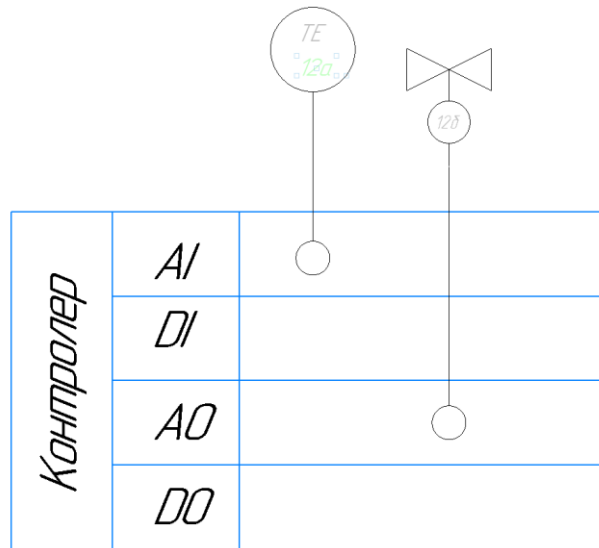


Рисунок 4 - Контур управління температури

В цьому контурі використовуємо мідний термоперетворювач опору ТС(М)-1187-3 градуіровки 100М та електропривода для клапану Belimo NVF24-MFT-E потужністю 3,5 ВА.

3.2.4 Контур управління двигуном

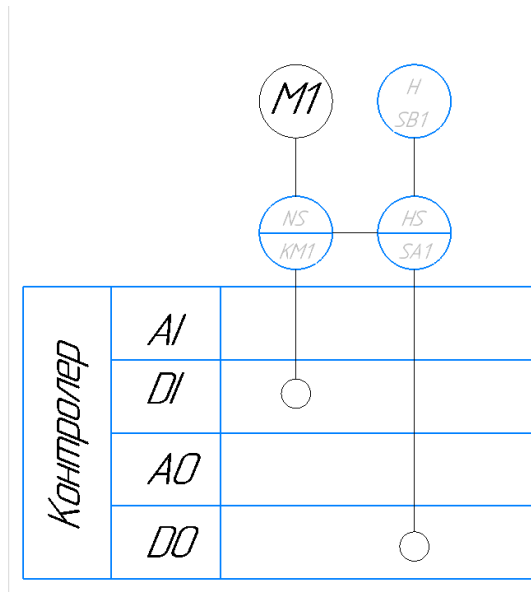


Рисунок 5 - Контур Управління двигуном

В контурах керування двигунами використовуються універсальні перемикачі (типу УП-5311), магнітні пускачі, та кнопки. Кількість комутаційних засобів залежить від кількості двигунів.

4 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для автоматизації лінії виробництва карамелі використовуємо централізовану систему контролю та управління. Виходячи з цього було обрано технічні засоби автоматизації, прилади контролю, індикації та реєстрації.

Основними критеріями відбору технічних засобів автоматизації є надійність та уніфікованість.

Розрахунок робиться на те, що мінімальна кількість технічних засобів забезпечить нормальний, безаварійний режим роботи обладнання.

4.1 Вибір давачів

Відповідно до розглянутих контурів регулювання, контролю та сигналізації для їх реалізації знадобляться давачі тиску, рівня та температури.

4.1.1 Вибір давачів тиску

Давачі тиску розділяють на механічні та електричні що в свою чергу поділяються на підгрупи. Також давачі тиску мають різний захист та призначення до використання в різних середовищах.

В САУ паропроводів використовують давачі захищені від впливу високих температур та корозії води.

Тому розглянемо наступні давачі.

Давач тиску

Давач тиску ПД100-ДИ2,5-111-1 призначені для безперервного перетворення надлишкового тиску хімічно неагресивних по відношенню до матеріалу датчика рідких або газоподібних середовищ уніфікований сигнал 4...20 мА постійного струму.



Рисунок 6 - Зовнішній вигляд давача ПД100-ДИ

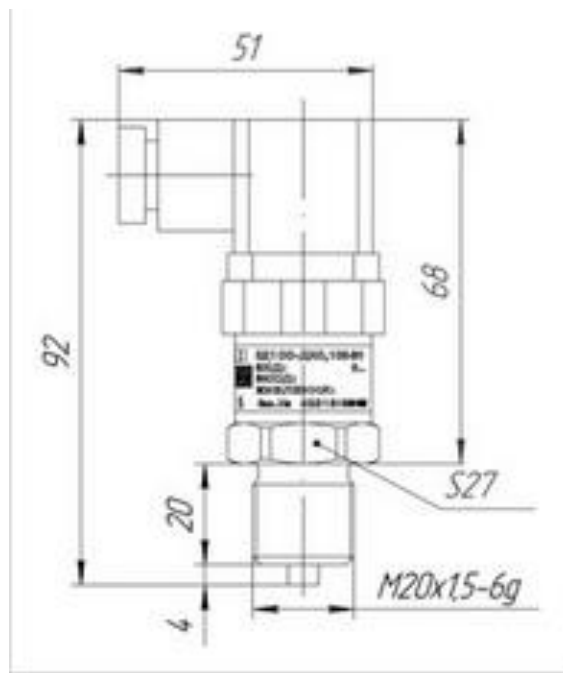


Рисунок 7 - Габаритні розміри давача

Манометр ДМ063

Манометр призначений для неперервного вимірювання тиску. Діаметр манометру 63 мм

- Різьба - M12x1.5
- Клас точності - 2.5
- Ступінь захисту - IP40
- Приєднання – радіальне
- Діапазон вимірювання – 0-2.5 МПа



Рисунок 8 - Манометр ДМ063

4.1.2 Вибір датчиків рівня

Давачів рівня існує декілька видів таких як:

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

Для вирішення поставлених задач потрібен простий та надійний давач. Розглянемо найбільш підходящий давач рівня.

