

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра Автоматизації технологічних електромеханічних і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування варкою мармеладу»

Здобувач: Г.Г. Сорокін
4 курс, група A-40

Керівник: доцент І.М. Світий

Консультанти:

доцент В.М. Левінський

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

Рішення кафедри від _____.2026 р., протокол № ____.

В.о. завідувача кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u>
	<u>ім. П.М. Платонова</u>
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС

І.М. Світій

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Сорокін Георгій Григорович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування варкою мармеладу»

2. Керівник кваліфікаційної роботи Світій Іван Миколайович, к.т.н., доцент, Дец Дмитро Васильович, ст. викладач

Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.

3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).

5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):

Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.

Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.

Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.

Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.

Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.

Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.

Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС або Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«24» березня 2026 р.	
Розділ 2	«31» березня 2026 р.	
Розділ 3	«10» квітня 2026 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2026 р.	
Розділ 5	«23» квітня 2026 р.	
Розділ 6	«30» квітня 2026 р.	
Розділ 7	«08» травня 2026 р.	
Розділ 8	«22» травня 2026 р.	
Розділ 9	«27» травня 2026 р.	

Здобувач Сорокін Г.Г.

Керівники роботи: Світий І.М.
Дец Д.В.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач _____
Прізвище, ініціали Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Сорокіна Георгія Григоровича «Автоматизація процесу керування варкою мармеладу» викладена на 144 сторінках, кількість таблиць 13, рисунків – 133, додатків – 2, джерел з переліку посилань – 12.

У представлений кваліфікаційній роботі розглядається проблематика модернізації системи автоматичного керування технологічним процесом варіння мармеладу у варочному котлі. Предметом дослідження виступає безпосередньо процес варіння мармеладної маси у варочному котлі. Головною метою роботи є підвищення ефективності функціонування установки шляхом скорочення втрат, зумовлених браком готової продукції.

У ході виконання роботи вдосконалено якість регулювання технологічних параметрів процесу за рахунок побудови системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності. Для розв'язання задачі регулювання розроблено математичну модель досліджуваного процесу. Задача логічного керування вирішена шляхом створення алгоритму автоматичного керування робочим циклом варочного котла. Програмно-технічна реалізація системи керування здійснена на базі контролерно-комп'ютерної мережі.

Ключові слова: варіння мармеладу, варочний котел, система автоматичного керування, контролерно-комп'ютерна мережа, SCADA.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК.....	9
1.1 Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.	9
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього	15
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК	16
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА РОЗДІЛ УПРАВЛІННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	18
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання	18
2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання	19
2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання.....	34
2.4. Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР	58
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	58
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури	60
3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз	69

РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	78
4.1.Конкретизація задачі та необхідного рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним процесом	78
4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокуванню передаварійних ситуацій та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис	79
4.3. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис	81
РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІНИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ.....	84
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення	84
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	85
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	88
5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі	89
РОЗДІЛ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	95
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	95
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	97
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	105
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК.....	109

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	109
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога...	110
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.	111
7.5 Тестування системи керування.....	117
РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	121
8.1 Нижче наведено ключові групи стандартів, які зараз впроваджуються в Україні для переходу України на європейські стандарти (EN) та міжнародні норми (ISO/IEC) у сфері автоматизації:.....	121
8.2 Розробка схеми автоматизації.....	124
8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом .	125
8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення.....	125
8.5. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК .	126
8.6 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП	126
РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ САК.....	132
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації	132
9.2. Розрахунок витрат на виробництво продукції до і після модернізації системи управління	133
9.3. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості	134
ВИСНОВКИ.....	136
ЛІТЕРАТУРА.....	139
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації	140
ДОДАТОК Б Документація до принципових електричних схем.....	141

ВСТУП

Технологічний процес варки є одним з ключових процесів виробництва мармеладу. Підвищення ефективності саме цього процесу може дозволити отримати суттєвий економічний ефект саме для технологічного процесу виробництва мармеладу в цілому. Практика показує, що одним з найефективніших та найдешевших способів модернізації будь-якого виробництва і процесу варки мармеладу зокрема є модернізація системи автоматичного керування. Тому тема роботи, пов'язана з модернізацією системи керування процесом варки мармеладу, є актуально.

Аналіз виробничої ситуації на ділянці варки мармеладу дозволив виявити проблему з тим, що штатна система автоматичного керування часто не забезпечує належну якість регулювання. А це спричиняє підвищений вихід браку готової продукції. Вирішення цієї проблеми шляхом модернізації системи автоматичного керування і може стати головним чинником підвищення економічної ефективності процесу в цілому.

Модернізацію системи керування слід проводити шляхом підвищення динамічної точності алгоритмів автоматичного регулювання.

При впровадженні для процесу варки мармеладу модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка має ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися зниження втрат від браку готової продукції.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТІВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК

1.1 Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.

Одним з ключових технологічних процесів виробництва мармеладу є його варка, що може здійснюватися у варочному котлі. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

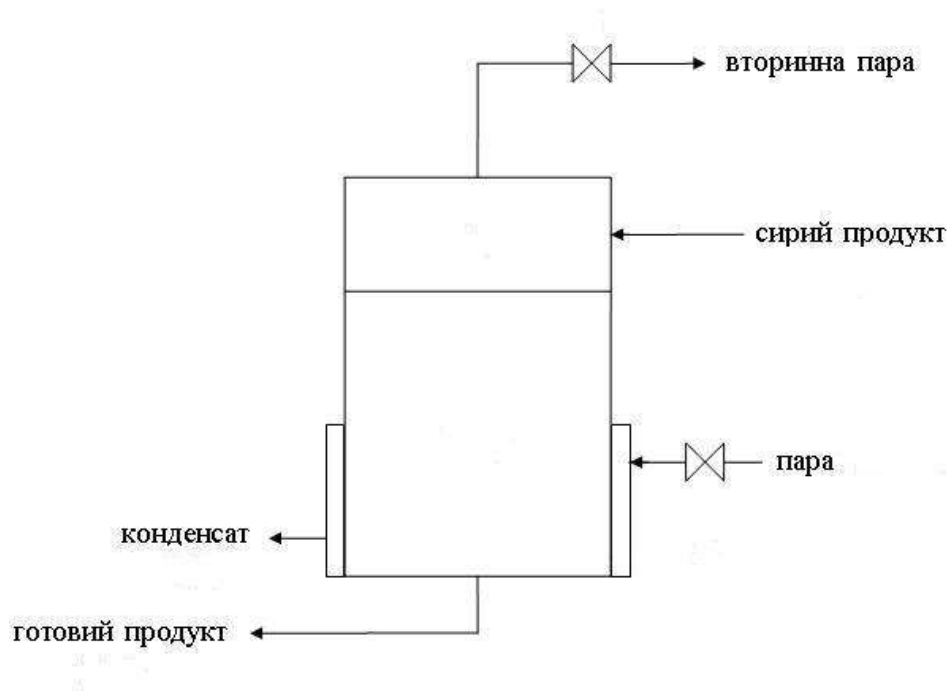


Рис. 1.1 – Схема технологічного процесу варки мармеладу

У котел подається сирий пектин кімнатної температури до певного рівня. По закінченню заправки пектину, закривається кришка котла і починається подача пару у парову рубашку. Після того, як рівень конденсату пару у паровій рубашці досягло необхідної помітки, починається відстеження температури та тиску повітря у самому котлі.

Температура варки пектину 130°C . Температуру ми регулюємо подачею пара у парову рубашку. Через те, що варка проходить з подачею пари, має бути відведення конденсату.

Якщо тиск перевищує дозволений, то ми можемо відкрити клапан, який

регулює цей тиск, або навпаки, закрити його, щоб створити його. Середнє значення тиску у котлі при варці мармеладу має складати 270 кПа.

Процес варки займає 7-10 хвилин. Час варки залежить від кількості пектину у котлі.

Після варки мармеладну масу, через відведення знизу котла пускають на конвеєр для подальшої обробки.

Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Апаратна реалізація процесу може здійснюватися в універсальному котлі (рис. 1.2).

Універсальний котел с паровою рубашкою з напівавтоматикою М-184 призначений для уварювання в невеликих кількостях щербета, ірисний, карамельної, желевної та інших кондитерських мас.

Котел М184 складається з верхнього полусферическорго котла і нижнього. Під час варіння у котлі карамельної і желевної мас, різних начинок, мармеладу, мас для ірису, вершкових та інших сортів м'яких цукерок, маса в чаші апарату перемішується якірної мішалкою на електродвигуні.

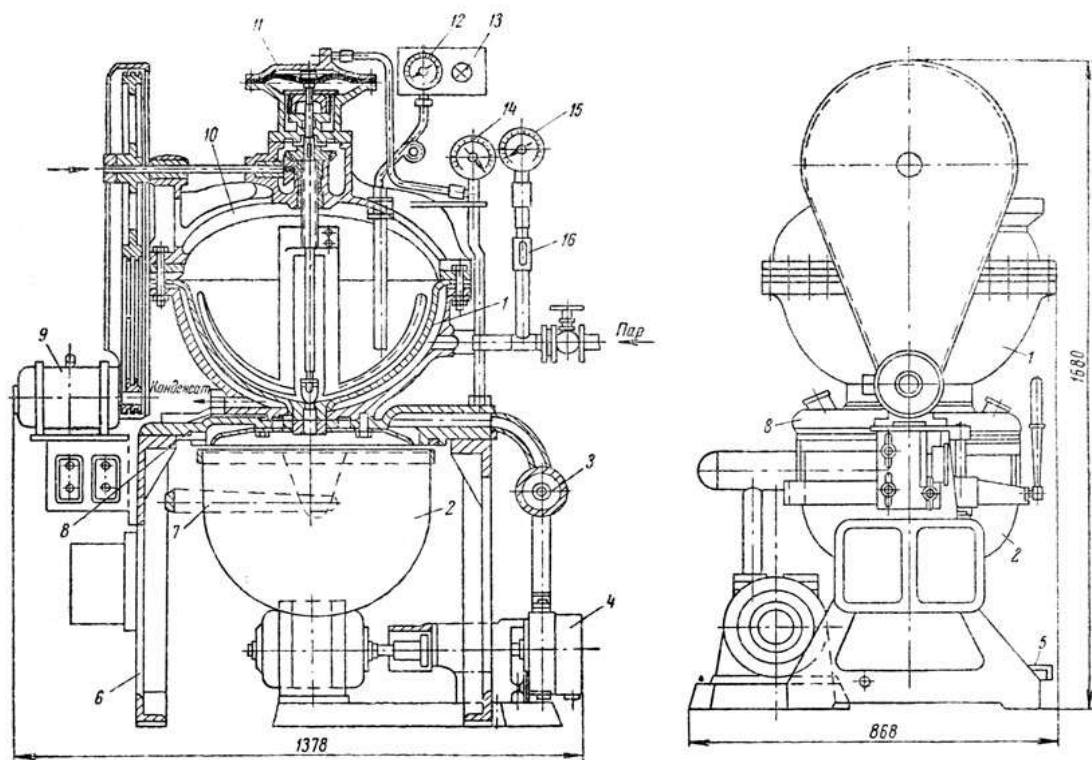


Рис. 1.2 – Конструкція технологічного агрегату

Технічні характеристики:

- Робоча ємність 0,06 м³
- Геометрична ємність 0,095 м³
- Робочий тиск пари в паровій рубашці не більше 0,35 МПа
- Робоче розрідження 0,069 МПа
- Швидкість обертання мішалки 110 об / хв
- Маса 680 кг
- Продуктивність 50-150 кг / год
- Габаритні розміри 1378x868x1680 мм

1.1.3 Формулювання умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.

Мета ведення процесу – отримання заданого продукту з заданими властивостями (показниками якості). При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдане тільки тоді, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес варки патоки у котлі с паровою рубашкою доцільно реалізовувати, якщо:

- варочний котел заповнений патокою на 90% і більше;
- забезпечена необхідна подача пару;
- забезпечена тиск у котлі.

Параметризація схеми технологічного процесу, загальна характеристика параметрів і їх взаємозв'язків.

Технологічний процес варки мармеладу є тепловим процесом, пов'язаний з подачею пари у парову рубашку. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є підтримка рівня конденсату пара у паровій рубашці. Також процес варки визначається розрідженням в апараті.

Параметризовану схему парового котла з паровою рубашкою зображено на рисунку 1.3.

Позначення параметрів на схемі:

U_1 – положення регулюючого органу відводу вторинної пари;

F_2 – витрати сирого продукту (патоки) у варочний котел;

Θ_2 – температура подачі сирого продукту (патоки) у варочний котел;

Q_2 – якість подачі сирого продукту (патоки) у варочний котел;

F_3 – витрати готового продукту (мармеладу);

Q_3 – якість готового продукту (мармеладу);

P_4 – тиск середовища у варочному котлі;

Θ_5 – температура продукту у варочному котлі;

L_5 – рівень продукту у варочному котлі;

P_{π} – тиск подачі пари у парову рубашку;

F_{π} – витрати пари у парову рубашку;

U_{π} – положення регулюючого органу подачі пари у парову рубашку;

L_k – рівень конденсату у паровій рубашці;

Θ_k – температура конденсату на виході парової рубашки;

F_k – витрати конденсату на виході парової рубашки.

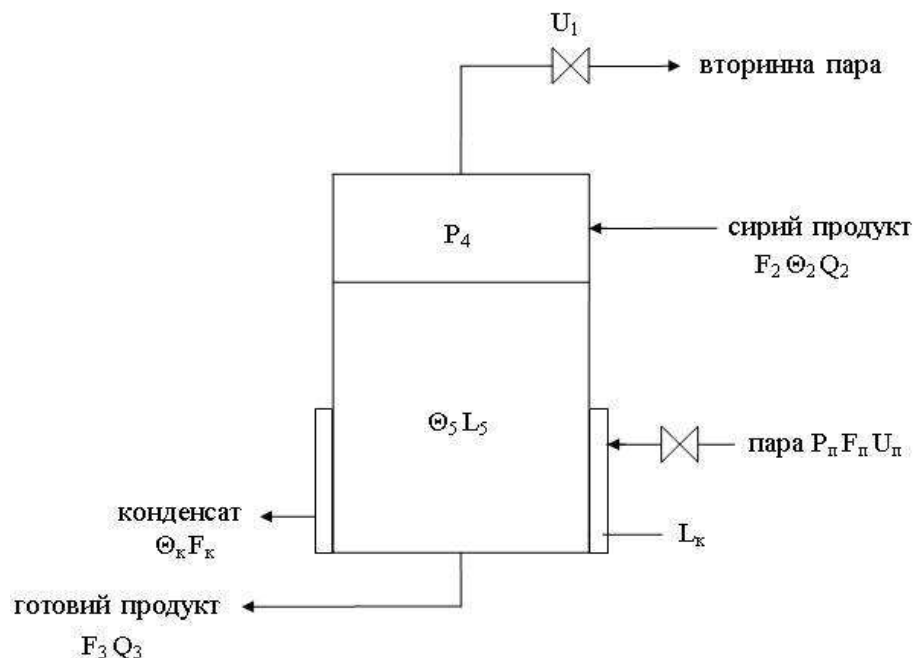


Рис. 1.3 – Параметризована схема котла з паровою рубашкою

Основу нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті

технологічного процесу отримують продукт із заданими властивостями. Для процесу варки мармеладу до *технологічного регламенту* відносимо температуру продукту у варочному котлі (Θ_5), якість готового продукту (мармеладу) (Q_3), рівень конденсату пара у паровій рубашці (L_k), тиск повітря у варочному котлі (P_4).

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. До *експлуатаційного регламенту* варочного котла відносимо рівень продукту у варочному котлі (L_5).

Техніко-економічний та екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. До *техніко-економічного та екологічного регламенту* процесу варки мармеладу відносимо витрати пари у парову рубашку (F_n); витрати готового продукту (мармеладу) (F_3); температуру конденсату на виході парової рубашки (Θ_k).

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, викликаних зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски. У залежності від наслідків, можна виділити два характерних типи таких порушень: а) технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідується з часом, наприклад, за рахунок керування процесом; б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його поновлення часто необхідна підготовка обладнання до повторного запуску (видалення сировини з машин, чищення робочих органів, їх заміна і т.і.).

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято ділити і задавати у виді допусків на тривалі і короткочасні відхилення. Тривалі припустимі відхилення визначають зону незначних для даного процесу відхилень (ЗНВ) розглянутого параметра. Всередині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять із ЗНВ, можна не усувати. Короткочасні припустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНВ і приводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі лише обмежений час,

що задається і входить у регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, що можуть привести до аварії.

Відхилення тиску середовища у камері (P_4), від гранично допустимих значень може призвести до порушення процесу сушіння продукту. Порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

Відхилення рівня конденсату у паровій рубашці ві регламентних допусків може призвести до погіршення якості вихідного продукту.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу й експлуатації обладнання зведемо до таблиці регламентів (1.2).

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Найменування параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номінальні значення параметру	Припустимі відхилення		
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t << \infty$)	
				Величина	Величина	Час, сек
Тиск середовища у котлі	P_4	кПа	270	5	20	200
Рівень конденсату у паровій рубашці	L_k	см	40	1	5	200

Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються визначеними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаках.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на

переробку. До *сировинних параметрів* процесу варки мармеладу відносимо температуру подачі сирого продукту (патоки) у варочний котел (Θ_2); якість подачі сирого продукту (патоки) у варочний котел (Q_2); витрати сирого продукту (патоки) у варочний котел (F_2).

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводиться до технологічного обладнання ззовні і витрачається на зміну властивостей продукту. До *енергетичних параметрів* процесу варки мармеладу відносимо тиск подачі пару у парову рубашку (P_n); витрати конденсату на виході парової рубашки (F_k).

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. Для процесу варки мармеладу до *механічних параметрів* відносимо положення регулюючого органу відводу вторинної пари (U_1) та положення регулюючого органу подачі пари у парову рубашку (U_n).

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього

Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

Параметризована схема технологічного процесу має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми (рис. 1.4). При цьому ті параметри, що відбивають мету функціонування об'єкта моделювання і додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, що регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами - причинно-наслідковий.

