

**Міністерство освіти і науки України**

Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Селіванова Олексія Леонідовича  
(ПІБ)

академічної групи 151М-22-1  
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного курування технологічним процесом виробництва маргарину  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Трипутень М.М.			
розділів:				
Теоретичний розділ	доц. Трипутень М.М.			
Експериментальний розділ	доц. Трипутень М.М.			
Цифрове моделювання системи керування	доц. Трипутень М.М.			
Економічна частина				
Охорона праці				
Рецензент				
Нормоконтролер	доц. Трипутень М.М.			

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та  
інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студента Селиванов О.Л. академічної групи 151М-22-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Створення та дослідження системи автоматичного керування технологічним процесом виробництва маргарину,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.09.23 – 07.09.23
Теоретичний розділ	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.09.23 – 15.09.23
Синтез системи	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.09.23 – 01.10.23
Експериментальний розділ	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.10.23 – 01.11.23
Економічний розділ	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та дослідження системи керування	01.11.23 – 15.11.23
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.11.23 – 30.11.23

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

доц. Трипутень М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_

01.09.2023

Дата подання до атестаційної комісії \_\_\_\_\_

30.11.2023

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Селиванов О.Л.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 с., 40 рис., 10 табл., 3 додатків, 11 джерел.

СКРЕБКОВИЙ ХОЛОДОАГЕНТ, МАРГАРИНОВА ЕМУЛЬСІЯ, МАРГАРИН, КОМПРЕСОР, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕДАТНА ФУНКЦІЯ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕЕС, РЕГУЛЯТОР, МОДЕЛЮВАННЯ.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу виробництва маргарину.

Об'єкт дослідження: система автоматичного регулювання процесом виробництва маргарину.

Мета дослідження: вибір структури і розрахунок параметрів регулятора САР по каналу ” тиск маргаринової емульсії на вході - температура маргарину на виході ”.

Основними методами дослідження використаними для досягнення поставленої мети були: аналіз літературних джерел, теоретичні та обчислюванні дослідження, статистичний аналіз даних.

У вступі описано стан питання автоматизації процесу виготовлення маргарину.

У розділі «Стан питання та постановка задачі» наведено характеристику технологічного процесу, описані особливості скребкового холодоагента маргаринової емульсії, розглянуто технологічний процес виготовлення маргарину з позицій задач управління і показані його динамічні властивості.

У розділі «Теоретична частина» виконано дослідження стійкості САР процесом виготовлення маргарину. Розраховано області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного регулювання. Виконано зниження порядку моделі технологічного процесу. Розглянуто методики вибору структури і визначення параметрів ПД-регулятора. Обґрунтований вибір та визначені параметри регуляторів.

У розділі «Експериментальний розділ» на основі обчислювального експерименту підтверджено результати аналітичних розрахунків. Виконано уточнення параметрів ПД-регулятора САР процесом виготовлення маргарину.

Розроблено людино-машинний інтерфейс управління процесом флотації для емулятора на базі програмованого логічного контролера VIPA System 200 V і програмного забезпечення HMI/SCADA системи Zenon Supervisor 7/0. Підтверджена ефективність вибраного регулятора на емуляторі.

Результати досліджень можуть бути використані при розробці САР процесом виготовлення маргарину.

Виконані економічні розрахунки щодо ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.

Розроблені і обґрунтовані заходи з безпеки праці, протипожежної безпеки та виконані необхідні оціночні розрахунки з безпеки праці та пожежної безпеки.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	11
1.1 Особливості виробництва і споживання готової продукції	11
1.2 Технологічний процес	12
1.2.1 Підготовка рідкої фази масла і емульгатора	16
1.2.2 Підготовка водної фази	17
1.2.3 Отримання емульсії	17
1.2.4 Пастеризація	18
1.2.5 Кристалізація	19
1.2.6 Переробки відходів	20
1.3 Об'єкт керування	20
1.3.1 Скребковий холодоагент маргаринової емульсії	20
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	21
1.3.3 Структура об'єкту керування	22
1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування	22
1.4 Апаратне забезпечення системи керування	23
1.4.1 Структурна схема	23
1.4.2 Функціональна схема автоматизації	26
1.4.3 Схема електрична принципова	27
1.5 Формулювання завдань дослідження	29
2 Теоретичний розділ	30
2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання	30
2.2 Визначення точності САР	33
2.3 Методи регулювання об'єктами з запізненням	35
2.4 Розрахунок ПІД-регулятора	38
2.5 Висновки до розділу	42
3 Експериментальний розділ	43
3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора	43

	6
3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ПД-регулятором	44
3.2.1 Перевірка періоду коливань в САР	44
3.2.2 Дослідження САР з ПД-регулятором	45
3.3 Визначення експериментальної залежності часу регулювання від коефіцієнта інтегрування ПД-регулятора	49
3.4 Висновки до розділу	50
4. Цифрове моделювання системи керування	51
4.1 Цифрова модель системи керування	51
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	54
4.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу	56
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	59
4.5 Висновки до розділу	60
5 Економічна частина	61
5.1 Доцільність розробки САК	61
5.2 Капітальні витрати для САК	62
5.3 Експлуатаційні витрати	63
5.4 Оцінка економічної ефективності проекту	65
5.5 Висновки до розділу	65
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	66
6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виробництві маргарину	66
6.2 Інженерно-технічні заходи щодо нормалізації умов праці при виробництві маргарину	67
6.2.1 Розрахунок оцінки ризиків професійного захворювання від шуму	68
6.2.2 Розрахунок оцінки ризику отримання теплового удару протягом робочого часу в цеху виробництва маргарину	69
6.2.3 Розрахунок оцінки втомлюваності працівників при вологості в цеху виробництва маргарину	70
6.2.4 Розрахунок загазованості в цеху виробництва маргарину	71
6.3 Протипожежні заходи	72
6.3.1 Пожежна профілактика	72

	7
6.3.2 Поводження з горючими матеріалами	73
6.3.3 Розрахункова частина	74
6.6 Висновки до розділу	77
Висновки	78
Список літератури	80
Додаток А. ПЗ САР	82
Додаток Б ПЗ САР	86
Додаток В ПЗ НМІ	89
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	93

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Жорсткі вимоги споживачів до смакових якостей харчових продуктів та напоїв спонукають науковців та виробників до створення сучасного напрямку в промисловості – розробки нових видів комбінованих харчових продуктів з пониженим вмістом жиру, цукру і підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

До групи харчових жирів входять природні жири рослинного походження (різноманітні олії, масла), природні жири тваринного походження (топлені жири наземних тварин, птиці та жири морських тварин і риб) і штучні жири (маргарин, спреди, мінарини, жирові суміші, кулінарні, кондитерські та хлібопекарські жири). Особливістю більшості харчових жирів, перш за все, природного походження, є досить простий хімічний склад. Основним компонентом цих жирів є тригліцериди (ефіри триатомного спирту гліцерину та жирних кислот). Ці жири містять мало води (від 0,15 до 1,0 %), практично не містять білків і вуглеводів, деякі з них мають у своєму складі невелику кількість барвних речовин (олії, яловичий, баранячий топлени жири). Винятком з цього правила є маргаринова продукція, основні представники якої мають більш різноманітний хімічний склад, завдяки тому, що виготовляються з суміші різних компонентів за певними рецептурами.

Однією з важливіших галузей в харчовій та переробній промисловості є олійна-жирова. Вона забезпечує населення рослинними оліями, а також важливими продуктами їх переробки, як маргарини, майонези, гліцерин і жирні кислоти, мила, фосфатиди, модифіковані жири і багато іншої продукції. Маргарини є одним з перспективних продуктів харчування. Їх використовують для виготовлення овочевих, рибних та м'ясних страв у домашній кулінарії та ресторанах, а також для готування бутербродів та десертів.

Розвиток підприємств по виробництву маргаринової продукції відбувається, в основному, за рахунок розширення асортименту маргарину, покращення його якості.



Вдосконалення технологічної лінії виробництва маргарину, розробка нового обладнання та розробка сучасних систем керування цим обладнанням в першу чергу направлено для покращення якості і кількості готової продукції.

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу виробництва маргарину за рахунок створення системи автоматичного регулювання температурою маргарину виході. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація відхилень поточних значень температури від заданого значення в динамічному сенсі.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлені і вирішені такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою маргарину на виході;

- проведений синтез системи автоматичного керування температурою маргарину на виході з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості протікання перехідних процесів на виході системи, та здійснені дослідження оцінок показників якості перехідних процесів від параметрів регулятора.

**Об'єкт дослідження** – система автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину.

**Предмет дослідження** – закони та алгоритми автоматичного керування процесом виготовлення маргарину.

**Методи дослідження.** Для дослідження системи автоматичного керування процесом виготовлення маргарину використані методи теорії автоматичного керування та моделювання. Експериментальні дослідження (моделювання) проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

- визначені умови стійкості та критичний час запізнення системи автоматичного регулювання без коригувального пристрою;

- обґрунтовано тип та синтезовано ПД-регулятор системи автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину;

- показано вплив пропорційної, інтегральної та диференціальної частин ПД-регулятора на якість перехідного процесу на виході об'єкту керування;

- визначені найкращі значення уставок ПД-регулятора системи автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину.

**Наукове положення** – мінімум часу регулювання в САР процесом виготовлення маргарину досягається використанням пропорційної, інтегральної та диференціальної частин ПД-регулятора.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Особливості виробництва і споживання готової продукції

Провідними процесами у виробництві маргарину є дисперсія рецептурних компонентів, переохолодження і кристалізація емульсії типу «вода в жирі». Інтенсивна дисперсія проводиться до розміру частинок 6...15 мкм. В результаті різкого охолодження емульсії і інтенсивної механічної обробки тонкого охолодженого шару виробу відбуваються складні процеси кристалізації і перекристалізації триацилгліцеролів - жирова основа маргарину, що визначає найважливіші показники якості готового продукту - консистенцію, пластичність і температуру плавлення.

У зв'язку зі зростанням споживання маргаринових продуктів важливим завданням є поліпшення його асортименту і якості. Органолептичні параметри маргарину повинні бути такими, щоб цей продукт можна було широко використовувати в якості сендвіч-масла. Дослідження показали, що вирішення цієї проблеми може бути досягнуто шляхом виробництва сипучих маргаринів.



Рисунок 1.1 – Маргарин

Тенденція до значного збільшення виробництва м'яких маргаринів, розфасованих в коробки з полімерними матеріалами, добре помітна у всіх промислово розвинених країнах. Частка таких маргаринів становить від 70 до 90 % від загального обсягу виробництва столових маргаринів. Також виробляються дієтичні м'які бутербродні маргарини, до складу жиркової основи яких (до 50 %) входять гліцериди фізіологічно активної лінолеєвої кислоти.

В останні роки вимоги до сендвіч-масел були підвищені за кордоном. Основна вимога - легке поширення при використанні безпосередньо з холодильника (10 °С) і збереження твердості при кімнатній температурі (20 °С).

Такі розлогі столові масла (жирові пасти) називаються спредами. Їх можна зробити на основі молочного жиру або не містити його. Жирність спредів коливається від 20 до 95 %, в основному 20...40%, що вимагає введення спеціальних загусників (мальто-декстринів, желатину і т.д.)

Маргарини випускаються як в дрібній упаковці - в упаковках вагою 200, 250 і 500 г, так і у великих (монолітних) - в ящиках до 25 кг [6].

## **1.2 Технологічний процес**

Технологія твердих маргаринів передбачає здійснення наступних процесів:

- дозування;
  - змішування з виробництвом грубої емульсії;
  - переохолодження в поєднанні з механічною обробкою (в діапазоні температур, близьких до точки заливки жирової основи маргарину);
  - структурування в кристалізаторах з утворенням маргарину;
- упаковка в споживчу та транспортну тару.

Технологія м'яких (об'ємних) маргаринів заснована на наступних процесах:

- отримання емульсії (для нежирних маргаринів передбачена двоступенева емульгація);
- пастеризація емульсії;
- переохолодження емульсії з одночасною обробкою;
- пластифікація шляхом декристалізації;
- кристалізація переохолодженої емульсії;
- упаковка в споживчу та транспортну тару.

Початковий етап технологічного процесу виробництва маргарину здійснюється за допомогою автоматичних ваг, оснащених резервуарами для дозування, а також дозувальних насосів (безклапанних і безклапанних).

Наступний комплекс лінії складається з вертикальних циліндричних змішувачів спеціальної конструкції. Необхідна температура нагріву емульсії підтримується парово-водяною сумішшю, що подається в «сорочку».

Провідний комплекс лінійки складається з обладнання для переохолодження, яке складається з декількох однакових циліндрів теплообмінників, що працюють послідовно, а також кристалізаторів, до складу яких входять фільтрові гомогенізатори, і декількох циліндричних секцій, з'єднаних послідовно на фланцях.

Кінцевий комплекс обладнання лінійки містить машини: упаковку, для відкриття коробки, укладання в неї пачок маргарину і обгортання коробок з виробами, які з'єднані між собою конвеєрами.

На рис. 1.2 показано технологічну схему виробничої лінії маргарину.

При отриманні маргарину рафіновані жири дозуються в резервуар 14, встановлений на вагах. Емульгатор з бака 9 також дозований в ньому насосом 10 і масло-розчинними добавками (барвником, ароматизатором) з бака 11 насосом 12. Молоко подається з бака 6 насосом 5, вода з резервуара 3 - насосом 4, сольовий розчин з бака 1 - насосом 2, водорозчинні добавки (цукор і т.д.) з ємності 7 перекачуються насосом 8 в ємність 15, встановлену на вагах.

Підвісні компоненти насосами 13 і 16 спрямовані на перші два змішувачі 11. Отримана суміш рециркулюється за допомогою насоса-емульгатора 18 протягом 15 хв. Температура в змішувачах встановлюється в залежності від фізичних властивостей жирів. Насос-емульгатор 18 є плунжерним насосом високого тиску зі спеціальним гомогенізуючим клапаном. Він має діафрагму з невеликим отвором, через який натискається рецептурна суміш, що надходить в міксер 17. В результаті обробки в насосі-емульгаторі 18 відбувається дисперсія жирових глобул, завдяки чому груба емульсія перетворюється в тонку.

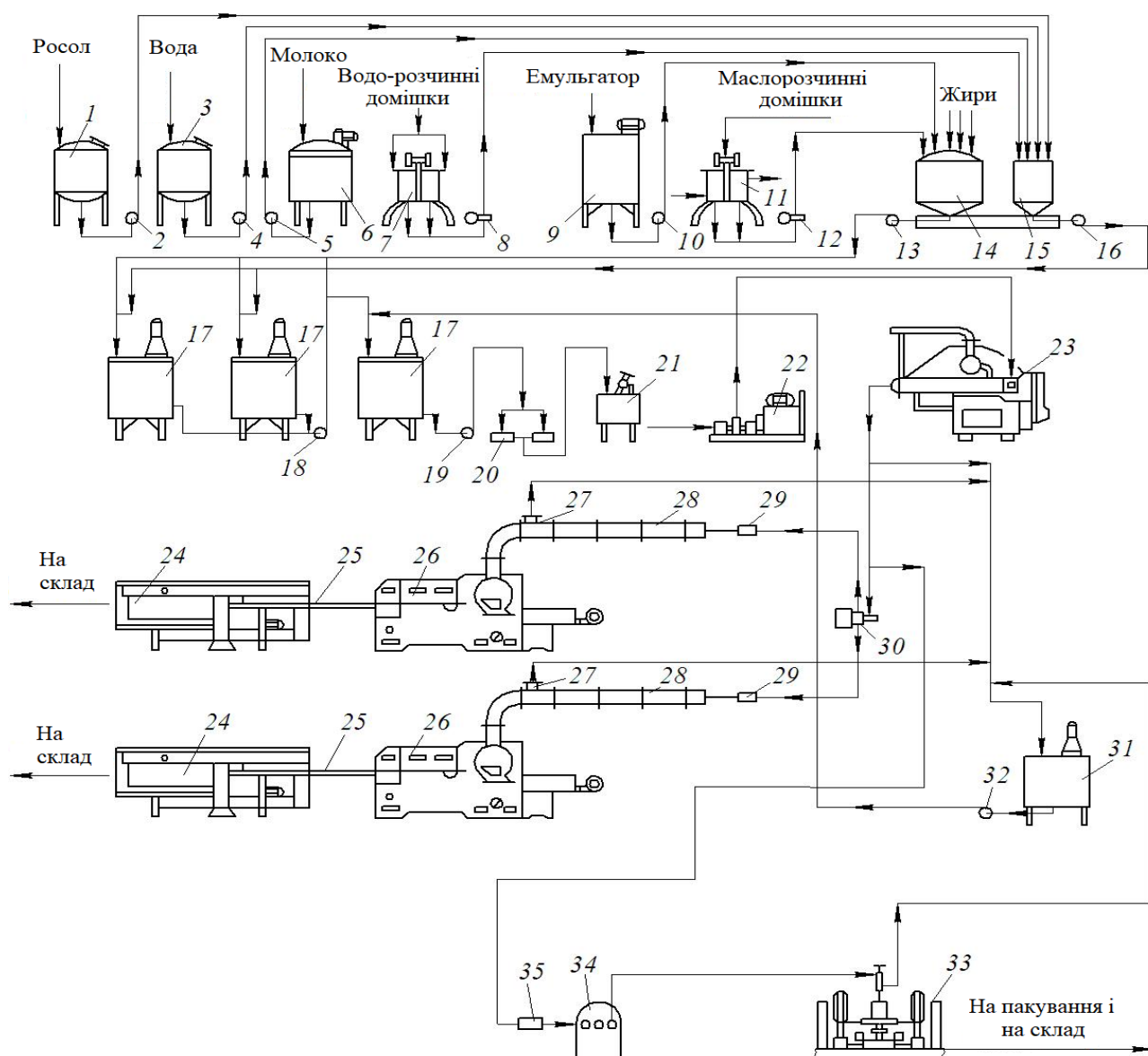


Рисунок 1.2 – Технологічна схему виробничої лінії маргарину

Отримана тонка емульсія емульгаторним насосом 18 направляється на третій змішувач 17. Звідси насос 19 передає його через подвійний фільтр 20 в бак вирівнювання 21. Емульсія передається на чотирициліндровий холодоагент 23 за допомогою насоса високого тиску 22. У початковий період роботи лінії, коли стабільний режим ще не встановлений, емульсія маргарину з переохолодження 23 відправляється в зворотний бак 31.

Холодоагент (вотатор) 23 є одним з основних пристроїв для отримання маргаринових виробів і призначений для формування пластичної конструкції виробу в результаті тонкої емульгування, охолодження і механічної обробки маргаринової емульсії. Циліндри холодоагенту виготовлені з нержавіючої сталі

і оснащені «сорочками» для холодоагенту (рідкого аміаку). Усередині кожного циліндра є обертовий барабан (швидкість обертання  $500 \text{ хв}^{-1}$ ), на поверхню якого встановлюються ножі-скребки. Коли барабан обертається, вони знімають і перемішують шар емульсії, який зависає в проміжку між стінками циліндра і барабана.

Під час роботи холодоагенту 23 тиск емульсії 1,5...3,5 МПа. Температура емульсії на вході до холодоагенту становить 38...40 °С, на виході 10...13 °С і залежить від складу жирового набору і режиму охолодження. Потоки емульсії, що виходять з холодоагенту, розподіляються в залежності від способу упаковки і продуктивності пакувального обладнання.

При дрібно-роздрібному варіанті упаковки виробів, охолоджена емульсія через розподільчі пристрої 30 і фільтр-структуратори 29 подається в кристалізатори 28. В останній емульсія перетворюється в ущільнену пластикову масу маргарину, яка подається в машину 26 для упаковки маргаринових брикетів в пачки пергаменту. Далі ці пакети передаються конвеєрами 25 на машини 24 для пакування в коробки. Надлишок продукту скидається через компенсуючий пристрій 27 в зворотний бак 31, звідки розплавлена емульсія перекачується насосом 32 в третій змішувач 17. При виробництві маргарину в блоках, упакованих в коробки, переохолоджена емульсія, минаючи розподільний пристрій, надходить в декристалізатор 34 через фільтр 35, надходить в декристалізатор 34, при якому в результаті виділення прихованого тепла температура маргарину підвищується на 2...3 °С.

З декристалізатора 34 маргарин відправляється в машину 33 для заповнення і зважування коробок. Ящики з виробом передаються конвеєром в обгорткову машину, а потім на склад готового виробу [6].

Взагалі процес виробництва маргарину складається з п'яти етапів: приготування фази рідкого масла і емульгатора; підготовка водної фази; отримання емульсії; пастеризація; Кристалізації. Будь-який надлишок повертається для переробки в змішувальний бак через спеціальний постійно діючий блок.

### 1.2.1 Підготовка рідкої фази масла і емульгатора

Насос постачає рідке масло, мастило або суміш масел, які знаходяться в системі резервуара через фільтр, в пластинчастий теплообмінник, де охолодження зазвичай відбувається до 50 °С або до температури набагато вище температури каламутності. Дозування масла відбувається в додатковому резервуарі, нагрітому водою, який подається з блоку гарячої води. Щоб відповідати правильному рецепту масла, цей резервуар для емульсії розташований над датчиком падіння тиску. Суміш компонентів готується відповідно до рецептури.

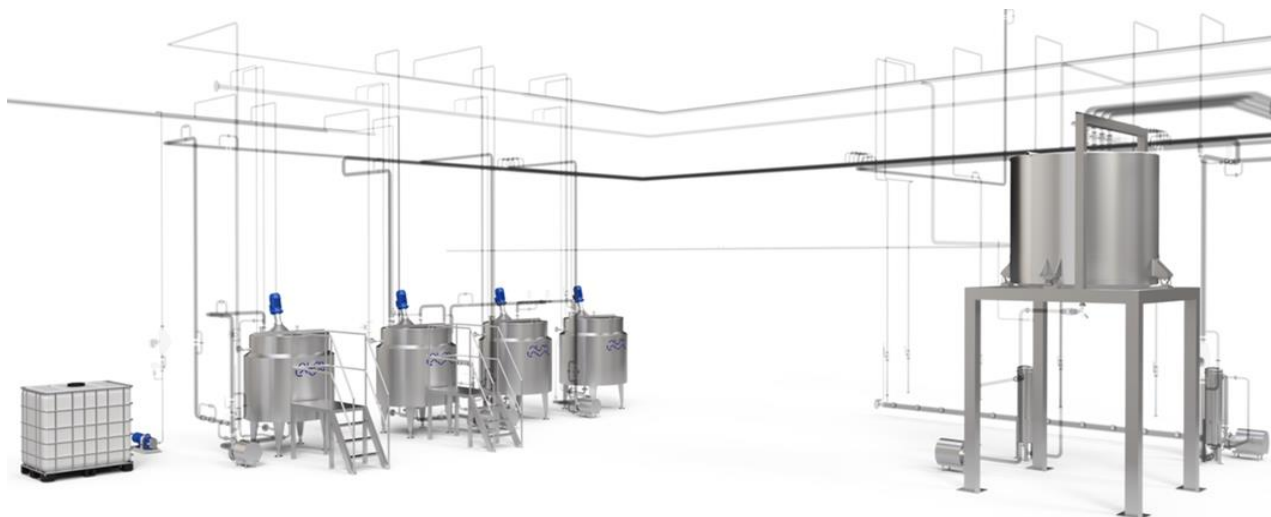


Рисунок 1.2 – Технологічне обладнання підготовки рідкої фази масла і емульгатора

При нагріванні масла приблизно до 70 °С. емульгатори, такі як лецитин або моно- і дигліцериди (зазвичай у вигляді порошку) вручну додаються в нього над решіткою труби з гарячою водою. Щоб оператору було легше виміряти потрібну кількість емульгатора на тертці, для подачі порошку за допомогою шнекового конвеєра можуть знадобитися спеціальні інструменти. Інші масляно-розчинні інгредієнти, такі як барвники та смакові добавки, також можуть бути додані [7].



### 1.2.2 Підготовка водної фази

Для отримання різних сумішей на основі водної фази поставляються дві ізолювані ємності. За допомогою витратоміра в ємність вимірюється потрібна кількість води, яка потім нагрівається до 45 °С.



Рисунок 1.3 – Технологічне обладнання підготовки водної фази

Для додавання в ємність використовується спеціальний порошковий змішувач - сіль, лимонна кислота, гідроколоїди або сухе знежирене молоко. Інші інгредієнти, включаючи цукор і розчинні ароматизатори, додаються в ємність для емульсії вручну [7].

### 1.2.3 Отримання емульсії

Емульсія виходить шляхом додавання необхідної кількості масел і жирів, суміші емульгаторів і водної фази в заданій послідовності.

Змішування масляних і водних фаз відбувається в ємності для емульсії, яку ще називають резервуаром для підзарядки. Тут можна вручну додавати інші інгредієнти, такі як смакові добавки, ароматизатори та барвники. Насос подає отриману емульсію в резервуар для подачі.

На даному етапі процесу може використовуватися спеціальне обладнання, наприклад, змішувач з високою силою зсуву. Вона дозволяє отримати дуже

дрібно дисперсну, однорідну і міцну емульсію з хорошим контактом між маслом і водними фазами.