ПДУ одно рівневі поплавкові датчики ОВЕН ПДУ-1.1.100

ОВЕН ПДУ-1.1.100 – це пристрої, призначені для сигналізації граничного рівня рідини у резервуарі. Загальнопромислові виконання датчиків ПДУ виготовляються з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т (арматура) AISI316L (поплавець) і можуть застосовуватися для роботи з будь-якими рідинами, що не проявляють корозійної активності по відношенню до матеріалу датчика і не утворюють вибухових вибухонебезпечних з'єднань.



Рисунок 9- Давач рівня ОВЕН ПДУ-1.1.100

Поплавкові вимикачі підходять для використання в агресивних і в'язких середовищах, що містять різні домішки. Наявність окремих бульбашок або піни в технологічному середовищі не впливає на якість процесу.

За допомогою ПДК можна легко контролювати як порожні, так і переповнені ємності. Поплавкові датчики рівня широко використовуються в харчовій, хімічній, автомобільній промисловості, а також в комунальному господарстві завдяки простоті монтажу, зручності та низькій вартості.

.1.3 Вибір датчиків температури

Давачів температури багато видів. Декілька з них:

- термометри розширення;
- термометри опору;
- термоелектричні термометри;
- пірометри;
- манометричні термометри.

Термометри розширення та манометричні термометри мають невеликі межі вимірювання. До того ж складно передавати сигнал від місця вимірювання до щита оператора.

Пірометри можуть контролювати температуру, але не дають змоги її регулювати. До того ж пірометри зазвичай застосовуються для вимірювання високих температур.

Тому, в якості давачів температури розглянемо наступні прилади.

Термоперетворювач опору мідний ТС(М)-1187-3

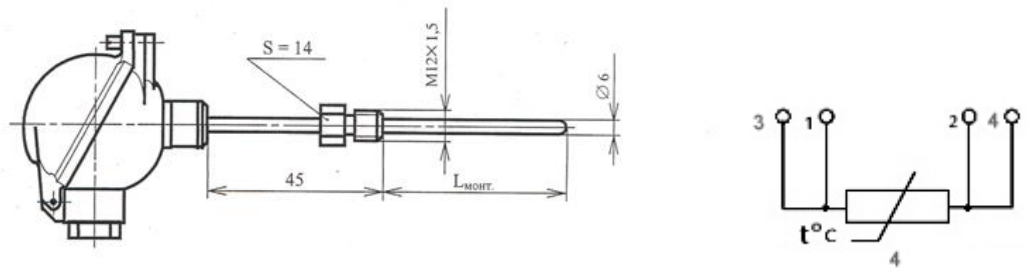


Рисунок 10 – Розміри термоперетворювача ТС(М)-1187-3 і схема з'єднання чутливого елемента

Таблиця 2 - Технічні характеристики ТС(М)-1187-3

Критичний параметр	Значення
Діапазон вимірювання температури, °С	0 ... + 200
Номинальна Статична характеристика перетворення	50М, 100М
Ставлення Опору при 100 °С до опору при 0 °С (W100)	1,391; 1,385
Межа основної абсолютної похибки, °С для класу А для класу В	± [0.15 + 0.002 (t)] ± [0.30 + 0.005 (t)]
Група вібростійкості по ГОСТ 12997	N2
Робочий тиск вимірюваного середовища, МПа модель 1, 2 / модель 3 з гільзою	6,3 / 2,0
Вимірювальний струм не більше, мА для 100П, Pt100 / Pt500	3,0 / 1,0
Вид кліматичного виконання по ГОСТ 15150	У3
Ступінь захищеності від зовнішніх впливів	IP54
Між повірочний інтервал, років	2
Матеріал захисної гільзи	12X18H10T

4.2 Вибір контролера

Цифрові сучасні контролери мають значні переваги якщо порівняти з іншими регуляторами, наприклад аналоговими. Розглянемо переваги:

1.Простота використання, а саме простота алгоритму керування процесом управління.

2. Універсальний у застосуванні для будь яких процесів та об'єктів управління без змін конструкції контролера, що надає їм широкого спектру застосування.

При виборі цифрового контролера для певного виробництва необхідно мати на увазі різні ключові фактори. При урахуванні яких розглядаємо ПЛК різних виробників. В результаті надаємо перевагу найбільш пристосованого до нашого виробництва.

Вивчаючи технологію і процеси автоматизації виробництва карамелі та переглянувши каталоги ПЛК різних виробників було надано перевагу мікро контролерам відомому виробнику надійних, сучасних, технологічних мікро - процесорних контролерів компанії ОВЕН.

ОВЕН виготовляє контролери які можливо використовувати в різноманітних галузях як промислових так і харчових виробництв, це рішення для побудови рентабельних систем управління.

4.2.1 Контролер ОВЕН ПЛК160-220.А-М [М02]

Програмований моноблочних контролерів з дискретними та аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації середніх систем. Застосовуються для побудови розподілених систем керування та систем автоматизації середнього рівня.

4.2.2 Межі застосування ОВЕН ПЛК160-220.А-М [М02]

Контролер призначено для використання у складі різних автоматизованих систем контролю й керування

на промислових підприємствах.

Контролер може керувати:

- виділеними локальними об'єктами;
- локальним об'єктом у складі комплексної інформаційної мережі;
- групою локальних об'єктів у складі комплексної інформаційної мережі.

4.2.3 Конструкція ОВЕН ПЛК160-220.А-М [M02]

Контролер випускається у конструктивному виконанні для кріплення на DIN-рейку 35 мм або на стіну.