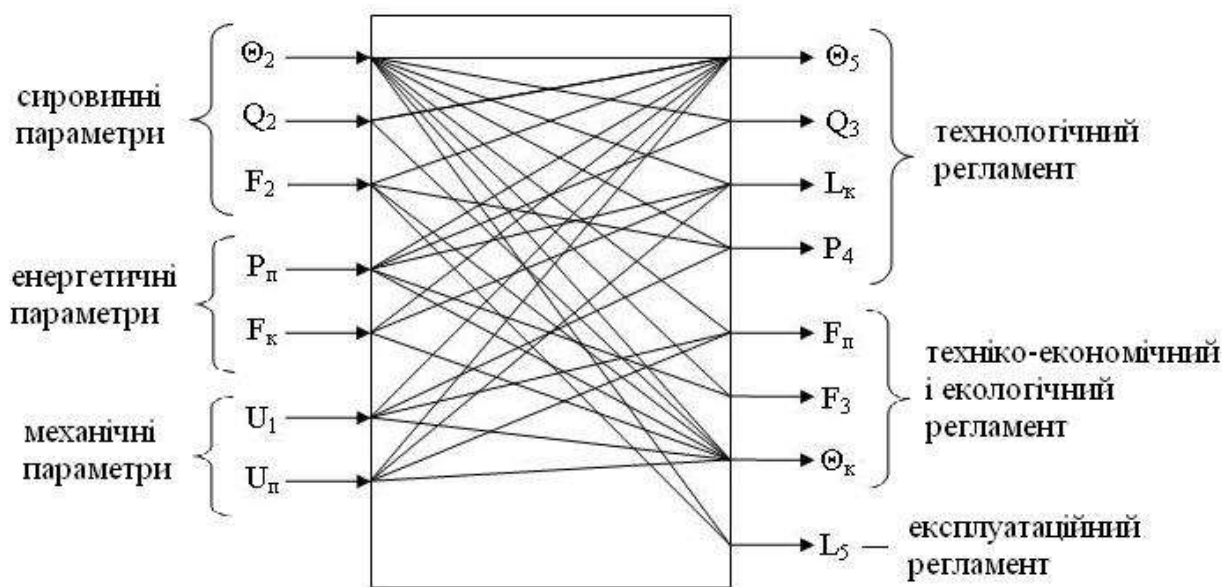


Рис. 1.4 – Параметрична схема котла з паровою рубашкою

1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

- а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;
- б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

- а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;
- б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для процесу варки мармеладу в якості регульованих координат доцільно виділити тиск середовища у варочному котлі та рівень конденсату у паровій рубашці.

1.4 Висновки за розділом

Технологічний процес варкм є одним з ключових процесів виробництва мармеладу. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес варки мармеладу було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз господарської діяльності підприємства і ходу технологічного процесу, можна зробити висновок , що саме на цій ділянці технологічної схеми можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як зменшення втрат від браку готової продукції. Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу варки мармеладу модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки , яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися зниження втрат від браку готової продукції. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання рівню конденсату та розрідження в апараті, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА РОЗДІЛ УПРАВЛІННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути входними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів. Кількість управляючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Необхідною умовою рішення задач керування є наявність керуючих дій. Для процесу варки мармеладу в якості керуючих дій доцільно виділити хід регулюючого органу відбирання вторинної пари та хід регулюючого органу подачі пари у парову рубашку.

Після того, як визначені управляючі дії, всі інші входні змінні відносять у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Після того, як визначені керуючі дії, всі інші входні змінні потрапляють у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими технологічного обладнання. За результатами класифікації збурень було виявлено, що для процесу варки мармеладу контрольованих збурень виділяти не доцільно. Всі входні дії, крім керуючих, відносимо до неконтрольованих збурень.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень, викладених у п.п. 1.3.1 – 1.3.3.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема об'єкту керування (ОК) є черговим і останнім етапом формалізації представлення технологічного процесу як ОК. Структурну схему процесу варки мармеладу як ОК наведено на рис. 2.1.

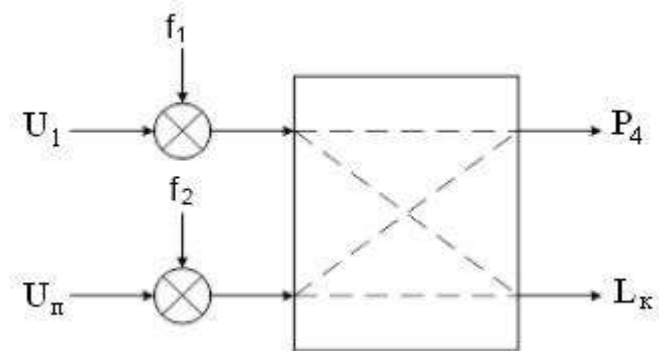


Рис. 1.5 – Структурна схеми об'єкту регулювання

U_1 – хід регулюючого органу відводу вторинної пари;

U_{π} – хід регулюючого органу подачі пари у парову рубашку

P_4 – тиск середовища у варочному котлі;

L_k – рівень конденсату у паровій рубашці;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення.

2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, оцінити, нехай попередньо, властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Для технологічного процесу варки мармеладу за усіма ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення управляючої дії U_1 приведе до зменшення тиску у котлі, а при збільшенні управляючої дії U_{π} рівень конденсату у паровій рубашці буде збільшуватись.

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференційними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температур гарячої води та вина як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси

можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

Ідентифікацію лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання проведемо на основі активного експерименту, попередньо його спланувавши.

План активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати, що перебувало б в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $u=60\%$ х.р.о. буде відповідати значення регульованої координати 240кПа.

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінимо управляючу ступінчастим чином на 10% х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нового сталого режиму, вхідну дію у такому разі можна не реєструвати.

Результати активних експериментів наведені на рис. 2.1. – 2.4.

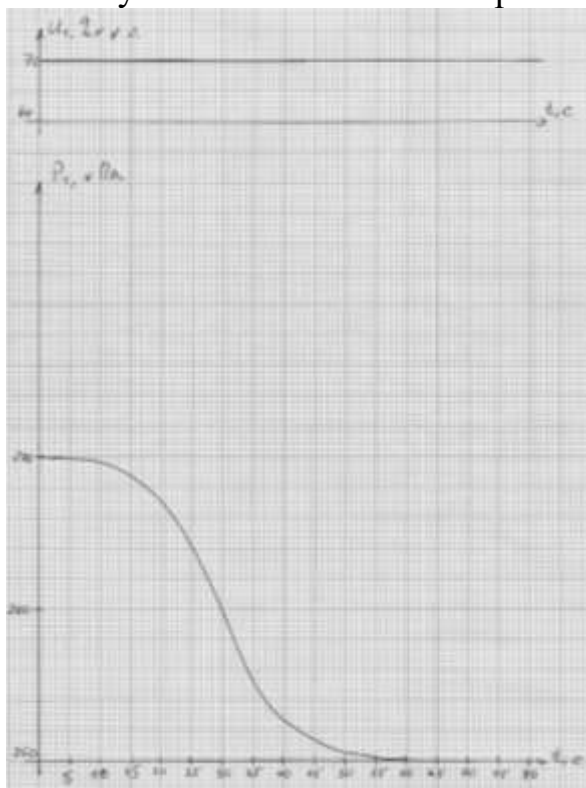


Рис. 2.1 – Результат активного експерименту за каналом « U_1 - P_4 »

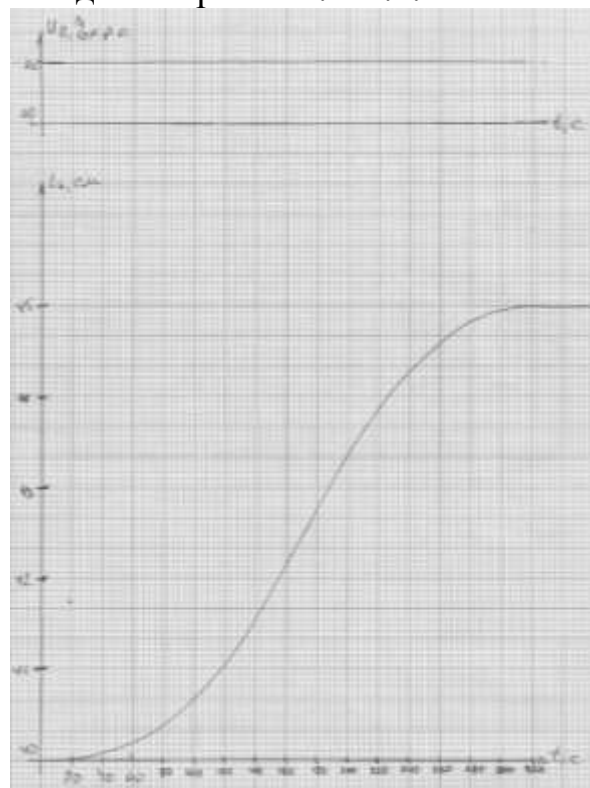


Рис.2.2 – Результат активного експерименту за каналом « U_{II} - L_K »

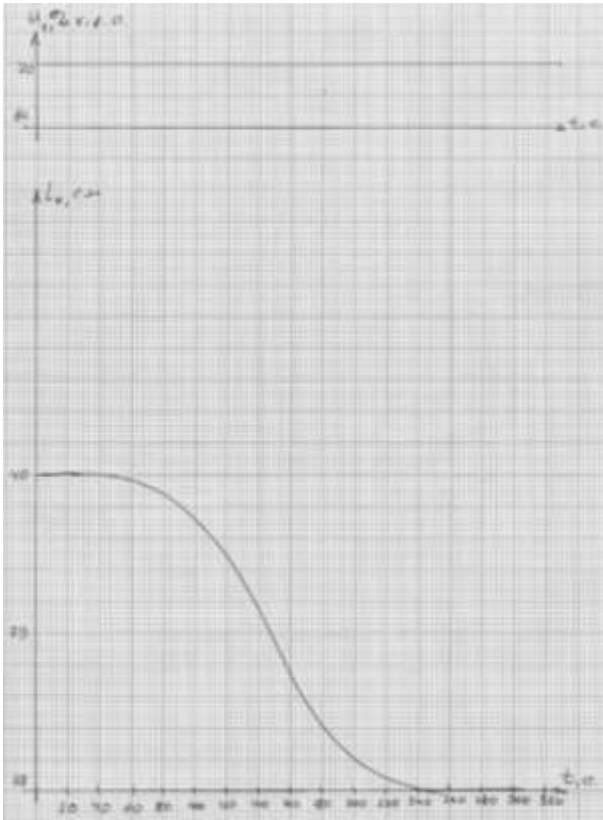


Рис.2.3 – Результат активного експерименту за каналом «U₁- L_к»

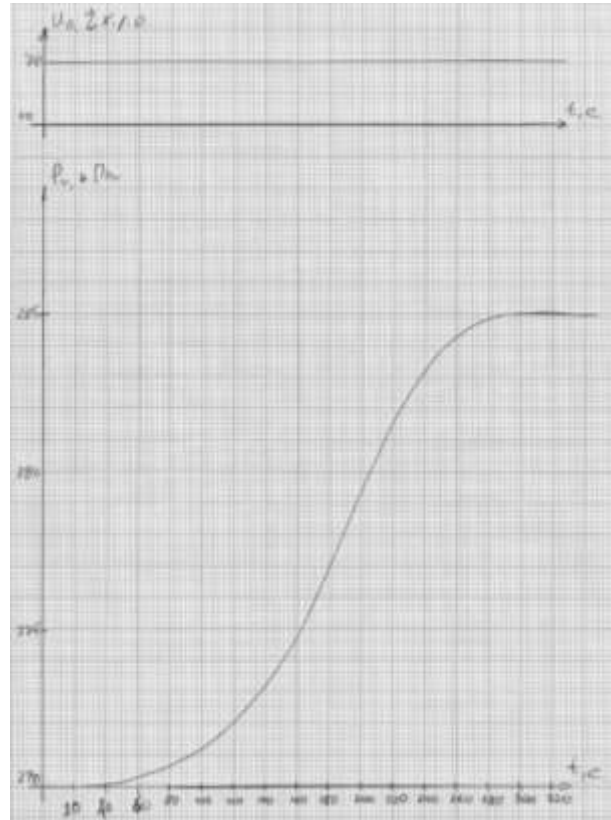


Рис.2.4 – Результат активного експерименту за каналом «U_п- P₄»

За результатами активного експерименту (рис. 2.1 – 2.4) можна зробити висновок, що за всіма канал наш ОК має властивість самовирівнювання, а тому може бути описаний передаточними функціями такого вигляду:

$$W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{T_o p + 1}; W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{(T_o p + 1)^2}$$

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом "U₁ – P₄" (рис. 2.5).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta P_4}{\Delta U_1} = \frac{250 - 270}{70 - 60} = -2 \text{ кПа} / \% \text{х.р.о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

Для моделі 1-го порядку проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

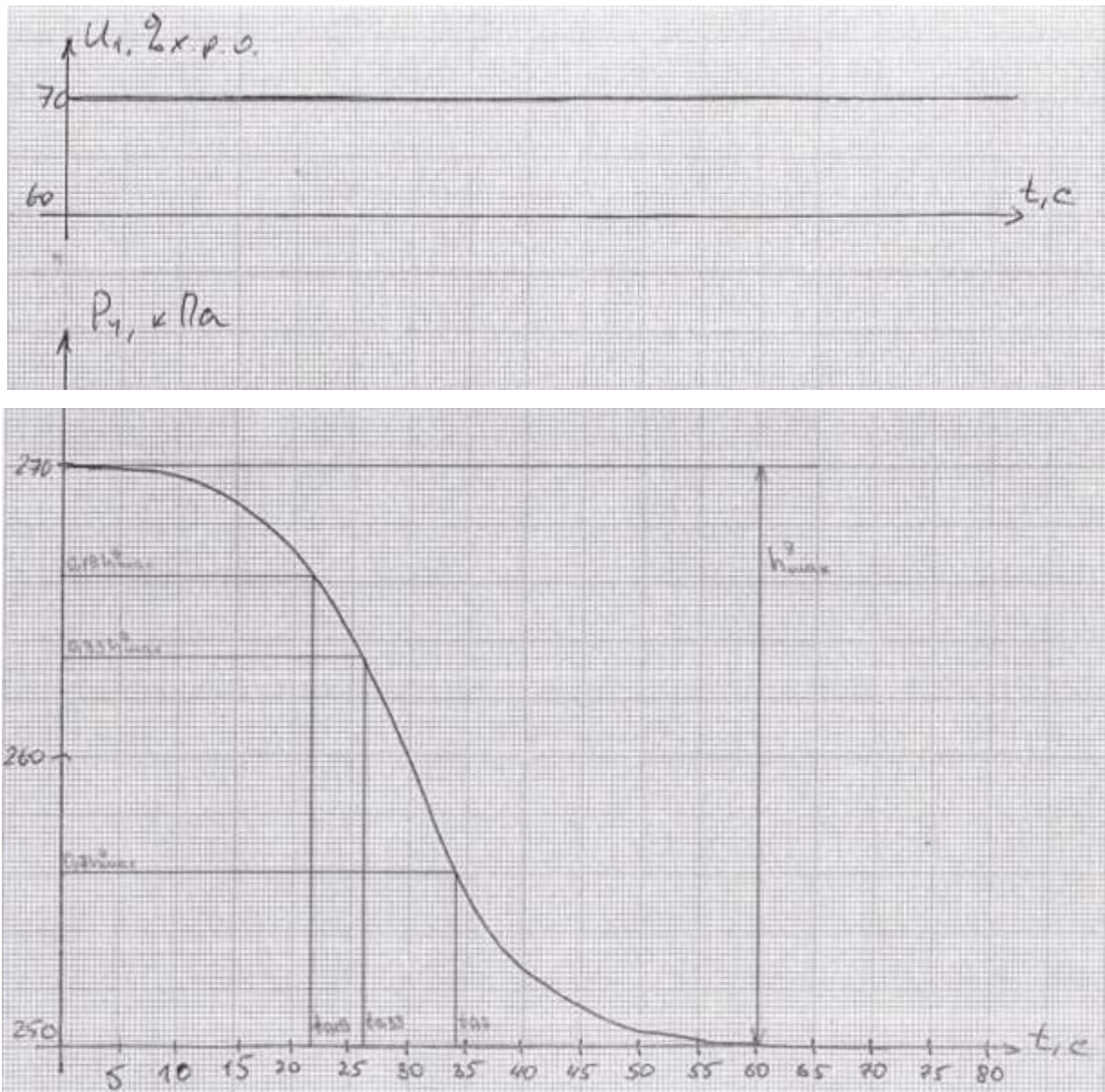


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом "U₁ – P₄"

$$t_{0,33} = 26\text{c}; t_{0,7} = 34\text{c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 26 - 34) = 22\text{c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (34 - 22) / 1,2 = 10\text{c}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-22p}}{10p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,19}$

$$t_{0,19} = 21,5c.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 21,5 - 34) = 15,25c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (34 - 15,25) / 2,4 = 7,8c$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-15,25p}}{(7,8p + 1)^2}$$

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом "U_П – L_К" (рис. 2.6).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta L_{\kappa}}{\Delta U_n} = \frac{45 - 40}{70 - 60} = 0,5 \text{ см} / \% \text{ х.р.о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

Для моделі 1-го порядку проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 143c; t_{0,7} = 206c.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 143 - 206) = 111,5c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (206 - 111,5) / 1,2 = 78,75c$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-111,5p}}{78,75p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 115c.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 115 - 206) = 69,5c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (206 - 69,5) / 2,4 = 56,9c$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-69,5p}}{(56,9p + 1)^2}$$