Рисунок 1.4 – Технологічне обладнання отримання емульсії

З такої дрібно дисперсної емульсії вийде якісний маргарин, який має хорошу пластичність, консистенцію і структуру. Після цього насос постачає емульсію в зону пастеризації [7].

#### **1.2.4 Пастеризація**

Пастеризація проводиться в пастеризаційному блоці, який кріпиться на опорах і входить до складу системи. Для пастеризації насос перекачує емульсію через ситечко в пластинчастий теплообмінник. Інший насос циркулює гарячою водою через пластинчастий теплообмінник.

Пастеризація відбувається при температурі від 80 °С до 85 °С. Весь процес займає близько 14 с.



Рисунок 1.5 – Технологічне обладнання пастеризації [7]

Нагрівання емульсії перешкоджає розмноженню бактерій та інших мікроорганізмів, а також підвищує стійкість емульсії. Потім, як правило, при температурі 45...50 °С емульсія залишає пастеризатор.

### **1.2.5 Кристалізація**

Насос високого тиску перекачує емульсію в подряпини поверхневого теплообмінника високого тиску (SSHE), який налаштований на врахування швидкості потоку та рецептури продукту. Теплообмінник може використовувати всілякі охолоджувальні трубки різних розмірів і різних охолоджуючих поверхонь. Кожен циліндр має незалежну систему охолодження, до якої безпосередньо подається холодоагент R717. Всі циліндри з'єднуються один з одним системою труб. Датчики температури на кожній виході забезпечують необхідне охолодження. Максимальний холодоагент аміаку – 120 бар.

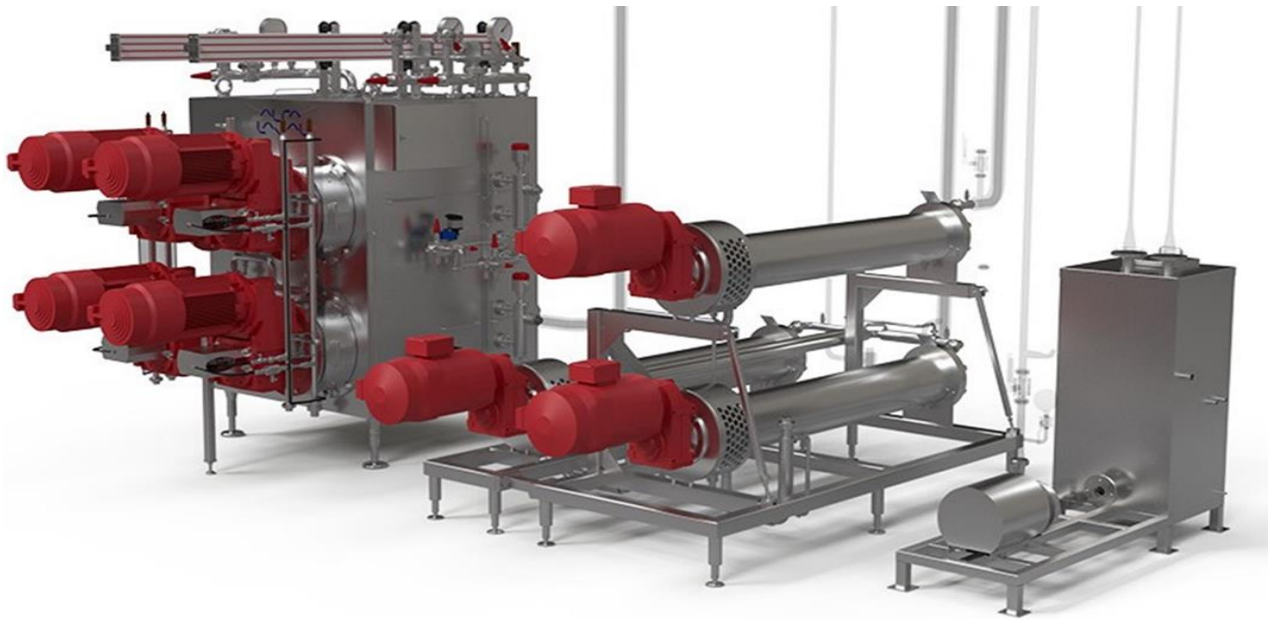


Рисунок 1.6 – Технологічне обладнання з кристалізації

Залежно від рецептури і призначення емульсія проходить через один або кілька робочих резервуарів перед входом в пакувальний блок. У робочих ємностях досягається необхідна пластичність, консистенція і структура готового виробу [7].

### **1.2.6 Переробки відходів**

Постійно діючий рециркуляційний блок призначений для повторного розплавлення всіх продуктів, що залишилися, які потім потрапляють не в пакувальну машину, а в робочий резервуар, щоб знову пройти технологічний процес. При цьому завдяки цій процедурі пакувальна машина не піддається небажаному тиску спини. Описана повна система включає теплообмінник, схему рециркуляції води, циркуляційний насос і водонагрівач. Крім того, в системі міститься роторний лопатковий насос з нагрітим корпусом для переміщення маргарину з переплавки агрегату [7].

## **1.3 Об'єкт керування**

### **1.3.1 Скребковий холодоагент маргаринової емульсії**

Холодоагент (або, вотатор, скребковий холодоагент маргаринової емульсії) є одним з основних пристроїв для отримання маргаринових виробів і

призначений для формування пластичної конструкції виробу в результаті тонкої емульгування, охолодження і механічної обробки маргаринової емульсії.

Циліндри холодоагенту виготовлені з нержавіючої сталі і оснащені «сорочками» для холодоагенту (рідкого аміаку). Усередині кожного циліндра є обертовий барабан, на поверхню якого встановлюються ножі-скребки. Коли барабан обертається, вони знімають і перемішують шар емульсії, який зависає в проміжку між стінками циліндра і барабана.

Під дією холодоагенту температура емульсії знижується. Кінцева температура її залежить від складу жирового набору і технологічного режиму охолодження.

Таким чином в якості об'єкту керування для якого треба створити систему автоматичного керування обрано технологічне обладнання типу скребковий холодоагент маргаринової емульсії – вотатор.

### 1.3.2 Характеристика об'єкта керування

Вотатор (скребковий холодоагент маргаринової емульсії) ЛМСО-33 призначений для виробництва маргарину методом переохолодження маргаринової емульсії.

Таблиця 1.1 – Специфікація вотатору ЛМСО-33

Продуктивність у виробництві маргарину, кг/год	3 300
Режим роботи	Безперервний
Встановлена потужність, кВт, не більше	52,0
Витрата за годину роботи:	
- електроенергія, кВт/год, не більше	42,0
- холодоагент, кубічний метр/год	2,4...3,1
Тиск маргарину в робочих циліндрах, МПа:	
- на вході	1,2...3,2
- на виході	0,3...0,4
Температура маргарину на вході вотатора, °С	38...45
Температура маргарину на виході вотатора, °С	10...14
Температура холодоагенту на виході, °С	-17...-12
Тиск холодоагенту на вході, МПа	4,3...11,5
Охолоджуюча поверхня теплообмінних циліндрів, м <sup>2</sup> , не менше (регулюється в залежності від типу маргарину)	7,2
Кількість циліндрів теплообміну, од.	3
Габаритні розміри, мм, не більше: довжина-ширина-висота	5 200-1 800-2 750
Вага, кг, не більше	3 200

Це забезпечує дисперсію емульсії, охолодження тонким шаром і її механічну обробку. На виході вентатора виріб має тонко-кристалічну структуру з високою пластичністю, легко-плавністю, хорошою консистенцією і необхідними органолептичними властивостями [9].

### 1.3.3 Структура об'єкту керування

Згідно з вище викладеним об'єкту керування має наступні сигнали - вхідні:

- компресор холодоагенту;
- компресор маргарину на вході;
- три двигуна скребкових перемішувачів;

вихідні:

- температура маргарину на вході;
- температура маргарину на виході;
- тиск холодоагенту на виході;
- температура холодоагенту на виході;
- тиск маргарину на вході;
- тиск маргарину на виході.

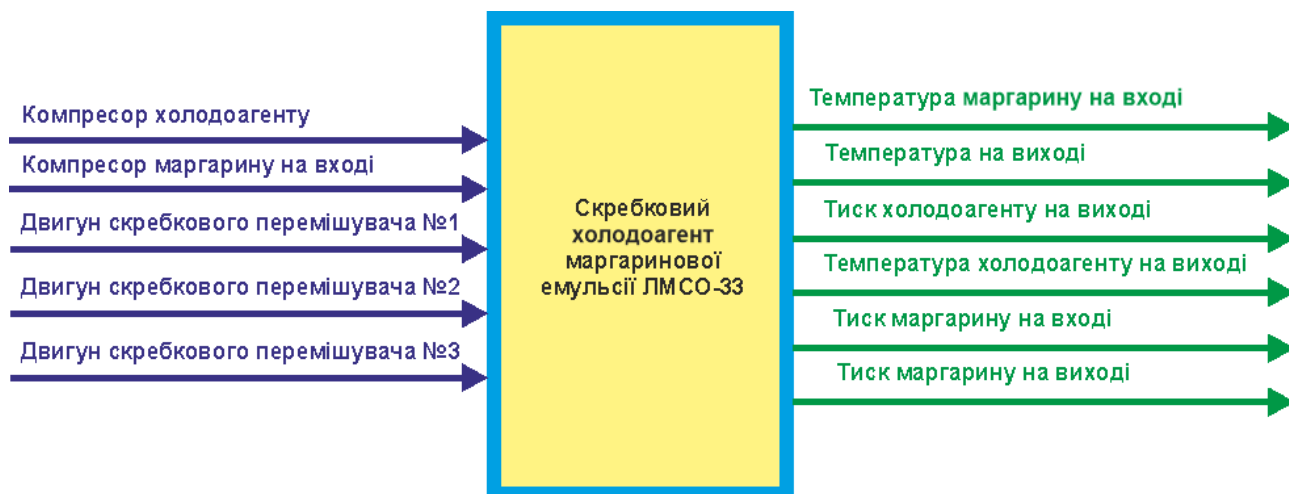


Рисунок 1.7 – Структура об'єкту керування

### 1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування

Згідно рис. 1.7, де наведена структурна об'єкту керування, можна визначити наступні канали керування:

- «тиск компресора → температура маргарину на виході»;
- «тиск маргарину на вході → температура маргарину на виході»;
- «тиск маргарину на виході → температура маргарину на виході»;
- «температура маргарину на виході → температура маргарину на виході»;
- «тиск холодоагенту на виході → температура маргарину на виході».

Роботою скребкового холодоагента маргаринової емульсії ЛМСО-33 керує автоматичний регулюючий прилад, який має автоматично підтримувати задану температуру маргарину на виході.

В нашому випадку, для створення підсистеми автоматичного керування скребковим холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33, обрано один із головних каналів - «тиск маргарину на вході - температура маргарину на виході».

З метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування, необхідно провести активний експеримент для визначення параметрів передавальної функції об'єкту керування – скребкового холодоагента маргаринової емульсії типу ЛМСО-33.

Підсистема керування має підтримувати задану температуру маргарину на виході в межах діапазону температур 10...14 °С завдяки регулюючим можливостям тиску маргарину на вході, який може змінюватись в межах 1,2...3,2 МПа. Температура маргарину на виході залежить від технологічних параметрів випуску продукції.

## **1.4 Апаратне забезпечення системи керування**

### **1.4.1 Структурна схема**

Система керування має наступні сигнали та параметри (рис. 1.8).

Вхідні сигнали:

- температура маргарину на вході, °С 38...45;
- температура маргарину на виході в, °С 10...14;
- температура холодоагенту на виході, °С -17...-12;

- тиск холодоагенту на вході, МПа 4,3...11,5;
- тиск маргарину в робочих циліндрах на вході, МПа: 1,2...3,2;
- тиск маргарину в робочих циліндрах на виході, МПа: 0,3...0,4.

Вихідні сигнали:

- двигун компресора холодоагенту, В /кВт ~380 / ~30;
- двигун компресора маргарину на вході, В /кВт ~380 / ~16;
- двигун скребкового перемішувача №1, В /кВт ~380 / ~2,0;
- двигун скребкового перемішувача №2, В /кВт ~380 / ~2,0;
- двигун скребкового перемішувача №3, В /кВт ~380 / ~2,0.

Потужність компресорів тиску холодоагенту та маргарину на вході регулюється частотними перетворювачами.

Програмований логічний контролер (ПЛК) керує роботою технологічного обладнання.

Система керування підтримує задану температуру маргарину на виході скребкового холодоагента маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 межах заданого діапазону температур 10...14 °С, який входить до складу технологічного обладнання з виготовлення маргарину

Система керування має наступні канали керування:

- «тиск компресора → температура маргарину на виході»;
- «тиск маргарину на вході → температура маргарину на виході»;
- «тиск маргарину на виході → температура маргарину на виході»;
- «температура маргарину на виході → температура маргарину на виході»;
- «тиск холодоагенту на виході → температура маргарину на виході».

Датчики температури маргарину на вході та виході, температури холодоагенту на виході, тиску холодоагенту на вході, тиску маргарину в робочих циліндрах на вході та виході забезпечують необхідної поточною інформацією систему керування.

Система керування підтримує задану за технологічними параметрами температуру задану температуру маргарину.



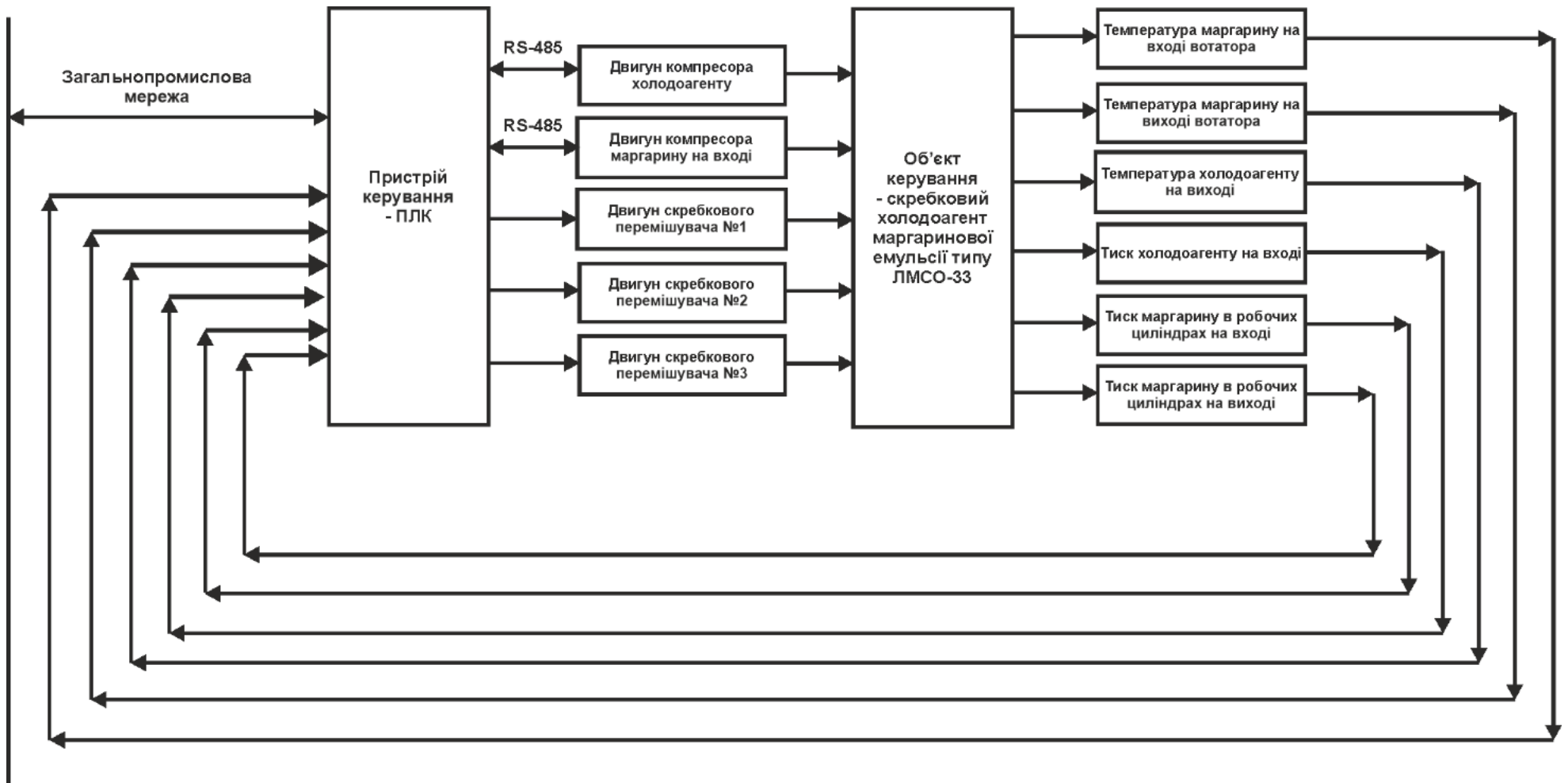


Рисунок 1.8 – Структурна схема підсистеми керування

Роботою скребкового холодоагента маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 керує автоматичний регулюючий прилад, який має вихідні сигнали керування:

- двигун компресора холодоагенту (лінійне управління);
- двигун компресора маргарину (лінійне управління);
- двигун скребкового перемішувача №1 (дискретне управління);
- двигун скребкового перемішувача №2 (дискретне управління);
- двигун скребкового перемішувача №3 (дискретне управління).

### 1.4.2 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації скребкового холодоагенту маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 показана на рис. 1.9.

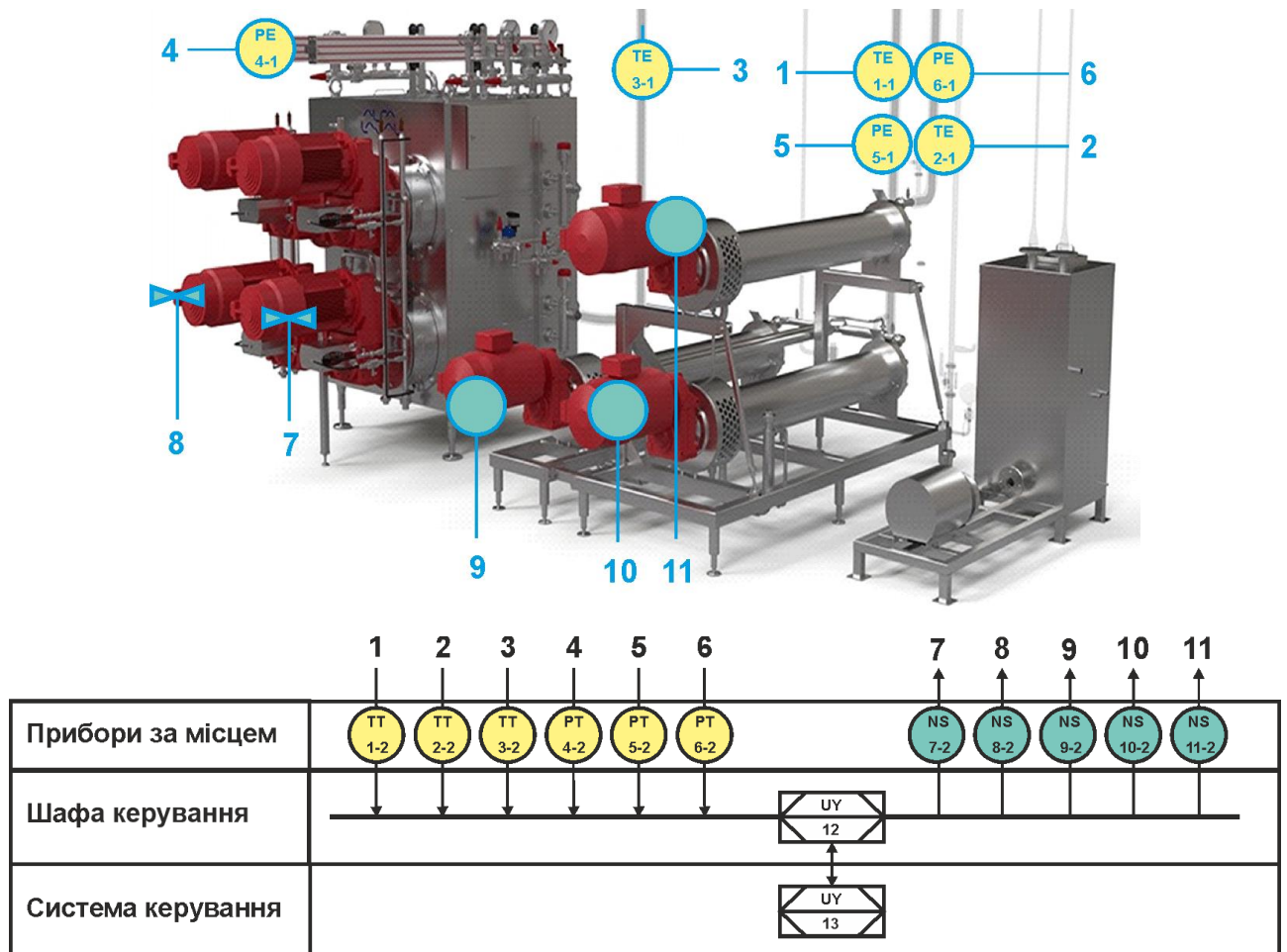


Рисунок 1.9 – Функціональна схема автоматизації

Пристрій керування ПЛК (UY 12) підключено до технологічного обладнання АСУ ТП за допомогою інтерфейсу RS-485.

Для вимірювання температури маргарину на вході та виході і холодоагенту на виході здійснюється трьома датчиками (TE 1, TE 2, TE 3) зі стандартним вихідним сигналом 4...20 мА.

Для вимірювання тиску холодоагенту на вході та в робочих циліндрах на виході і виході використовуються датчики PE 4. ...PE 6 зі стандартним вихідним сигналом 4...20 мА.

ПЛК (UY 12) формує наступні керуючі впливи:

- трьох-фазним частотним перетворювачем (NS-7) з каналом зв'язку та RS-485 для регулювання продуктивності компресору холодоагенту;
- трьох-фазним частотним перетворювачем (NS-8) з каналом зв'язку та RS-485 для регулювання продуктивності компресору маргарину на вході;
- твердотільними реле (NS-9...NS-11) для керування скребковими перемішувачами №1...№3.

### **1.4.3 Схема електрична принципова**

Схема електрична принципова системи керування показана на рис. 1.10.

Блок живлення (G1) підключено до ПЛК (A1), а блок живлення (G2) підключено до модулю дискретного виводу (A1 – X5) та до всіх датчиків (BK1...BK6).

Всі аналогові датчики підключені до двох модулів аналогового вводу (A1 – X3) до каналів 0...3 та (A1 – X4) до каналів 0...2.

Керування продуктивністю компресора холодоагенту здійснюється по каналу RS-485 трьох-фазного частотного перетворювача YA1.

Керування продуктивністю компресора подачі маргарину на вході здійснюється по каналу RS-485 трьох-фазного частотного перетворювача YA2.

Модуль дискретного виводу (A1 – X5) через ланцюги O1...O3 (YA3...YA5) здійснює керування електродвигунами скребкових перемішувачів №1...№3, підключаючи їх до трифазної мережі ~380 В.

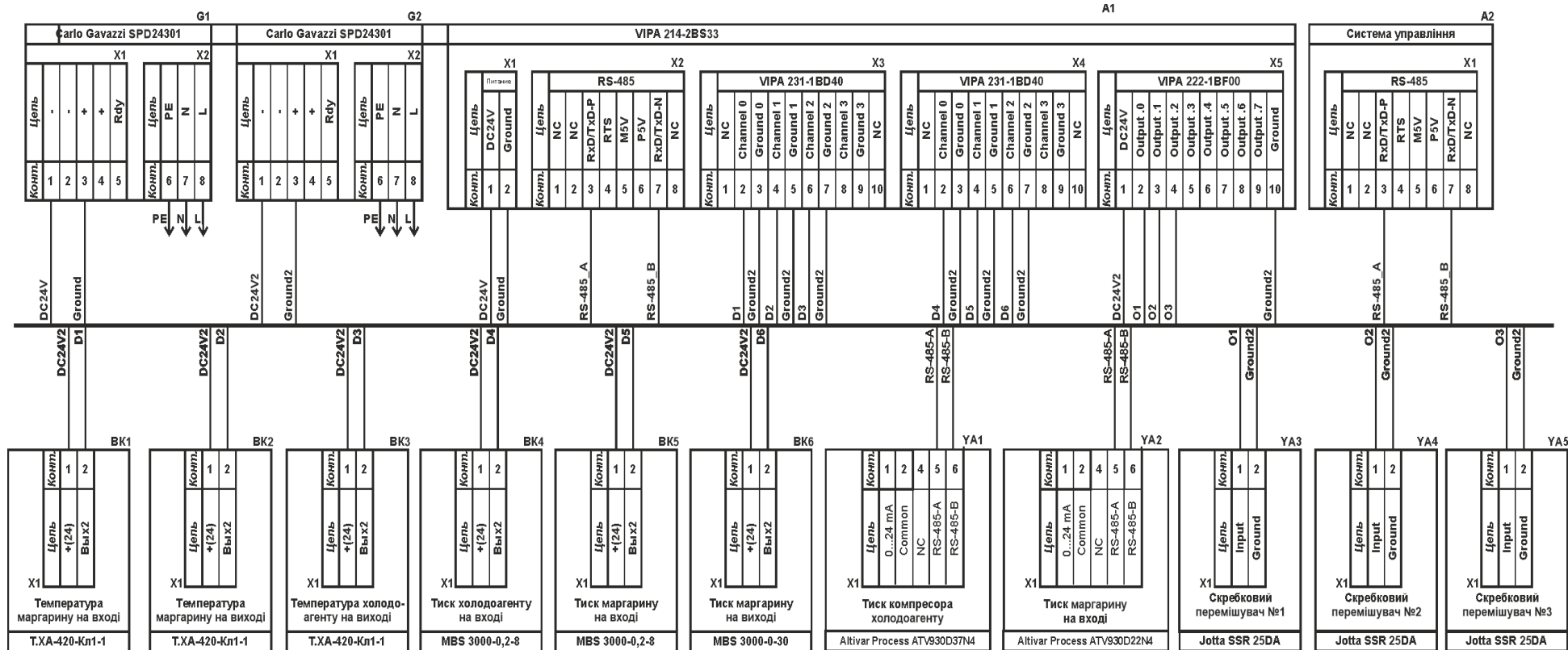


Рисунок 1.10 – Схема електрична принципова підсистеми керування

Зв'язок між ПЛК (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).