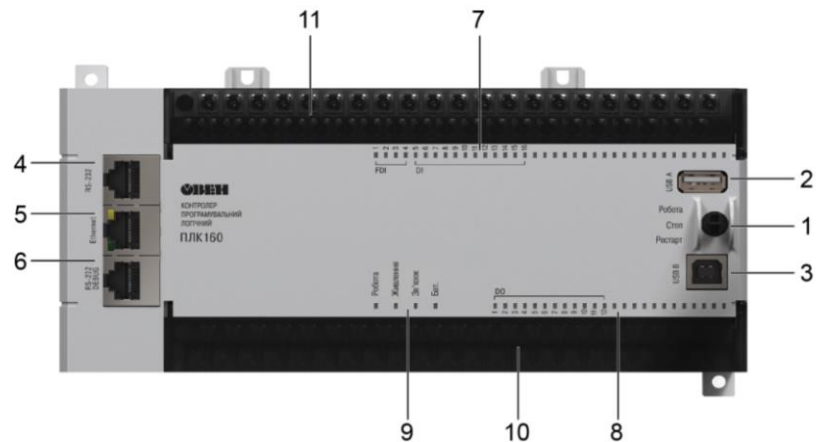


Рисунок 11 – Зовнішній вигляд ПЛК160-220.А-М [M02]

- 1 – Перемикач «Робота/Стоп/Рестарт»
- 2 – USB-Host (Рознімач USB Type-A)
- 3 – USB-Device (Рознімач USB Type-B)
- 4 – RS-232 (Рознімач RJ-45)
- 5 – Ethernet (Рознімач RJ-45)
- 6 – RS-232 Debug (Рознімач RJ-45)
- 7 – Світлодіодні індикатори стану входів

8 – Світлодіодні індикатори стану виходів

9 – Світлодіодні індикатори стану

10, 11 – Знімні клемні колодки

5 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Дослідження процесів керування системами ліній виробництва карамелі є необхідним для їх впровадження у виробництво. З цією метою було розраховано математичну модель САУ.

Математична модель - це сукупність математичних співвідношень, які однозначно описують часову еволюцію технологічного процесу.

Математичний опис вхідних-вихідних параметрів САУ називається математичною моделлю "вхід-вихід".

Об'єкт, в якому знаходиться або створюється модель, називається об'єктом моделювання.

Математичне моделювання полягає в дослідженні характерних властивостей об'єкта керування. Тому сам процес дослідження може бути організований двома способами.

Експериментальні методи дослідження передбачають отримання перехідних процесів і необхідних даних безпосередньо від реального об'єкта.

Аналітичний метод аналізує фізичні закони, що керують технічним процесом, і використовує їх математичний опис.

Ми використовуємо аналітичні методи, оскільки не маємо фізичного доступу до контрольованого об'єкта. Експериментальний метод ми залишаємо для (майбутньої) перевірки правильності та достовірності аналітично отриманих моделей.

5.1 Аналітичний метод отримання математичної моделі об'єкта управління

Процес первинної обробки карамельної суміші для розчину цукру та добавок у воді для подальшого використання сировини у технологічному процесі. Цей технологічний процес необхідний для покращення якості сировини та можливості подальшого варіння сиропу.

Змішення сировини проходить у мішалльному апарату за високої температури ($68^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$) з витримкою 3 хв.

Сучасні змішувальні апарати мають внутрішню автоматику що керує процесом, температурою.

Об'єктом моделювання виступає апарат змішування в якому згідно технології проходить нагрів та змішення усіх компонентів. Температура та тривалість змішування значно впливає на цілісність устаткування та подальший процес виготовлення карамелі.

Визначаємо динамічні характеристики об'єкта, для цього поспостерігаємо за кривою розгону, її змінами при подачі квадратних імпульсів збільшуючи нагрів на 15%.

Умови обов'язкові для зняття показників:

Криві прискорення знімають при зростанні чи спаданні приросту керуючого сигналу. Досліджуючи данні проаналізуємо асиметричний вплив об'єкта. Якщо наявна асиметрія не велика, за правилами слід вирахувати налаштування керуючого приладу, беручі середні показники параметрів передавальної функції. Лінійні асиметрії найчастіше зустрічаються в об'єктах терморегулювання. В проектах стабілізаційних систем, криві розгону досліджують поблизу технічного процесу об'єкта.

При отриманні кривих прискорення амплітуда тестового вхідного сигналу повинна бути достатньо великою, щоб відрізнити криву прискорення від шуму, і в той же час достатньо малою, щоб не заважати нормальному протіканню процесу.

Якщо на виході присутній шум, рекомендується взяти кілька кривих прискорення і накласти їх, щоб отримати усереднену криву.

Коли необхідно зафіксувати криву розгону слід перевести досліджуваний технологічний процес до стабільного стану роботи. Це стосується, наприклад, випадків, коли процес менш чутливий до випадкових зовнішніх збурень, наприклад, під час нічних змін.

Після отримання кривої прискорення слід провести дослідження характеру об'єкта керування (у випадку самостабілізації) визначають параметр передавальної функції.

Перед перенесенням точок перехідної кривої, функція повинна бути безрозмірною (діапазон зміни нормалізованої кривої 0-1).

Розраховуємо ПФ досліджуваного об'єкта.

$$W(S) = \frac{1}{0,3S^3 + 1,2S^2 + 0,6S + 1} \quad (5-1)$$

Функція складається з трьох полюсів:

$$-0.1485 - 0.9371*i; -0.1485 + 0.9371*i; -0.703. \quad (5-2)$$

Часові показники.

САР та її компоненти мають такі перехідні характеристики як перехідна та імпульсна функції. Часова характеристика це – зображення перехідної та імпульсної функцій графічним методом. Часова характеристика представляє процеси, що проходять в режимах динаміки і/або статички.