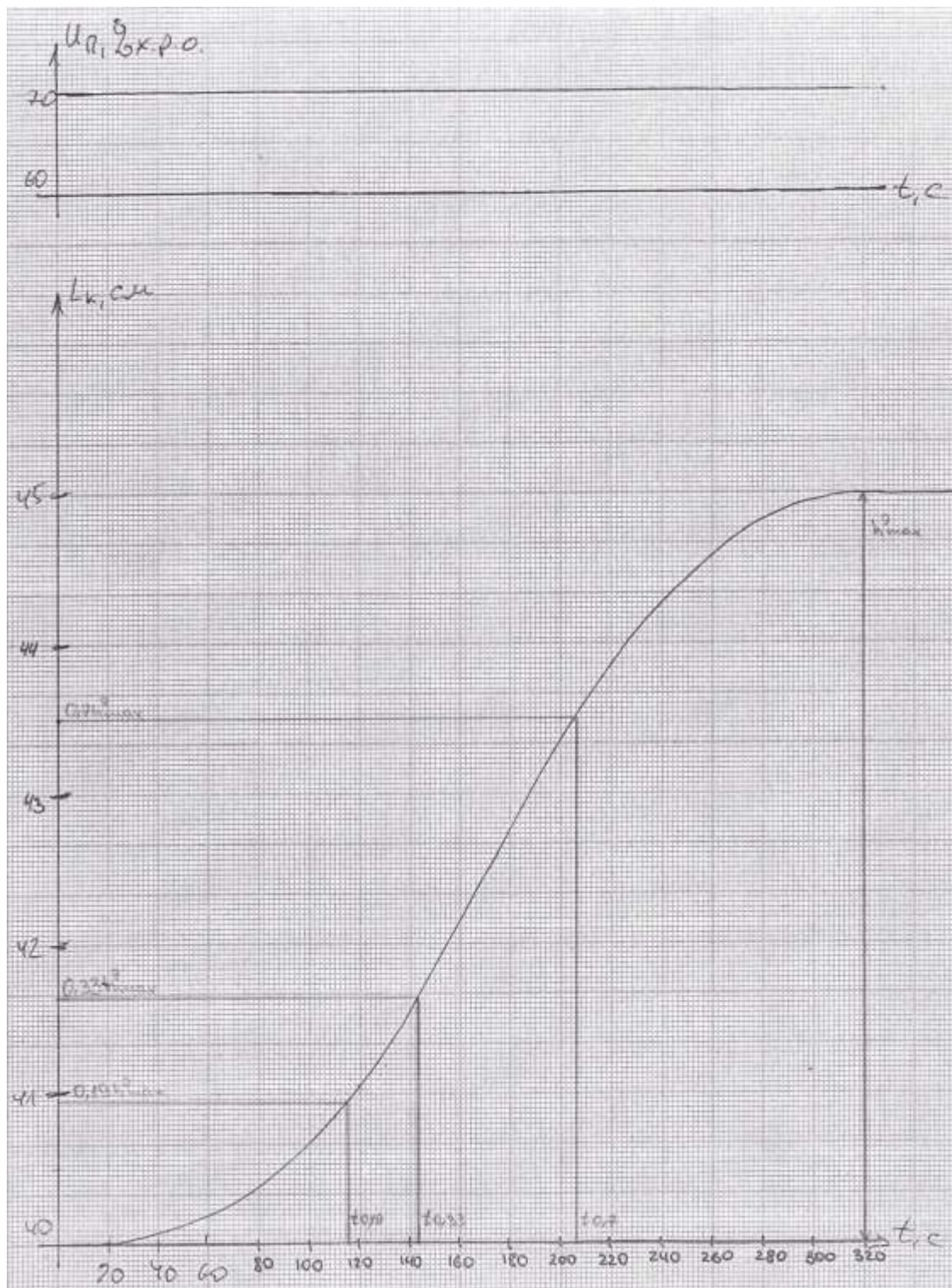


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $U_{\Pi} - L_K$ "

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом " $U_1 - L_K$ "

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta L_K}{\Delta U_1} = \frac{38 - 40}{70 - 60} = -0,2 \text{ см/\%х.р.о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

Для моделі 1-го порядку проводимо графічні побудови (див. рис. 2.7), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 129\text{с}; t_{0,7} = 168\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 129 - 168) = 109,5\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (168 - 109,5) / 1,2 = 48,75\text{с}$$

Передаюча функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-109,5p}}{48,75p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 108\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 108 - 168) = 78\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (168 - 78) / 2,4 = 37,5\text{с}$$

Передаюча функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-78p}}{(37,5p + 1)^2}$$

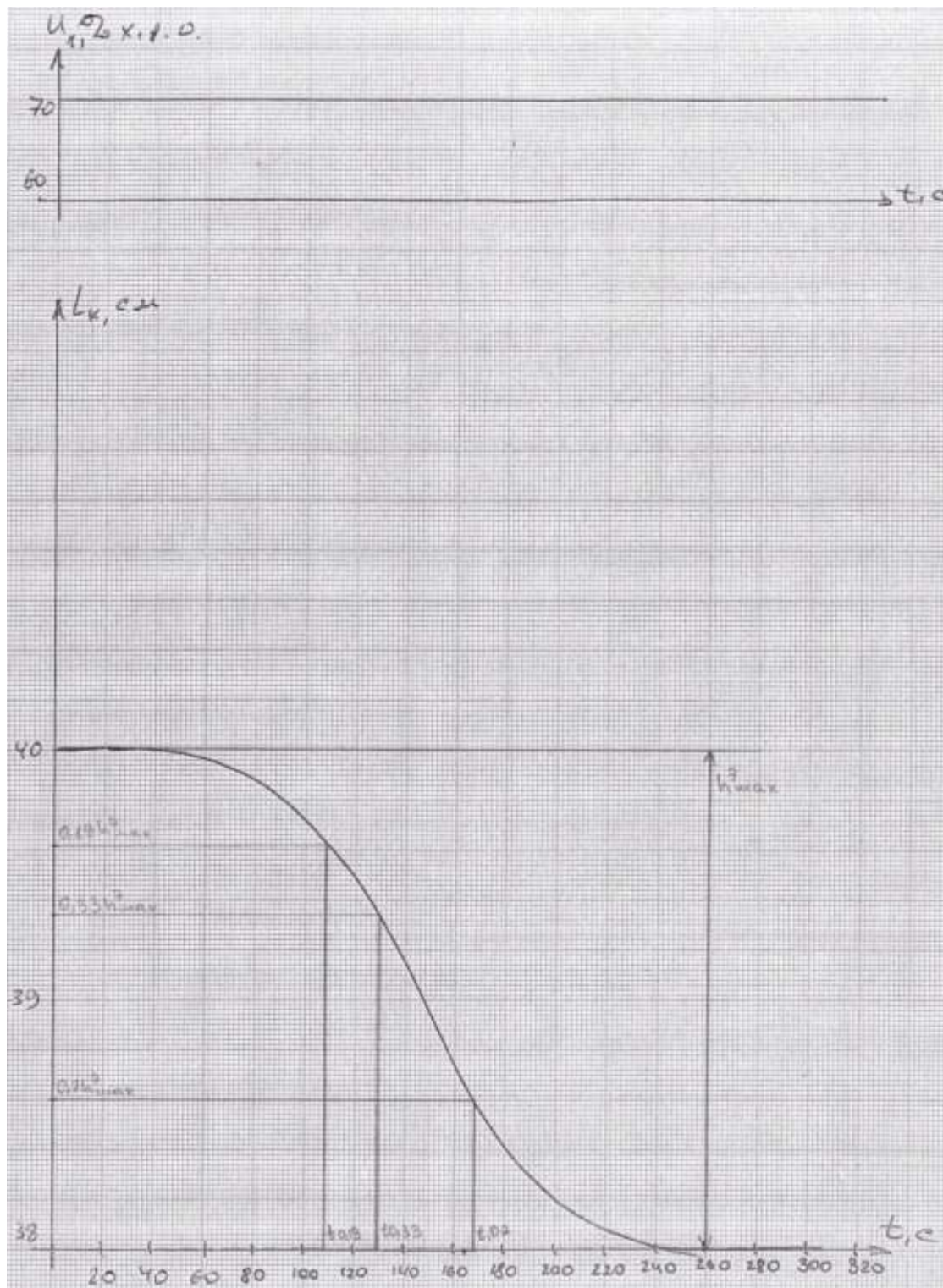


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $U_1 - L_K$ "

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом " $U_{II} - P_4$ "

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta P_4}{\Delta U_n} = \frac{285 - 270}{70 - 60} = 1,5 \text{ кПа} / \% \text{х.р.о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

Для моделі 1-го порядку проводимо графічні побудови (див. рис. 2.8), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 162 \text{с}; t_{0,7} = 210 \text{с.}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 162 - 210) = 138 \text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (210 - 138) / 1,2 = 60 \text{с}$$

Передаюча функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-138p}}{60p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$\Delta P_{40,19} = 0,19 \cdot 15 + 270 = 272,55 \text{ кПа};$$

Проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 134 \text{с.}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 134 - 210) = 96 \text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (210 - 96) / 2,4 = 47,5 \text{с}$$

Передаюча функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-96p}}{(47,5p + 1)^2}$$

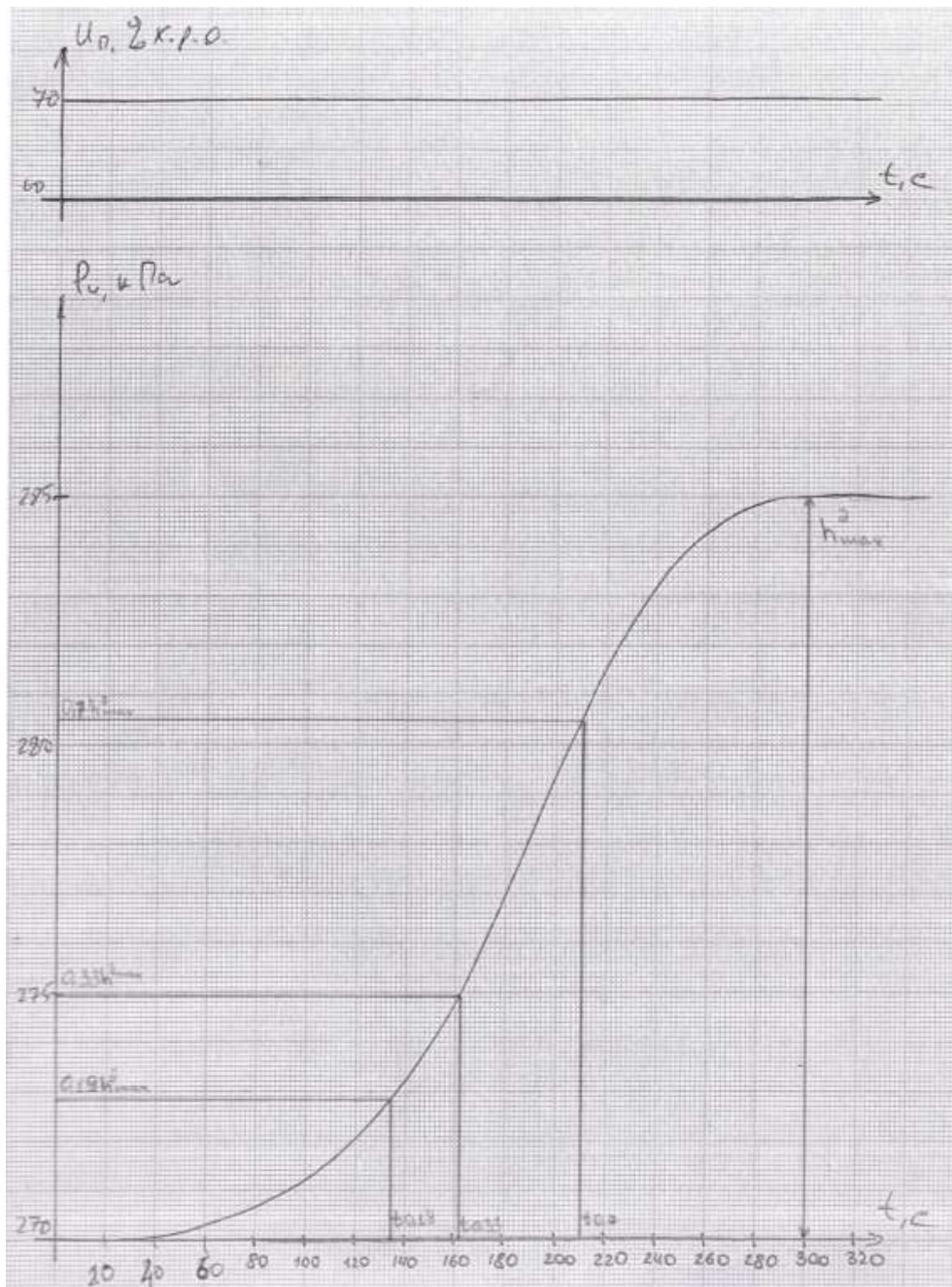


Рис. 2.8 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $U_{\text{П}} - P_4$ "

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є установлення функціональної залежності виду $y = \Phi(\vec{x})$ на основі експериментальних даних, де $\vec{x} \in \{\vec{u}, \vec{f}\}$ – вхідні змінні ОУ.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та $\vec{x}$. У цьому випадку залежність розум = $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\vec{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усредняющих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

Б. Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

В. Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3...5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно

вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях факторів при повторях можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.9...2.12.

Табл. 2.1 – Результати експерименту для визначення статичних характеристик ОК

№ експерименту	U_1 , %х.р.о.	U_{II} , %х.р.о.	P_4 , кПа	L_K , см
1	60	60	270	40
2	40	60	310	44
3	50	60	290	42
4	70	60	250	38
5	80	60	230	36
6	60	40	240	30
7	60	50	255	35
8	60	60	270	40
9	60	70	285	45
10	60	80	300	50

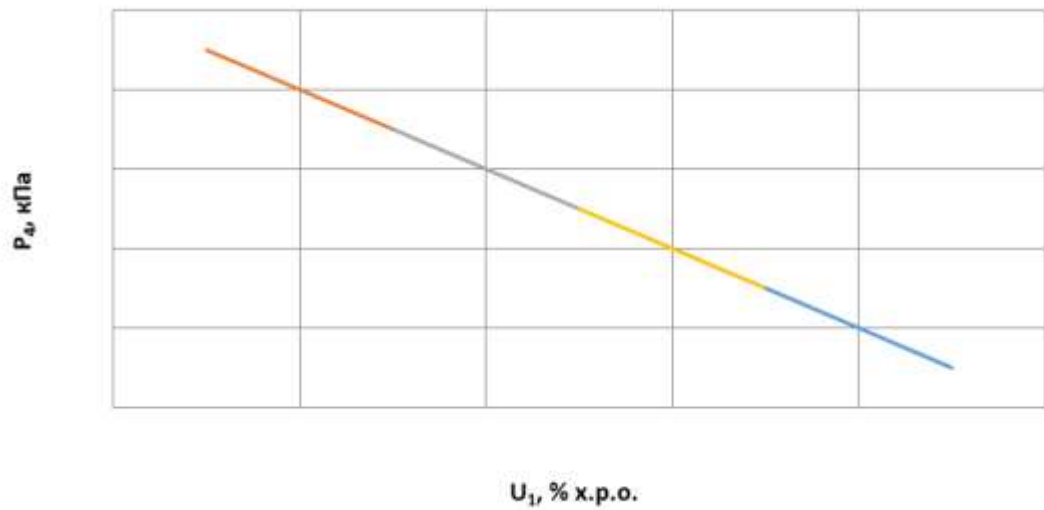


Рис. 2.9 – Статична характеристикии ОК, канал " $U_1 - P_4$ "

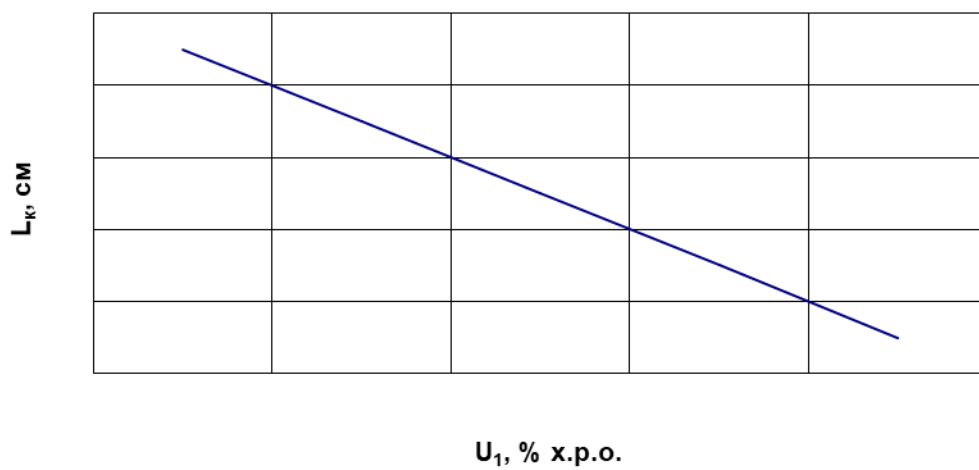


Рис. 2.10 – Статична характеристикии ОК, канал " $U_1 - L_K$ "

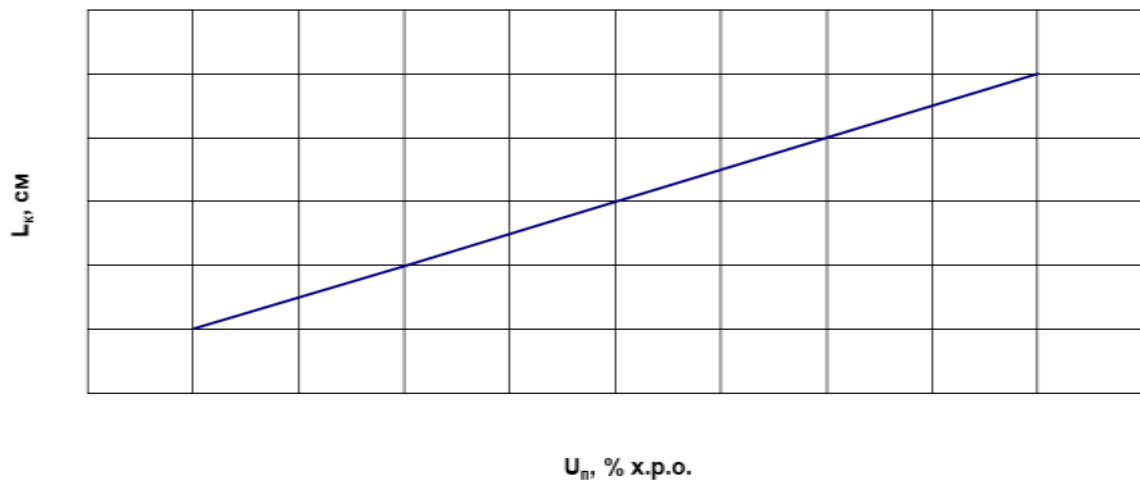


Рис. 2.11 – Статична характеристики ОК, канал " $U_{\text{П}} - L_K$ "