### **1.5 Формулювання завдань дослідження**

Проаналізувавши об'єкт керування, зроблено висновок, що об'єкт належить до класу безперервних.

Метою магістерської роботи є вибір структури та розрахунок параметрів регулятора системи автоматичного регулювання (САР) по каналу "тиск маргаринової емульсії на вході - температура маргарину на виході".

Для досягнення даної мети поставлені наступні задачі:

- визначити стійкість та точність роботи САР процесом виготовлення маргарину;
- визначити критичний час запізнення САР процесом виготовлення маргарину;
- обґрунтувати тип регулятора САР процесом виготовлення маргарину;
- визначити параметри регулятора процесом виготовлення маргарину;
- оцінити показники якості перехідного процесу в САР виготовленням маргарину;
- підтвердити на емуляторі керованого процесу виготовлення маргарину ефективність запропонованої САР.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Аналіз стійкості системи автоматичного регулювання

В кваліфікаційній роботі бакалавра ідентифіковано об'єкт керування по каналу «тиск маргаринової емульсії на вході - температура маргарину на виході». Динамічна модель об'єкта керування по даному каналу є аперіодична ланка другого порядку з запізненням:

$$W(p) = \frac{2,0139}{(133,56p + 1)(50,835p + 1)} e^{-6,392p} \quad (2.1)$$

САР даним об'єктом можна отримати, якщо поточне значення вихідної величини (температури)  $T_{\text{пот}}$  подати на вхід. В такому випадку отримаємо систему автоматичного керування з одиничним зворотним зв'язком без коригуючого пристрою (рис. 2.1). Визначимо стійкість даної системи з використанням логарифмічних амплітудних та фазових частотних характеристик.

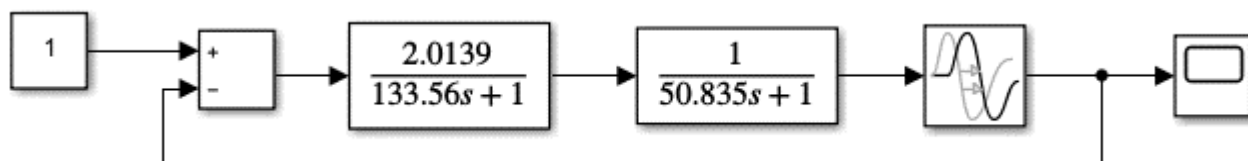


Рисунок 2.1 – Структурна схема САР скребкового холодоагента маргаринової емульсії типу ЛМСО-33

Фазова частотна характеристика розімкнутої частини САР складається із суми логарифмічних фазових частотних характеристик аперіодичних ланок та ланки чистого запізнення:

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{ап1}}(\omega) + \varphi_{\text{ап2}}(\omega) + \varphi_{\text{зл}}(\omega) \quad (2.2)$$

Тут  $\varphi_{\text{ап1}}(\omega)$ ,  $\varphi_{\text{ап2}}(\omega)$  - фазові частотні характеристики аперіодичних ланок;  $\varphi_{\text{зл}}(\omega)$  - фазова частотна характеристика ланки чистого запізнення.

Фазові частотні характеристики  $\varphi_{\text{ап1}}(\omega)$ ,  $\varphi_{\text{ап2}}(\omega)$ ,  $\varphi_{\text{зл}}(\omega)$  розраховуються за формулами:

$$\varphi_{\text{ап1}}(\omega) = -\arctg(137,56 \omega) \quad (2.3)$$

$$\varphi_{\text{ап2}}(\omega) = -\arctg(50,835 \omega) \quad (2.4)$$

$$\varphi_{зл}(\omega) = -6,362 \omega \quad (2.5)$$

Графік фазової частотної характеристики, збудований в логарифмічному масштабі частоти з урахування формул (2.2-2.5) показано на рис. 2.2.

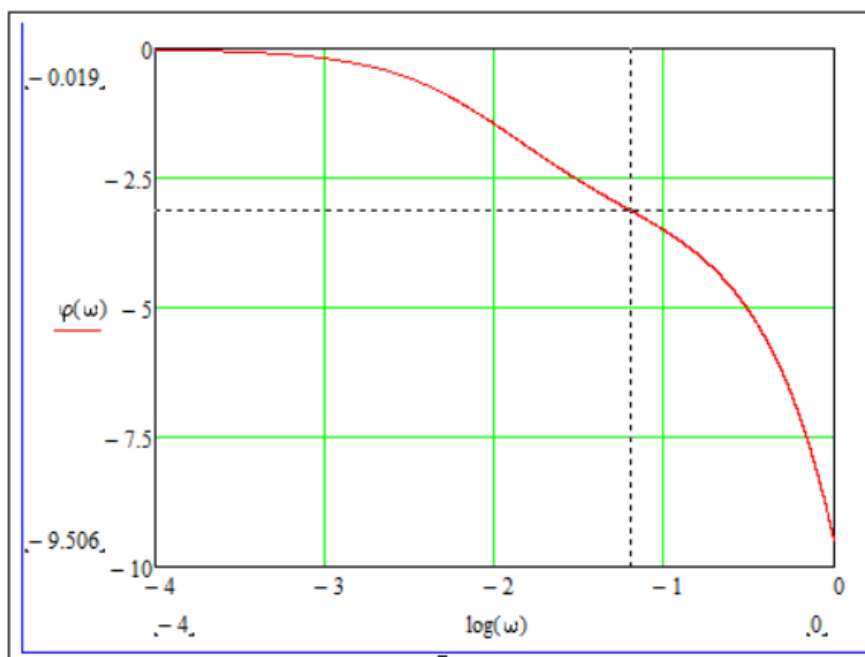


Рисунок 2.2 – Логарифмічна фазова частотна характеристика розімкнутої частини САР

На даному графіку важливою є значення частоти, за якої логарифмічна частотна характеристика набуває значення  $-\pi$ . За допомогою опції «Трасування» ППП MathCAD (рис. 2.3) встановлено, логарифм даної частоти дорівнює  $-1,1918$ .

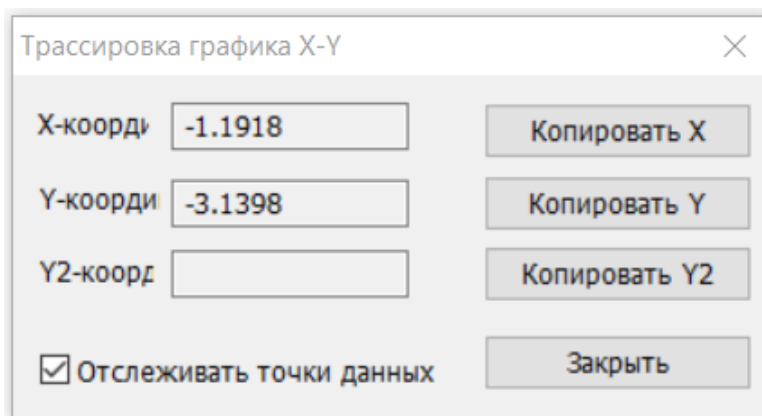


Рисунок 2.3 – Координати шуканої точки на графіку

Визначимо логарифмічну амплітудно-частотну характеристику розімкнутої частини САР. Для послідовно з'єднаних динамічних лінійних ланок

логарифмічна амплітудно-частотна характеристика  $20\lg A(\omega)$  дорівнює сумі логарифмічних амплітудно-частотних характеристик окремих ланок:

$$20\lg A(\omega) = 20\lg A_{\text{ап1}}(\omega) + 20\lg A_{\text{ап2}}(\omega) + 20\lg A_{\text{зл}}(\omega) \quad (2.6)$$

Тут  $20\lg A_{\text{ап1}}(\omega)$ ,  $20\lg A_{\text{ап2}}(\omega)$  - логарифмічні амплітудно-частотні характеристики аперіодичних ланок;  $20\lg A_{\text{зл}}(\omega)$  - логарифмічно-амплітудна частотна характеристика ланки чистого запізнення.

Логарифмічні амплітудно-частотні характеристики  $20\lg A_{\text{ап1}}(\omega)$ ,  $20\lg A_{\text{ап2}}(\omega)$ ,  $20\lg A_{\text{зл}}(\omega)$  розраховуються за формулами:

$$20\lg A_{\text{ап1}}(\omega) = 20\lg \frac{2,0139}{\sqrt{133,56^2 \omega^2 + 1}} \quad (2.7)$$

$$20\lg A_{\text{ап2}}(\omega) = 20\lg \frac{1}{\sqrt{133,56^2 \omega^2 + 1}} \quad (2.8)$$

$$20\lg A_{\text{зл}}(\omega) = 0 \quad (2.9)$$

Графік логарифмічної амплітудно-частотної характеристики, з урахування формул (2.6-2.9) показаний на рис. 2.4.

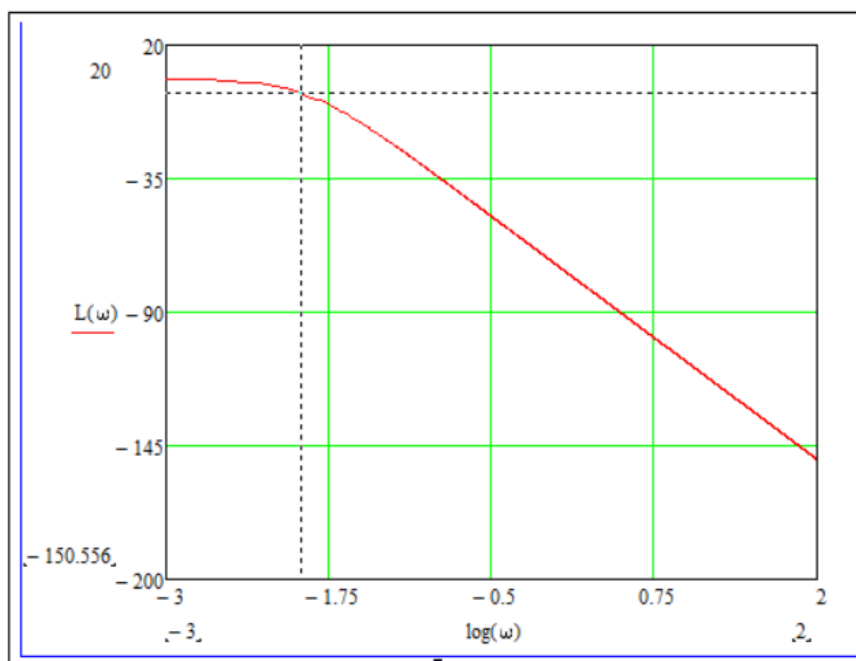


Рисунок 2.4 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика розімкнутої частини САР

За допомогою опції *Трасування* ППП MathCAD (рис. 2.5) встановлюємо, що логарифмічна амплітудно-частотна характеристика розімкнутої частини САР



перетинає вісь частот при  $lg\omega = -1,9586$ . Отже згідно до критерію стійкості системи автоматичного регулювання досліджувана САР стійка.

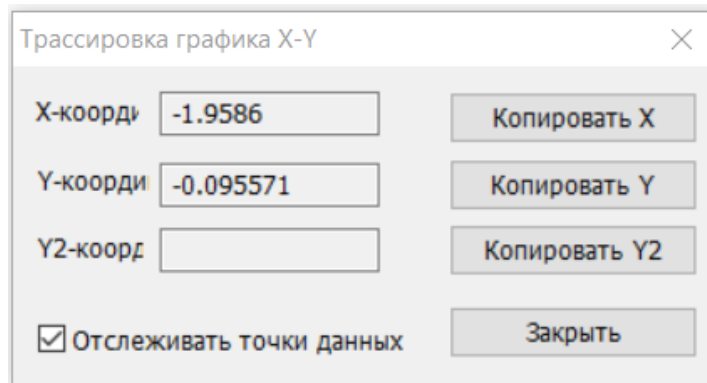


Рисунок 2.5 – Координати шуканої точки на графіку

## 2.2 Визначення точності САР

Визначимо похибку  $\varepsilon$  САР при подачі на її вхід одиничний ступінчастий вплив. Дана автоматична система є статичною, тому:

$$\varepsilon = \frac{x_{\text{вх}}}{1+K} = \frac{1}{1+2,0139} \approx 0,33 \quad (2.10)$$

Тут  $x_{\text{вх}}$  - вхідний вплив,  $K$  - коефіцієнт підсилення розімкнутої частини САР.

Похибка складає 33 % вхідного впливу. Для даного технологічного процесу це занадто велика похибка. Її зменшення можна досягти, збільшивши коефіцієнт підсилення розімкнутої частини САР. Визначимо бажаний коефіцієнт підсилення розімкнутої частини САР  $K_{\text{баж}}$  при умові, що  $\varepsilon = 0,01$ . Із формули (2.10) маємо:

$$K_{\text{баж}} = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{1 - 0,01}{0,01} = 99 \quad (2.11)$$

Бажаний коефіцієнт підсилення розімкнутої частини САР значно перевищує початковий. Підвищення коефіцієнта підсилення погіршує умови стійкості. Тому потрібно перевірити на стійкість САР з новим коефіцієнтом підсилення. Виконаємо перевірку за розглянутою раніше методикою. На рис. 2.6-2.7 показаний графік логарифмічної амплітудно частотної характеристики і логарифм частоти, за якої даний графік перетинає вісь частот.

Графік логарифмічної фазової частотної характеристики згідно (2.2-2.5) не залежить від коефіцієнту підсилення тому залишиться таким же як на рис. 2.2.

Як бачимо логарифмічна амплітудно-частотна характеристика САР з бажаним коефіцієнтом підсилення перетинає вісь частот при  $lg\omega = -0,92812$ . Це правіше логарифму частоти, за якої логарифмічна фазова частотна характеристика перетинає асимптоту  $\varphi(\omega) = -\pi$ . Отже підвищення коефіцієнту підсилення не поліпшило роботу САР. Система автоматичного керування потребує обґрунтованого введення додаткових динамічних ланок для покращення її роботи.

$$\omega := 0.001, 0.002 \dots 100 \quad T1 := 133.56 \quad T2 := 50.835 \quad \tau := 6.392 \quad K := 99$$

$$L(\omega) := 20 \cdot \log\left(\frac{K}{\sqrt{T1^2 \cdot \omega^2 + 1}}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{1}{\sqrt{T2^2 \cdot \omega^2 + 1}}\right)$$

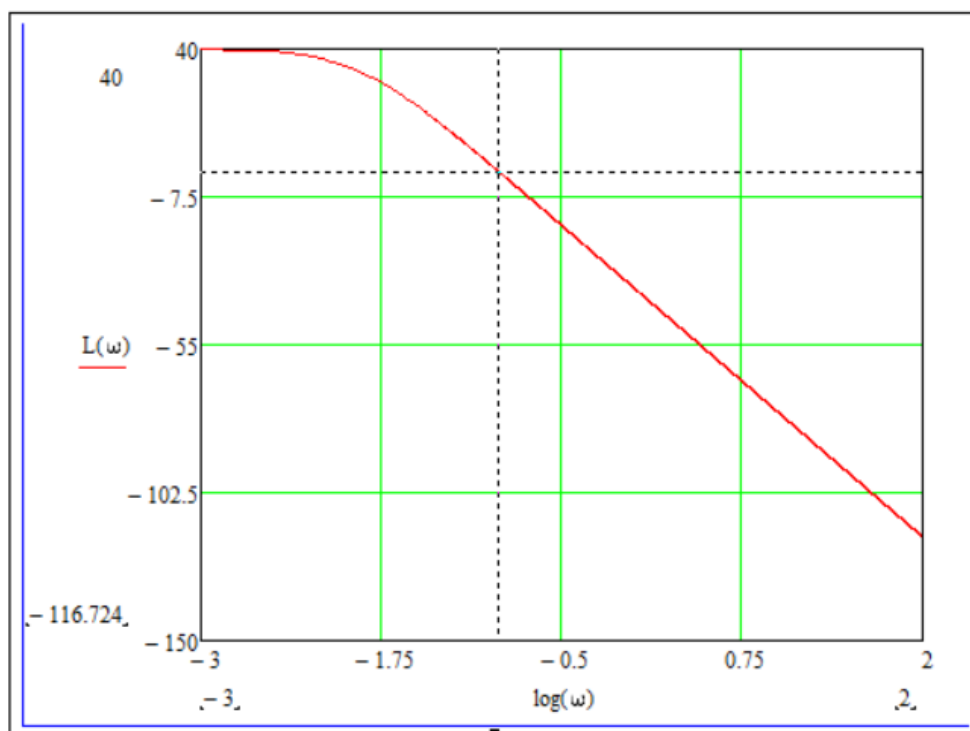


Рисунок 2.4 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика розімкнутої частини САР

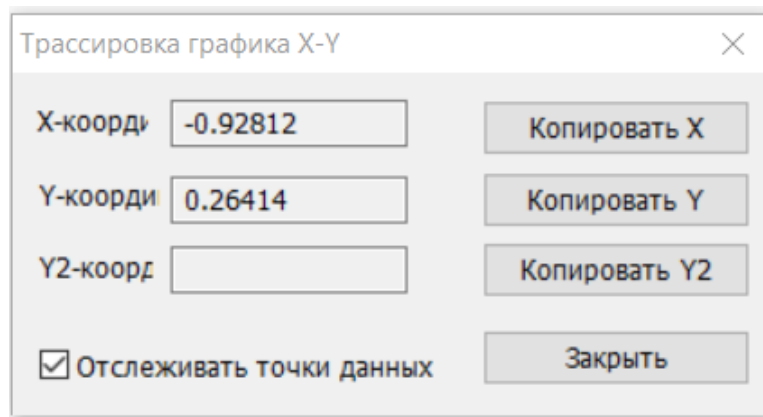


Рисунок 2.5 – Координати шуканої точки на графіку

### 2.3 Методи регулювання об'єктами з запізненням

Технологічний процес маргарину представляє собою об'єкт другого порядку з запізненням. На рис. 2.6 показано як впливає час перехідного процесу та величина чистого запізнення на вибір закону регулювання для об'єкту першого порядку з запізненням. Виконаємо перехід від об'єкта другого порядку з запізненням до об'єкту першого порядку з запізненням. Визначимо досліджуваний об'єкт керування у вигляді:

$$W_0(p) = \frac{2,0139}{(T_0 p + 1)} e^{-(6,392 + \tau_0)p} \quad (2.12)$$

де  $W_0(p)$ ,  $T_0$ ,  $\tau_0$  - відповідно передаточна функція, постійна часу та час чистого запізнення об'єкта першого порядку.

Визначимо  $T_0$ ,  $\tau_0$  за принципом налагоджувальної моделі. Сутність даного принципу полягає в наступному (рис. 2.7). На вхід моделей другого (2.1) та першого (2.12) порядку подається один і той же вхідний вплив  $x$ . За час моделювання  $t_m$  визначаємо інтеграл квадрату різниць значень вихідних величин  $y_2$  та  $y_1$  моделей (критерій налаштування):

$$I = \int_0^{t_m} (y_2 - y_1)^2 dt \quad (2.13)$$

Значення критерію налаштування є поточними для роботи блоку оптимізації. Блок оптимізації виконує цілеспрямовані зміни величин  $T_0$ ,  $\tau_0$  для досягнення мінімуму критерію. Якщо мінімальне значення досягнуто, поточні

$T_0, \tau_0$  передаються на термінал ЕОМ. Якщо ж мінімальне значення критерію не досягнуто, то процес оптимізації продовжується.

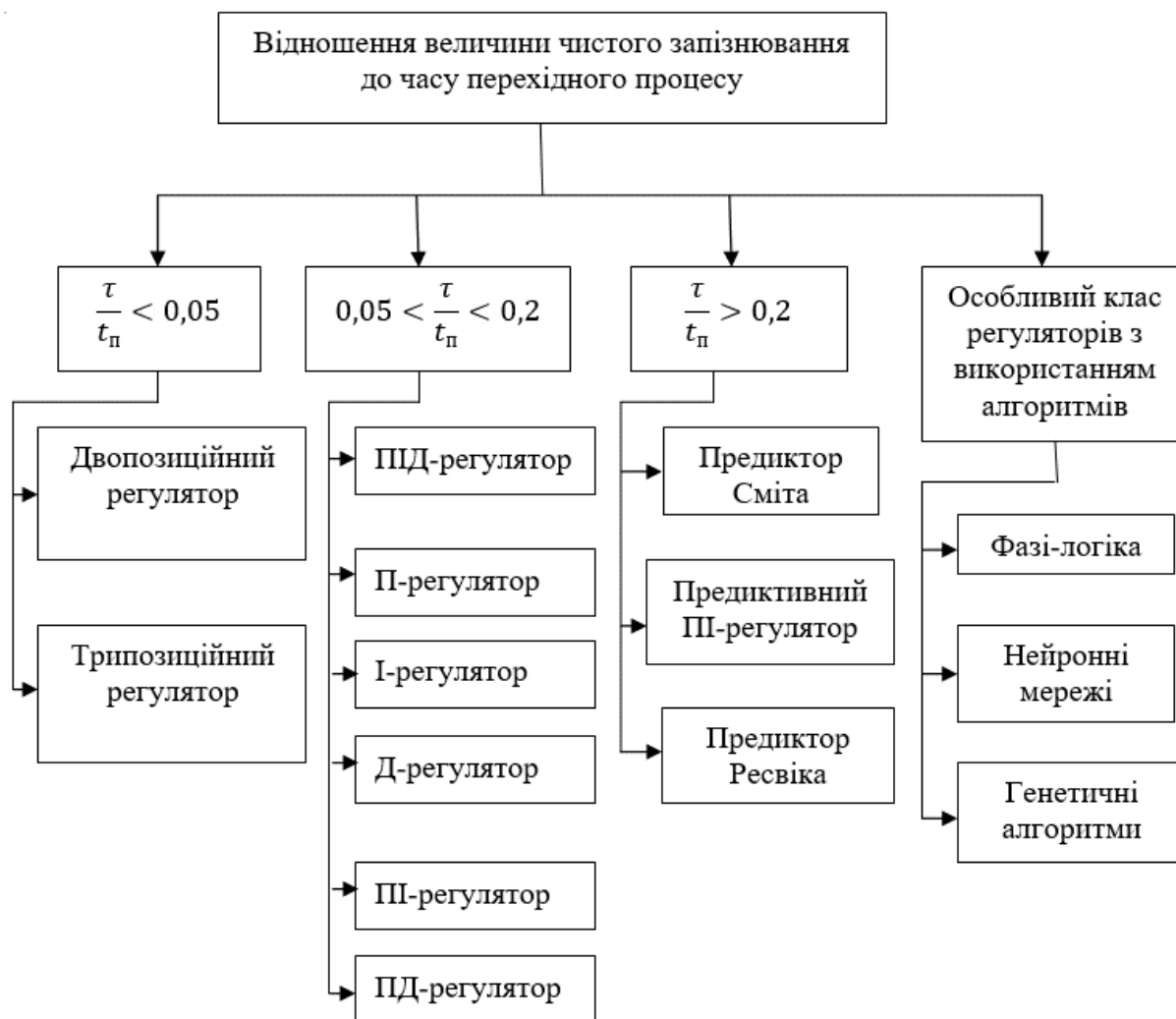


Рисунок 2.6 – Закони регулювання об'єктами з запізненням

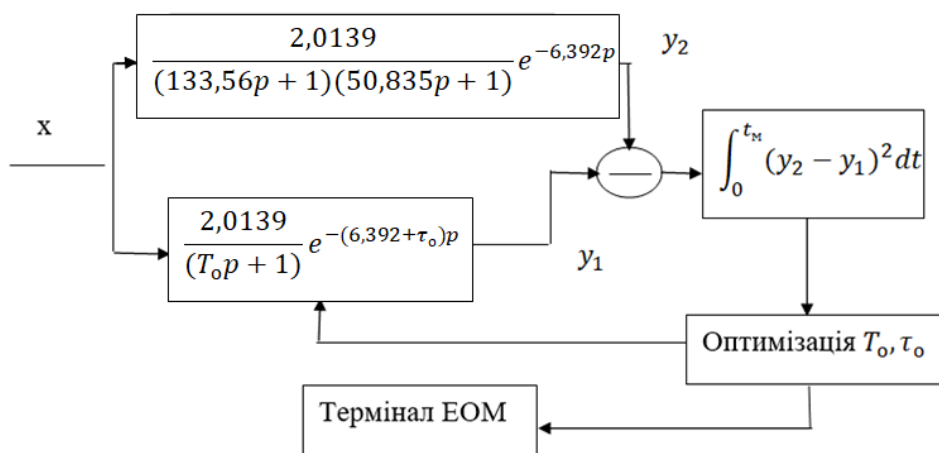


Рисунок 2.7 – Принцип налагоджувальної моделі

В даній роботі використаний метод оптимізації Гауса-Зейделя (покоординатний метод) [18]. Сутність даного методу полягає в почерговій зміні параметрів  $T_0$  та  $\tau_0$  і почерговому руху системи в напрямку екстремуму (мінімуму) складових градієнта доти, доки не буде досягнута екстремальна (мінімальна) точка. Спочатку змінюється координата  $T_0$  в напрямку зменшення складової градієнту  $dI/dT_0$  при постійному значенні координати  $\tau_0$  до отримання значення  $dI/dT_0 = 0$ , після чого змінюється координата  $\tau_0$  у бік зменшення складової градієнту  $dI/\tau_0$  при постійному значенні координати  $T_0$ . Далі пошук знову відбувається по координаті  $T_0$  і цикл повторюється. Процес пошуку закінчується коли складові  $dI/dT_0$  та  $dI/\tau_0$  дорівнюватимуть нулю.