Перехідна функція $h(t)$ - це функція, яка описує вихідний сигнал, на вхід якого подається певний сигнал з нуля функції. Графік перехідної функції є залежністю функції $h(t)$ від часу t і називається перехідною характеристикою.

Імпульсна функція $\omega(t)$ - це функція, де проводиться залежність імпульсного впливу з нульовими початковими умовами на вихідний сигнал. Графік залежності функції $\omega(t)$ від часу називається імпульсною характеристикою.

Аналітичний метод визначення показників САР, визначається наступним чином. Коли задана передатна функція відома $W(S)$ і відомий сигнал на вході систем або її частин $X(t)$, то сигнал на виході $y(t)$ можливо визначати за наступним прикладом:

$$L\{y(t)\} = L\{x(t)\}W(s) \quad (5-3)$$

Тобто, зображення сигналу на виході $L\{y(t)\}$ є твір ПФ на зображення вхідного сигналу $L\{x(t)\}$. Сигнал $y(t)$ у явному вигляді отримав після переходу від зображення $L\{y(t)\}$ до оригіналу $y(t)$.

Оскільки зображення одиничного ступінчастого впливу одно $\frac{1}{S}$, то зображення перехідної функції визначається співвідношенням:

$$L\{h(t)\} = \frac{W(S)}{S} \quad (5-4)$$

Отже, для перехідної функції необхідно передатну функцію розділити на S і виконувати перехід від зображення до оригіналу.

Зображення одиничного імпульсу дорівнює 1. Тоді зображення імпульсної функції визначається виразом:

$$L\{\omega(t)\} = W(S) \quad (5-5)$$

Таким чином, передавальна функція є зображенням імпульсної функції.

Так як $\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$, то між імпульсною та перехідною функціями існує наступна залежність:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \omega(t) \quad (5-6)$$

Імпульсна та перехідна функції, як і передатна функція, є вичерпними характеристиками системи за нульових початкових умов. За ними можна визначити вихідний сигнал за довільних вхідних впливів.

5.2 Перехідна характеристика

$$L\{h(t)\} = \frac{W(S)}{S}; \quad (5-7)$$

$$h(t) = 3,333 - 0,8697 e^{-0,165t} * \sin(1,041t) + 0,0493 e^{-0,165t} * \cos(1,041t) - 3,3826 e^{-0,2701 t}; \quad (5-8)$$

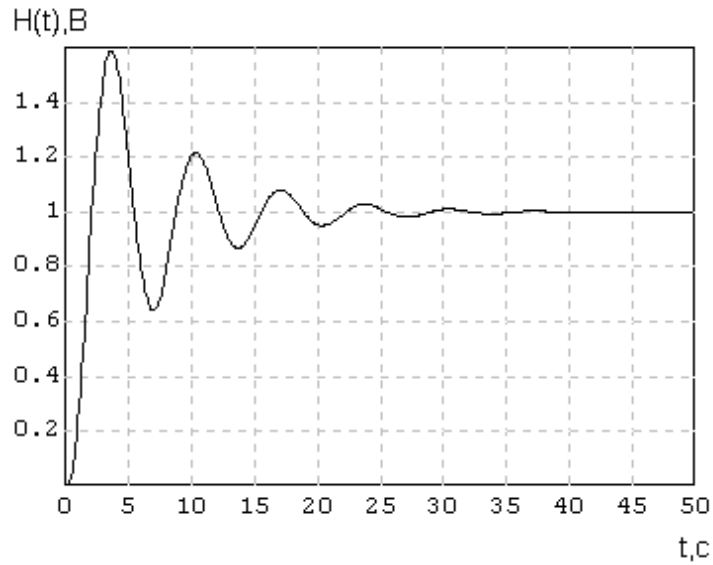


Рисунок 12 – Перехідна характеристика

Висновок: Об'єкт управління стійкий, перехідний процес сходиться, коливається. Є близько 4 коливань.

5.3 Імпульсна характеристика

$$L\{\omega(t)\} = W(S); \quad (5-9)$$

$$\omega(t) = 0,0922 e^{-0,165 t} * \sin(1,041t) - 0,9135 e^{-0,165 t} * \cos(1,041t) + 0,9135 e^{0,2071 t}; \quad (5-$$

10)

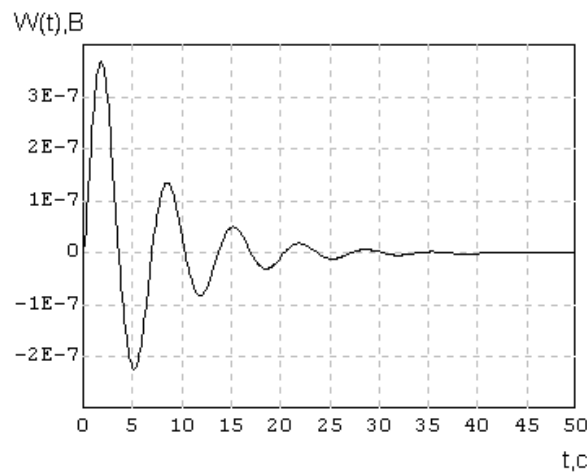


Рисунок 13 – Імпульсна характеристика

Висновок: При різкій зміні рівня вхідного сигналу від 1 до 0 В, вихідний сигнал зменшується до 0 В за час, приблизно дорівнює 36 с, при цьому є близько 4 коливань.

5.4 Частотні характеристики

В разі експлуатації САР часто є необхідність дослідити реакцію системи на певний вид сигналу, тобто сигнал що знімається з виходу об'єкту регулювання, САР при умові надання сигналу гармонічно періодичного типу на вхід до САР. Цю задачу можна розв'язати певним методом, а саме за допомогою частотних характеристик об'єкта регулювання, САР. Частотну характеристику визначають двома методами а саме: експериментальний, аналітичний. При дослідженні системи САР аналітичним методом необхідно дослідити одну з ПФ (керування або збурення) САР. Частотна характеристика також може бути визначена шляхом змішування ПФ з ПФ розімкнутої системи.