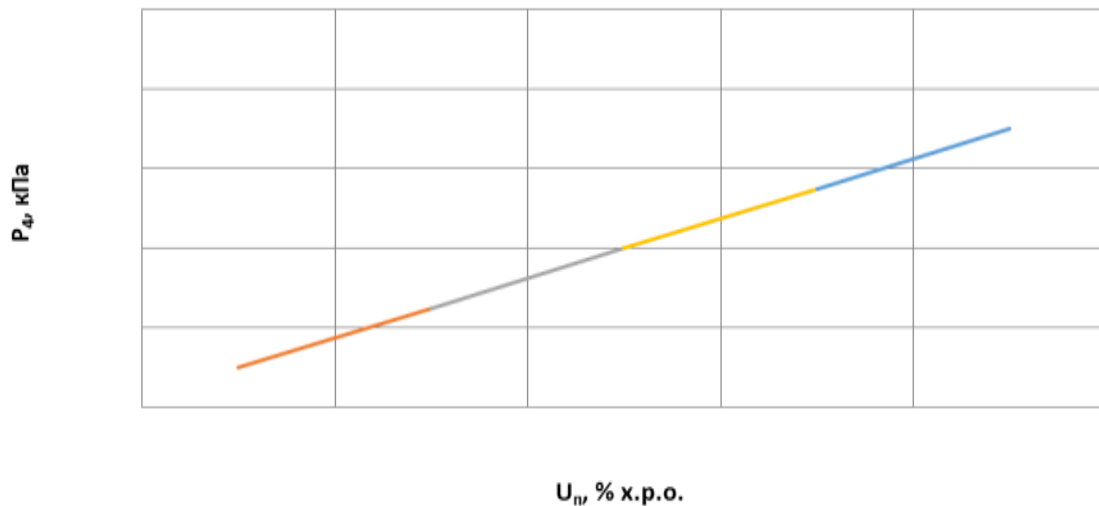


Рис. 2.12 – Статична характеристики ОК, канал " $U_{\text{П}} - P_4$ "

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\bar{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких кроків може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно

використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів $\vec{a}^*$ вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y , отриманих у результаті експерименту y_i , $i = \overline{1, n}$ при значеннях вхідних змінних $\vec{x}_i$, і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях $\vec{x}$, тобто

$$\vec{a}^* = \arg \min \left\{ I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(\vec{x}_i) - y^M(\vec{a}, \vec{x}_i))^2 \right\}$$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 2.9 – 2.12, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$P_4 = a_1 \cdot U_1 + a_2 \cdot U_2 + a_0$$

$$L_k = b_1 \cdot U_1 + b_2 \cdot U_2 + b_0$$

Параметри a_1 , a_2 , b_1 , b_2 були нами визначені в процесі ідентифікації моделей динаміки каналів ОК.

$$a_1 = -2 \text{ кПа/\%х.р.о.}, a_2 = 1,5 \text{ кПа/\%х.р.о.}$$

$$b_1 = 0,5 \text{ см/\%х.р.о.}, \text{ а } b_2 = -0,2 \text{ см/\%х.р.о.}$$

Параметри a_0 і b_0 можна визначити наступним чином:

$$a_0 = P_4 - a_1 \cdot U_1 - a_2 \cdot U_2 = 270 + 2 \cdot 60 - 1,5 \cdot 60 = 270 + 120 - 90 = 300 \text{ кПа}$$

$$b_0 = L_k - b_1 \cdot U_1 - b_2 \cdot U_2 = 40 - 0,5 \cdot 60 + 0,2 \cdot 60 = 22 \text{ см}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$P_4 = -2 \cdot U_1 + 1,5 \cdot U_2 + 300$$

$$L_k = 0,5 \cdot U_1 - 0,2 \cdot U_2 + 22$$

2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати

до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах 0...100 %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно 10...15 %х.р.о. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або $(10...15) \cdot K_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

В інженерній практиці стохастичні моделі вхідних дій звичайно представляють у формі випадкового процесу з декількома адитивними складовими, наприклад

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^{\Pi}(t) + \tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^{\text{III}}(t)$$

де $\bar{f}(t)$ – детермінована повільно змінювана складова;

$\tilde{f}^{\Pi}(t)$ – квазидетермінована складова;

$\tilde{f}^c(t)$ – стохастична центрована складова – центрований випадковий процес;

$\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ – високочастотна стохастична складова – шум.

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^{\Pi}(t)$, $\tilde{f}^c(t)$ і їх сума є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати. Складова $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ в САК повинні бути відфільтровані (не «пропущені» на вхід управляючого пристрою). Для вирішення цього завдання і повинні бути отримані властивості $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$.

Початок ідентифікації пов'язаний з тим, що відповідно до обраної моделі $f(t)$ прийнято рішення про віднесення складових реального сигналу до тієї або іншої складової моделі.

Для того, щоб зробити це відносно надійно, необхідно мати апіорну інформацію про властивості об'єкту за каналами керування. Якщо представити їх моделлю першого порядку із запізненням τ_0 , то за співвідношенням середніх

періодів T_n цих складових і τ_0 , можна провести поділ сигналу:

- якщо для складової $T_n < 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$;
- якщо для складової $40\tau_0 > T_n > 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^{\text{с}}(t) + \tilde{f}^{\text{п}}(t)$
- якщо для складової $T_n > 40\tau_0$, то її доцільно віднести до $\bar{f}(t)$

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову ($f_{1\text{д}}$, f_2) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові ($f_{\text{НС}}$) доцільно привести до регульованої координати.

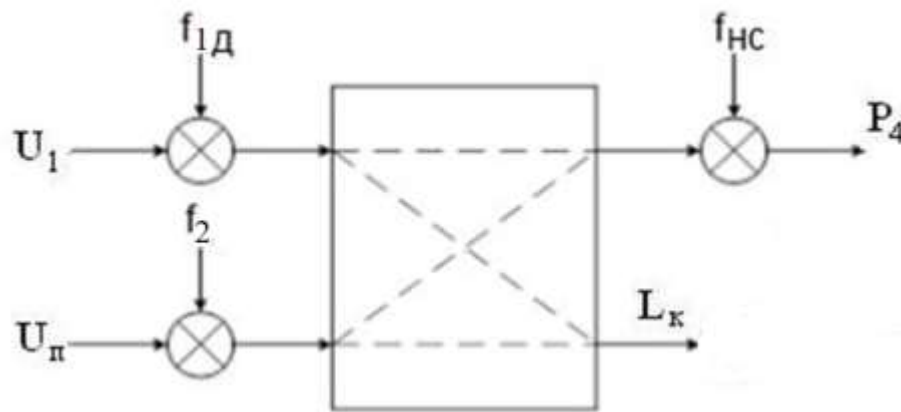


Рис. 2.13 – Структурна схема додання координатних збурень

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації результатів пасивного експерименту з метою дослідження неконтрольованих збурень треба бути готовими до відповіді на наступні питання.

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати?

Для досліджуваного ОК:

$$P_4^{\text{мін}} = 200 \text{ кПа}; P_4^{\text{зд}} = 270 \text{ кПа}.$$

2. Яким є час запізнення для моделі 1-го порядку за прямими каналами?

Для досліджуваного ОК:

$$\text{канал "U}_1 - P_4": \tau_0 = 22\text{с};$$

Результати генерації випадкового процесу, що відповідає реакції ОК на

неконтрольовані збурення, наведені на рис. 3.2.

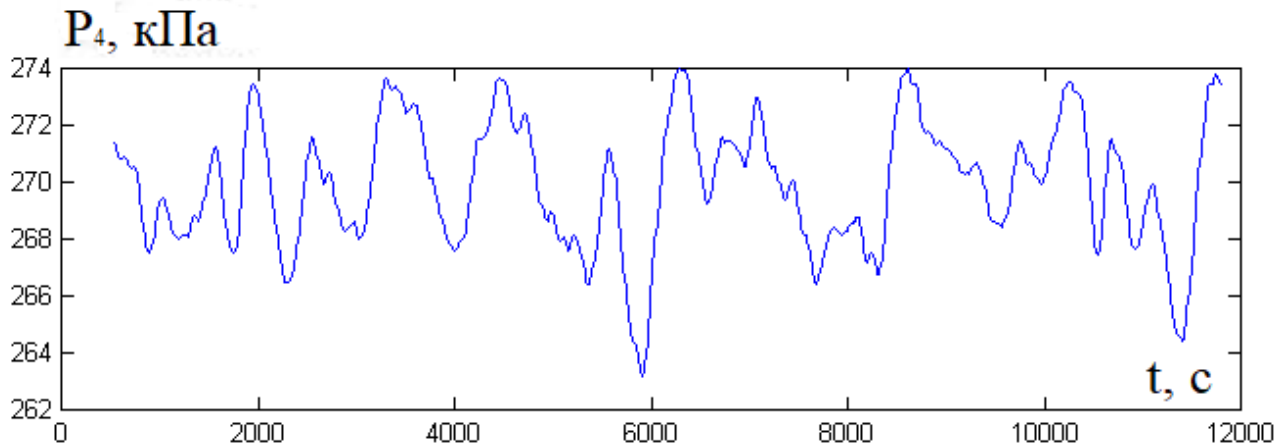
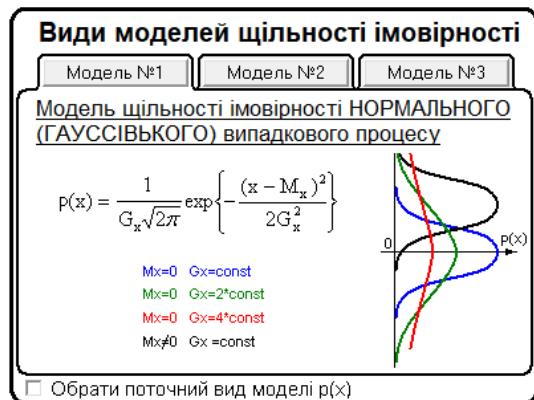
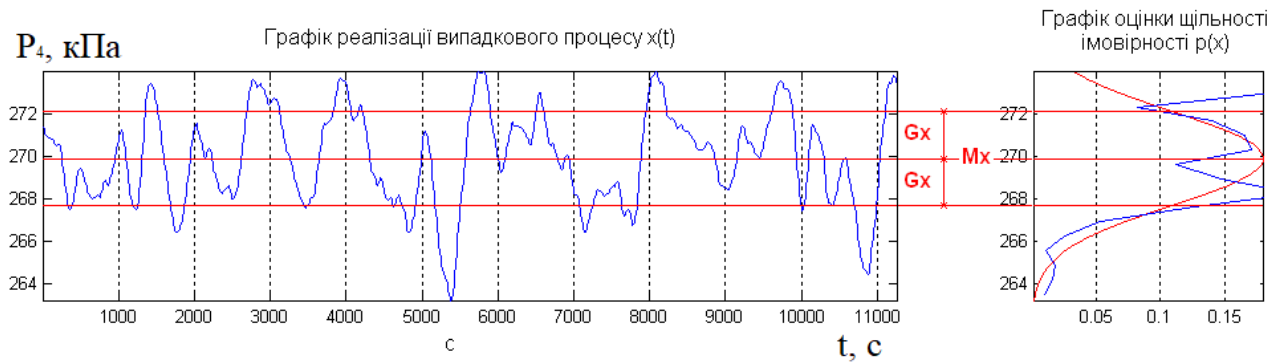


Рис. 2.14 – Результати генерації випадкового процесу за P_4

Для ідентифікації моделей неконтрольованих координатних збурень можна використовувати програму IdSoft середовища Матлаб.

Першим етапом ідентифікації моделі неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 3.3.



Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу x(t):	
Вихідні	
Інтервал часу генерації ВП	Tr = 11264 с
Крок квантування ВП за часом генерації	Δt = 11 с
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	N = 1024
Отримані в результаті оцінювання	
Оцінка математичного очікування	Mx = 269.9
Оцінка дисперсії	Dx = 4.887
Оцінка середньоквадратичного відхилення	Gx = 2.211
Оцінка середньоквадратичного періоду	Tскл = 804.6 с
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	NТскл = 14

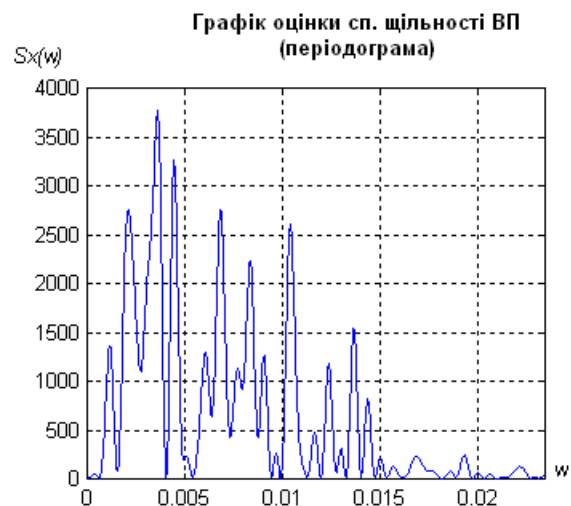
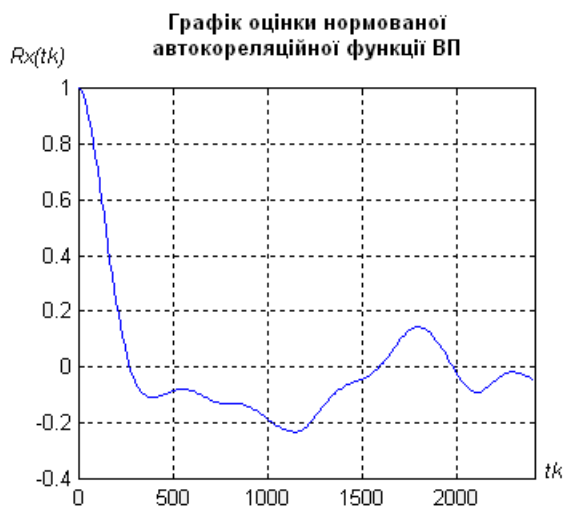


Рис. 2.15 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням за Р₄

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f - m_f)^2}{2\sigma_f^2}}$$

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо два варіанти моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей:

Модель №5

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta \cdot |\tau_k|)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 2\alpha \cdot (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Модель №6

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left(\cos(\beta \cdot |\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin(\beta \cdot |\tau_k|) \right)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 4\alpha \cdot (\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

$\hat{\beta}^0$; 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації моделі використовується пошукова процедурами, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

$$\bar{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\tilde{f}}(\tau_k) - R_{\tilde{f}}^M(\tau_k) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 3.4, моделі №6 – на рис. 3.5, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 3.6.

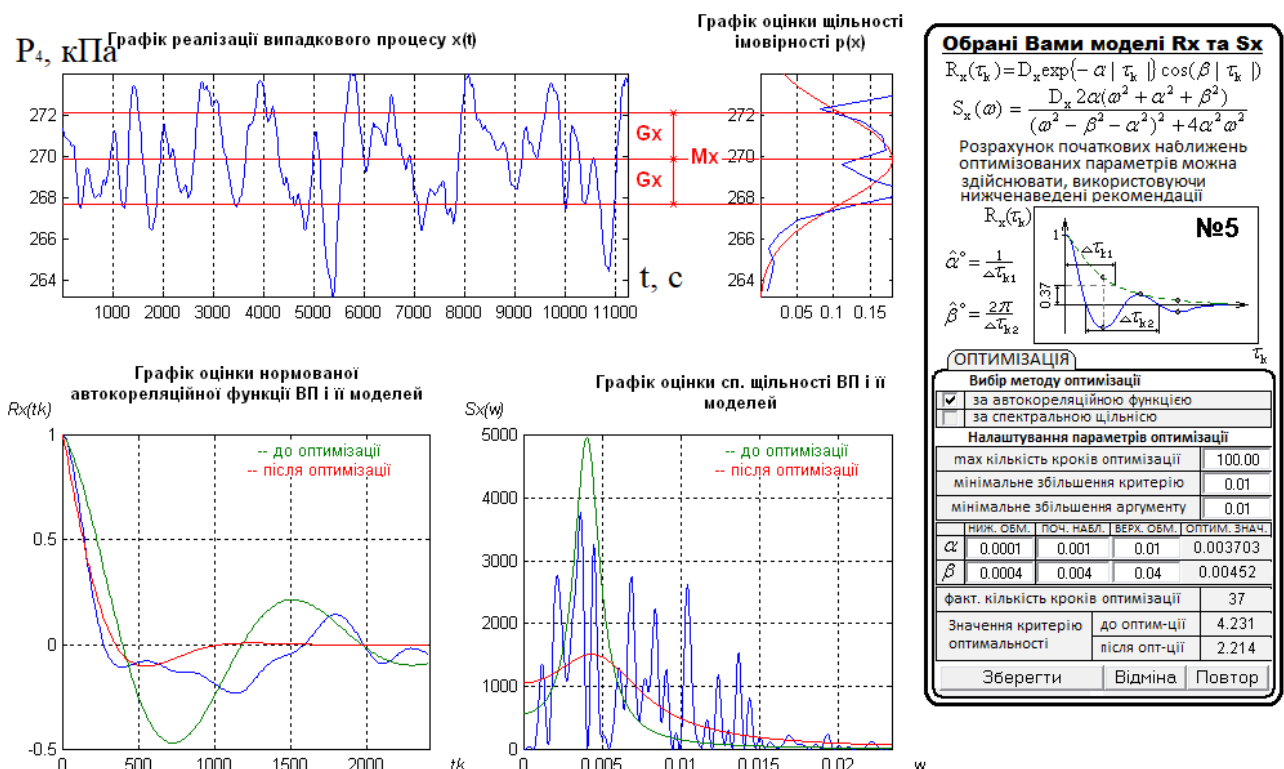


Рис. 2.16 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

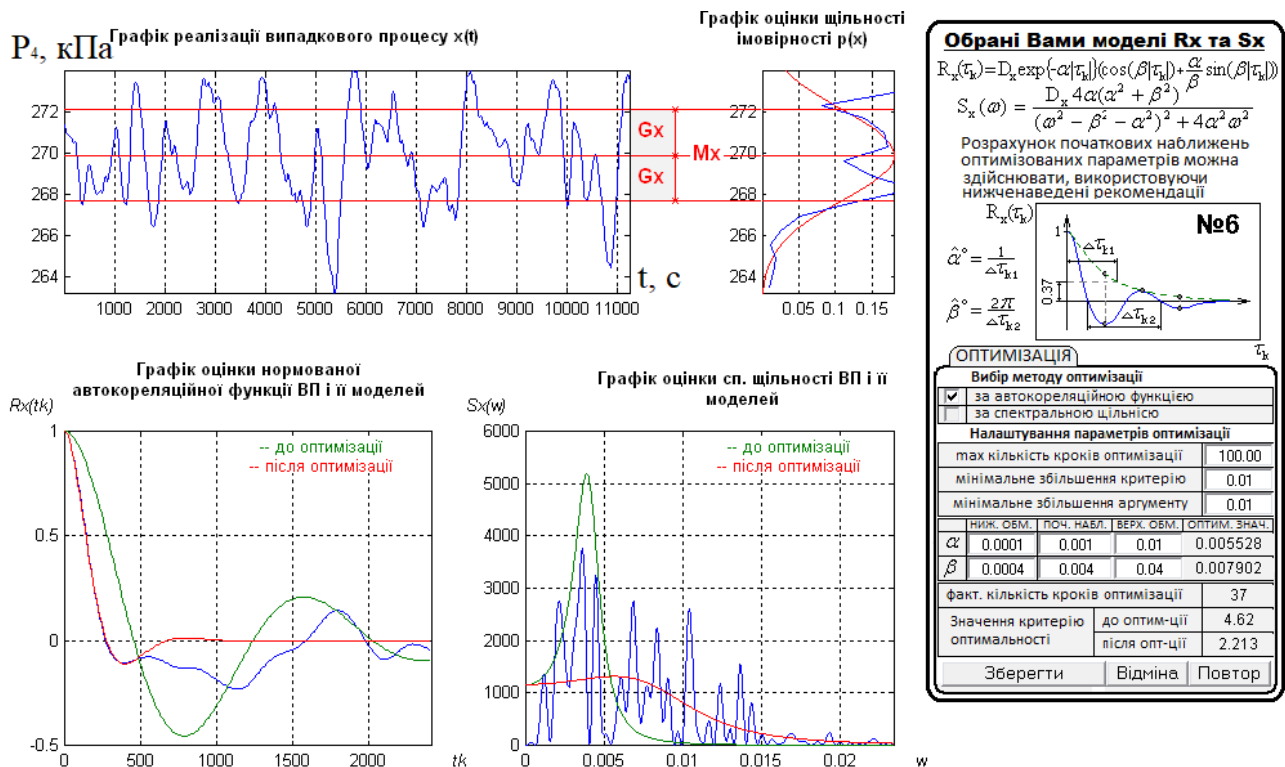


Рис. 2.17 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
☒ 5	0.0037032	0.0045203	-	-	-	4.9012
☒ 6	0.0055277	0.007902	-	-	-	4.8979