Метод налагоджувальної моделі із застосуванням методу Гауса-Зейделя був реалізований в додатку Simulink ПППІ MATLAB (рис. 2.8). Зміна параметрів  $T_0$  та  $\tau_0$  відбувалася «вручну» після кожного експерименту. Мінімальне значення критерію  $I = 0,6151$  було досягнуто при  $T_0 = 153$  с,  $\tau_0 = 35$  с.

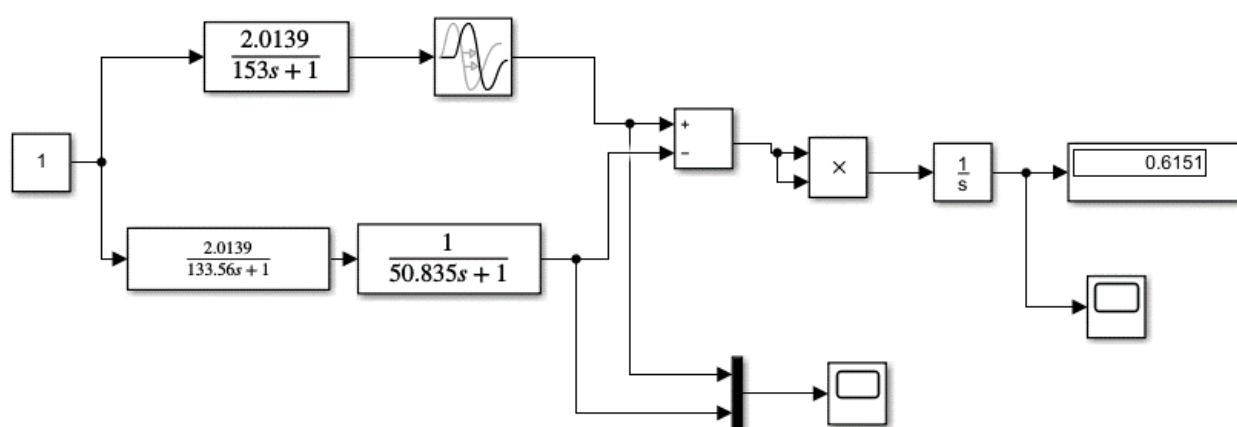


Рисунок 2.8 – Реалізація принципу налагоджувальної моделі в Simulink

Таким чином передаточна функція об'єкта керування після зниження порядку моделі має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{2,0139}{(153p + 1)} e^{-41,392p} \quad (2.14)$$

Перехідні процеси моделей першого та другого порядку з запізненням наведені на рис. 2.9.

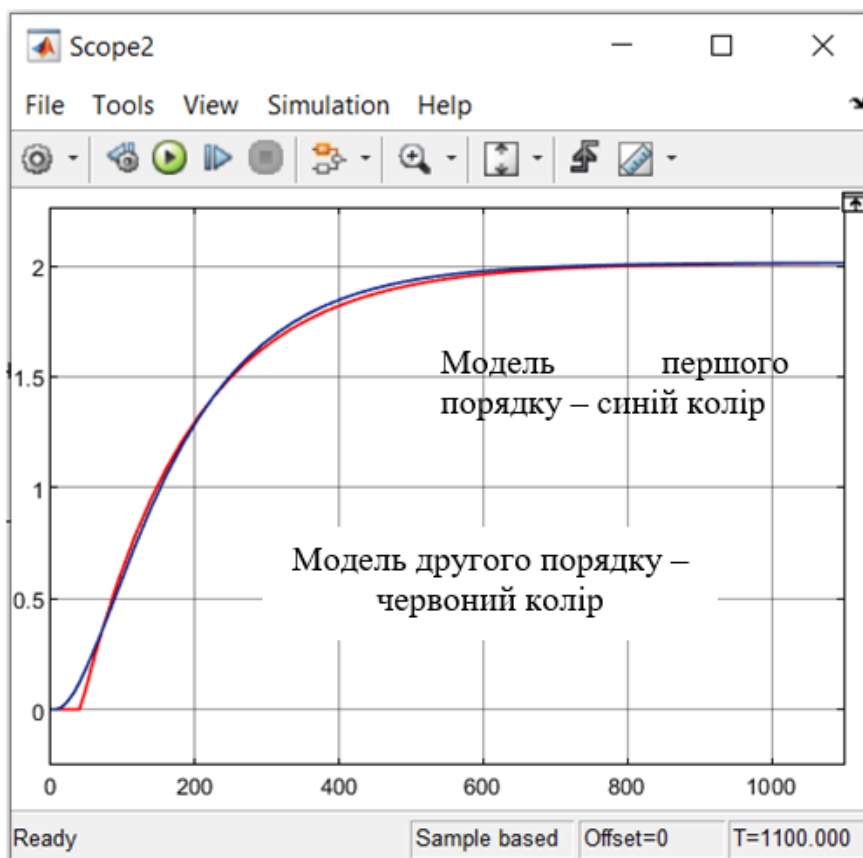


Рисунок 2.9 – Перехідні процеси моделей першого та другого порядку

## 2.4 Розрахунок ПД-регулятора

Відношення величини чистого запізнення ( $\tau_1 = 41,392$ ) до часу перехідного процесу ( $t_{\text{пер}} \approx 600$  с, див. рис. 2.9) після зниження порядку об'єкта керування дорівнює приблизно 0,07. Як впливає із рис. 2.6 для регулювання таким об'єктом раціонально застосовувати пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПД) регулятор.

ПД-регулятор широко використовують у різних галузях промисловості [19]. Основна причина цього – його простота, що забезпечує масове використання. У зв'язку з цим пошук методів налаштування ПД-регулятора, що забезпечують його найбільш ефективну роботу, представляє значний інтерес.

Нині 95 % коригуючих пристроїв у контурах управління автоматичних систем є ПД-регуляторами. Вимога вибору двох або трьох параметрів даного коригуючого пристрою призвела до того, що створено 219 правил налаштування ПІ-регулятора та 381 правило налаштування для ПД-регулятора.

Найпоширенішим методом налаштування параметрів ПД-регулятора - є метод Циглера-Нкольса, оснований на використанні даних, отриманих експериментально на реальному об'єкті. Експериментальна частина полягає в тому, що збільшуючи коефіцієнт підсилення  $K_n$  від нуля до деякого критичного значення  $K_n^*$  в системі встановлюють незатухаючі коливання з періодом  $T^*$ . Під час експерименту інтегральну та диференціальну частини регулятора вимикають. Надалі за визначеними значеннями  $K_n^*$  та  $T^*$  розраховують налаштування пропорційної, інтегральної та диференціальної частин за формулами наведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Параметри типових регуляторів

	$K_n$	$K_i$	$K_d$
П-регулятор	$0,50K_n^*$	-	-
ПІ-регулятор	$0,45K_n^*$	$0,54K_n^*/T^*$	-
ПІД-регулятор	$0,60K_n^*$	$1,20K_n^*/T^*$	$0,075K_n^*T^*$

Розраховані значення налаштувань ПІД-регулятора в подальшому уточнюються на реальному об'єкті.

Виключимо із ПІД-регулятора інтегральну та диференціальну частини. Визначимо передаточну функцію розімкнутої частини системи автоматичного регулювання, під'єднавши послідовно з об'єктом керування пропорційну частину з коефіцієнтом підсилення  $K_n$ . Дістанемо [20]:

$$W(p) = \frac{K_n K}{T_p p + 1} e^{-p\tau} \quad (2.15)$$

Для застосування аналітичних методів аналізу системи автоматичного керування розкладемо експоненту в ряд Паде другого порядку. Таке розкладання дає не більше 9% похибки у подальших розрахунках. Маємо:

$$e^{-p\tau} \approx \frac{\tau^2 p^2 - 6\tau p + 12}{\tau^2 p^2 + 6\tau p + 12} = \frac{41,392^2 p^2 - 248,352 p + 12}{41,392^2 p^2 + 248,352 p + 12} \quad (2.16)$$

Підставимо (2.16) в (2.15):

$$W_{\text{роз}} = \frac{K_n 2,0139(41,392^2 p^2 - 248,352 p + 12)}{(153 p + 1)(41,392^2 p^2 + 248,352 p + 12)}, \quad (2.17)$$

тут  $K_n$  - коефіцієнт підсилення пропорційної частини ПІД-регулятора.

Згідно методу Циглера-Нікольса визначимо критичний коефіцієнт підсилення  $K_{\Pi} = K_{\Pi}^*$ , за якого замкнута система автоматичного керування перебуватиме на межі стійкості. Для визначення характеристичного полінома замкнутої системи необхідно додати чисельник та знаменник виразу (2.17):

$$D_{\text{зам}}(p) = (153p + 1)(41,392^2 p^2 + 248,352p + 12) + K_{\Pi} 2,0139(41,392^2 p^2 - 248,352p + 12) \quad (2.18)$$

В (2.18) виконаємо тотожні перетворення:

$$D_{\text{зам}}(p) = 262134,5p^3 + (39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^*)p^2 + (2084,4 - 500,2K_{\Pi}^*)p + (12 + 24,2K_{\Pi}^*) \quad (2.19)$$

Для визначення критичного коефіцієнту підсилення  $K_{\Pi}^*$  скористаємося алгебраїчним критерієм Гурвіца. Характеристичний поліном (2.19) має третій порядок. Тому матриця коефіцієнтів Гурвіца матиме розмірність 3 x 3. Складемо дану матрицю:

$$\begin{pmatrix} (39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^*) & (12 + 24,2K_{\Pi}^*) & 0 \\ 262134,5 & (2084,4 - 500,2K_{\Pi}^*) & 0 \\ 0 & (39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^*) & (12 + 24,2K_{\Pi}^*) \end{pmatrix}$$

Діагональний визначник першого порядку  $\Delta_1$  містить критичний коефіцієнт підсилення  $K_{\Pi}^*$ . Нехай  $\Delta_1$  дорівнює нулю. Тоді:

$$\Delta_1 = 39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^* = 0 \quad (2.20)$$

Із формули (2.20) маємо  $K_{\Pi}^* = -11,5$ . Згідно методу Циглера-Нікольса коефіцієнт підсилення не може бути менше нуля. Отже визначник має бути  $\Delta_1$  додатним. Визначимо  $K_{\Pi}^*$  із умови  $\Delta_1 > 0$ :

$$\Delta_1 = 39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^* > 0 \quad (2.22)$$

Із умови (2.22) визначаємо  $K_{\Pi}^*$ :

$$K_{\Pi}^* > -11,5 \quad (2.23)$$

Нехай визначник другого  $\Delta_2 = 0$  порядку дорівнює нулю:

$$\Delta_2 = (39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^*) \times (2084,4 - 500,2K_{\Pi}^*) - 262134,5 \times (12 + 24,2K_{\Pi}^*) = 0 \quad (2.24)$$

Приведемо вираз (2.24) до стандартного вигляду квадратного рівняння відносно  $K_{\Pi}^*$ :



$$-1725890,1K_{\Pi}^{*2} - 19015233,4K_{\Pi}^* + 79628619,7 = 0 \quad (2.25)$$

або

$$K_{\Pi}^{*2} + 11K_{\Pi}^* - 46,1 = 0 \quad (2.26)$$

Коренями рівняння (2.26) є -14,24 та 3,24. Корінь -14,24 не підходить оскільки не задовольняє умові (2.23). Отже  $K_n^* = 3,24$ .

Період коливань  $T^*$  на межі стійкості розрахуємо на основі (2.19). Для цього в вираз (2.19) замість  $p$  підставимо  $j\omega$ , а замість  $K_{\Pi}^*$  підставимо 3,24:

$$D_{\text{зам}}(j\omega) = 262134,5(j\omega)^3 + (39711,3 + 3450,4K_{\Pi}^*)(j\omega)^2 + (2084,4 - 500,2K_{\Pi}^*)j\omega + (12 + 24,2K_{\Pi}^*) \quad (2.27)$$

Прирівняємо до нуля уявну частину характеристичного комплексу (2.27), підставивши замість  $K_n^*$  знайдене значення і визначимо кругову частоту коливань системи  $\omega^*$  на межі стійкості:

$$-262134,5\omega^{*3} + 463,8\omega^* = 0 \quad (2.28)$$

Із (2.28) визначимо  $\omega^*$ :

$$\omega^* = \sqrt{\frac{463,8}{262134,5}} \approx 0,042 \quad (2.29)$$

Визначимо період коливань:

$$T^* = \frac{2\pi}{\omega^*} \approx \frac{2 \times 3,14}{0,042} \approx 150 \quad (2.30)$$

В табл. 2.2 наведені коефіцієнти та передаточні функції пропорційної, інтегральної та диференціальної частин ПД-регулятора, розраховані у відповідності до табл. 2.1 з урахуванням  $K_n^* = 3,24$  та  $T^* = 150$  с.

Таблиця 2.2 - Передаточні функції ПД-регулятора

	$K_{\Pi}$	$K_i$	$K_d$	Передаточна функція
П-регулятор	1,62	-	-	$W_{\Pi}(p) = 1,62$
ІІ-регулятор	1,458	0,012	-	$W_{\Pi i}(p) = 1,458 + \frac{0,012}{p}$
ПД-регулятор	1,944	0,026	36,45	$W_{\Pi d}(p) = 1,944 + \frac{0,026}{p} + 36,45p$

## 2.5 Висновки до розділу

Система автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину є стійкою, але із недостатньою точністю. Збільшення коефіцієнту підсилення переводить САР до нестійкого стану.

Обґрунтування типу регулятора і розрахунок його параметрів потребують зниження порядку динамічної моделі процесу випалюванням керамічних блоків.

Регулювання процесом виготовлення маргарину доцільно виконувати із застосуванням ПД-регулятора. Розрахунок параметрів регулятора доцільно виконати на основі метода Циглера-Нікольса.

Визначення частоти сталих коливань керованої величини на межі стійкості системи автоматичного регулювання доцільно виконати за критерієм Гурвіца, попередньо розклавши експоненту в ряд Паде.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі в ході обчислювального експерименту перевірені результати теоретичних досліджень, визначені оцінки показників якості перехідного процесу в об'єкті керування при використанні П-, ПІ- та ПІД-регуляторів, на основі обчислювального експерименту визначені найкращі уставки ПІД-регулятора. Зазначені дослідження виконані на ЕОМ в середовищі додатку SIMULINK в ПППІ MATLAB.

В ході обчислюваного експерименту були поставлені і вирішені наступні задачі:

- створення моделі системи автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину в середовищі SIMULINK ПППІ MATLAB;
- перевірка правильності розрахунків області стійкої та нестійкої роботи системи автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину за відсутності коригувального пристрою;
- перевірка правильності розрахунку критичного часу запізнення системи автоматичного керування за відсутності коригувального пристрою;
- оцінка показників якості перехідного процесу об'єкту керування на моделі системи автоматичного регулювання процесом виготовлення маргарину;
- визначення найкращого налаштування ПІД-регулятора;

#### **3.1 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР без регулятора**

Структурна схема системи автоматичного регулювання скребковим холодоагенатом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 (за відсутності регулятора) в середовищі SIMULINK ПППІ MATLAB представлена на рис. 2.1. За критерієм логарифмічних частотних характеристик, застосованого п. 2.1 для перевірки стійкості даної системи, встановлено, що система автоматичного регулювання стійка, а статична похибка становить 0,33. Перевіримо правильність зроблено висновку моделюванням системи в додатку SIMULINK

ППП MATLAB. На рис. 3.1 показані результати моделювання, що підтверджують правильність теоретичних розрахунків.

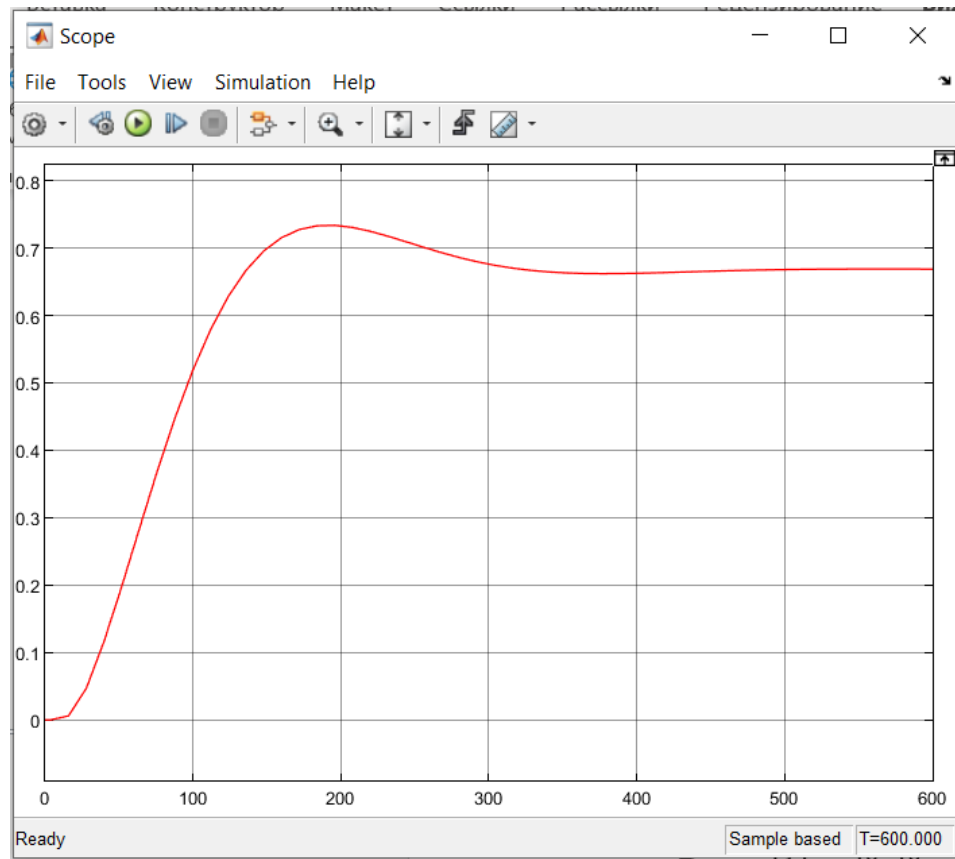


Рисунок 3.1 – Графік перехідного процесу в САР

Перевіримо стійкість системи автоматичного регулювання при коефіцієнті підсилення  $K_{\text{баж}} = 99$ , який забезпечує похибку  $\varepsilon = 0,01$ . Результати моделювання наведені на рис. 3.2. Як бачимо, САР втратила стійкість, що також відповідає раніше виконаним теоретичним розрахункам.

### 3.2 Перевірка коректності теоретичних розрахунків САР з ПІД-регулятором

#### 3.2.1 Перевірка періоду коливань в САР

Складемо структурну схему системи автоматичного регулювання скребковим холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 з ПІД-регулятором в середовищі SIMULINK ППП MATLAB (рис. 3.3). В структурній схемі використаний об'єкт керування першого порядку з запізненням, отриманий в п. 2.2, а також встановлено розрахований в п. 2.3 (формула 2.26)

критичний коефіцієнт підсилення  $K_n^* = 3,24$  для перевірки періоду коливань при виведенні САР на межу стійкості.

На рис. 3.4 наведено графік перехідного процесу. Як видно із рис. 3.4 період коливань  $T^* \approx 150$ , що відповідає розрахункам.

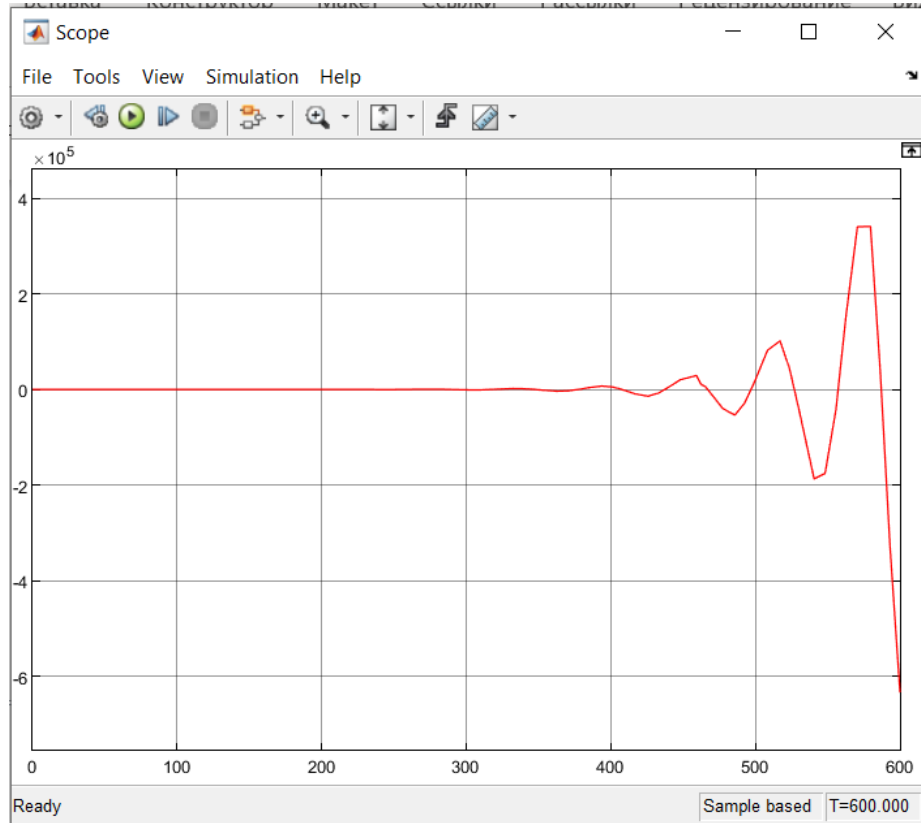


Рисунок 3.2 - Графік перехідного процесу в САР при  $K_{\text{баз}} = 99$

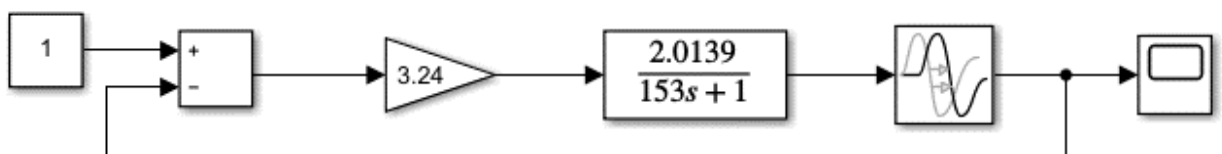


Рисунок 3.3 – Структурна схема САР з об'єктом першого порядку з запізненням

### 3.2.2 Дослідження САР з ПІД-регулятором

Для дослідження САР з ПІД-регулятором в середовищі SIMULINK ППП MATLAB розроблена модель системи автоматичного регулювання, структурна схема якої наведена на рис. 3.5.