Маючи ПФ $W(S)$, частотну ПФ $W(j\omega)$ можна отримати, підставивши комплексний вираз $S = j\omega$, тобто

$$W(j\omega) = A(\omega) + jK(\omega) \quad (5-11),$$

де $A(\omega)$ речова складова, а $K(\omega)$ уявна складова. Частотна ПФ може бути представлена у показовій формі:

$$W(j\omega) = M(\omega)e^{j\cdot\varphi(\omega)} \quad (5-12)$$

В якій $M(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + K^2(\omega)}$ – являє собою модуль; (5-13)

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{K(\omega)}{A(\omega)} \quad \text{— формула аргумент частотної ПФ(5-14)}$$

АЧХ тобто амплітудно-частотна характеристика це - $M(\omega)$ що є функцією яка змінюється при частоті від 0 до ∞ .

ФЧХ тобто фазо частотна характеристика це - $\varphi(\omega)$ що є функцією яка змінюється при частоті від 0 до ∞ .

Частотна ПФ $W(j\omega)$ виражають в комплексній площині. Для такого ПФ кожна частота в діапазоні від 0 до ∞ досліджується як вектор у комплексній площині, після чого будується годограф для цього вектора. Годограф що отримали являє собою шукому амплітудно-фазову частотну характеристику (АФЧХ). З цього слідує що, для частоти вектора M яка є заданою на комплексній площині являє собою модуль і аргумент φ . Модуль - це числове відношення амплітуди вихідного сигналу до амплітуди вхідного сигналу. Аргумент - це зсув фази вихідного сигналу по відношенню до вхідного. При цьому від'ємний зсув фази означає поворот вектора в комплексній площині за годинниковою стрілкою відносно дійсної додатної осі, а додатний зсув фази - навпаки проти годинникової стрілки.

За для того щоб спростити процедуру дослідження процесів в частотній області та графічні вираження АЧХ використовуються такі логарифмічні частотні характеристики як: логарифмічна амплітудна частотна характеристика (л.а.ч.х.) і логарифмічна фазова частотна характеристика (л.ф.ч.х.)

$$W(S) = W(j\omega) = \frac{kT_1}{T_2(j\omega)^3 + T_3(j\omega)^2 + T_4j\omega + 1} = \frac{1}{0,3j\omega^3 + 1,2\omega^2 + 0,6j\omega + 1}; \quad (5-15)$$

$$W(S) = W(j\omega) = \frac{(1 + 1,2\omega^2)}{(1 + 1,2\omega^2)^2 + (0,6\omega - 0,3\omega^3)^2} j \frac{(0,6\omega - 0,3\omega^3)}{(1 + 1,2\omega^2)^2 + (0,6\omega - 0,3\omega^3)^2}; \quad (5-16)$$

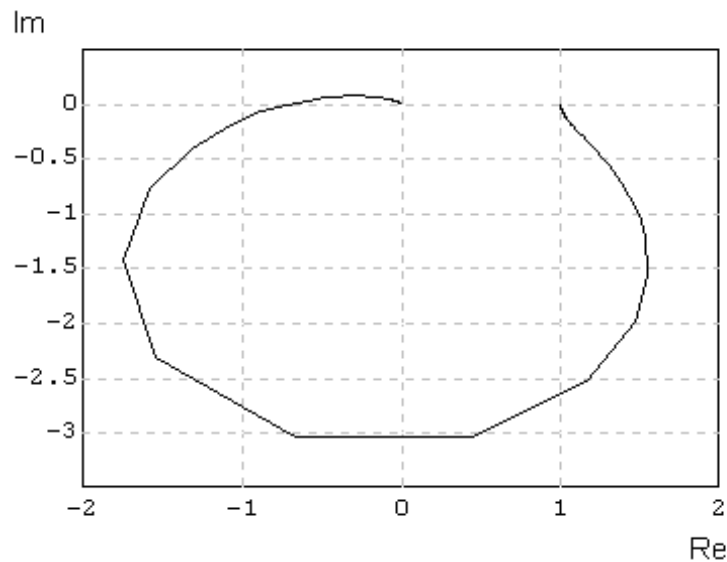


Рисунок 14 – АФЧХ

Висновок: При меншій частоті $0,1 \text{ с}^{-1}$ зсув фази становить 0° . Збільшення частоти від $0,1 \text{ с}^{-1}$ до 1 с^{-1} зсув фази збільшується до -270° . При частоті $1,5 \text{ с}^{-1}$ зсув фази становить -180° .

5.5 Оптимізація параметрів регулювання

Нижче наведено перелік основних кроків.

- Визначте параметри, які необхідно змінити.
- Сформулюйте критерії оптимізації, необхідні для вирішення основної задачі оптимізації;

- Введіть необхідні дані у діалоговому вікні такі як, назви параметрів, що змінюється, межі зміни, похибка розрахунку;

5.6 Тимчасові та частотні характеристики системи

$$W(s) = \frac{0,7736S + 1}{0,2321S^5 + 2,873S^4 + 8,244S^3 + 4,663S^2 + 7,257S + 1} \quad (5-17)$$

$$W_{\text{пошб}} = \frac{0,2321S^5 + 2,873S^4 + 8,244S^3 + 4,663S^2 + 6,483S}{0,2321S^5 + 2,873S^4 + 8,244S^3 + 4,663S^2 + 7,257S + 1} \quad (5-18)$$

$$W(s) = \frac{1 \quad 0,7736S}{0,2321S^5 + 2,873S^4 + 8,244S^3 + 4,663S^2 + 7,257S + 1} \quad (5-19)$$

$$W_p = \frac{0,1542 + 0,1193S}{0,0358S^5 + 0,4432S^4 + 1,272S^3 + 0,7193S^2 + S} \quad (5-20)$$