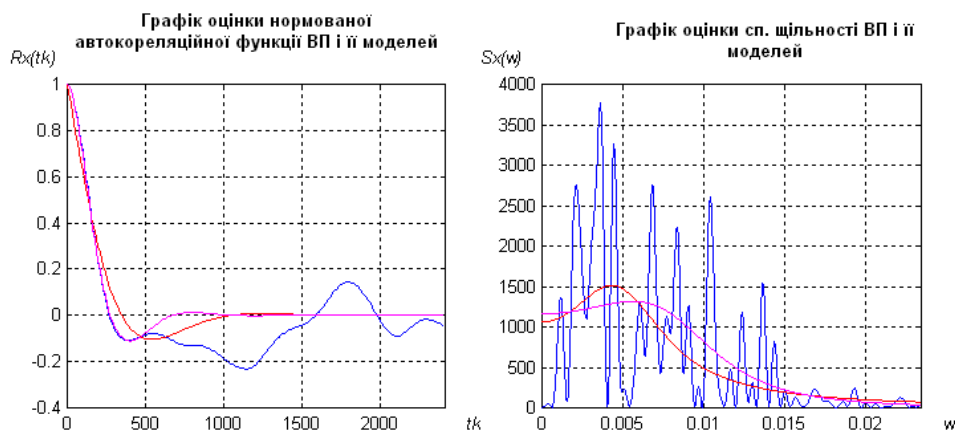


Рис. 2.18 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 3.6) кращою є модель №6, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделі від оцінок кореляційних функцій.

2.4. Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного

імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу

На цьому етапі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для всіх каналів ОК розробляється схема моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Для каналу «U₁-P₄» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-22p}}{10p + 1} \quad W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-15,25p}}{(7,8p + 1)^2}$$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 4.1. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 4.1 Результати моделювання наведені на рис. 4.2.

Табл. 2.1 – Експериментальні дані (канал «U₁-P₄»)

t, сек	P ₄ , кПа	t, сек	P ₄ , кПа	t, сек	P ₄ , кПа	t, сек	P ₄ , кПа
0	270	20	267	40	252.6	60	250
5	269.99	25	264	45	251.2	65	250
10	269.804	30	259.6	50	250.3	—	—
15	268.8	35	255	55	250.2	—	—

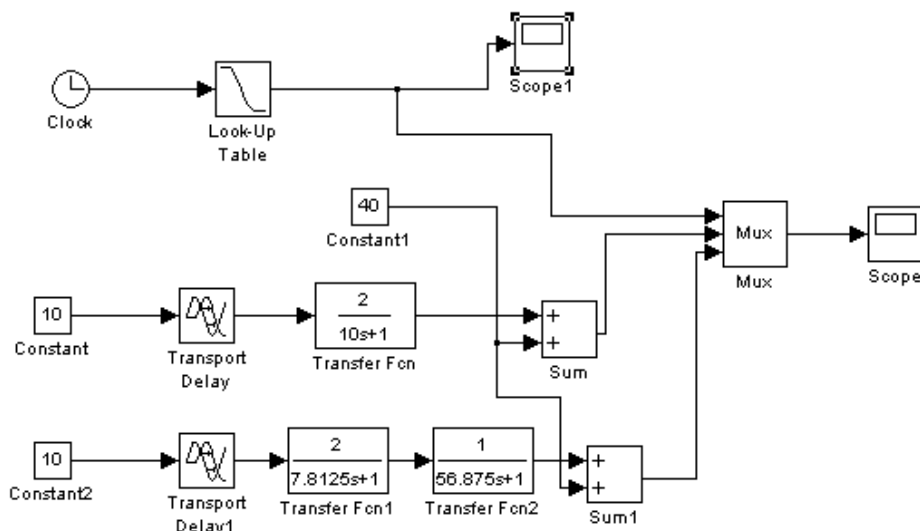


Рис. 2.19 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал «U₁-P₄»)

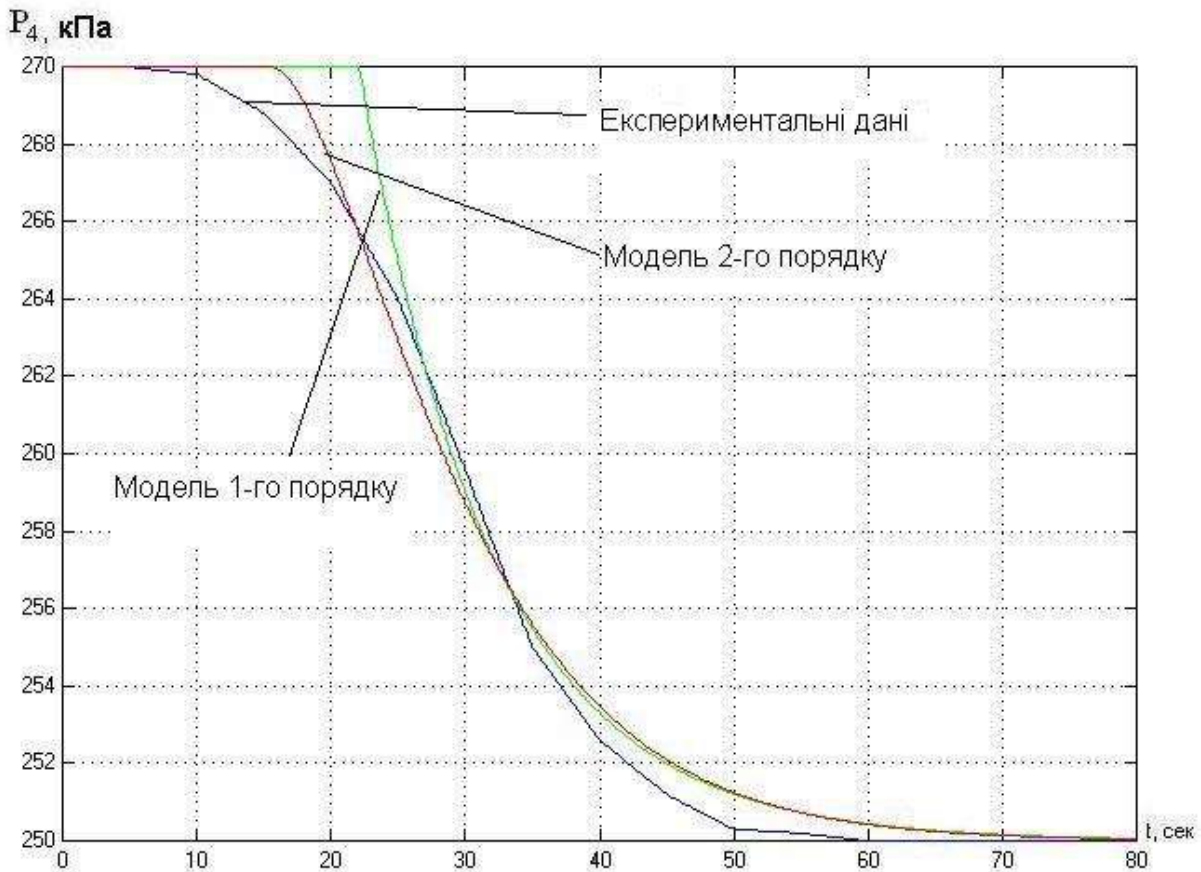


Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК по каналу «U₁-P₄»

Для каналу «U_п-L_к» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-115,5p}}{78,75p + 1} \quad W_0(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-69,5p}}{(56,9p + 1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом «U_п-L_к» зведено в таблицю 4.2, схема моделювання наведена на рис. 4.3, а результати моделювання – на рис. 4.4.

Табл. 2.2 – Експериментальні дані (канал «U_п-L_к»)

t, сек	L _к , см	t, сек	L _к , см	t, сек	L _к , см	t, сек	L _к , см	t, сек	L _к , см
0	40	80	40.36	160	42.13	240	44.26	320	45
20	40	100	40.6	180	42.73	260	44.58	-	-
40	40.075	120	41.03	200	43.36	280	44.81	-	-
60	40.2	140	41.53	220	43.83	300	44.95	-	-

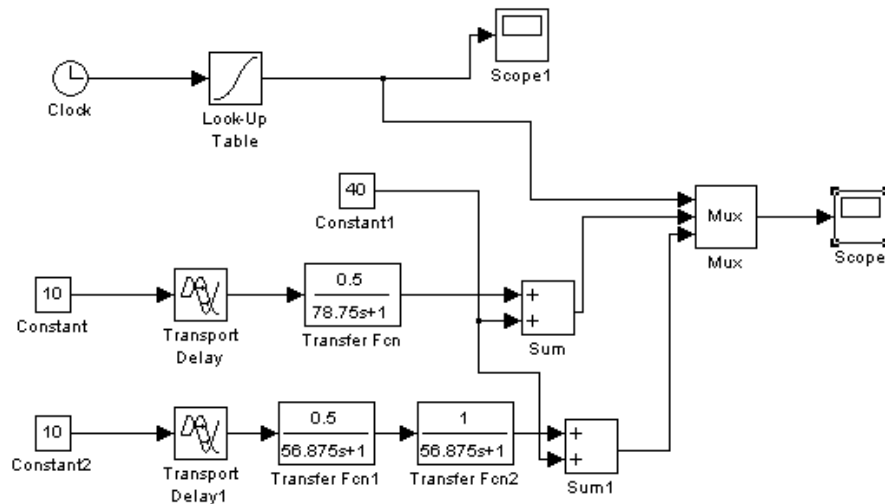


Рис. 2.21 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал «U_П-L_К»)

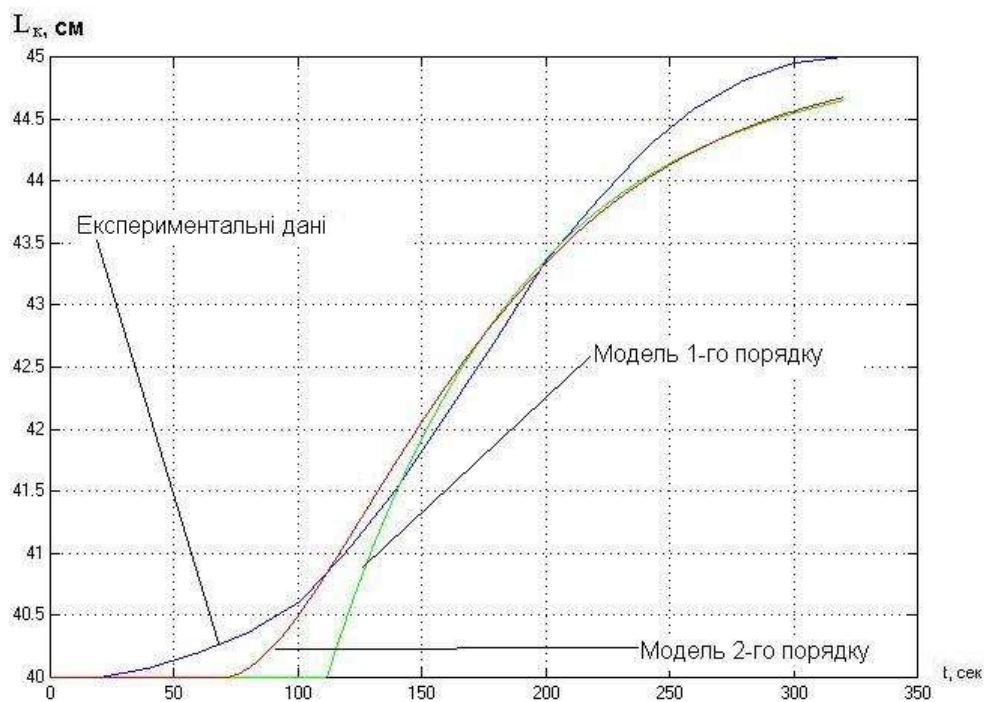


Рис. 2.22 – Результати моделювання ОК за каналом «U_П – L_К»

Для каналу «U₁-L_К» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-109,5p}}{48,75p + 1} \quad W_0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-78p}}{(37,5p + 1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом «U₁-L_К» зведено в таблицю 4.3, схема моделювання каналу наведена на рис. 4.5 а результати моделювання – на рис. 4.6.

Табл. 2.3 – Експериментальні дані (канал «U₁-L_К»)

t, сек	L _К , см	t, сек	L _К , см	t, сек	L _К , см	t, сек	L _К , см
0	40	80	39.88	160	38.74	240	38
20	40	100	39.72	180	38.42	260	38
40	39.98	120	39.5	200	38.2	—	—
60	39.97	140	39.16	220	38.08	—	—

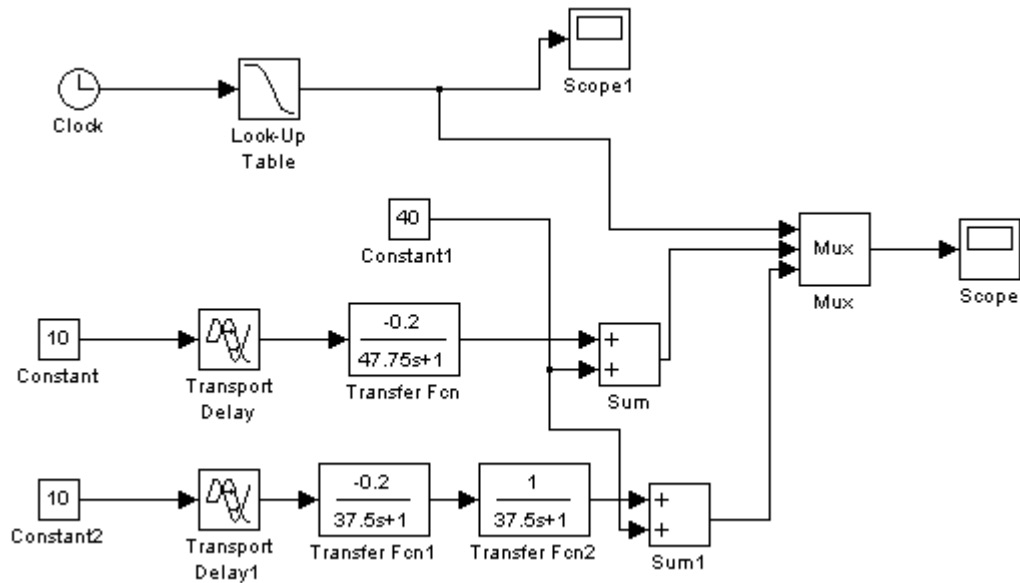


Рис. 2.23 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал «U₁-L_к»)

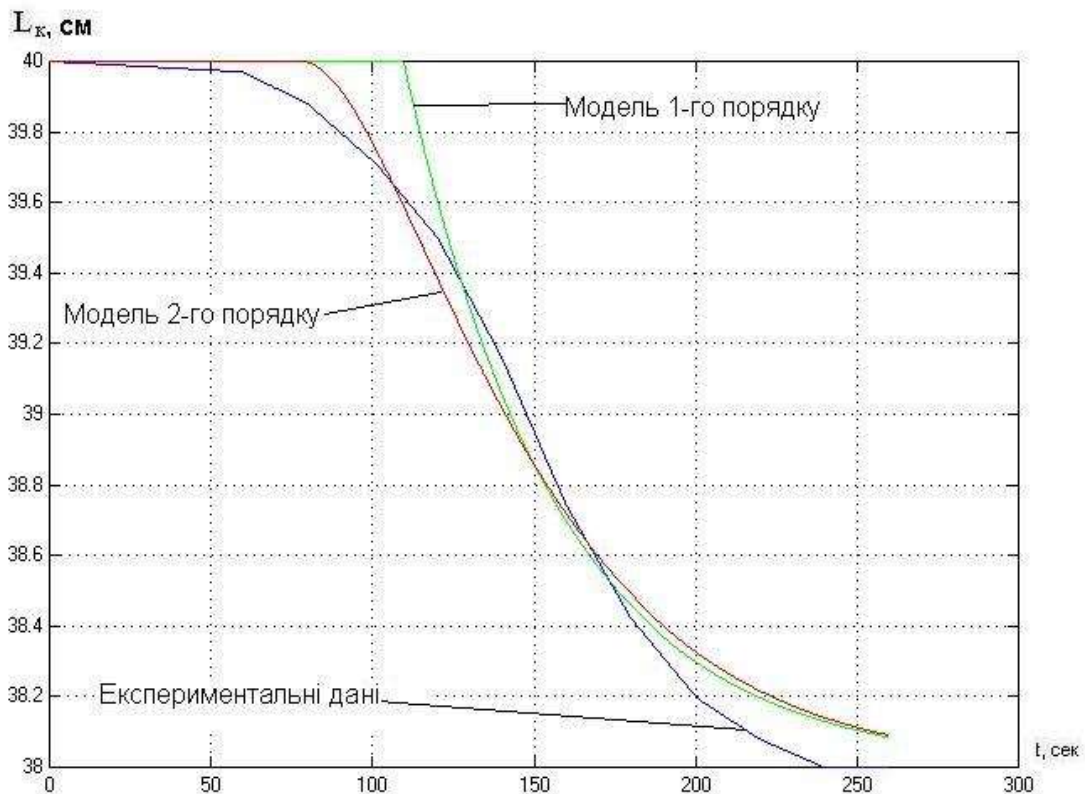


Рис. 2.24 – Результати моделювання ОК по каналу «U₁-L_к»

Для каналу «U_п-P₄» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-138p}}{60p + 1} \quad W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-96p}}{(47,5p + 1)^2}$$

Для досліджуваного ОК експериментальні дані за каналом «U_п – P₄» зведено в таблицю 4.4, схема моделювання наведена на рис. 4.7, а результати моделювання – на рис. 4.8.