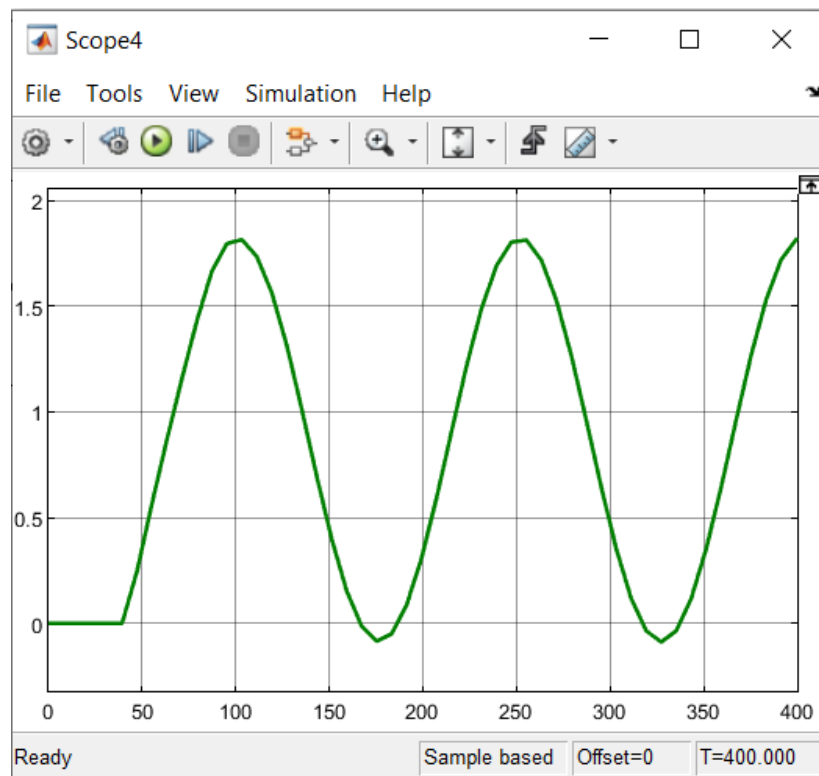


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу

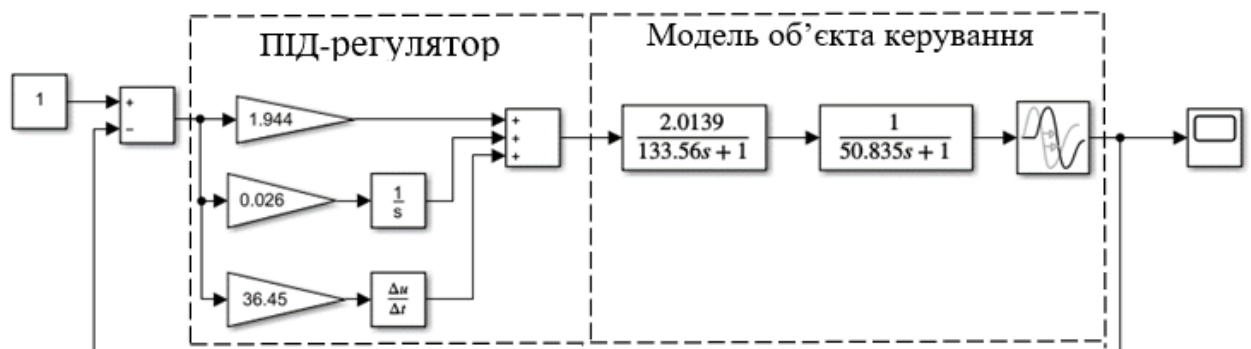


Рисунок 3.5 – Структурна схема САР з ПІД-регулятором

За результатами моделювання роботи САР з уставками регуляторів, наведених в табл. 2.2, отримані перехідні процеси показані на рис. 3.5-3.7. На рис. 3.8 показаний перехідний процес з найкращими настройками регулятора, підібраних експериментально на моделі:

$$W_{\text{під}}(p) = 2 + \frac{0,009}{p} + 45p \quad (3.1)$$

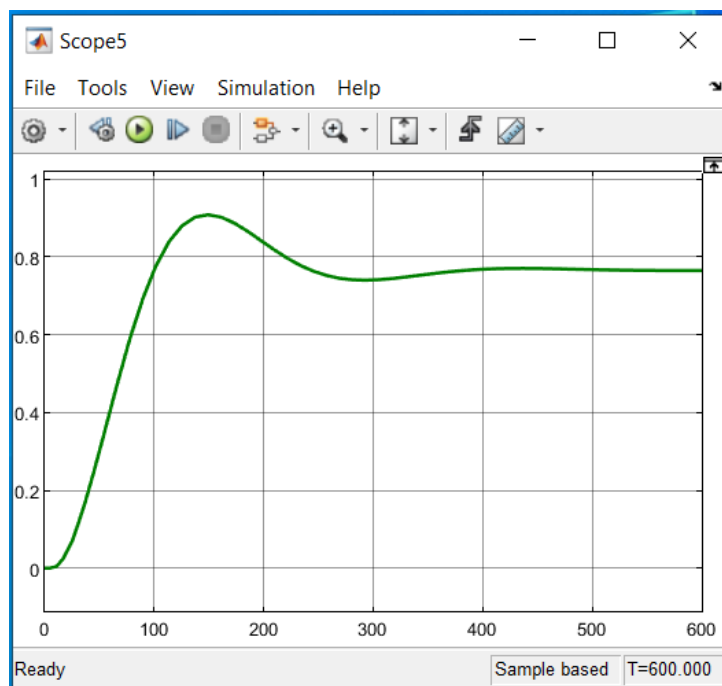


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу з П-регулятором

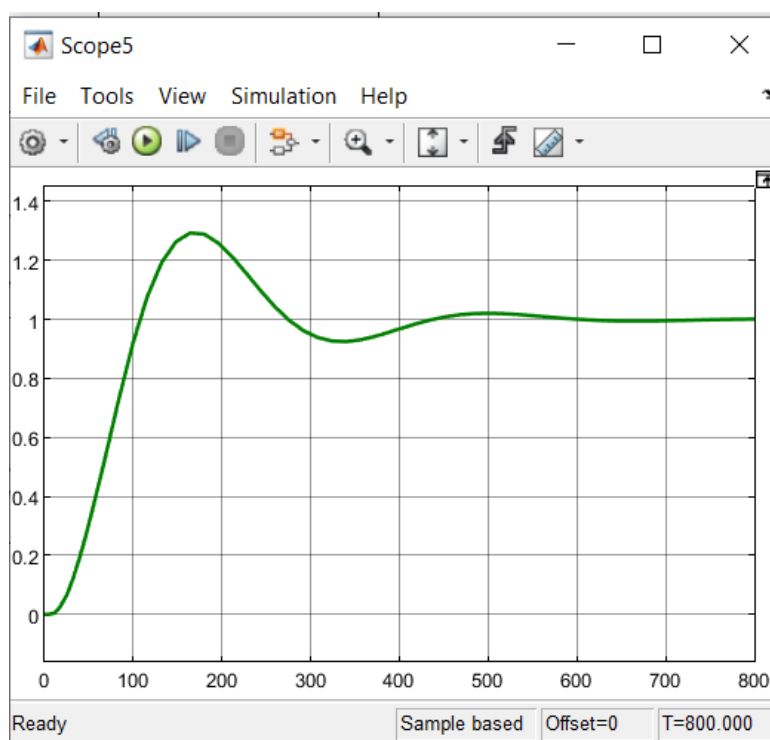


Рисунок 3.6 – Графік перехідного процесу з ПІ-регулятором

За результатами моделювання оцінені показники якості перехідних процесів з різними законами регулювання. Час регулювання визначався моментом часу після якого керована величина відрізняється від усталеного значення не більше ніж на 5%. Ступінь стійкості визначена за відомою формулою:

$$\eta \approx \frac{3}{t_{pez}} \quad (3.2)$$

тут  $t_{pez}$  - час регулювання.

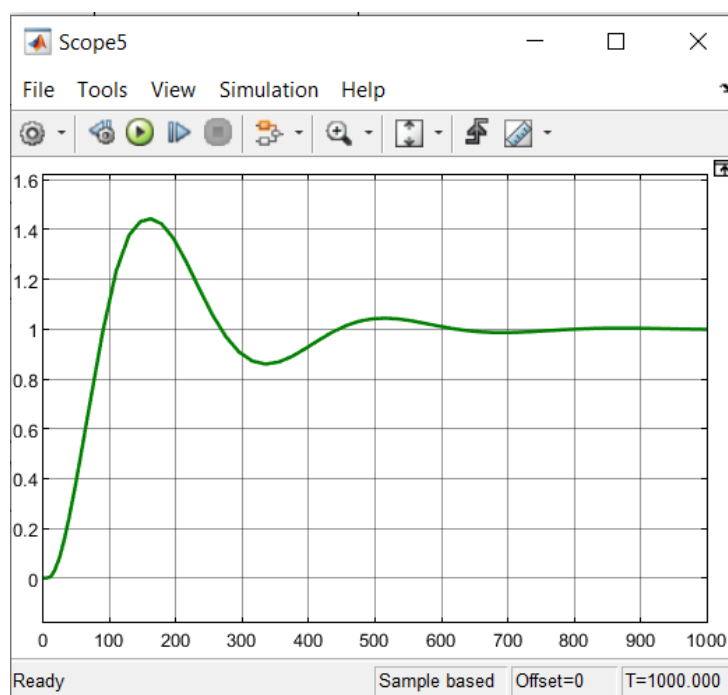


Рисунок 3.7 – Графік перехідного процесу з ПІД-регулятором

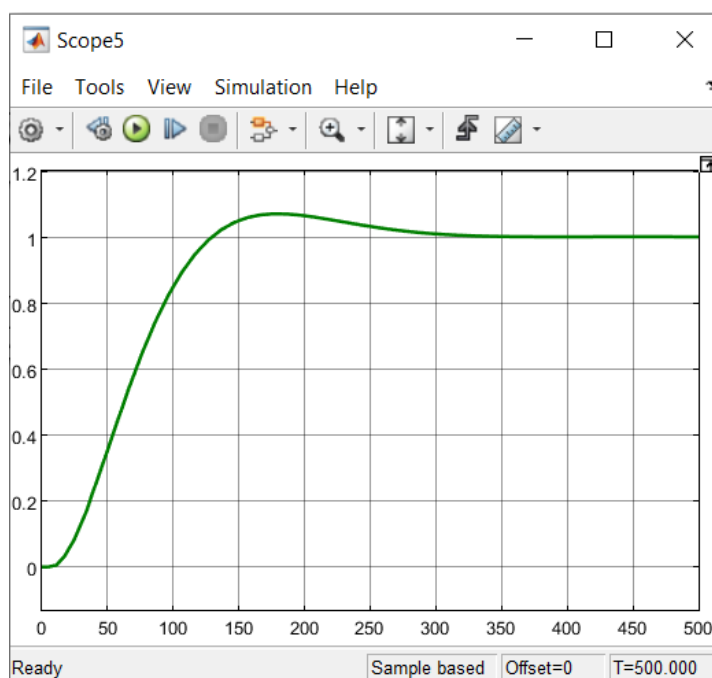


Рисунок 3.8 – Графік перехідного процесу з найкращим налаштуванням ПІД-регулятора

Оцінки показників якості наведені в табл. 3.1.



Таблиця 3.1 - Показники якості системи управління з ПІД-регулятором

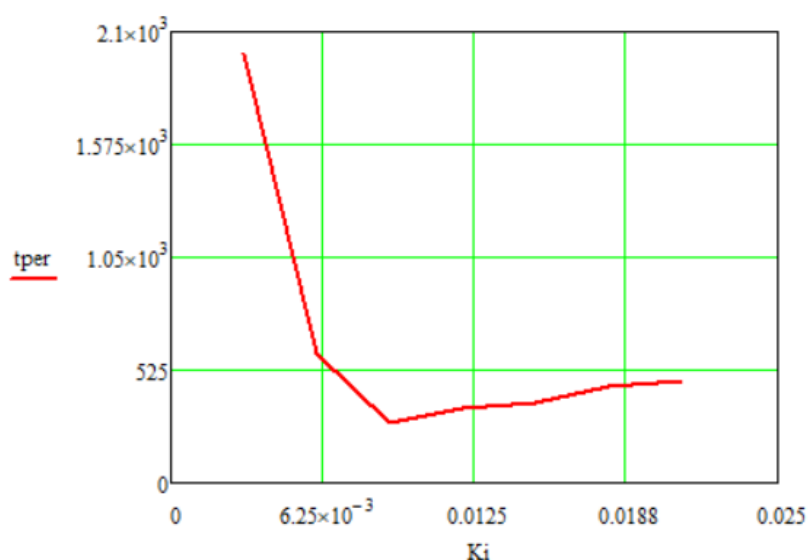
Параметр Регулятор	Ступінь стійкост і	Статичн а похибка	Час регулюва ння, с	Перерегу лювання, %	Колива ння
П-регулятор	0,008	0,22	400	-	1
ПІ-регулятор	0,008	0	410	30	1
ПІД-регулятор	0,005	0	550	42	1
ПІД-регулятор з найкращ. настройками	0,01	0	280	8	0

### 3.3 Визначення експериментальної залежності часу регулювання від коефіцієнта інтегрування ПІД-регулятора

Залежність часу перехідного процесу в САР процесу виготовлення маргарину від коефіцієнту інтегрування  $K_i$  інтегральної частини ПІД-регулятора представлена в табл. 3.2. На рис. 3.9 показана експериментальна залежність часу регулювання від коефіцієнта інтегрування  $t_{\text{пер}} = f(K_i)$ . Неважко бачити, що найкраще регулювання відповідає  $K_i = 0,009$ .

Таблиця 3.2 - Результати обчислювального експерименту

Коефіцієнт інтегрування, $K_i$	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021
Час регулювання, $t_{\text{пер}}$ , с	2000	600	280	350	370	450	470

Рисунок 3.12 – Залежність  $t_{\text{пер}} = f(K_i)$

### **3.4 Висновки до розділу**

Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання за відсутності регулятора.

Методом обчислювального експерименту доведено коректність теоретичних розрахунків системи автоматичного регулювання з ПД-регулятором.

При регулюванні процесом виготовлення маргарину на основі ПД-регулятора найкраще керування досягається при використанні пропорційної, інтегральної та диференціальної частин.

Залежність часу перехідного процесу від коефіцієнта інтегрування ПД-регулятора має екстремальний характер.

## 4. ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 4.1 Цифрова модель системи керування

Скорегована САР з ПІД-регулятором представлена на рис. 4.1.

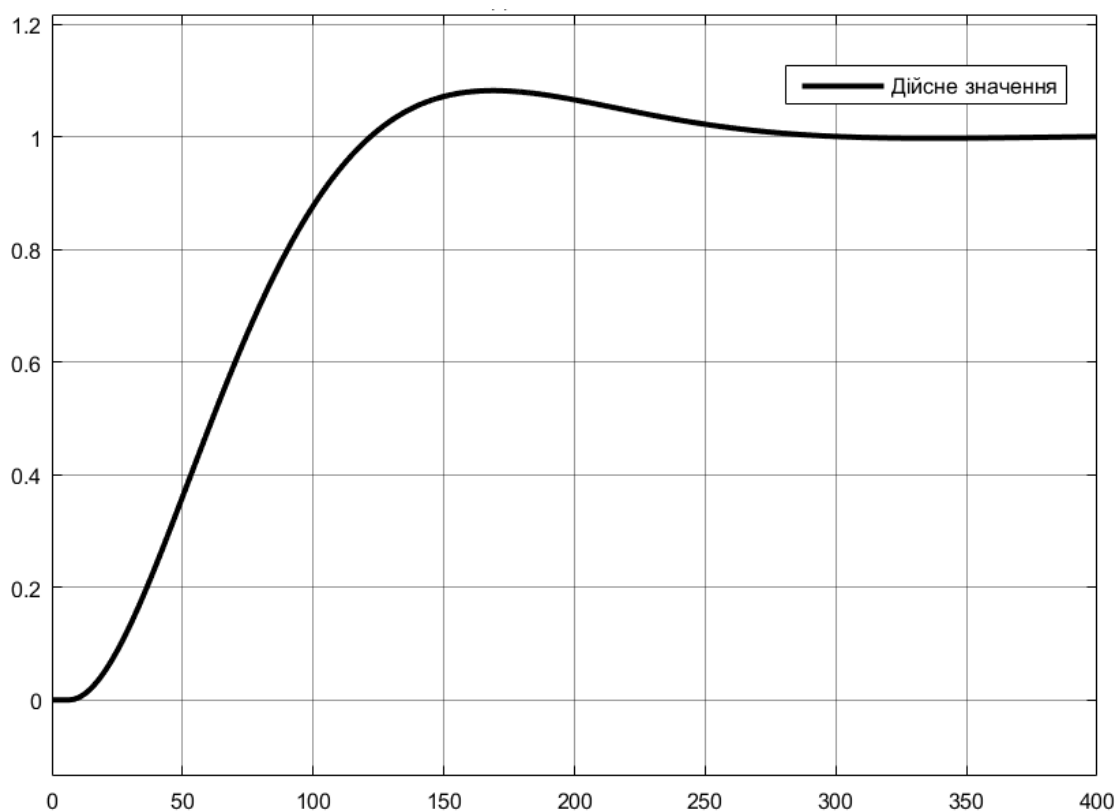
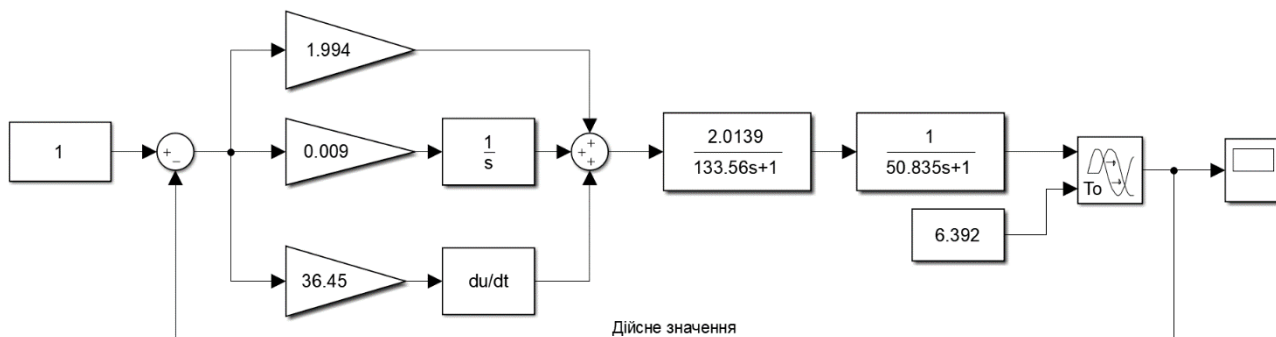


Рисунок 4.1 – Скорегована САР з ПІД-регулятором

Тепер треба перетворити безперервні моделі регулятора та об'єкта керування на цифрові моделі щоб була можливість моделювання роботи програмного забезпечення (ПЗ) САК та НМІ у SCADA системі zenon.

На рис 4.2 представлена схема для порівняння роботи безперервного та цифрового об'єкта керування.

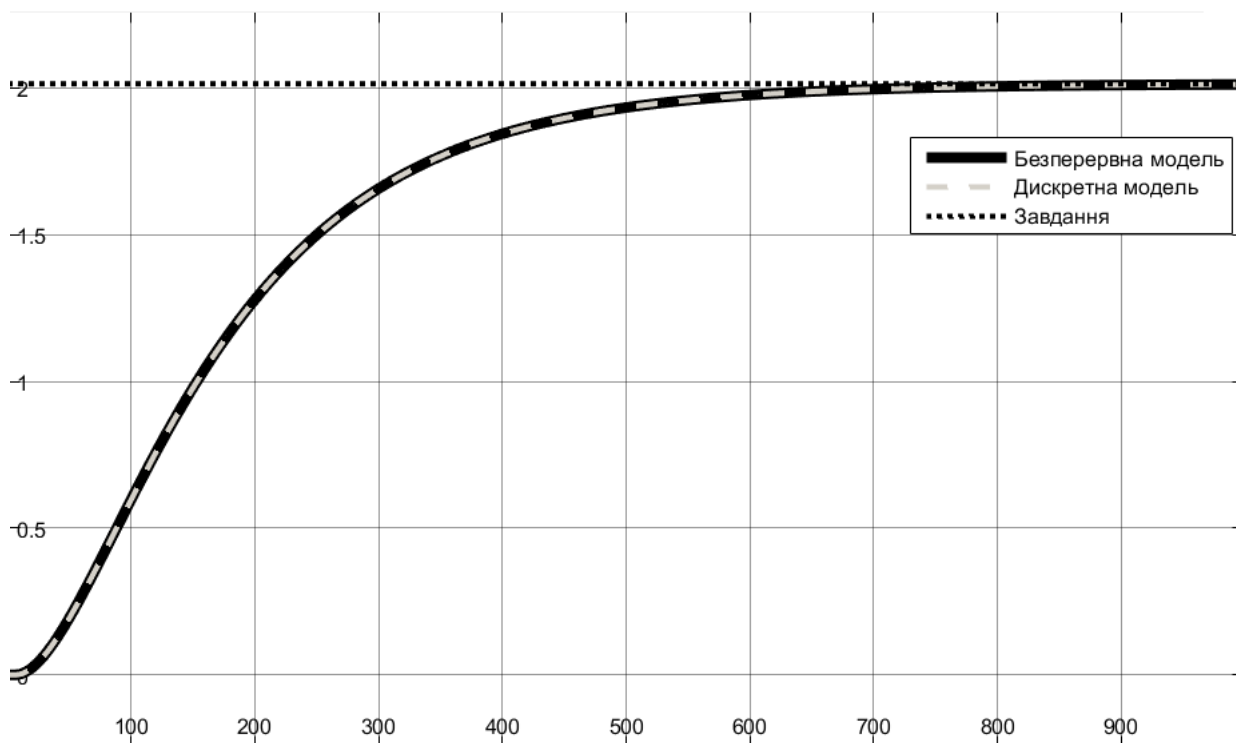
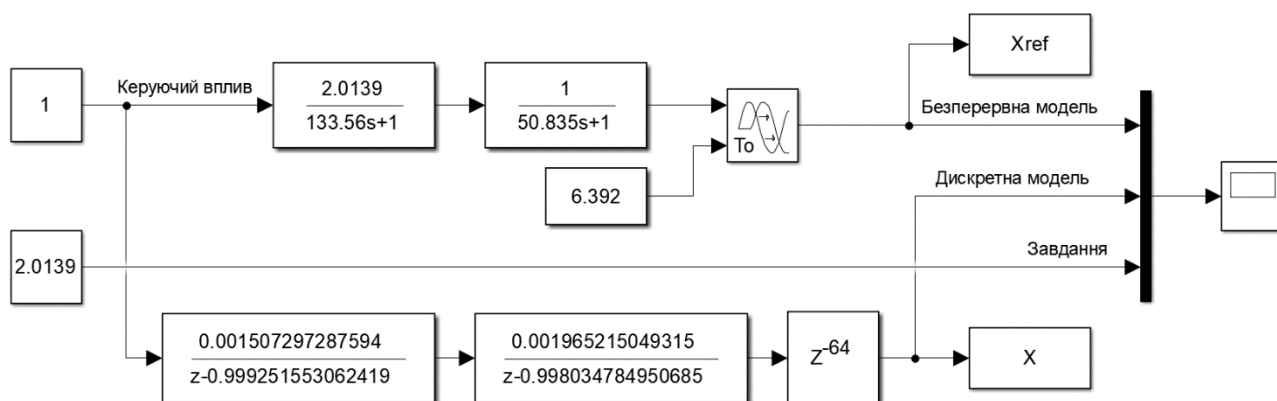


Рисунок 4.2 – Робота безперервної та цифрової моделей об'єкта керування

Результат перевірки на адекватність аналогової і цифрової моделей об'єкта керування представлено на рис. 4.3

Коефіцієнт кореляції: 1.000

Статистичний критерій фішера: 455405427335.161

Критичне значення статистичного критерію фішера: 2.706

Статистичний критерій фішера більший критичного значення.  
Модель є адекватною до об'єкта керування.

Рисунок 4.3 – Результат перевірки на адекватність аналогової і цифрової моделей об'єкта керування

Схема блоку цифрового ПІД-регулятора показана на рис. 4.4.

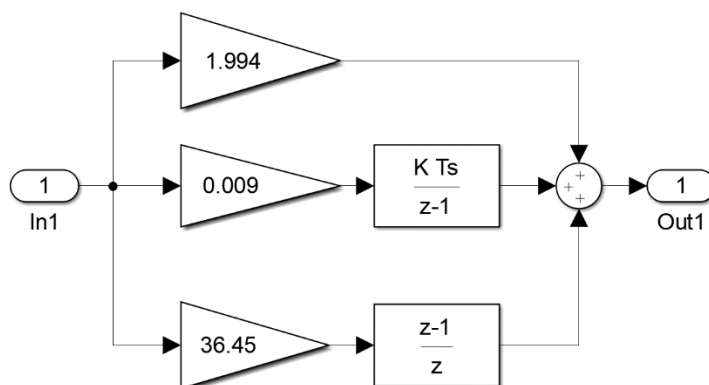


Рисунок 4.4 - Цифровий ПІД-регулятор

Порівняння роботи для безперервної та цифрової САР показано на рис. 4.5.