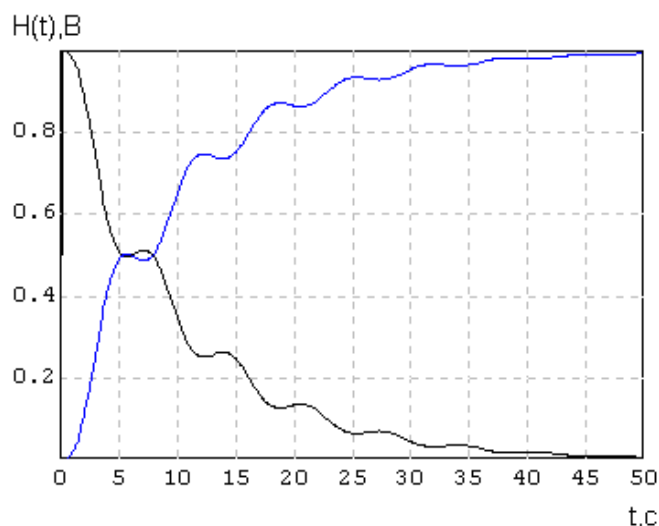


Рисунок 15 – Перехідна характеристика та помилка

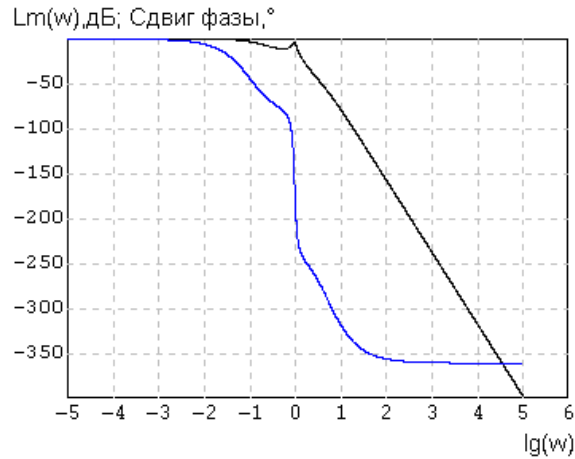


Рисунок 16 – ЛАХ, ФЧХ

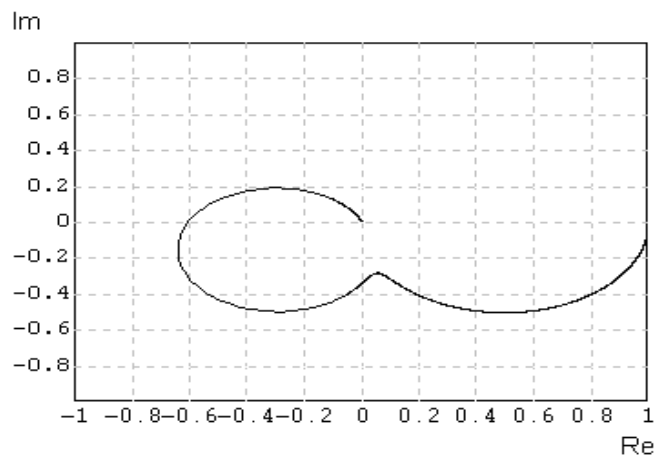


Рисунок 17 – Годограф Найквіста

5.7 Визначення стійкості спроектованої системи управління

Умови стійкості системи.

Стійкість як поняття являє собою одну з найважливіших критеріїв оцінки властивостей в динамічній площині САР; Коли на САР припиняється вплив зовнішніх факторів те як поведе себе САР напряду пов'язане з її стійкістю. Таке поведження системи можливо описати вільними компонентами розв'язків диференціальних рівнянь. Систему можливо назвати стійкою, якщо робочі

параметри досліджуваного об'єкта після припинення впливу зовнішніх факторів будуть прямувати до нуля. З цього можна винести такий висновок - стійкість системи це затухання перехідних явищ.

Якщо вільні складові досягають кінцевого значення або набувають форми гармонічних коливань з постійною амплітудою, система вважається нейтральною. Якщо вільна складова зростає нескінченно або набуває форми гармонічних коливань зі зростаючою амплітудою, система вважається нестійкою.

Стійкість оцінюється за результатами дослідження вільної складової, яка є розв'язком однорідного диференціального рівняння при заданих початкових умовах:

$$(a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_n) y = 0. \quad (5-21)$$

Розв'язок рівняння є сумою доданків, а його форма визначається значенням коренів характеристичного рівняння:

$$a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (5-22)$$

Коли САР представлена у вигляді ПФ, то в ході дослідження стійкості беруть за основу власні оператори (знаменник передаточної функції).

Представив комплексну площину можливо нанести точки являючи собою рівняння характеристик.

Системо вважатимуть стійкою тоді і лише тоді коли на комплексній площині точки що являють собою кореня рівнянь характеристик знаходяться на лівій

частині площини якщо хоч одна точка знаходиться на правій частині то така САР вже не являється стійкою. Якщо є нульові корені або пара чистих уявних коренів, то система вважається нейтральною (на межі між стійкою і нестійкою). Таким чином, уявна вісь комплексної площини є межею стійкості.

Визначення стійкості САР є труд ємним процесом тому для спрощення процесу дослідження системи на стійкість винайшли низку методів що прийнято називати критерії стійкості. Такі критерії поділяють на декілька типів, а саме: алгебраїчні та частотні критерії. Алгебраїчні критерії є аналітичними, а частотні - графоаналітичними. Критерії стійкості дозволяють оцінити вплив параметрів системи на стійкість.

Частотний критерій Найквіста.