Табл. 2.4 – Експериментальні дані (канал «U_п-P₄»)

t, сек	P ₄ , кПа	t, сек	P ₄ , кПа	t, сек	P ₄ , кПа	t, сек	P ₄ , кПа
0	270	80	270.6	160	274.8	240	283.2
20	270	100	271.2	180	277	260	284.3
40	270.1	120	272.05	200	279.4	280	284.85
60	270.3	140	273.2	220	281.6	300	285

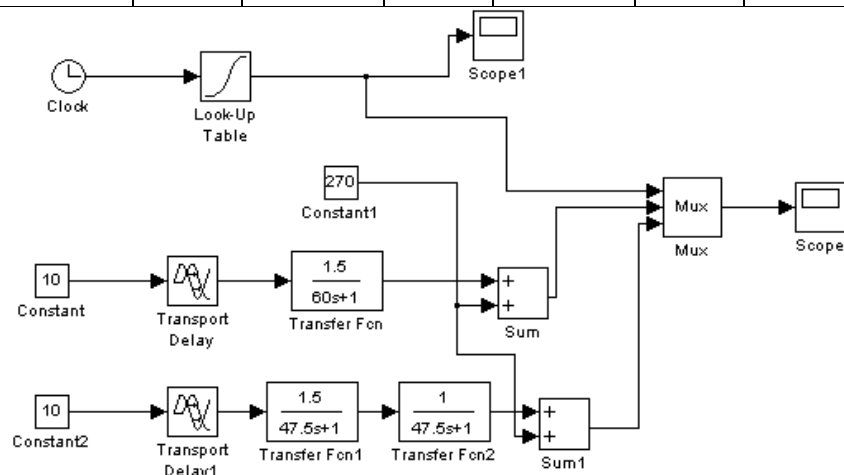


Рис. 2.25 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал «U_п-P₄»)

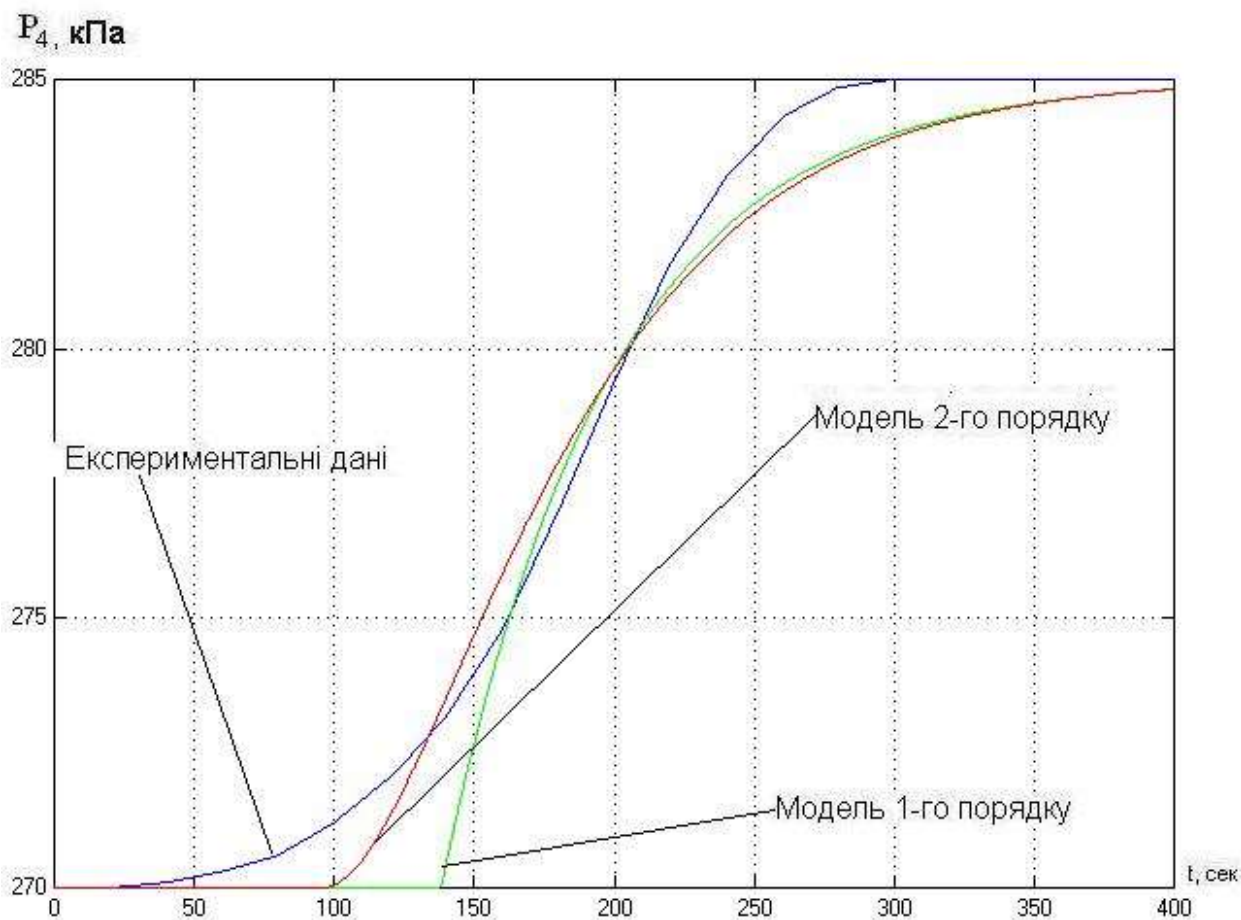


Рис. 2.26 – Результати моделювання ОК по каналу «U_п-P₄»

Як видно з рис. 4.2, 4.4, 4.6 і 4.8, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але моделі 2-го порядку точніші.

Моделі статичних характеристик:

$$P_4 = -2 \cdot U_1 + 1,5 \cdot U_2 + 300$$

$$L_K = 0,5 \cdot U_1 - 0,2 \cdot U_2 + 22$$

Для виконання цього етапу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 4.5, а також представлені у вигляді графіків на рис. 4.9 – 4.12.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків для моделей статичних характеристик ОК

№ експ.	U ₁ , %х.р.о.	U ₂ , %х.р.о.	P ₄ , кПа	L _K , см	Модель	
					P ₄ , кПа	L _K , см
1	60	60	270	40	270	40
2	70	60	250	38	250	38
3	80	60	230	36	230	36
4	50	60	290	42	290	42
5	40	60	310	44	310	44
6	60	70	285	45	285	45
7	60	80	300	50	300	50
8	60	50	255	35	255	35
9	60	40	240	30	240	30

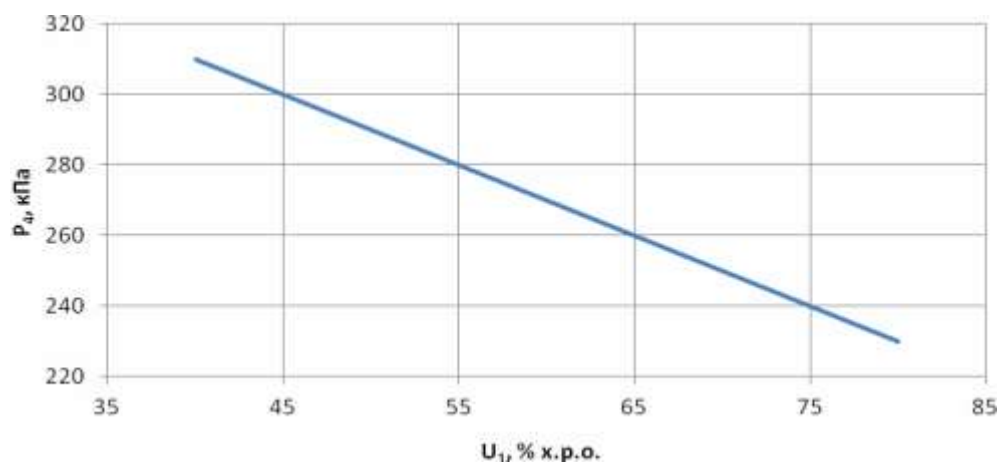


Рис. 2.27 – Результати моделювання статичної характеристики ОК за каналом "U₁ – P₄"

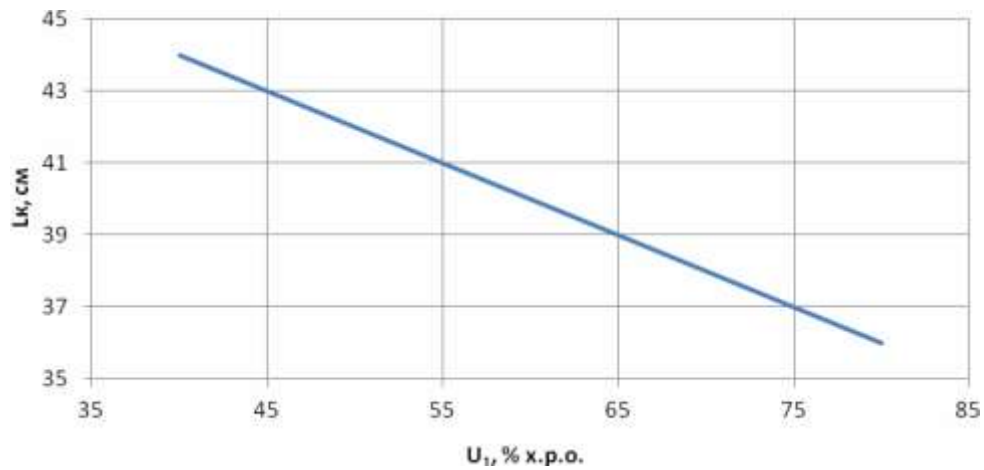


Рис. 2.28 – Результати моделювання статичної характеристики ОК за каналом " $U_1 - L_k$ "

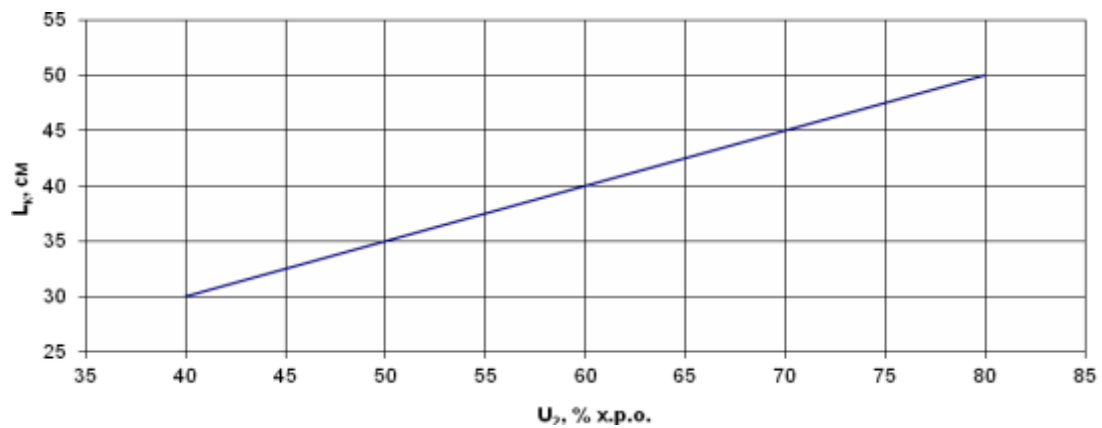


Рис. 2.29 – Результати моделювання статичної характеристики ОК за каналом " $U_2 - L_k$ "

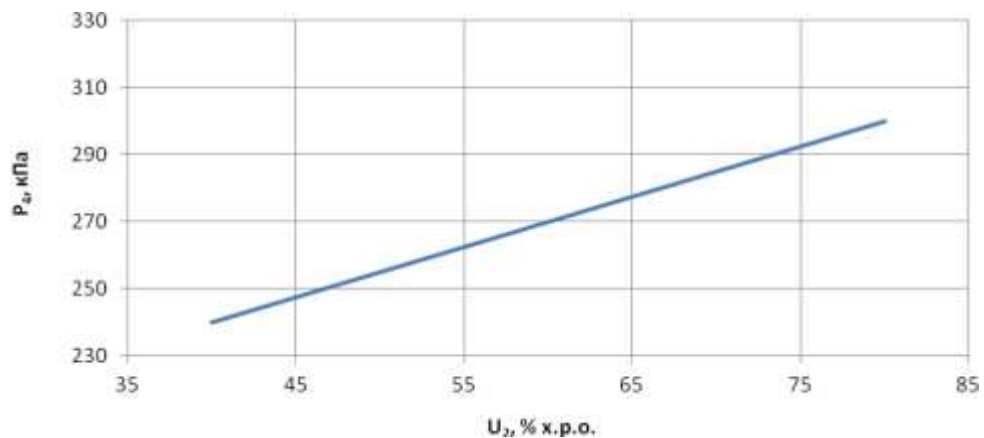


Рис. 2.30 – Результати моделювання статичної характеристики ОК за каналом " $U_2 - P_4$ "

Як видно із графіків (рис. 2.29 – 2.34), моделі статичних характеристик точно відтворюють експериментальні дані.

Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її відповідності експериментальним даним.

Повна модель каналів ОК містить у собі моделі каналів управління та контрольованого збурення з урахуванням статичної характеристики. Схема моделювання каналів ОК наведена на рис. 2.31, а результати моделювання – на рис. 2.32 – 2.33.

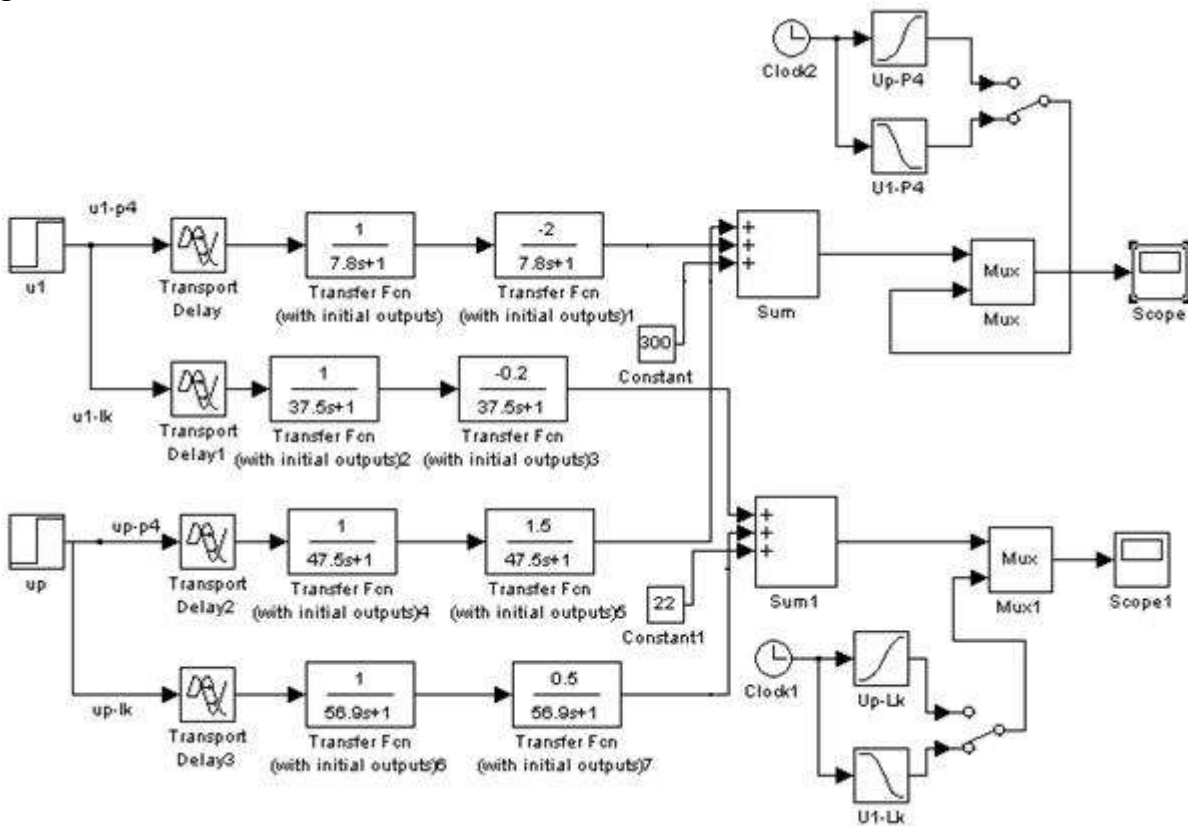


Рис. 2.31 – Схема моделювання повної моделі каналів ОК

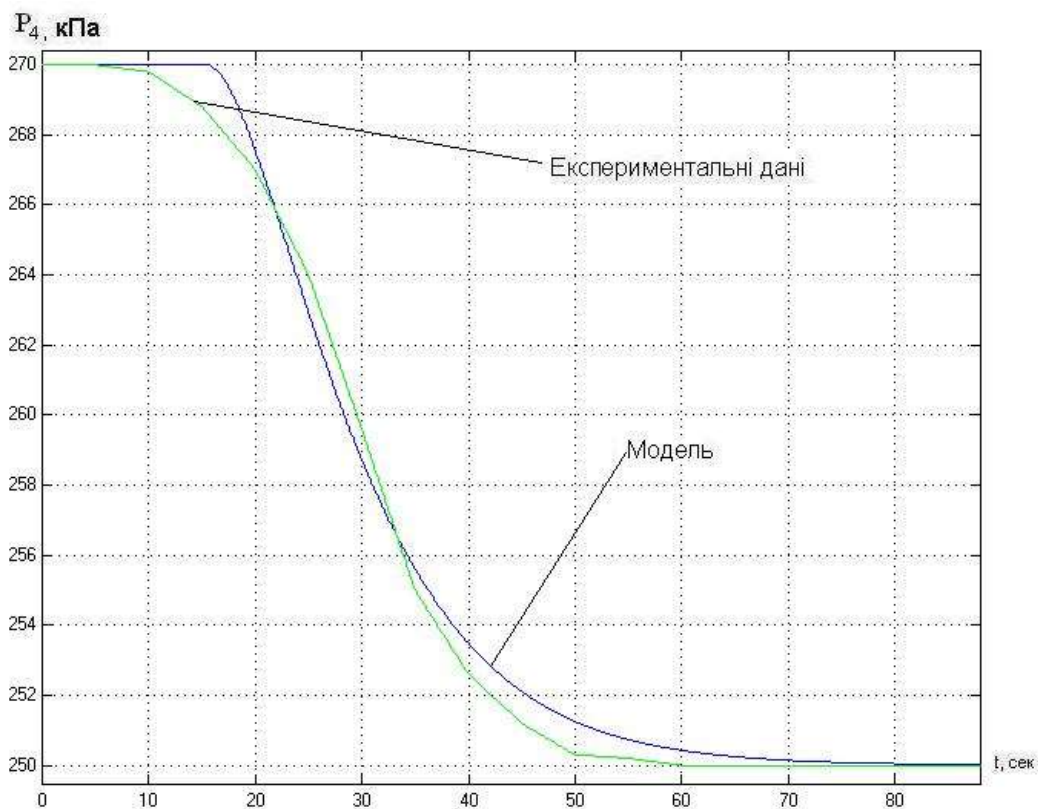


Рис. 2.31 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК:
канал "U₁ – P₄"