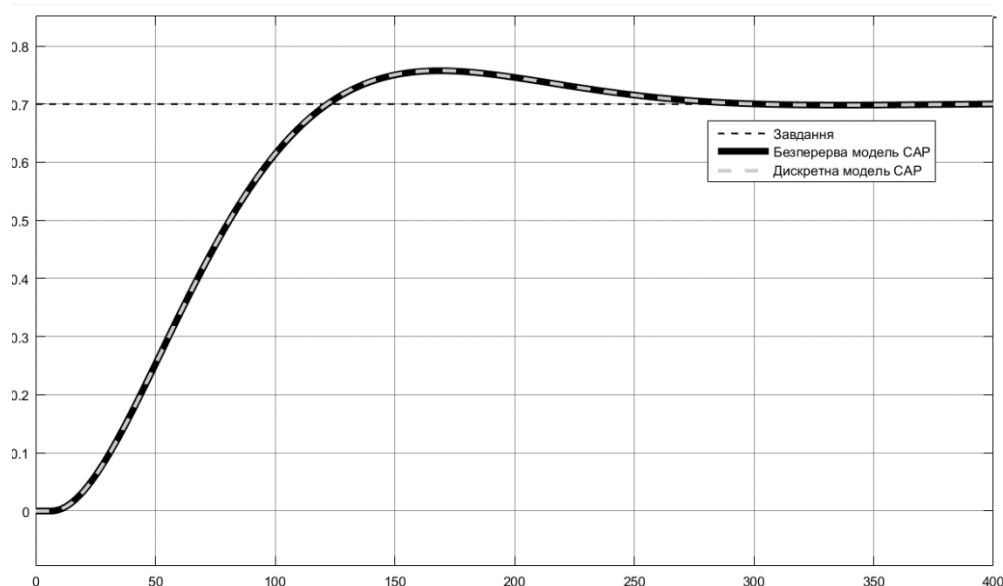
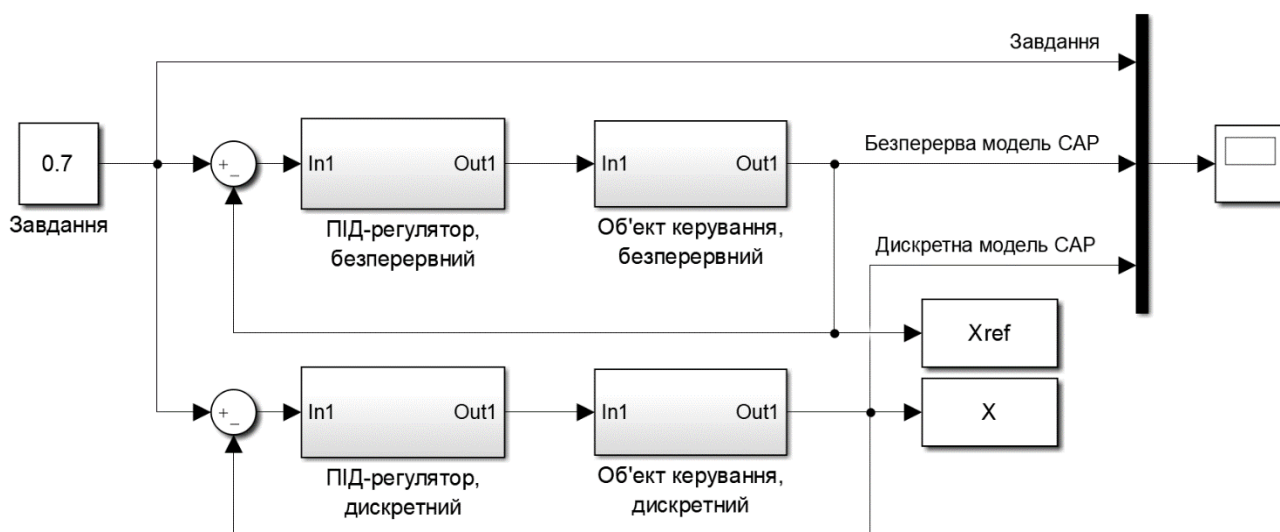


Рисунок 4.5 – Моделювання роботи безперервної та цифрової САР

Результат перевірки параметрів на адекватність цифрової до безперервної моделі САР представлено на рис. 4.6.

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

Відповідність безперервної і цифрової моделей САР: 99.90 %

Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0

Коефіцієнт кореляції: 1.000
Статистичний критерій Фішера: 6169256809.653
Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.707