Критерій Найквіста дозволяє оцінити рівень стійкості системи за допомогою АФЧХ розімкнутої системи. Частотна характеристика може бути отримана експериментально або аналітично. Аналітична побудова АЧХ виконується за допомогою стандартних методів.

Замкнена система є стійкою тоді коли АЧХ розімкнутої системи не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$ при зміні частоти від 0 до ∞ . Проте коли АЧХ розімкнутої системи перетинає точку з координатами $(-1; j0)$, то система є нейтральною.

Критерій Найквіста дає чітке уявлення про вплив зміни параметрів передавальної функції на стійкість системи.

Оцінка якості регулювання.

На додаток до ремонтпридатності, САР також аналізують з точки зору якості регулювання. Загалом, якість регулювання - це поєднання точності в усталеному режимі та якості перехідних процесів.

Існує два типи якісного оцінювання: пряме і непряме. Такі оцінки можуть бути статичними або динамічними. В свою чергу перехідним процесам відповідають динамічні оцінки, тоді як статичні оцінки відповідають сталим умовам. Прямі оцінки можливо дослідити лише за допомогою перехідних рівнянь характеристики таких каналів як керування або збурення.

Систему можливо назвати стійкою лише тоді, коли коливання затухаючого типу. Допускають не більше 2-3 коливань. Основними прямими показниками є: σ - управління, t_p - час управління, ε - загасання, ω - частота коливань, n - кількість коливань перехідної характеристики за час управління t_p , t_n - час наростання перехідного процесу, t_{max} - час досягнення першого максимального значення.

Різниця між значенням h_{max1} перехідної характеристики та значенням самої характеристики зображено в вигляді відсотків називають пере регулюванням:

$$\sigma = \frac{|h_{уст} - h_{max}|}{h_{уст}} \cdot 100\% \quad (5-23)$$

У багатьох випадках перерегулювання на 10-30% має бути поглинуте.

Для оцінки перехідного процесу використовують час регулювання. В ідеальній системі теоретично можливо створити перехідний процес що буде рівнятися ∞ з цього виходить що часом регулювання називають час інтервалу де різниця не перевищує певної межі q . Загалом q прийнято рахувати як 5%.

Межею допустимого відхилення називають перехідну характеристику що ввійшла до певної межі заздалегідь уписаних значень σ і t_p .

Визначимо коефіцієнт статичності, астатизму:

$$\Delta = \frac{x - y_{уст}}{x} = 1 - W(S) \quad (5-24)$$

Де x - завдання, а $y_{уст}$ - задане значення параметра.

Оцінки якості що наведені у формулі (5-24) є прямими. Окрім прямих ще є непрямі оцінки, такі оцінки мають декілька підвидів, а інтегральна оцінка вважається розповсюдженою. В свою чергу інтегральна оцінка може бути таких видів як: лінійна та квадратична. Число, що являє собою значення інтегральної лінійної оцінки що обмежена різницею $X - Y$. Показник Y беруть з інтервалу часу від 0 до t_p . Рівняння визначення оцінки інтегрально лінійної:

$$J_0 = \int_0^{t_p} (x - y) dt \quad (5-25)$$

Ця оцінка вважається справедливою лише для таких процесів: монотонних переходів без осциляцій.

Інтегральна оцінка другого порядку використовується як для монотонних, так і для осциляційних переходів і визначається наступним співвідношенням:

$$J_0 = \int_0^{t_p} (x - y)^2 dt \quad (5-26)$$

Недолік квадратичної інтегральної оцінки полягає в тому, що різні за характером перехідні процеси можуть мати ту саму величину оцінки.

5.8 Оцінки якості

Час наростання: $t_n = 50\text{с}$

Час регулювання: $t_p = 50\text{с}$

Число коливань під час регулювання: $n = 4$

Час досягнення максимуму: $t_{\max} = 34\text{с}$

$h_{\max} = 0,99\text{В}$

$h_{\min} = 0,6\text{В}$

$$\sigma = \frac{|h_{уст} - h_{\max}|}{h_{уст}} \cdot 100\%$$

$\sigma = 1\%$.

5.9 Стійкість системи

За годографом Найквіста видно, що АФЧХ розімкнутої системи не охоплює точку $(-1; j0)$. Отже, система є стійкою. Запас стійкості за амплітудою становить 4 ДБ. Запас стійкості за фазою становить 166° .

6 РОЗРОБКА АСУТП ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Управління процесом варки сиропу має лінійну динамічну поведінку. Фактори складності процесу впливають на вибір ПЛК.

В якості контролера АСУ ТП було обрано овен ПЛК160[M02].

При проектуванні АСУ ТП розроблювалося процес нагрівання. Нижче зображена структурна схема:

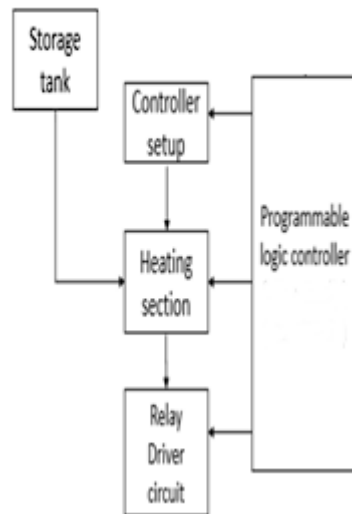


Рисунок 18 - Структурна схема контролера

Верхній рівень проектування АСУ ТП представлено за допомогою SCADA системи

Режим роботи автоматичний:

- Регулювання температури варки сиропу шляхом зменшення або збільшення кількості поданого на об'єкт пару (завдяки електроприводу клапану);
- Реєстрація даних.

В ПК використовується додаткове програмне забезпечення що дає можливість реєструвати та виводити теплові параметри об'єкта дослідження.