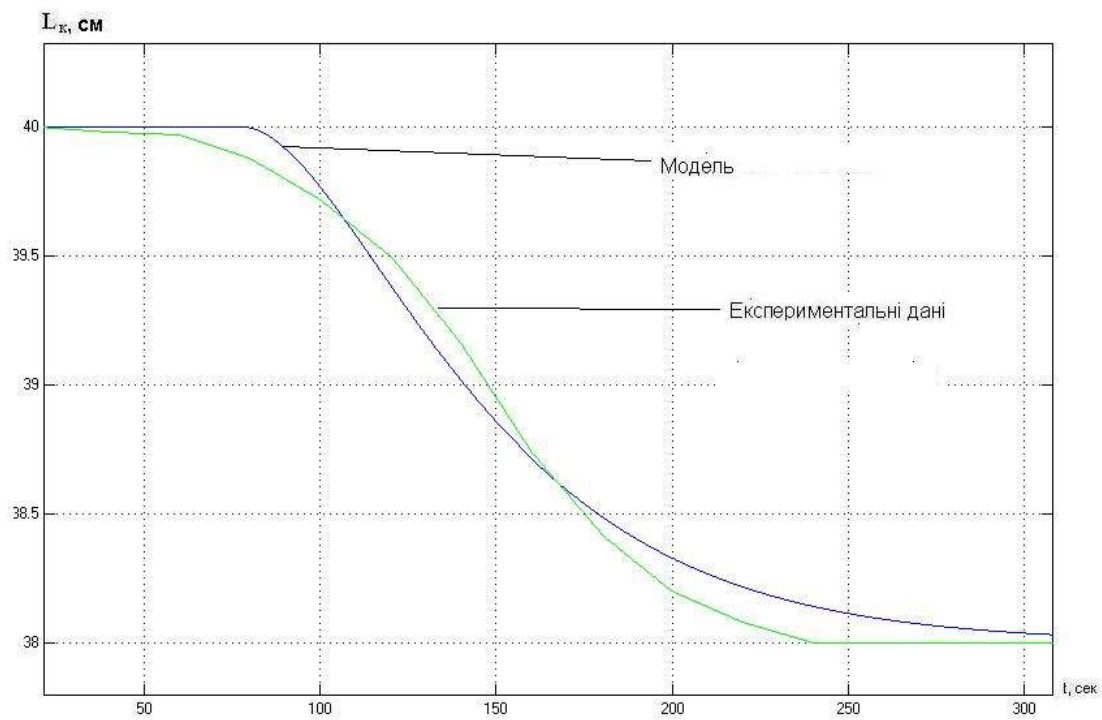


Рис. 2.32 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК:
канал " $U_1 - L_K$ "

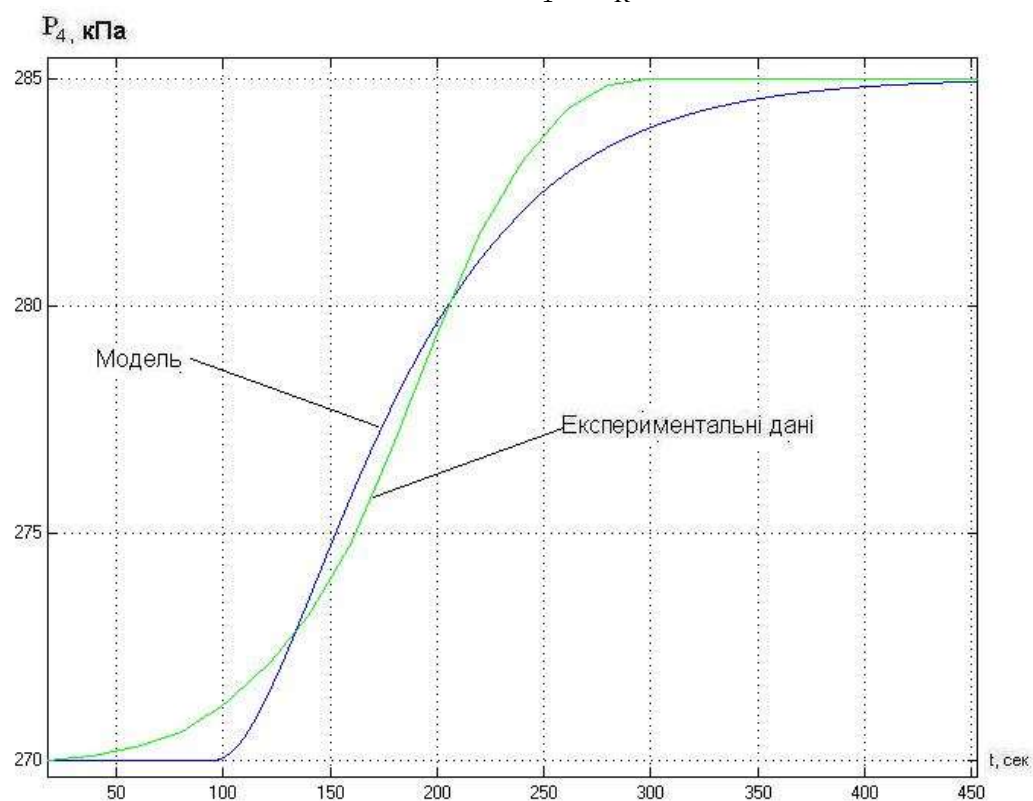


Рис. 2.33 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК:
канал " $U_{II} - P_4$ "

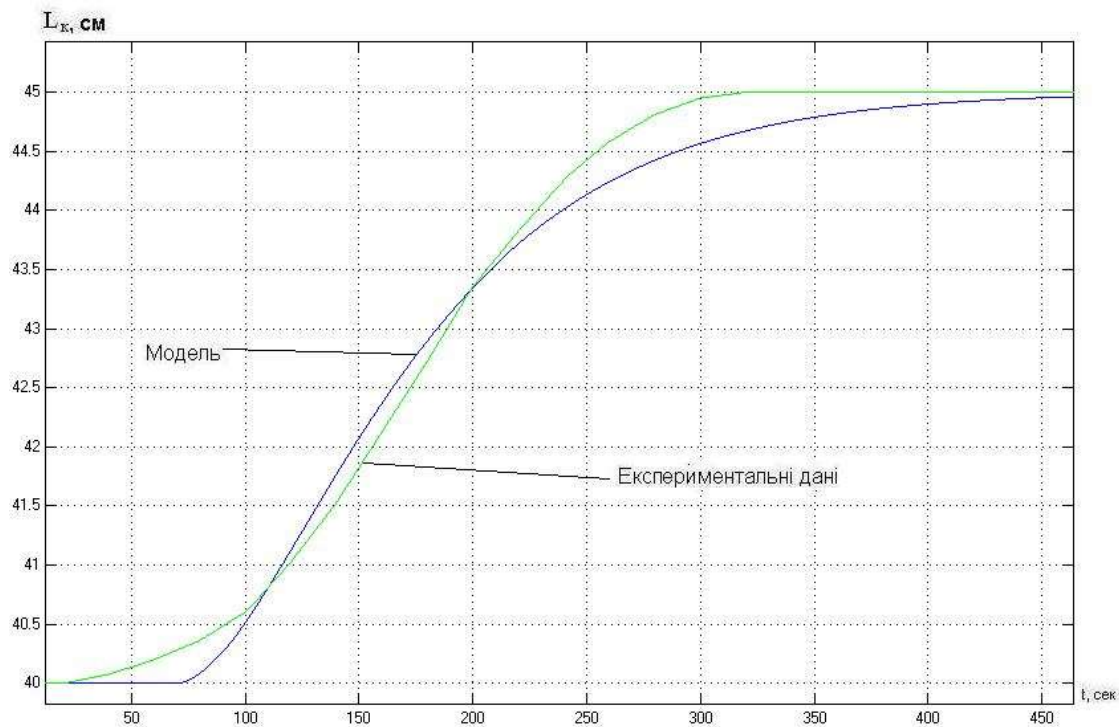


Рис. 2.34 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК:
канал "U_П – L_К"

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображає експериментальні дані. Це означає, що отримана модель каналів ОК є адекватною.

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючого фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання

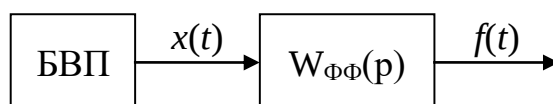


Рис. 2.35 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_{\Phi\Phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні

$$|W_{\Phi\Phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\Phi\Phi}(j\omega) \cdot W_{\Phi\Phi}(-j\omega)$$

Якщо випадковий процес $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована за формулою

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3},$$

де G_x – середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_z – крок генерації

випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №6

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left(\cos(\beta|\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau_k|) \right);$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2};$$

$$S_f(j\omega) = \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2 \omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2 (j)^2 \omega^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 + 2\alpha j\omega} \cdot \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 - 2\alpha j\omega};$$

Бачимо, що $W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2};$

А після заміни

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(\alpha^2 + \beta^2) \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)};$$

Тоді $W_{\phi\phi}(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1};$

де $k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}};$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання каналу Р4:

$$\alpha = 0,0055277; \beta = 0,007902;$$

$$\sigma_x = \frac{2,211}{2} = 1,1055$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2...3) \cdot \alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,0055277} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,0055277} = 60,3 \dots 90,5 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 70 с.

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_{\Gamma}}{3} = 1,1055^2 \cdot \frac{2 \cdot 70}{3} = 57$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{57} \cdot \sqrt{\frac{4,887 \cdot 0,0055277}{0,0055277^2 + 0,007902^2}} = \frac{2}{57} \cdot \sqrt{4,887 \cdot 0,0055277 \cdot 10753} = 0,6$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0055277^2 + 0,007902^2}} = 103,7 \text{ c}$$

$$\vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0055277}{\sqrt{0,0055277^2 + 0,007902^2}} = 0,57$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра каналу Р₄:

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{0,6}{103,7^2 p^2 + 2 \cdot 0,57 \cdot 103,7 p + 1}$$

Сигнал неконтрольованих збурень каналу Р₄ повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 269,9 \text{ кПа}; \sigma_f = 2,211; \alpha = 0,0055277; \beta = 0,007902.$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.39.

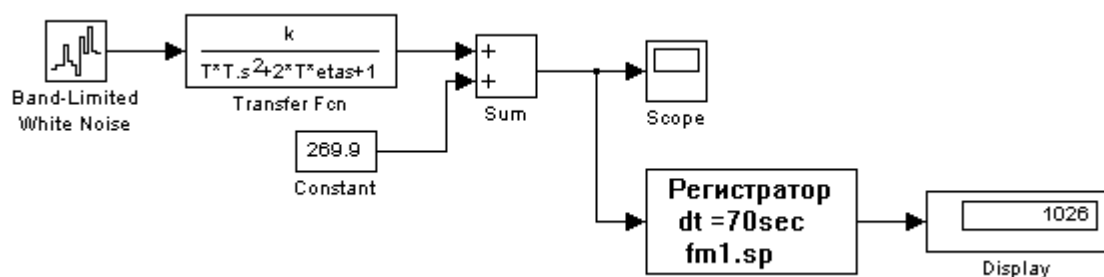


Рис. 2.36 – Схема моделювання неконтрольованих збурень каналу Р₄ із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 57; \text{Sample time} = \Delta t_{\Gamma} = 70; \text{Seed} = 1.$$

Результати моделювання наведені на рис. 2.40.

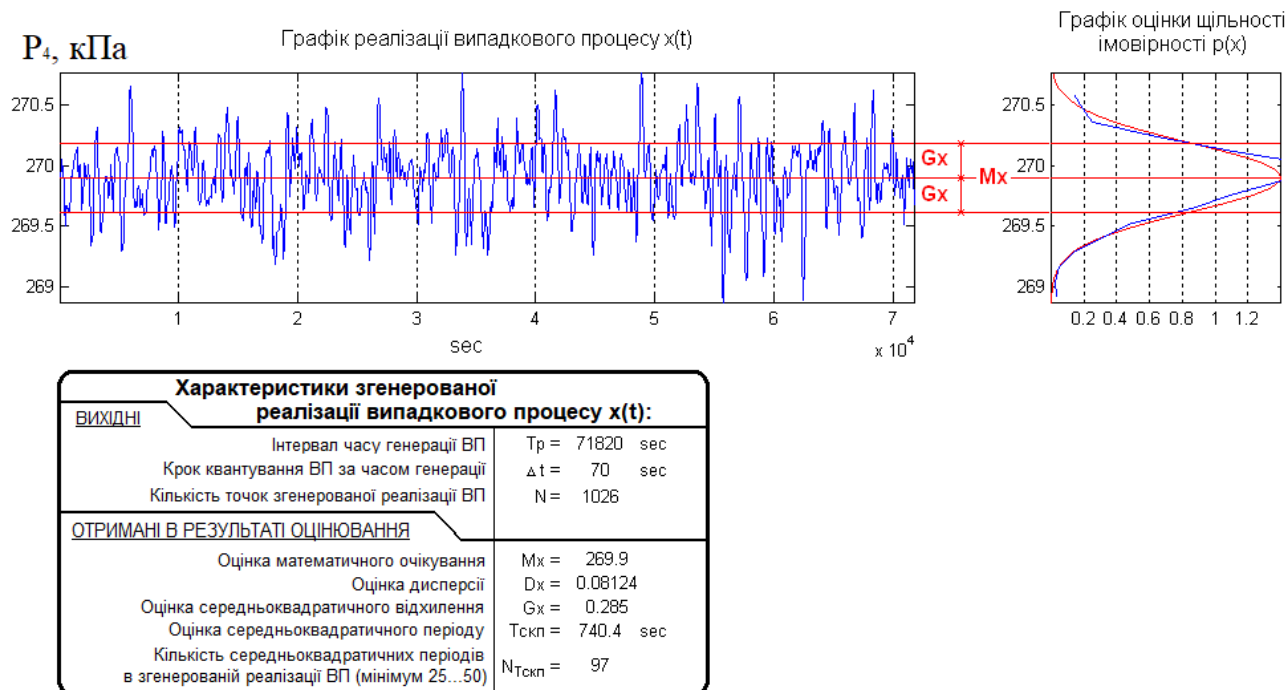


Рис. 2.37 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра за каналом P_4

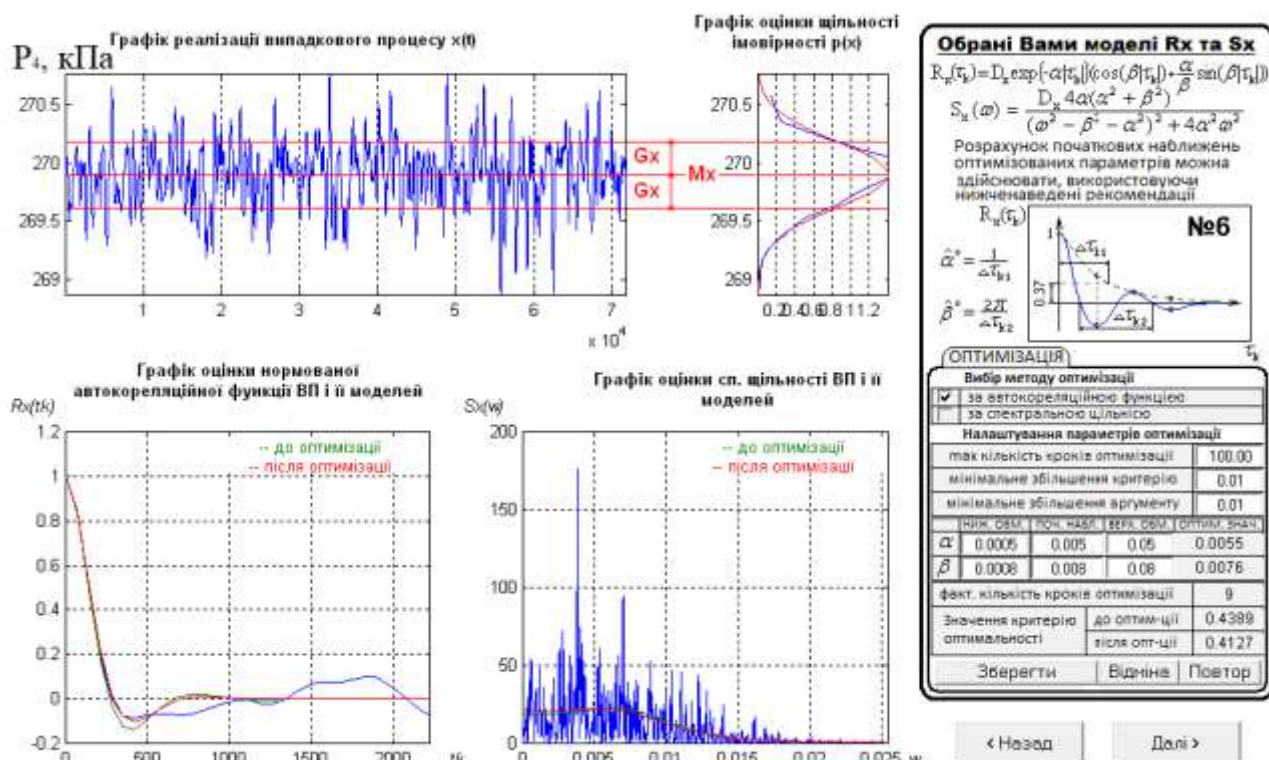


Рис. 2.38 (закінчення)– Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра за каналом P_4

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|269,9 - 269,9|}{269,9} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,285 - 2,211|}{0,285} \cdot 100\% = 676\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0055 - 0,0055277|}{0,0055} \cdot 100\% = 0,5\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0076 - 0,007902|}{0,0076} \cdot 100\% = 4\%$$

Похибка відтворення σ_f більша від 5%, а значить необхідно провести коректування коефіцієнта передачі формуючого фільтра.

$$k = \frac{\hat{\sigma}_f}{\sigma_f} \cdot k_{\pi} = \frac{2,211}{0,285} \cdot 0,6 = 4,65$$

Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.41, а результати моделювання наведені на рис. 2.42.