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.
Модель є адекватною до об'єкта керування.

```

Рисунок 4.5 – Результат перевірки параметрів на адекватність цифрової до безперервної моделі САР

Згенероване у Matlab ПЗ для цифрових модулів моделей об'єкту керування і ПД-регулятора знаходиться у додатку А.

## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Zenon - це програмна платформа, яка робить проектування та автоматизацію роботи виробничого та інфраструктурного обладнання неймовірно простим. Незалежно від галузі виробництва zenon може допомогти досягти та підтримувати на достойному сучасному рівні любі операційні цілі. Zenon забезпечує надійну, гнучку та ефективну роботу обладнання. Особи, які приймають рішення, інженери та оператори у виробничих компаніях використовують можливості цієї комплексної програмної платформи для об'єднання всіх відповідних областей, від створення проекту до технічного обслуговування, що підвищує загальну ефективність обладнання.

Розробка ПЗ починається зі створення змінних (рис. 4.6) та підключення драйверу ПЛК (рис. 4.7).

St...	Name	Identifi...	Measuri...	Net addr...	Data blo...	Offset	Bit n...	Alig...	Sym...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
F...▼	Filter text	Filter...	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filter t...	Filt...	Filt...	Filt...	Filter text	Filter t...	Filter text	Filter text
	Temperature			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Pressure			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Task			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive			0	0	0	0	0		Intern - Driver f...	BOOL	0	0

Рисунок 4.6 – Змінні ПЛК

St...	Identification	Description	File name
	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32

Рисунок 4.7 – Драйвер ПЛК

ПЗ для реалізації ПІД-регулятора та об'єкта керування розроблено для ПЛК. Демонстрація ПЗ мовою Structured Text показана (рис. 4.8 та рис. 4.9).

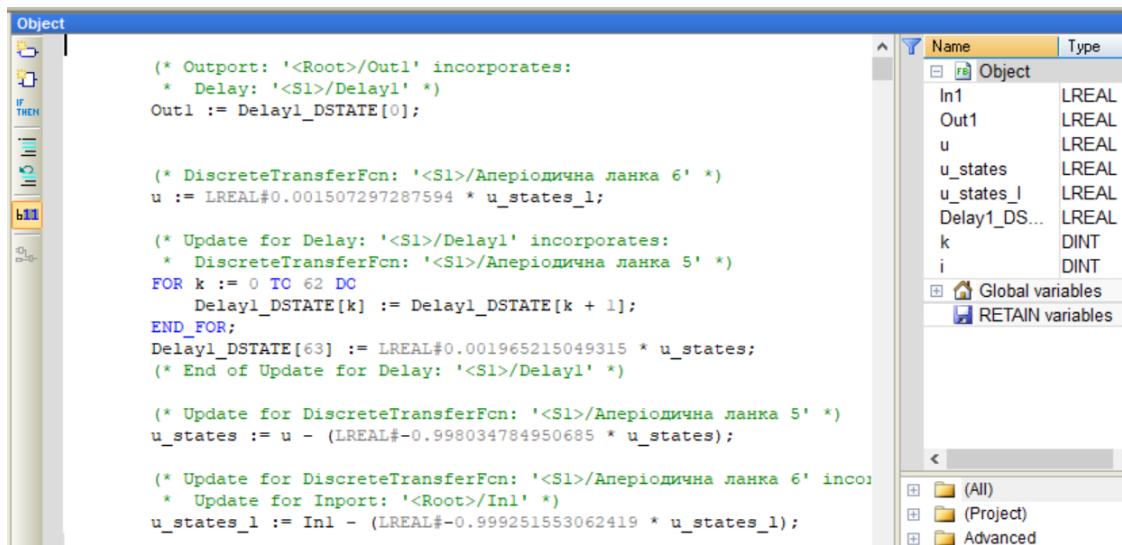


Рисунок 4.8 - ПЗ об'єкту керування "Object".

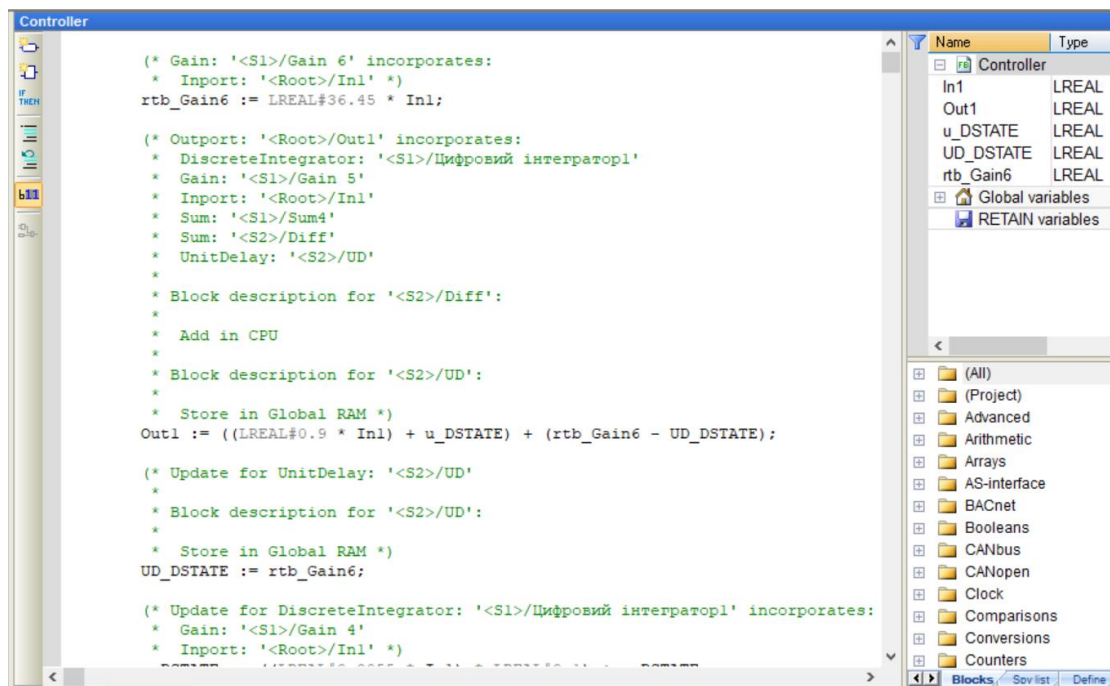


Рисунок 4.9 - ПЗ ПІД-регулятора "Controller".

Структурна схема САР з ПД-регулятором і результат перевірки її роботи ПЗ в zenon Logic в режимі симулятора показано на рис. 4.10 та рис. 4.11.

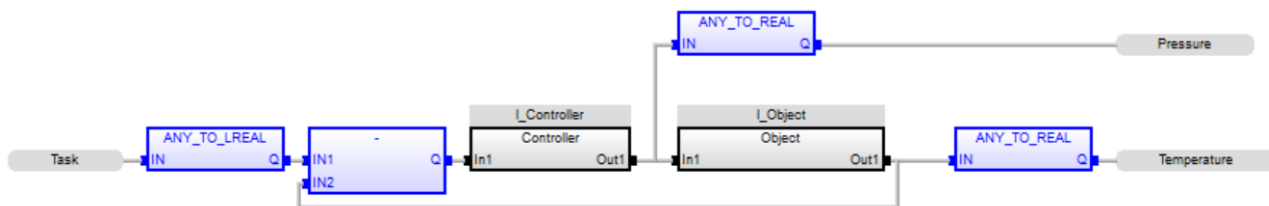


Рисунок 4.10 – Схема об'єкту керування

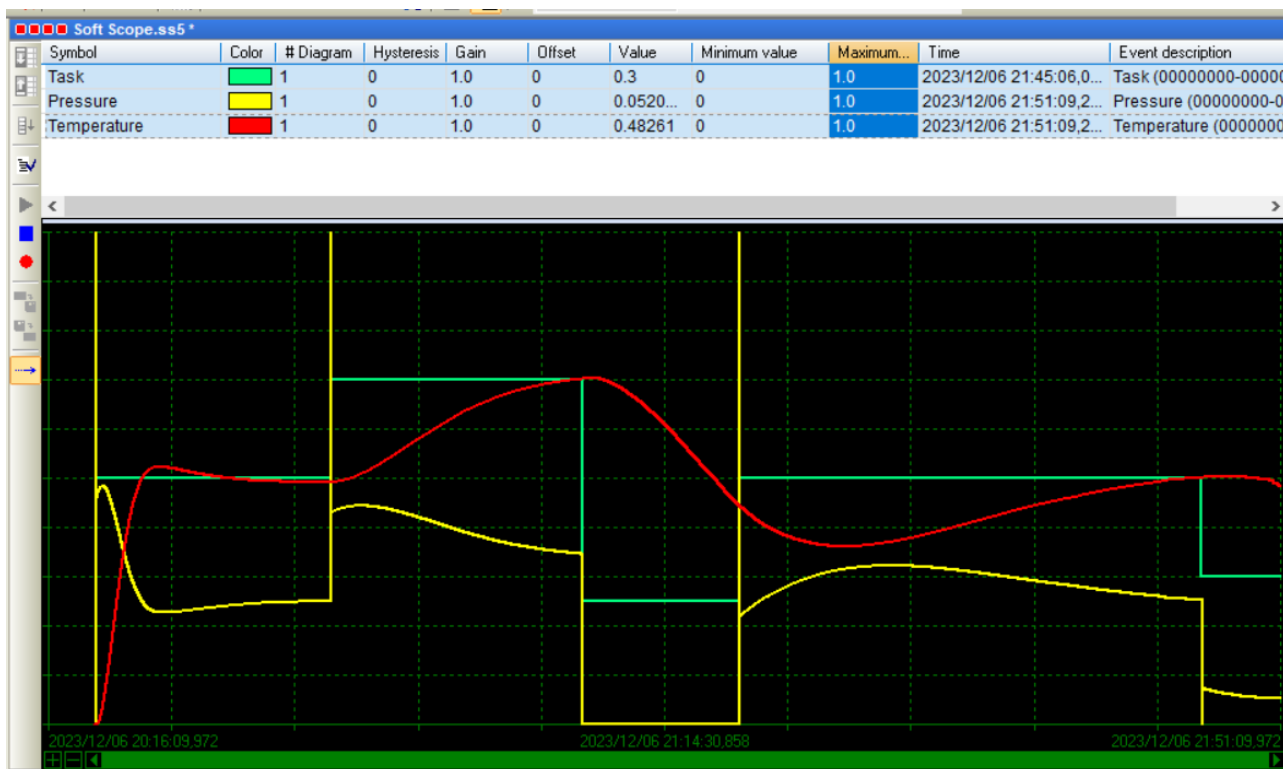


Рисунок 4.11 – Результат моделювання роботи об'єкту керування

### 4.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу

Zenon використовується багатьма компаніями по всьому світу для візуалізації процесів, як людино-машинний інтерфейс (HMI) і як система управління технологічними процесами (SCADA). Відкритість zenon робить можливими швидкі та ефективні інтерфейси з будь-яким апаратним або програмним забезпеченням.

Системний zenon HMI SCADA обмінюється даними через стандартні інтерфейси, такі як COM, ActiveX, XML або власний шлюз процесів zenon. Він також може обмінюватися даними з багатьма пропрієтарними інтерфейсами,



включаючи, наприклад, PI-PCS, які використовуються SAP®. Всі з'єднання управління програмуються власними силами в COPA-DATA, точно налаштовуються під цільову систему, а потім всебічно тестуються.

Шаблони НМІ-зображень необхідні для відображення екранів з основною інформацією та розміщення кнопок навігації по НМІ (рис. 4.12).

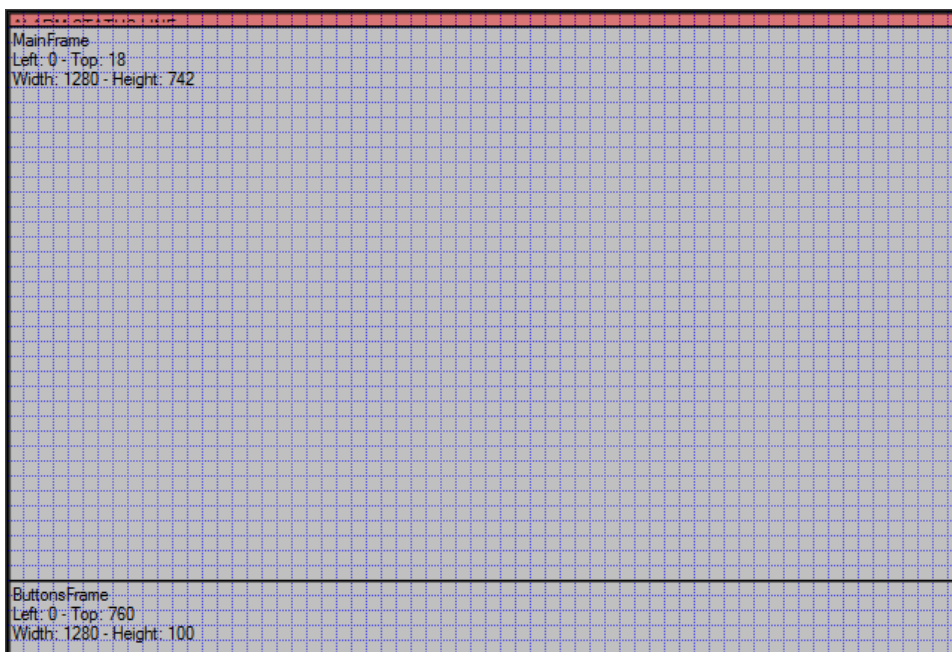


Рисунок 4.12 – Шаблони НМІ

Кнопки навігації забезпечують навігації між вікнами відображення різної інформації про об'єкт керування та завершення роботи НМІ-інтерфейсу (рис. 4.13).



Рисунок 4.14 – Кнопки навігації

Екрани НМІ містять необхідну інформацію про роботу та параметри об'єкту керування - вотатор (скребковий холодоагент маргаринової емульсії) ЛМСО-33, який призначений для виробництва маргарину методом переохолодження маргаринової емульсії, відображення цієї інформації у графічному вигляді та іншу інформацію (рис. 4.14...4.16).



Рисунок 4.14 – Вікно «Тренд»

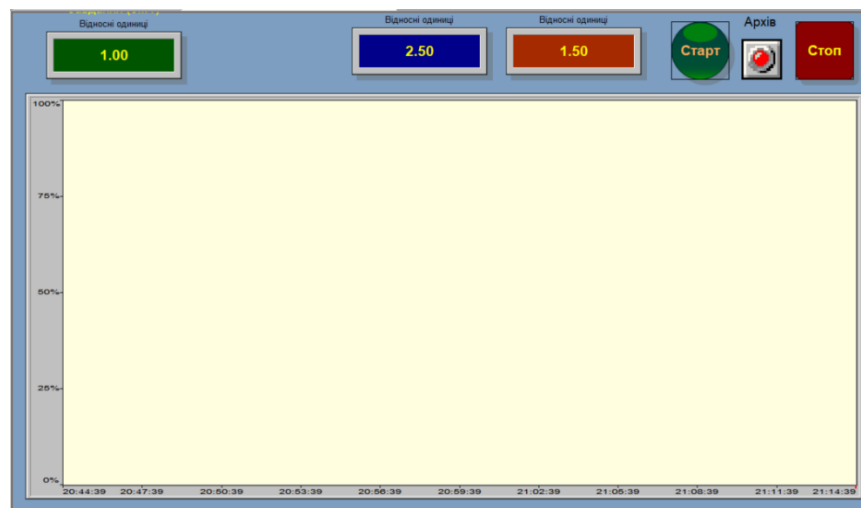


Рисунок 4.15 – Вікно «Графік»

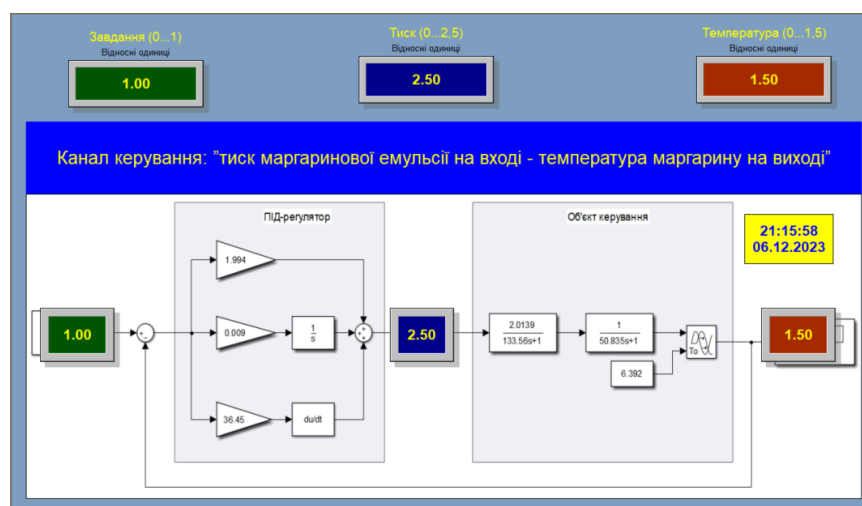


Рисунок 4.16 – Вікно «Об'єкт»

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Робото-спроможність ПЗ системи керування скребковим холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 перевірялось в SCADA zenon runtime шляхом подачі завдання температури на вхід системи керування в діапазоні 0...1 умовних значень, а спостерігались показники температури на виході об'єкту керування. Після спостереження за роботою SCADA zenon зроблено висновок, що об'єкт керування та ПД-регулятор працюють адекватно, кнопки НМІ виконують свої функції (рис. 4.17...рис. 4.19).



Рисунок 4.17 – Екран НМІ «Тренд»

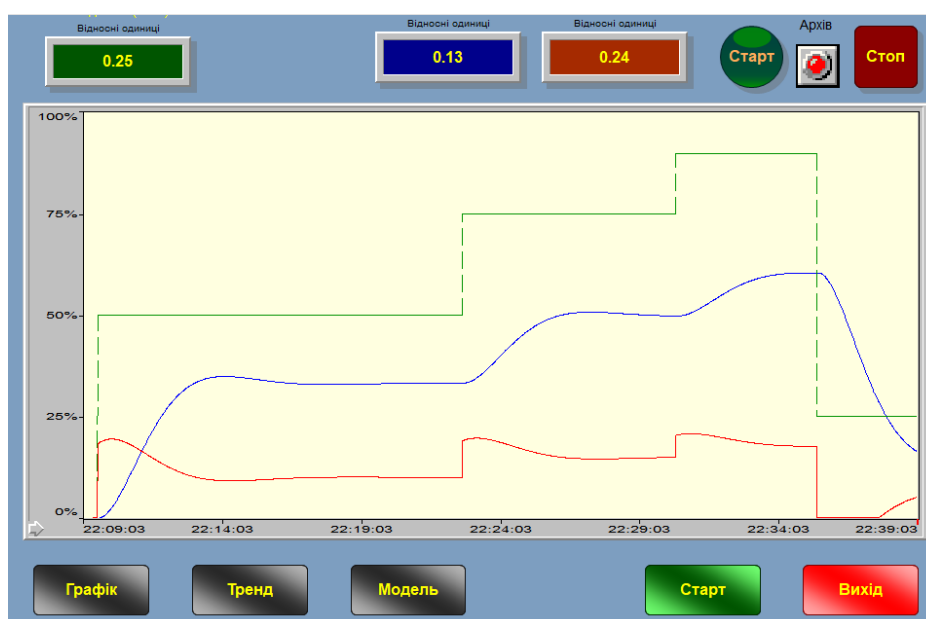


Рисунок 4.18 – Екран НМІ «Графік»

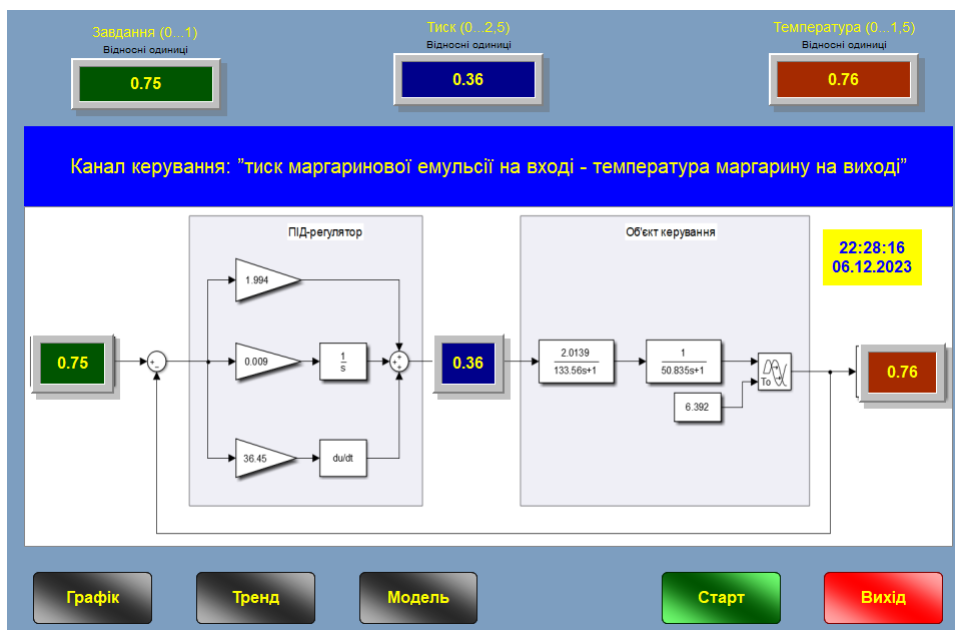


Рисунок 4.19 – Екран НМІ «Модель»

#### 4.5 Висновки до розділу

Для безперервних моделей ПД-регулятора та об'єкта керування були розроблені їх цифрові моделі, в MATLAB було згенеровано для них ПЗ для ПЛК, потім це ПЗ було імпортовано у середовище SCADA zenon. Функціональність цифрових моделей була перевірена в режимі симуляції. Розроблений НМІ був перевірений також в режимі симуляції роботи ПД-регулятора та об'єкта керування.

Можна зробити висновок що ПЗ та НМІ працюють відповідно до завдання по забезпеченню керування скребковим холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Доцільність розробки САК

Маргарин, як і інші харчові продукти, сьогодні на багатьох заводах виробляється за суворими процедурами простежуваності. Ці процедури, як правило, охоплюють інгредієнти, виробництво та кінцевий продукт, призводять не тільки до підвищення безпеки харчових продуктів, але й до постійної якості харчових продуктів. Вимоги до простежуваності можуть бути реалізовані в системі керування на заводі, яка призначена для контролю, реєстрації та керування технологічним процесом документування технологічних параметрів і інших параметрів, що стосуються всього виробничого процесу.

Система керування виробництвом оснащена захистом паролем і забезпечує реєстрацію поточних даних для усіх технологічних параметрів, задіяних у лінії переробки маргарину, від інформації про рецепт до оцінки кінцевого продукту. Реєстрація даних включає продуктивність і продуктивність насоса високого тиску (л/год і протитиск), температуру продукту (включаючи процес пастеризації) під час кристалізації, температуру охолодження (або тиск охолоджуючих середовищ), швидкість роботи машин зі гвинтовим ротором, а також навантаження двигунів, що працюють на насосі високого тиску і машинах зі гвинтовим ротором.

Під час обробки оператору технологічного процесу будуть надсилатися сигнали тривоги, якщо параметри обробки для конкретного товару виходять за допустимі межі; Ці параметри встановлюються у редакторі рецептів перед виробництвом. Ці тривоги мають бути підтверджені вручну та вжиті дії відповідно до процедур. Усі сигнали тривоги зберігаються в історичній системі сигналізації для подальшого перегляду.

Коли продукт сходить з виробничої лінії у відповідній упаковці або заповненій формі, він, крім назви продукту, зазвичай позначається датою, часом та ідентифікаційним номером партії для подальшого відстеження. Таким чином,

повна історія всіх етапів виробництва, пов'язаних з виробничим процесом, подається для безпеки виробника і кінцевого споживача, споживача.

Метою магістерської роботи є системи автоматичного регулювання (САР) скребковим холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 по каналу ”тиск маргаринової емульсії на вході - температура маргарину на виході”.

## 5.2 Капітальні витрати для САК

Капітальні витрати показують складові ресурсної структури:

$$K = B_o + B_{mp} + B_m, \quad (5.1)$$

де  $B_o$  – вартість обладнання, грн.;  $B_{mp}$  – витрати на транспортування, грн.;  $B_m$  – витрати на монтаж та наладку, грн.;  $B_{пз}$  – витрати на ПЗ, грн.

Таблиця 5.1 – Перелік комплектуючих

№	Найменування	Одиниц і виміру	Кільк ість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	ПЛЛІ VIPA 214DPM (214-1BM02)	од.	1	18 319,95	18 319,95
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	6 304,60	12 609,20
3	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	3 106,61	3 106,61
4	Датчик температури Т.ХА-420-Кл1-1	од.	3	917,70	2 753,10
5	Датчик тиску серії MBS 3000	од.	3	1 859,63	5 578,90
6	Частотний перетворювач Altivar Process ATV930D37N4	од.	1	185 188,40	185 188,40
7	Частотний перетворювач Altivar Process ATV930D22N4	од.	1	139 457,55	139 457,55
8	Реле твердотільне Jotta SSR 25DA	од.	3	1 360,59	4 081,77
9	Мережний кабель	м	120	37,91	4 548,60
10	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	41 496,40	41 496,40
11	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1 928,50	3 857,00
	Разом				420 997,48

Основне та допоміжного обладнання коштує  $B_o = 420\,997,48$  грн.

Транспортні витрати визначаються в залежності від вартості обладнання:

$$B_{mp} = B_o * 0,06 \quad (5.2)$$

$$B_{mp} = 420\,997,48 * 0,06 = 252\,59,85 \text{ грн.}$$

Монтажні витрати визначаються в залежності від вартості обладнання:

$$B_m = B_o * 0,07 \quad (5.3)$$

$$B_m = 420\,997,48 * 0,07 = 29\,469,83 \text{ грн.}$$

Витрати на ПЗ:

- SCADA zenon: 49 750,00 грн;

- Windows 11: 5 780,00 грн;
- розробка ПЗ: 22 200,00 грн;

$$B_{пз} = 49\,750,00 + 5\,780,00 + 22\,200,00 = 77\,730 \text{ грн.}$$

Таким чином капітальні витрати:

$$K = 420\,997,48 + 252\,59,85 + 252\,59,85 + 77\,730 = 549\,247,18 \text{ грн.}$$

### 5.3 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати містять наступні складові:

- амортизація  $C_a$ ;
- зарплата  $C_z$ ;
- соціальні заходи  $C_c$ ;
- ремонт  $C_{p.m.o.}$ ;
- електроенергія  $C_{ee}$ ;
- інші витрати  $C_{ини.}$

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{ини.}, \quad (5.4)$$

Для основних фондів з 4 групи термін експлуатації становить 5 років і амортизація може бути розрахована за методом прискореного зменшення залишкової вартості за нормою амортизації:

$$H_a = (2 / T) * 100, \quad (5.5)$$

де  $T$  – термін експлуатації, рік;  $H_a$  – норма амортизації, %;

$$H_a = (2 / 5) * 100 = 40, C_a = (K * H_a) / 100, \quad (5.6)$$

$C_a$  – річна сума амортизаційних;  $K$  – капітальні витрати, грн;

$$C_a = 549\,247,18 * 40 / 100 = 219\,698,88 \text{ грн.}$$

Річний фонд робочого часу:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) \cdot T_{зм} \quad (5.7)$$

де,  $T_k$  – календарний фонд, дні ( $T_k = 365$ );  $T_{вих.св}$  – вихідні дні та свята, дні ( $T_{вих.св} = 118$ );  $T_{відп}$  – відпустка, дні ( $T_{відп} = 21$ );  $T_{зм}$  – тривалість зміни, год ( $T_{зм} = 8$ ).

$$T_{ном.рік} = (365 - 118 - 21) * 8 = 1\,808 \text{ год.}$$

Технологічний процес керування холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 безперервний, роботи ведуться цілодобово у три зміни. У процесі

роботи задіяні: один оператор кожної зміни, один технолог і один електрослюсар одну зміну на добу. Таким чином фонд річної заробітної плати можна представити в табличній формі (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	126,12	1 840	696 207,24	55 696,58	48 734,51	800 638,33
2	Інженер-технолог	1	176,97		325 623,14	26 049,85	22 793,62	374 466,62
3	Наладчик	1	157,22		289 275,60	23 142,05	20 249,29	332 666,94
Разом								1 507 771,88

Заробітна плата:  $C_3 = 1\,507\,771,88$  грн.

Соціальні заходи:

$$C_c = 0,22 * C_3 \quad (5.8)$$

$$C_c = 0,22 * 1\,507\,771,88 = 331\,709,82 \text{ грн.}$$

Відрахування на ремонт залежать від капітальних витрат:

$$C_{p.t.o.} = K * 0,04, \text{ грн} \quad (5.9)$$

$$C_{p.t.o.} = 549\,247,18 * 0,04 = 21\,969,89 \text{ грн.}$$

Електроенергія:

$$C_{ee} = K_e * K_{dp} * T, \quad (5.10)$$

де  $K_e$  – потужність, кВт (1,45 кВт);  $K_{dp}$  – кількість днів у році (365 днів);

$T$  – тариф на електроенергію (2,75 грн за кВт/год з ПДВ).

$$C_{ee} = 1,45 * 365 * 24 * 2,75 = 34\,930,5 \text{ грн.}$$

Інші витрати залежать від річного фонду заробітної плати:

$$C_{інш} = C_3 * 0,04 \quad (5.11)$$

$$C_{інш} = 1\,507\,771,88 * 0,04 = 60\,310,88 \text{ грн.}$$

За формулою 4.3 розраховуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C_e = 219\,698,88 + 1\,507\,771,88 + 331\,709,82 + 21\,969,89 + 34\,930,5 + 60\,310,88 = 2\,176\,391,85 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати представлені в табл. 5.3.



Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	219 698,88
Фонд заробітної плати	1 507 771,88
Відрахування на соціальне страхування	331 709,82
Ремонт і технічне обслуговування	21 969,89
Електроенергія	34 930,5
Інші витрати	60 310,88
Разом	2 176 391,85

#### 5.4 Оцінка економічної ефективності проекту

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$ :

$$E_p = E / K, \text{ частки од.} \quad (5.12)$$

де  $E$  – загальна річна економія, грн.;  $K$  – капітальні витрати, грн.

Скребоквий холодоагент маргаринової емульсії) ЛМСО-33 з виробництва маргарину приносить підприємству до 30 млн. грн прибутку. Автоматизація підвищує рівень прибутку в середньому на 1,0 % від прибутку.

$$E = 30\,000\,000 * 0,01 = 300\,000 \text{ грн.}$$

$$E_p = 300\,000 / 549\,247,18 = 0,55.$$

Типовий по галузі нормативний коефіцієнту економічної ефективності становить 0,15.

$$E_p > E_p \quad (5.13)$$

$$0,55 > 0,15.$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$ :

$$T_p = K / E, \text{ років} \quad (5.14)$$

$$T_p = 549\,247,18 / 300\,000 = 1,83 \text{ роки.}$$

#### 5.5 Висновки до розділу

Для впровадженні САР холодоагентом маргаринової емульсії типу ЛМСО-33 капітальні витрати складуть 550 тис. грн., річні експлуатаційні витрати будуть до 2,2 млн. грн. Коефіцієнт ефективності більше ніж його нормативне значення в середньому по галузі, термін окупності САР до 2 років.

Впровадження САР є доцільним та економічно вигідним.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виробництві маргарину

Технологічний процес виробництва маргарину характеризується використанням різноманітного обладнання, технологічних процесів та сировини. Це може призвести до виникнення шкідливих та небезпечних факторів, які можуть негативно вплинути на здоров'я та безпеку працівників.

На основі аналізу технологічного процесу виробництва маргарину можна виділити такі шкідливі та небезпечні фактори:

а) Шум. Технологічний процес виробництва маргарину супроводжується шумом від роботи обладнання, що може призвести до погіршення слуху працівників.

Джерелами шуму в цеху виробництва маргарину є:

- змішувачі, які використовуються для перемішування компонентів маргарину;
- екстрактори, які використовуються для вилучення жиру з рослинних олій;
- фасувальні машини, які використовуються для фасування маргарину в упаковку.

Рівень шуму в робочій зоні цеху виробництва маргарину може досягати 85 дБ. Це перевищує допустимий рівень шуму для 8-годинного робочого дня без використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

б) Температура. Температура в цеху виробництва маргарину може бути високою, що може призвести до теплового удару працівників.

Обладнання, яке може підвищувати температуру в цеху більше 30 градусів:

- змішувачі;
- екстрактори;
- маслочисні установки;

- апарати для гідратації жирів;
- апарати для пастеризації маргарину.

в) Вологість. Вологість в цеху виробництва маргарину може бути високою, що може призвести до підвищеної втомлюваності працівників. Обладнання, яке може бути джерелом підвищеної вологості:

- змішувачі;
- екстрактори;
- маслоочисні установки;
- апарати для гідратації жирів.

г) Загазованість. У процесі виробництва маргарину можуть утворюватися шкідливі гази, наприклад, оксиди вуглецю, азоту та сірки. Концентрація цих газів у повітрі робочої зони цеху виробництва маргарину може досягати 20 мг/м<sup>3</sup>. Це перевищує допустимий рівень загазованості. Обладнання, яке може бути джерелом загазованості:

- екстрактори;
- апарати для гідратації жирів;
- апарати для пастеризації маргарину.

## **6.2 Інженерно-технічні заходи щодо нормалізації умов праці при виробництві маргарину**

Для аналізу шуму у технологічному процесі виробництва маргарину необхідно використовувати спеціальне обладнання, яке називається шумоміром. Шумомір - це прилад, який дозволяє вимірювати рівень шуму в децибелах (дБ). Технологічні операції щодо аналізу шуму включають в себе наступні етапи:

а) Вибір місця для проведення вимірювань. Шумомер необхідно встановлювати в місцях, де працівники найбільше схильні до впливу шуму. Це можуть бути робочі місця біля обладнання, яке є джерелом шуму, а також місця, де працівники проходять або перебувають під час виконання своїх обов'язків.

б) Підготовка обладнання. Перед проведенням вимірювань необхідно перевірити справність шумоміра та встановити його на правильну висоту. Шумомер повинен розташовуватися на рівні вух працівника.

в) Проведення вимірювань. Вимірювання рівня шуму необхідно проводити в кількох точках робочої зони. Для цього необхідно встановити шумомір на кожній точці та тримати його не менше 1 хвилини.

г) Обробка результатів вимірювань. Після проведення вимірювань необхідно обробити результати та визначити середній рівень шуму в робочій зоні.

Результати аналізу шуму необхідно використовувати для оцінки ризиків шкідливого впливу шуму на працівників. Якщо рівень шуму перевищує допустимі норми, необхідно вжити заходів щодо його зниження. Вимірювання рівня шуму проводилося в трьох точках робочої зони: біля змішувача, біля екстрактора та біля фасувального обладнання.

Вимірювання проводилися протягом 1 хвилини в кожній точці, результати вимірювання наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Результати вимірювань шуму

Точка вимірювання	Рівень шуму, дБ
Біля змішувача	90
Біля екстрактора	85
Біля фасувального обладнання	80

Результати вимірювань показали, що рівень шуму в цеху з виробництва маргарину перевищує допустимі норми. Середній рівень шуму в робочій зоні становить 85 дБ. Це може призвести до погіршення слуху працівників.

### **6.2.1 Розрахунок оцінки ризиків професійного захворювання від шуму**

Зробимо розрахунок оцінки ризиків професійного захворювання від шуму при наступних початкові дані:

- рівень шуму на робочому місці      85 дБ.
- тривалість робочої зміни:              8 годин.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): беруші, які знижують рівень шуму на 25 дБ.

Розрахунок:

Рівень шуму, який впливає на працівника без ЗІЗ: 85 дБ.

Рівень шуму, який впливає на працівника з ЗІЗ: 85 дБ - 25 дБ = 60 дБ.

Допустимий рівень шуму для 8-годинного робочого дня без використання ЗІЗ: 85 дБ.

Допустимий рівень шуму для 8-годинного робочого дня з використанням ЗІЗ: 85 дБ - 5 дБ/рік \* 8 років - 70 дБ.

Рівень шуму, який впливає на працівника з використанням ЗІЗ, становить 60 дБ. Це нижче допустимого рівня шуму для 8-годинного робочого дня з використанням ЗІЗ. Таким чином, ризик професійного захворювання від шуму для працівника є низьким.

### **6.2.2 Розрахунок оцінки ризику отримання теплового удару протягом робочого часу в цеху виробництва маргарину**

Зробимо розрахунок оцінки ризику отримання теплового удару протягом робочого часу в цеху виробництва маргарину для наступних початкових даних:

- температура повітря в робочій зоні: 30 °С;
- вологість повітря в робочій зоні: 70%;
- тривалість робочої зміни: 8 годин;
- вік працівника: 30 років.
- вага працівника: 70 кг;
- зріст працівника: 170 см.

Розрахунок:

Індекс теплового навантаження (ІТН).

$$ІТН = (t + 0,61 * w) * f \quad (6.1)$$

де t - температура повітря в робочій зоні, °С; w - відносна вологість повітря в робочій зоні, %; f - фізична активність працівника, коефіцієнт.

Для працівника, який виконує ручну роботу середньої інтенсивності, коефіцієнт  $f$  становить 1,6.

$$ІГН = (30 + 0,61 * 70) * 1,6 = 76,32.$$

Дані для оцінки ризику теплового удару наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники для оцінки ризику теплового удару

ІГН	Рівень ризику
> 75	високий
60-75	середній
< 60	низький

ІГН для працівника, який працює в цеху виробництва маргарину, становить 76,32. Це означає, що рівень ризику теплового удару для працівника є високим.

Для зниження ризику теплового удару необхідно вжити таких заходів:

- забезпечити працівників достатнім питвом;
- забезпечити працівників зручним одягом і взуттям, які забезпечують вентиляцію;
- створити в робочій зоні комфортні умови мікроклімату;
- проводити регулярні перерви для відпочинку.

### **6.2.3 Розрахунок оцінки втомлюваності працівників при вологості в цеху виробництва маргарину**

Зробимо розрахунок оцінки втомлюваності працівників при вологості в цеху виробництва маргарину для наступних початкових даних:

- вологість повітря в робочій зоні: 70%;
- тривалість робочої зміни: 8 годин;
- вік працівника: 30 років;
- вага працівника: 70 кг;
- зріст працівника: 170 см.

Розрахунок:

Індекс втомлюваності (ІВ).

$$ІВ = (w * t) / 25 \quad (6.3)$$

де  $w$  - відносна вологість повітря в робочій зоні, %;  $t$  - температура повітря в робочій зоні, °C;  $IV = (70 * 30) / 25 = 84$ .

Дані для оцінки втомлюваності працівників наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Показники для оцінки втомлюваності працівників

IV	Рівень втомлюваності
> 70	високий
60-70	середній
< 60	низький

IV для працівника, який працює в цеху виробництва маргарину, становить 84. Це означає, що рівень втомлюваності для працівника є високим.

Для зниження рівня втомлюваності працівників необхідно вжити таких заходів:

- знизити рівень вологості повітря в робочій зоні;
- забезпечити працівників зручним одягом і взуттям, які забезпечують вентиляцію;
- проводити регулярні перерви для відпочинку.

#### 6.2.4 Розрахунок загазованості в цеху виробництва маргарину

Зробимо розрахунок загазованості в цеху виробництва маргарину для наступних початкових даних:

- об'єм робочої зони: 1000 м<sup>3</sup>;
- кількість працівників: 10 осіб;
- нормативний рівень загазованості: 10 мг/м<sup>3</sup>;
- концентрація забруднюючих речовин у повітрі робочої зони: 20 мг/м<sup>3</sup>.

Розрахунок:

Розрахунковий об'єм повітря, що видаляється:

$$Q = V * (C_{\text{мах}} - C_{\text{норм}}) / K, \quad (6.4)$$

де  $V$  - об'єм робочої зони, м<sup>3</sup>;  $C_{\text{мах}}$  - максимальна концентрація забруднюючих речовин у повітрі робочої зони, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{норм}}$  - нормативний рівень загазованості, мг/м<sup>3</sup>.

К - коефіцієнт запасу, зазвичай приймається рівним 2.

$$Q = 1000 * (20 - 10) / 2 = 750 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Потужність вентиляційного обладнання:

$$P = Q / 3600, \quad (6.5)$$

де Q - розрахунковий об'єм повітря, що видаляється, м<sup>3</sup>/год.

$$P = 750 / 3600 = 0,21 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$P = 0,21 * 3600 * 1000 = 750 \text{ кПа.}$$

Для зниження загазованості в цеху виробництва маргарину необхідно встановити вентиляційне обладнання з потужністю не менше 750 кПа. Це обладнання буде забезпечувати видалення 750 м<sup>3</sup>/год забрудненого повітря з робочої зони а також рекомендовано впровадити:

- забезпечити герметичність обладнання, яке може бути джерелом загазованості;
- забезпечити регулярне технічне обслуговування обладнання;
- проводити навчання працівників з питань поводження з небезпечними речовинами.

### **6.3 Протипожежні заходи**

#### **6.3.1 Пожежна профілактика**

Пожежна профілактика в цеху по виробництву маргарину повинна проводитися відповідно до вимог нормативно-правових актів у галузі пожежної безпеки.

Основними завданнями пожежної профілактики в цеху по виробництву маргарину є:

- запобігання виникненню пожеж;
- забезпечення своєчасного виявлення і гасіння пожеж;
- зменшення можливих збитків від пожеж;
- заходи пожежної профілактики.

Для забезпечення пожежної безпеки в цеху по виробництву маргарину необхідно вжити таких заходів:



- встановити пожежну сигналізацію і автоматичні системи пожежогасіння;
- організувати пожежну охорону цеху;
- забезпечити працівників засобами пожежогасіння;
- провести навчання працівників з питань пожежної безпеки;
- пожежна сигналізація і автоматичні системи пожежогасіння.

Пожежна сигналізація повинна забезпечувати своєчасне виявлення пожежі і подачу сигналу на пульт пожежної охорони. Автоматичні системи пожежогасіння повинні забезпечувати гасіння пожежі в початковій стадії її розвитку.

Пожежна охорона цеху повинна забезпечувати постійне чергування пожежного персоналу і проведення заходів щодо гасіння пожеж.

Засоби пожежогасіння повинні бути доступними для працівників і знаходитися в справному стані.

Працівники цеху по виробництву маргарину повинні пройти навчання з питань пожежної безпеки.

Крім загальних вимог, до пожежної профілактики в цеху по виробництву маргарину пред'являються також специфічні вимоги, пов'язані з особливостями технологічного процесу.

Так, в цеху по виробництву маргарину необхідно забезпечити:

- правильне зберігання горючих матеріалів;
- забезпечення герметичності обладнання, яке може бути джерелом виділення горючих газів.

Відсутність відкритого вогню і електроустановок, які не відповідають вимогам пожежної безпеки.

### **6.3.2 Поводження з горючими матеріалами**

Горючі матеріали, такі як мастила, розчинники, лакофарбові матеріали, повинні зберігатися в спеціально призначених для цього приміщеннях, які відповідають вимогам пожежної безпеки.

Обладнання, яке може бути джерелом виділення горючих газів, наприклад, екстрактори, повинні бути герметичними. У разі порушення герметичності обладнання необхідно негайно усунути причину порушення.

У цеху по виробництву маргарину не допускається використання відкритого вогню, а електроустановки повинні відповідати вимогам пожежної безпеки.

Для запобігання виникненню пожеж в цеху по виробництву маргарину необхідно:

- дотримуватися правил експлуатації обладнання;
- забезпечити своєчасне проведення технічного обслуговування обладнання;
- проводити регулярне прибирання цеху;
- утримувати в чистоті і справному стані засоби пожежогасіння.

Для забезпечення своєчасного виявлення і гасіння пожеж в цеху по виробництву маргарину необхідно:

- проводити регулярні перевірки пожежної сигналізації і автоматичних систем пожежогасіння.
- проводити навчання працівників цеху з питань пожежної безпеки.

Для зменшення можливих збитків від пожеж в цеху по виробництву маргарину необхідно:

- забезпечити наявність резервного джерела електропостачання;
- забезпечити наявність резервних запасів сировини і матеріалів;
- провести навчання працівників цеху з питань евакуації людей в разі пожеж.

### **6.3.3 Розрахункова частина**

Зробимо розрахунок кількості вогнегасників в цеху по виробництву маргарину для наступних початкових даних:

- площа цеху: 1000 м<sup>2</sup>;
- кількість працівників: 10 осіб;

- види пожеж: А, В, С;
- вид вогнегасників: порошкові ОП-5.
- нормативна кількість вогнегасників:

$$N_H = S / (100 * F) \quad (6.6)$$

де  $S$  - площа цеху,  $m^2$ ;  $F$  - ефективна площа гасіння вогнегасника,  $m^2$ .

$$N_H = 1000 / (100 * 5) = 20.$$

Практична кількість вогнегасників:

$$N_{\Pi} = N_H + 1$$

$$N_{\Pi} = 20 + 1 = 21$$

Для забезпечення пожежної безпеки цеху по виробництву маргарину необхідно встановити 21 вогнегасник ОП-5.

Розрахунок аварійної ситуації цеху при виробництві маргарину:

- вид аварії: пожежа в змішувачі;
- характеристика аварії: пожежа виникла внаслідок порушення герметичності змішувача, в якому перемішуються рослинні олії, жири, молочні продукти, емульгатори та ароматизатори;
- характеристика горючих речовин:

1. рослинні олії - горючі рідини класу II, група В1;
2. жири - горючі тверді речовини класу IV, група В1;
3. молочні продукти - горючі рідини класу II, група В2;
4. емульгатори - горючі рідини класу II, група В1;
5. ароматизатори - горючі рідини класу II, група В2;

- вид вогню: клас А (горючі тверді речовини) і клас В (горючі рідини)
- кількість працівників: 10 осіб.

Площа пожежі:

$$S = 0,5 * V \quad (6.7)$$

де  $S$  - площа пожежі,  $m^2$ ;  $V$  - об'єм змішувача,  $m^3$ .

$$S = 0,5 * 10 m^3 = 5 m^2.$$

Тривалість пожежі:

$$t = Q / F \quad (6.8)$$

де  $t$  - тривалість пожежі, хв;  $Q$  - теплова потужність пожежі, кВт;  $F$  - коефіцієнт ефективності гасіння.

$$t = 1000 \text{ кВт} / 0,2 \text{ кВт/м}^2 * 5 \text{ м}^2 = 200 \text{ хв.}$$

Виникнення загрози життю і здоров'ю людей:

Температура пожежі:

$$T = Q / (c * S) \quad (6.9)$$

де  $T$  - температура пожежі, °С;  $c$  - питома теплоємність повітря, 1,005 кДж/(кг \* °С).

$$T = 1000 \text{ кВт} / (1,005 \text{ кДж/(кг * °С)} * 5 \text{ м}^2) = 201 \text{ °С}$$

Концентрація чадного газу:

$$C = Q / (V * R) \quad (6.10)$$

де  $C$  - концентрація чадного газу, %;  $R$  - коефіцієнт наповнення приміщення, 0,7.

$$C = 1000 \text{ кВт} / (10 \text{ м}^3 * 0,7) = 142,857 \text{ \%}$$

Тривалість перебування людей в зоні пожежі:

$$t = 300 \text{ с} / C * 100 \text{ \%} \quad (6.11)$$

де  $t$  - тривалість перебування людей в зоні пожежі, с.

$$t = 300 \text{ с} / 142,857 \text{ \%} * 100 \text{ \%} = 21,03 \text{ с.}$$

У разі пожежі в змішувачі цеху по виробництву маргарину виникне загроза життю і здоров'ю людей. Тривалість пожежі складе 200 хвилин, температура пожежі досягне 201 °С, а концентрація чадного газу - 142,857 %. Тривалість перебування людей в зоні пожежі складе 21,03 секунди.

У разі аварійної ситуації в цеху по виробництву маргарину можна сформулювати рекомендації:

1. Для забезпечення безпеки людей в разі пожежі в змішувачі необхідно забезпечити своєчасне гасіння пожежі. Для цього необхідно встановити в цеху автоматичні системи пожежогасіння, які будуть забезпечувати гасіння пожежі в початковій стадії її розвитку.

2. Необхідно також розробити план евакуації людей з цеху в разі пожежі. План евакуації повинен бути відомий всім працівникам цеху і включати в себе порядок дій у разі пожежі.

3. Працівникам цеху необхідно пройти навчання з питань пожежної безпеки, включаючи порядок дій у разі пожежі.

4. Встановити в цеху систему оповіщення про пожежу, яка буде забезпечувати своєчасне попередження працівників про пожежу.

5. Забезпечити наявність у цеху достатньої кількості засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), які будуть захищати працівників від впливу високих температур і чадного газу.

6. Розробити і впровадити систему контролю за станом обладнання, яке може бути джерелом пожежі.

## **6.6 Висновки до розділу**

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях зроблено аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виробництві маргарину, розроблені інженерно-технічні заходи щодо нормалізації умов праці, здійснено розрахунки оцінки ризиків професійного захворювання від шуму, ризику отримання теплового удару протягом робочого часу, оцінки втомлюваності працівників від вологості, ступеню загазованості в цеху. Розроблена протипожежна профілактика, наведено рекомендації по поводженню з горючими матеріалами, здійснені розрахунки по забезпеченню протипожежного захисту.

## ВИСНОВКИ

Атестаційна робота є закінченою дослідницькою роботою, в якій вирішена задача управління процесом виготовлення маргарину по каналу керування "тиск маргаринової емульсії на вході - температура маргарину на виході".

Основними результатами роботи є:

1. В роботі розглянуті способи управління технологічним об'єктом з запізнюванням.

2. Проведений аналіз роботи САР процесом виготовлення маргарину за відсутності регулятора.

3. Виконано зниження порядку об'єкта керування для обґрунтування типу регулятора.

4. Обґрунтований вибір типу регулятора САР процесом виготовлення маргарину.

5. Для ПД-регулятора розраховано значення коефіцієнта підсилення у прямому контурі САР, при якому система виходить на межу стійкості. Розраховані частота і період коливань.

6. За методом Циглера-Нікольса визначені параметри П-, ПІ- та ПІД-регуляторів.

7. Методом моделювання на ЕОМ в середовищі SIMULINK ППП MATLAB підтверджені теоретичні розрахунки та вибраний найкращий регулятор, виходячи із оцінок показників якості САР.

8. Методом обчислювального експерименту показана екстремальна залежність часу перехідного процесу від коефіцієнту інтегрування ПІД-регулятора.

9. Розроблений людино-машинний інтерфейс управління процесом флотажії для емулятора на базі програмованого логічного контролера VIPA System 200 V і програмного забезпечення HMI/SCADA системи Zenon Supervisor 7/0.

10. Підтверджена ефективність вибраного регулятора на емуляторі.

11. Виконані економічні розрахунки щодо ефективності запропонованої системи автоматичного регулювання.

12 Розроблені і обґрунтовані заходи з безпеки праці, протипожежної безпеки та виконані необхідні оціночні розрахунки з безпеки праці та пожежної безпеки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологическая линия производства маргарина. Режим доступа: <https://food-mechanics.ru/?p=221>
2. Оборудование для производства маргарина. Режим доступа: <https://www.alfalaval.ru/products/process-solutions/vegetable-oil-solutions/margarine-plant-systems/>
3. Комплект оборудования для производства маргаринов производительностью 1000 кг/час. Режим доступа: [https://www.tronka.com.ua/margarin\\_МАК1000.htm](https://www.tronka.com.ua/margarin_МАК1000.htm)
4. Попович М.Г., Ковальчук О.М. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Либідь, 2007. – 656 с. [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Popovich\\_2007\\_656.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Popovich_2007_656.pdf).
1. Dorf R. C. Modern Control Systems 12 th Edition / R. C. Dorf, R. H. Bishop. – Boston, Prentice Hall, 2010. – 1104 p.
2. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2003. — 250 с.
3. Аністратенко В. О., Федоров В. Г. Математичне планування експериментів в АПК: Навч. Посібник. – К.: Вища шк., 1993. – 375 с.
4. Ala Eldin Abdallah Awouda and Rosbi bin Mamat. New PID Tuning Rule Using ITAE Criteria. International Journal of Engineering (IJE). Vol. 3. Issue 6. January 2010. P. 597–608.
5. Теорія автоматичного керування. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: М.М. Трипутень, В.Є Воскобойник -Дніпро НТУ «ДП» 2020.- 114 с.
6. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.



7. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

8. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

9. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

10. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.

11. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко,

## ДОДАТОК А. ПЗ САР

## А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: SAU.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "SAU/Об'єкт
керування,
дискретний"
*
* Model name                : SAU
* Model version             : 1.145
* Model creator             : Admin
* Model last modified by   : Admin
* Model last modified on   : Wed Dec 06 11:26:35 2023
* Model sample time        : 0.1s
* Subsystem name           : SAU/Об'єкт керування,
дискретний
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 2.0 (R2013b) 27-Aug-2015
* ST code generated on     : Wed Dec 06 11:39:04 2023
*
* Target IDE selection     : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included      : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u: LREAL;
    u_states: LREAL;
    u_states_1: LREAL;
    Delay1_DSTATE: ARRAY [0..63] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1' *)
        FOR i := 0 TO 63 DO
            Delay1_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка
5' *)
        u_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка
6' *)