Ця програма з'єднується з обладнанням вимірювання, регулювання параметрами. Данні що надходять з устаткування програма компілює в графіки.

Програма автоматично створює файл в який записує зміну показників після чого зберігає їх у вигляді масиву.

Програма має такі функції управління як:

- Керування стартом та стопом регулювання;
- Перезапис встановлених параметрів.



Рисунок 19 – Дисплей програми реєстратора

Всі перераховані вище характеристики автоматизованої системи управління технологічним процесом враховуються при складанні алгоритму запуску варочного апарату:

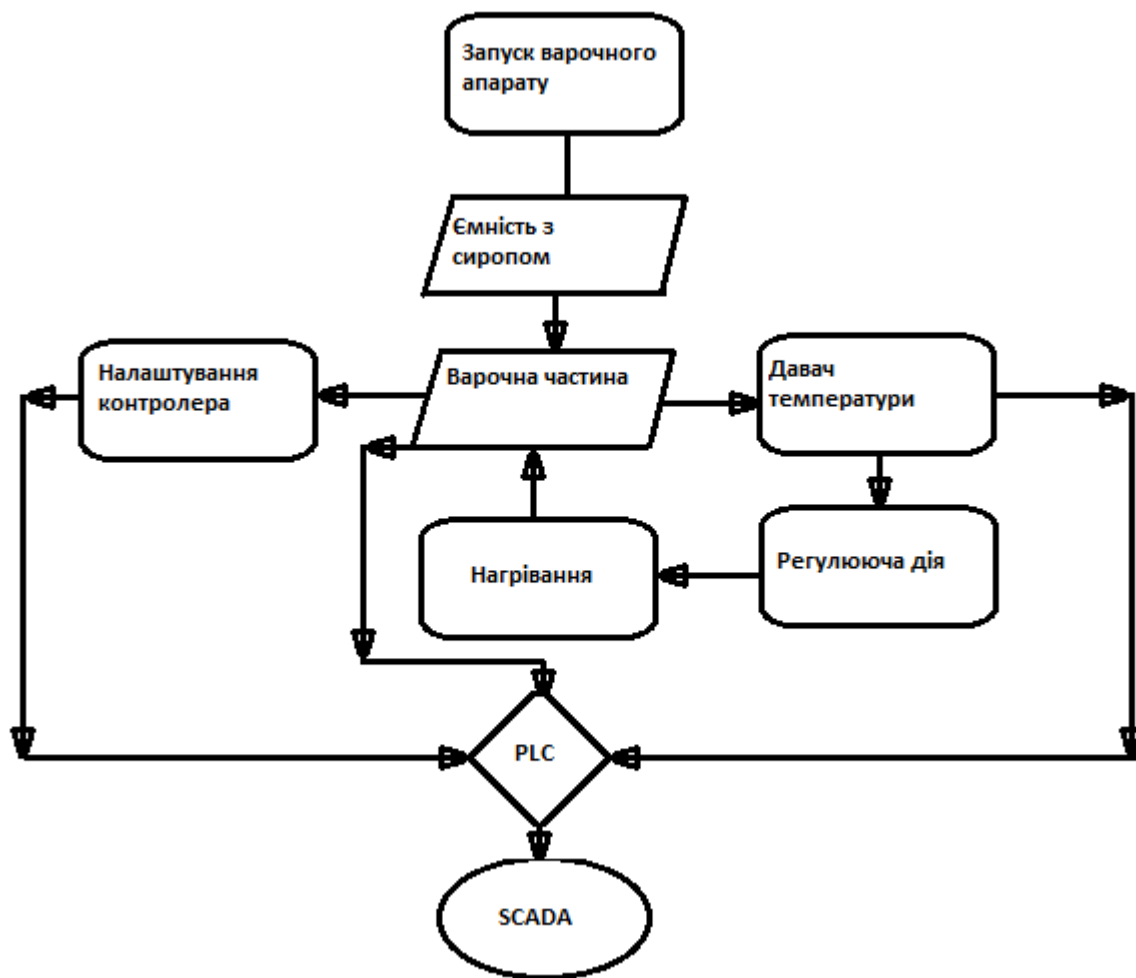


Рисунок 20 – Алгоритм запуску варочного апарату

ВИСНОВКИ

В проекті проаналізовано та вирішено проблеми, що до розробки САУ виробництва карамелі.

Проаналізовано структурну схему процесу та роботу основного обладнання. На основі проведеного аналізу визначено основні параметри технологічного процесу виробництва карамелі, його особливість.

Підготовлено функціональні схеми та схеми автоматизації. Обрано технічні засоби автоматизації, датчики та перетворювачі, виконавчі механізми, сигналізацію, блоки та захист. Проведено розрахунки параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Домарецький В. А. Технологія харчових продуктів: підручник. Київ, 2003. 568 с.
2. Ладанюк А. П. Трегуб В. Г. Ельперін І. В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: підручник. Київ, 2001. 224 с.
3. Перцевий Ф.В. Технологія харчових виробництв: навч. посіб. Харків, 2006. 314 с.
4. Сердюкова О. Я. Автоматика та автоматизація виробничих процесів у харчовій промисловості: навч. посіб. Луганськ, 2012. 91 с.
5. Автоматизація виробничих процесів: навч. посіб. / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова [та ін.]. - Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. – 352 с.
6. Особливості виробництва карамелі URL: <https://baker-group.net/confectionery-formulations-technology-raw-materials-and-ingredients/caramel/features-caramel-production.html> (дата звернення: 15.06.2023)
7. Програмований логічний контролер URL: <https://owen.ua/ru/programmiruemye-logicheskie-kontrollery/plk160-m02-programmiruemyj-logicheskij-kontroller/proektirovschiku-v-pomosch> (дата звернення: 15.06.2023)