```

```

    u_states_1 := 0.0;
SS_STEP:

    (* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
    * Delay: '<S1>/Delay1' *)
    Out1 := Delay1_DSTATE[0];

    (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
    u := 0.001507297287594 * u_states_1;

    (* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
    FOR k := 0 TO 62 DO
        Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
    END_FOR;
    Delay1_DSTATE[63] := 0.001965215049315 * u_states;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
    u_states := u - (-0.998034784950685 * u_states);

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6'
    incorporates:
    * Update for Inport: '<Root>/In1' *)
    u_states_1 := In1 - (-0.999251553062419 * u_states_1);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: SAU.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "SAU/ПІД-
регулятор,
дискретний "
*
* Model name                : SAU
* Model version              : 1.145
* Model creator              : Admin
* Model last modified by    : Admin
* Model last modified on    : Wed Dec 06 11:26:35 2023
* Model sample time         : 0.1s
* Subsystem name            : SAU/ПІД-регулятор,
дискретний
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 2.0 (R2013b) 27-Aug-2015
* ST code generated on      : Wed Dec 06 11:40:41 2023
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT

```

```

        ssMethodType: SINT;
        In1: LREAL;
    END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    u_DSTATE: LREAL;
    UD_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Gain6: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S2>/UD'
        *
        * Block description for '<S2>/UD':
        *
        * Store in Global RAM *)
        UD_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровой
интерпароп1' *)
        u_DSTATE := 0.0;
        SS_STEP:

            (* Gain: '<S1>/Gain 6' incorporates:
            * Inport: '<Root>/In1' *)
            rtb_Gain6 := 36.45 * In1;

            (* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
            * DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровой интерпароп1'
            * Gain: '<S1>/Gain 5'
            * Inport: '<Root>/In1'
            * Sum: '<S1>/Sum4'
            * Sum: '<S2>/Diff'
            * UnitDelay: '<S2>/UD'
            *
            * Block description for '<S2>/Diff':
            *
            * Add in CPU
            *
            * Block description for '<S2>/UD':
            *
            * Store in Global RAM *)
            Out1 := ((0.9 * In1) + u_DSTATE) + (rtb_Gain6 - UD_DSTATE);

            (* Update for UnitDelay: '<S2>/UD'
            *
            * Block description for '<S2>/UD':
            *
            * Store in Global RAM *)
            UD_DSTATE := rtb_Gain6;

            (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровой интерпароп1'
incorporates:
            * Gain: '<S1>/Gain 4'
            * Inport: '<Root>/In1' *)
            u_DSTATE := ((0.0055 * In1) * 0.1) + u_DSTATE;
            IF u_DSTATE >= 1.0 THEN
                u_DSTATE := 1.0;
            ELSIF u_DSTATE <= 0.0 THEN

```

```
        u_DSTATE := 0.0;
    END_IF;
    (* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровой интегратор1' *)
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

## ДОДАТОК Б ПЗ САР

### Б.1 Програмне забезпечення керування

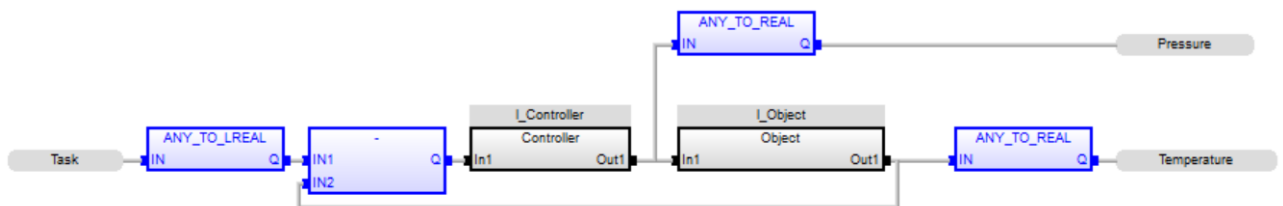
#### Б.1.1 Список програм

[FBD] Object

[ST] Controller

[ST] Main\_object

#### Б.1.2 Основна програма



#### Б.1.3 Контролер. Користувацький функціональний блок

```
(* Gain: '<S1>/Gain 6' incorporates:
 * Inport: '<Root>/In1' *)
rtb_Gain6 := LREAL#36.45 * In1;

(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1'
 * Gain: '<S1>/Gain 5'
 * Inport: '<Root>/In1'
 * Sum: '<S1>/Sum4'
 * Sum: '<S2>/Diff'
 * UnitDelay: '<S2>/UD'
 *)
* Block description for '<S2>/Diff':
*
* Add in CPU
*
* Block description for '<S2>/UD':
*
* Store in Global RAM *)
Out1 := ((LREAL#0.9 * In1) + u_DSTATE) + (rtb_Gain6 - UD_DSTATE);

(* Update for UnitDelay: '<S2>/UD'
 *)
* Block description for '<S2>/UD':
*
* Store in Global RAM *)
UD_DSTATE := rtb_Gain6;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1'
incorporates:
 * Gain: '<S1>/Gain 4'
```

```

* Inport: '<Root>/In1' *)
u_DSTATE := ((LREAL#0.0055 * In1) * LREAL#0.1) + u_DSTATE;
IF u_DSTATE >= LREAL#1.0 THEN
    u_DSTATE := LREAL#1.0;
ELSIF u_DSTATE <= LREAL#0.0 THEN
    u_DSTATE := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Цифровий інтегратор1' *)

```

### Б.1.4 Контролер. Перелік змінних

```

VAR_INPUT
    In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
    u_DSTATE : LREAL ;
    UD_DSTATE : LREAL ;
    rtb_Gain6 : LREAL ;
END_VAR

```

### Б.1.5 Об'єкт керування. Користувацький функціональний блок

```

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:
* Delay: '<S1>/Delay1' *)
Out1 := Delay1_DSTATE[0];

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6' *)
u := LREAL#0.001507297287594 * u_states_l;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
FOR k := 0 TO 62 DO
    Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay1_DSTATE[63] := LREAL#0.001965215049315 * u_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 5' *)
u_states := u - (LREAL#-0.998034784950685 * u_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Аперіодична ланка 6'
incorporates:
* Update for Inport: '<Root>/In1' *)
u_states_l := In1 - (LREAL#-0.999251553062419 * u_states_l);

```

### Б.1.6 Об'єкт керування. Перелік змінних

```

VAR_INPUT
    In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
    u : LREAL ;
    u_states : LREAL ;
    u_states_l : LREAL ;

```

```
Delay1_DSTATE : ARRAY [0 .. 63] OF LREAL ;  
k : DINT ;  
i : DINT ;  
END_VAR
```



## ДОДАТОК В ПЗ НМІ

### В.1 Драйвера

St...	Identification	Description	File name
	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32

### В.2 Перелік змінних

St...	Name	Identifi...	Measuri...	Net addr...	Data blo...	Offset	Bit n...	Alig...	Sym...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
	Temperature			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Pressure			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Task			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Archive			0	0	0	0	0		Intern - Driver f...	BOOL	0	0

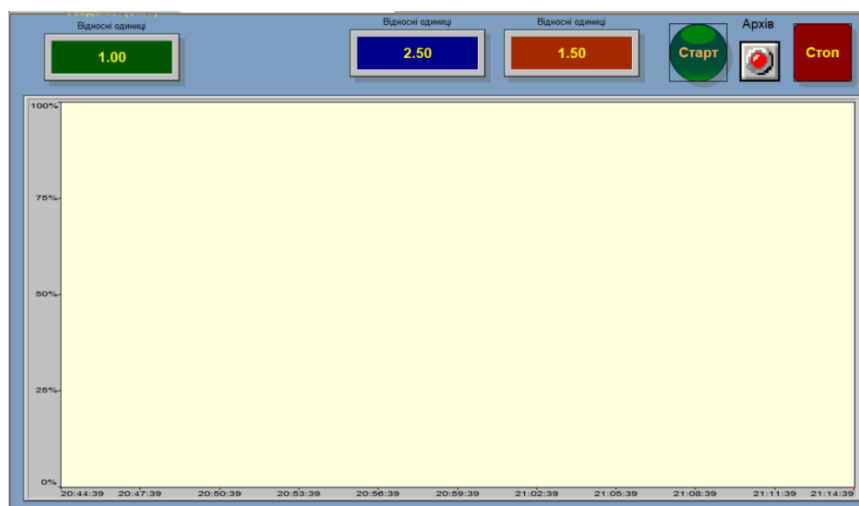
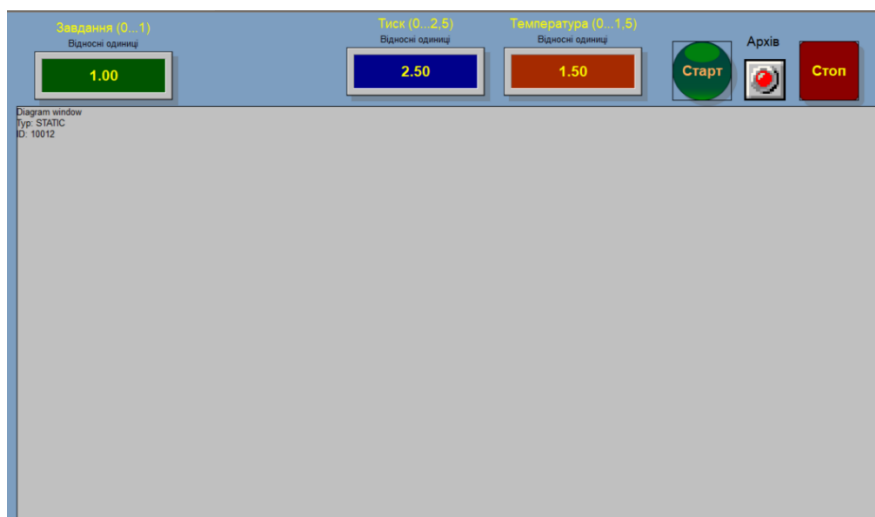
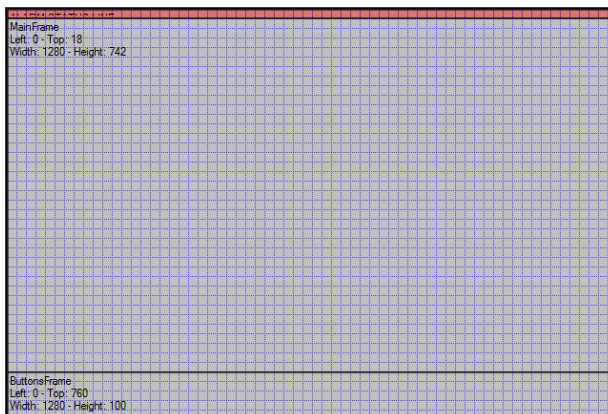
### В.3 Шаблони зображень

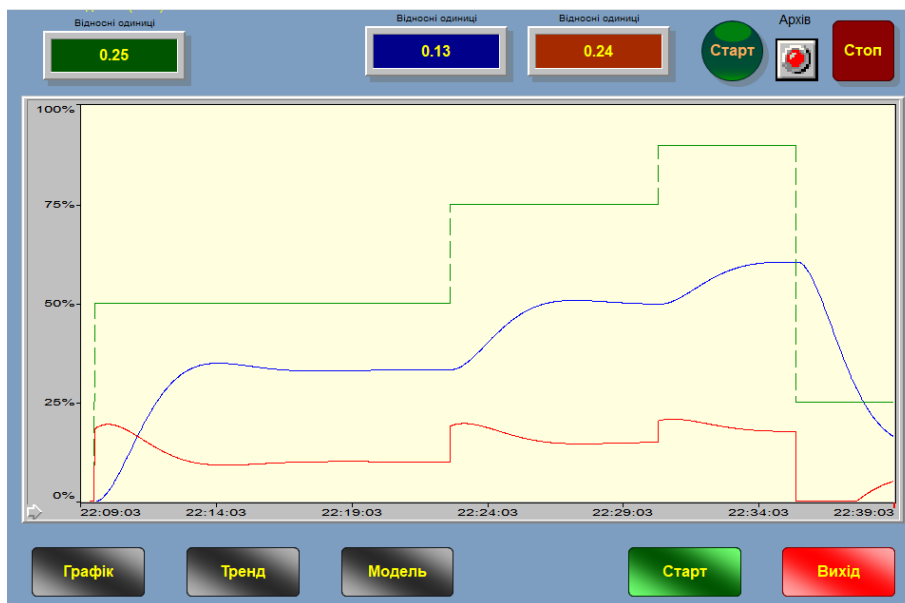
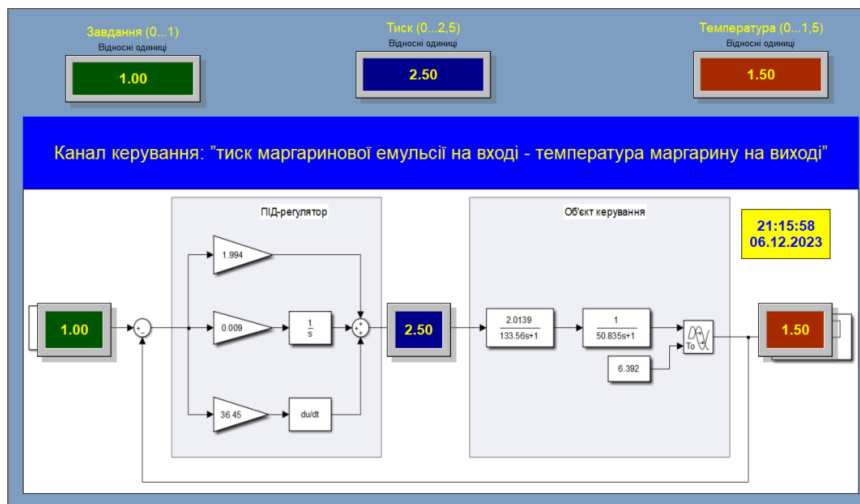
Filter text	Filter text	Filter text	Filter t...	Filter text	Filter text
Screen_Trend	Extended ...	MainFra...	#7D	Function_...	< no fun...
Screen_Schedule	Standard	MainFra...	#7D	Function_...	< no fun...
Screen_Object	Standard	MainFra...	#7D	Function_...	< no fun...
Screen_Buttons	Standard	ButtonsF...	#7D	< no fun...	< no fun...

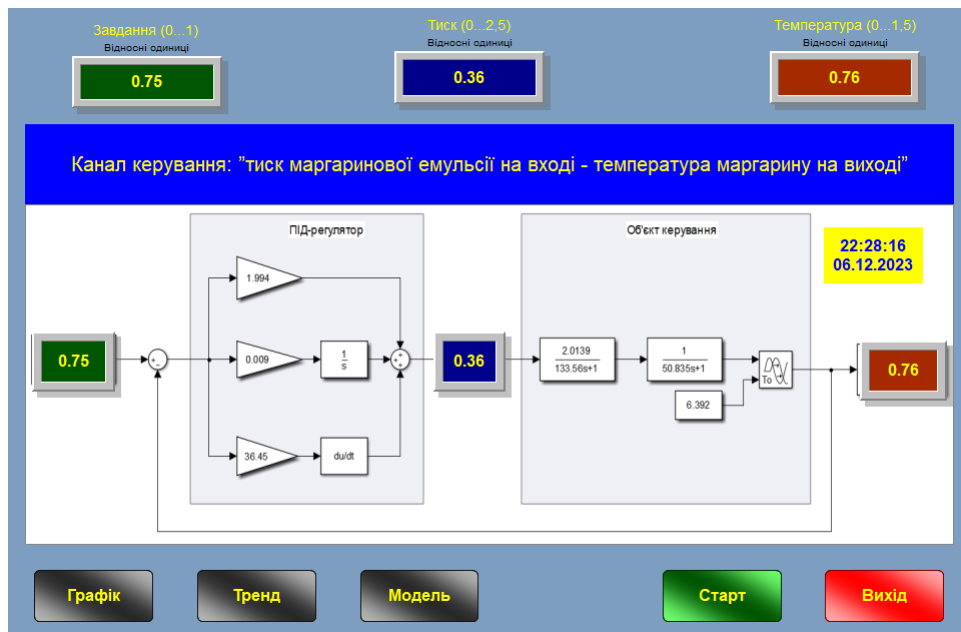
### В.4 Функції

St...	Name	Type	Parameter
	Function_Button_Exit	Exit Runtime	
	Function_Button_Start	Reload project online	changed objects
	Function_Buttons_Screen	Screen switch	Screen_Buttons (Standard)
	Function_Button_Schedule	Screen switch	Screen_Schedule (Standard)
	Function_Button_Object	Screen switch	Screen_Object (Standard)
	Function_Button_Trend	Screen switch	Screen_Trend (Extended Trend) - TRE...
	Function_Archive_Start	Write set value	Archive - On (1)->
	Function_Archive_Stop	Write set value	Archive - Off (0)->
	Function_Button_ArchiveStart	Archive: Start	A0
	Function_Button_ArchiveStop	Archive: Stop	A0

## В.5 Зображення







**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