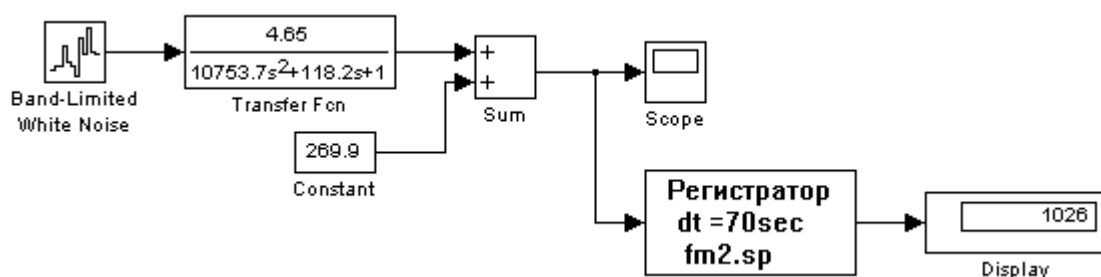


Рис. 2.40 Схема моделювання контрольованого збурення з формуючим фільтром каналу P_4 , що має скоректовані параметри

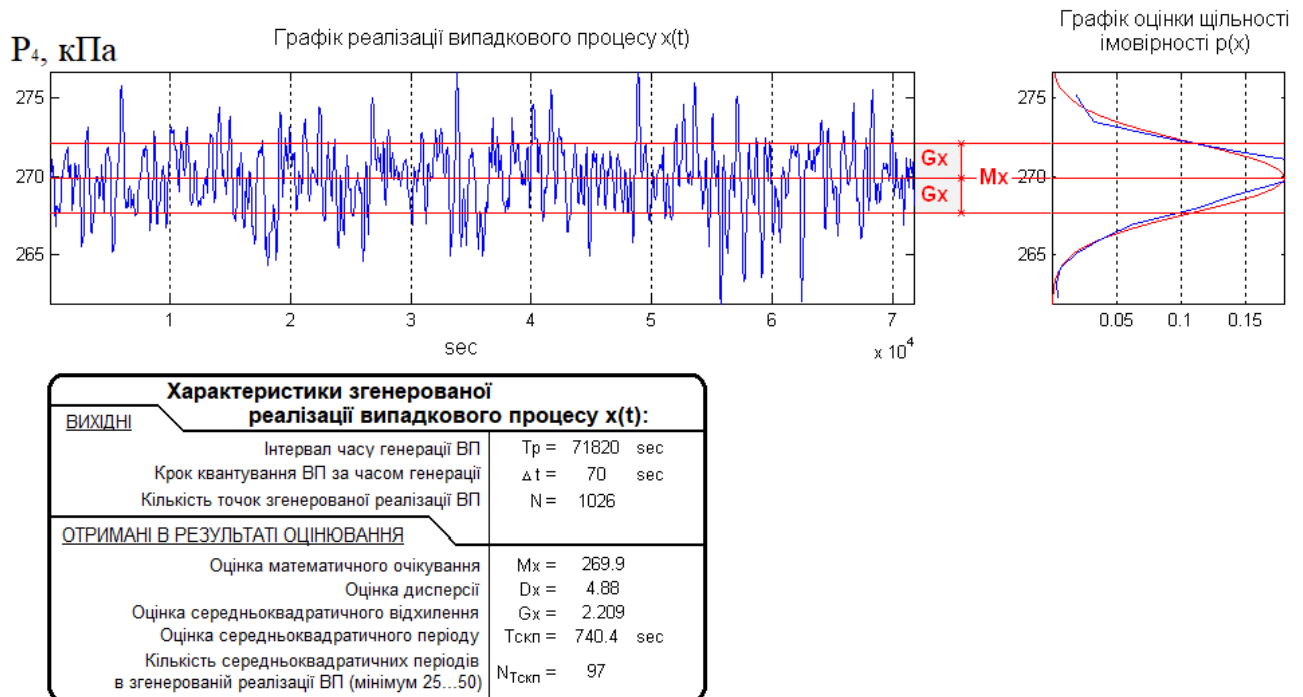


Рис. 2.41 – Результати моделювання неконтрольованого збурення каналу Р₄ з остаточними параметрами формуючого фільтра

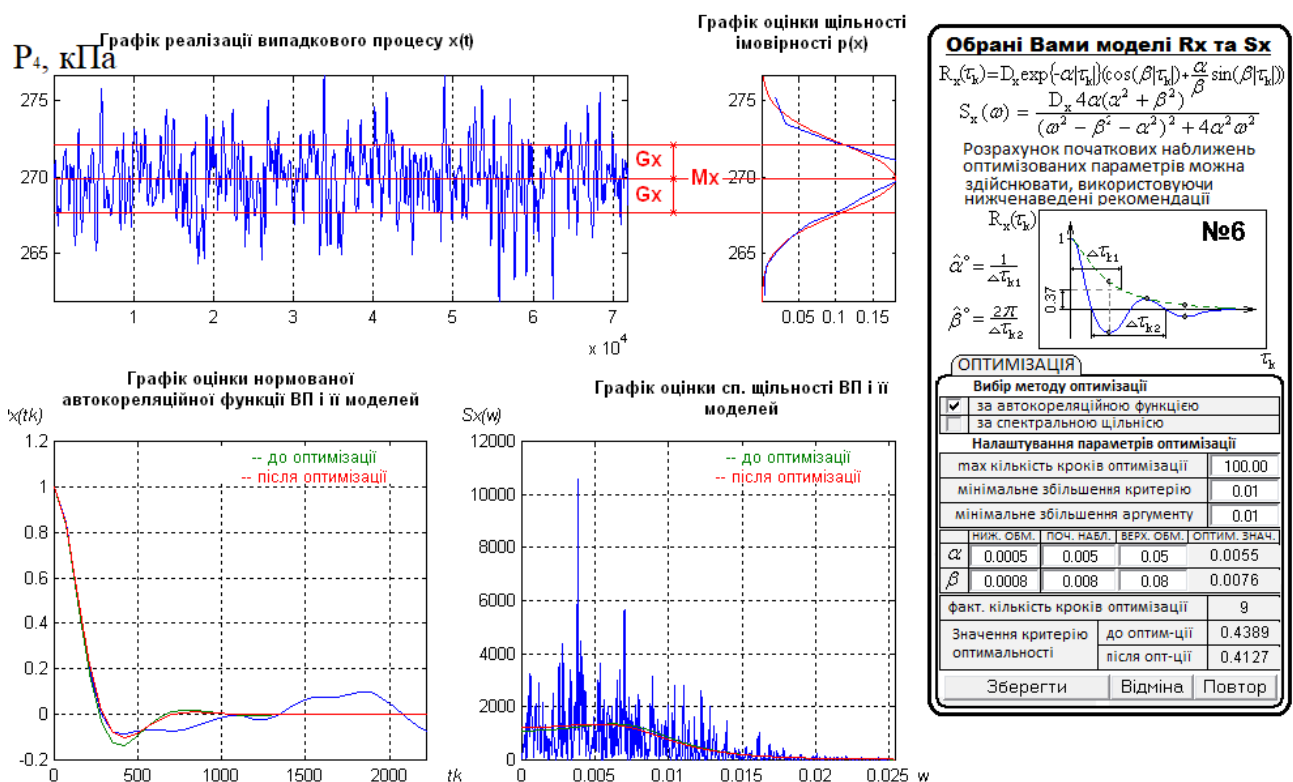


Рис. 2.42 (закінчення) – Результати моделювання неконтрольованого збурення каналу Р₄ з остаточними параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|269,9 - 269,9|}{269,9} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|2,209 - 2,211|}{2,209} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0055 - 0,0055277|}{0,0055} \cdot 100\% = 0,5\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0076 - 0,007902|}{0,0076} \cdot 100\% = 4\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурень є достатньою.

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель неконтрольованих збурень. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.43.

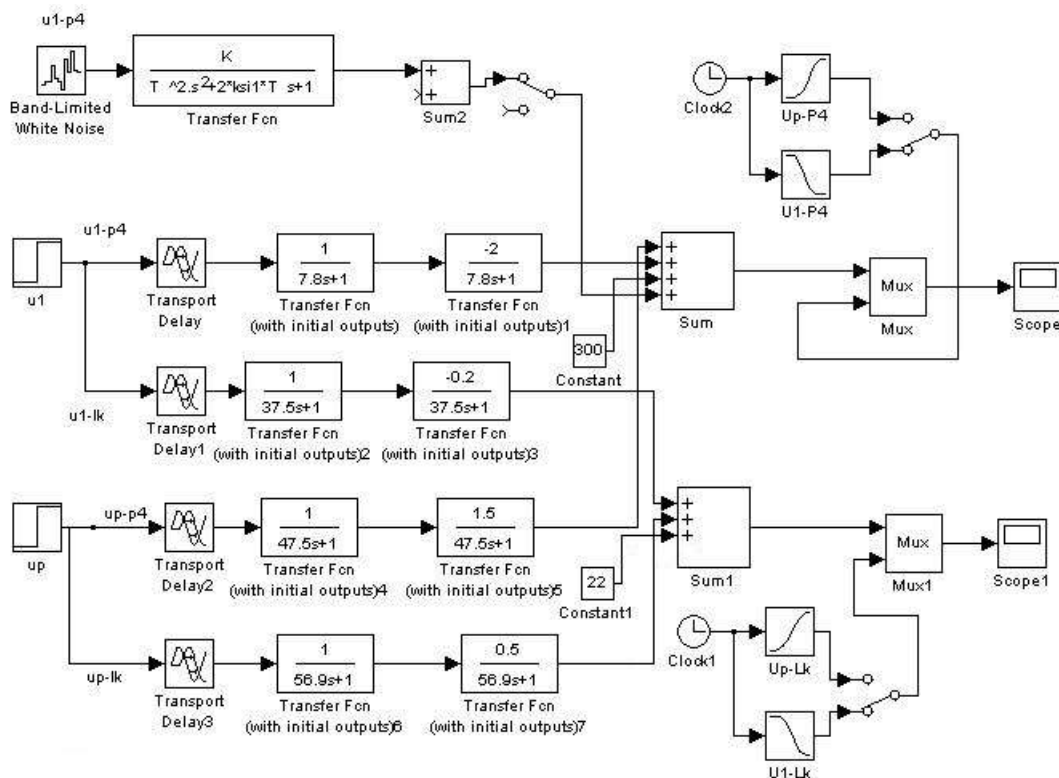


Рис. 2.43 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень наведені на рис. 4.24.

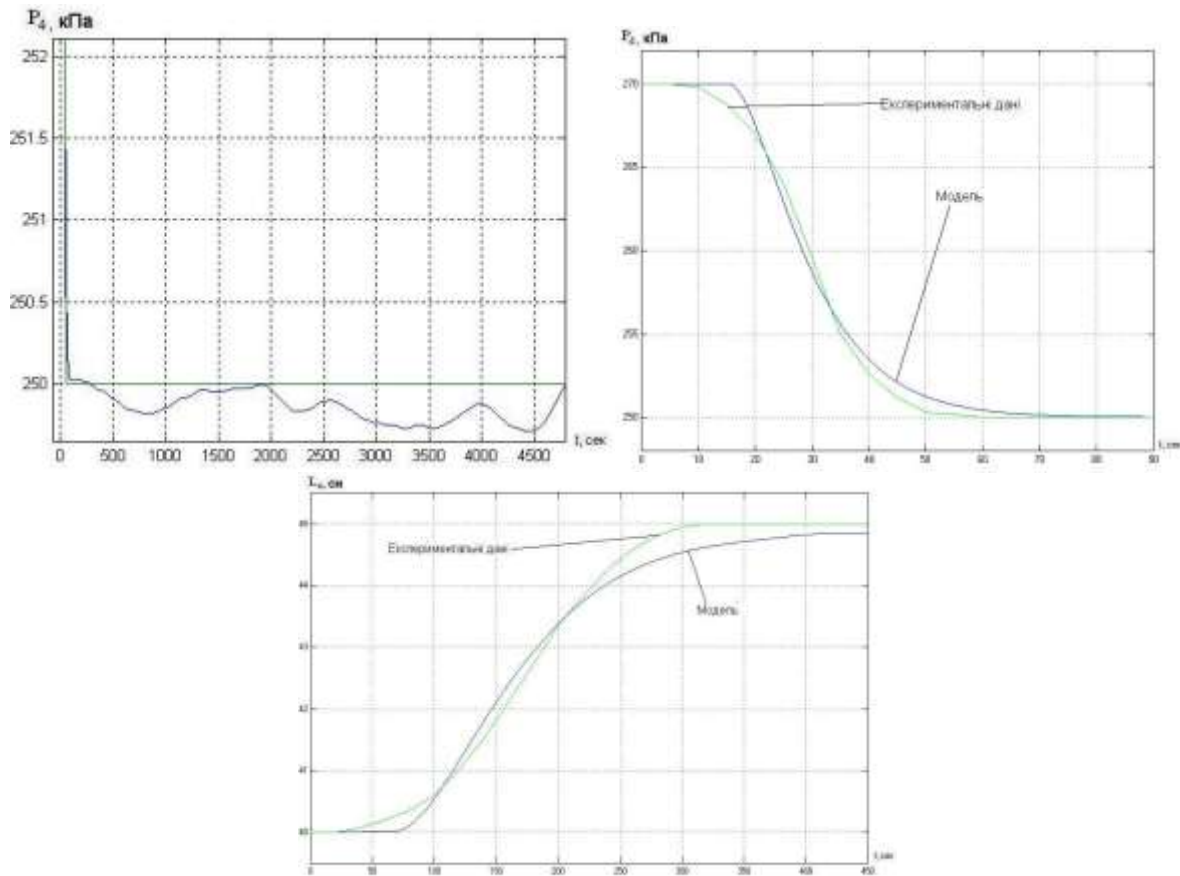


Рис. 2.44 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб

2.5 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація моделі процесу варки мармеладу, як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали мають статичні властивості, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що в варочному котлі протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь адекватності реальним передаточних функцій, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації моделей каналів ОК.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

Загальною метою керування є керування матеріальними та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання параметрів стану об'єкту керування (P_4 та L_k) на їх заданих значеннях ($P_4^{ЗДН}$ та $L_k^{ЗДН}$) – задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу варки мармеладу необхідно регулювати тиск в апараті P_4 та рівень конденсату в паровій рубашці L_k .

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданих. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу варки мармеладу цю задачу можна

вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат енергії (пари).

Процес варки мармеладу є об'єктом неперервно-дискретної дії. Для нього є характерним цикл роботи у поєднанні з робочим тепловим режимом. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

короточасні відхилення до ± 5 см протягом часу не більше 200с. Регламентна зона за параметром наведена на рисунку 5.2.

Як видно з гранично припустимих регламентів на САР для процесу варки мармеладу особливо жорсткі вимоги пред'являються до короточасних відхилень, оскільки саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції завалу прес секції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій.

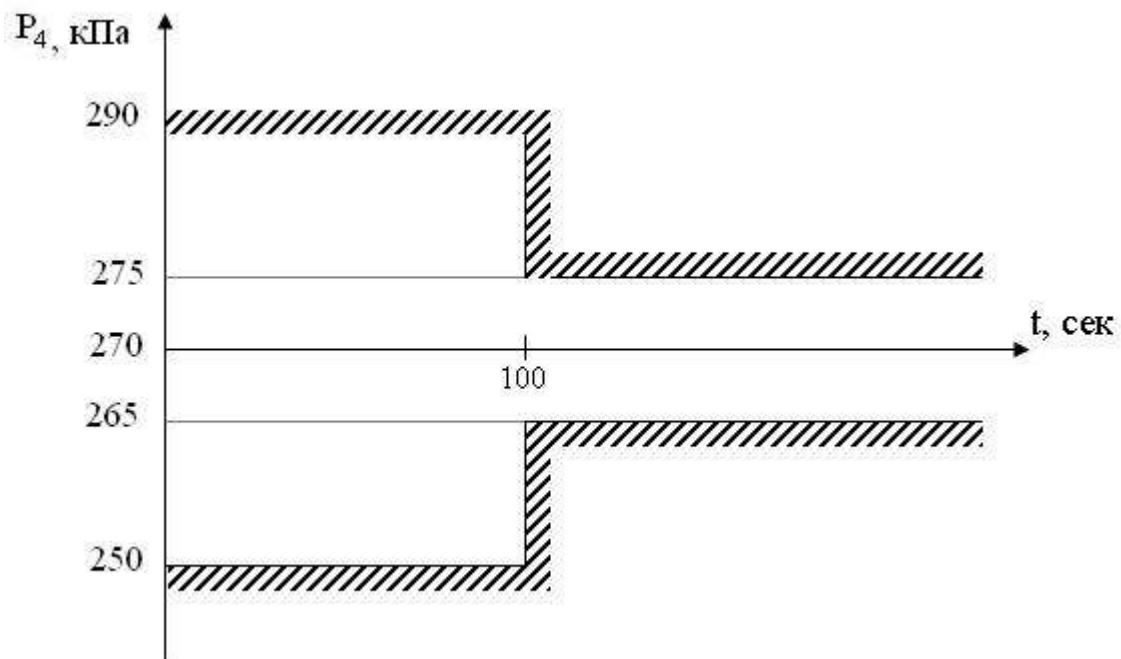


Рис. 3.1 – Регламентна зона за тиском середовища у котлі

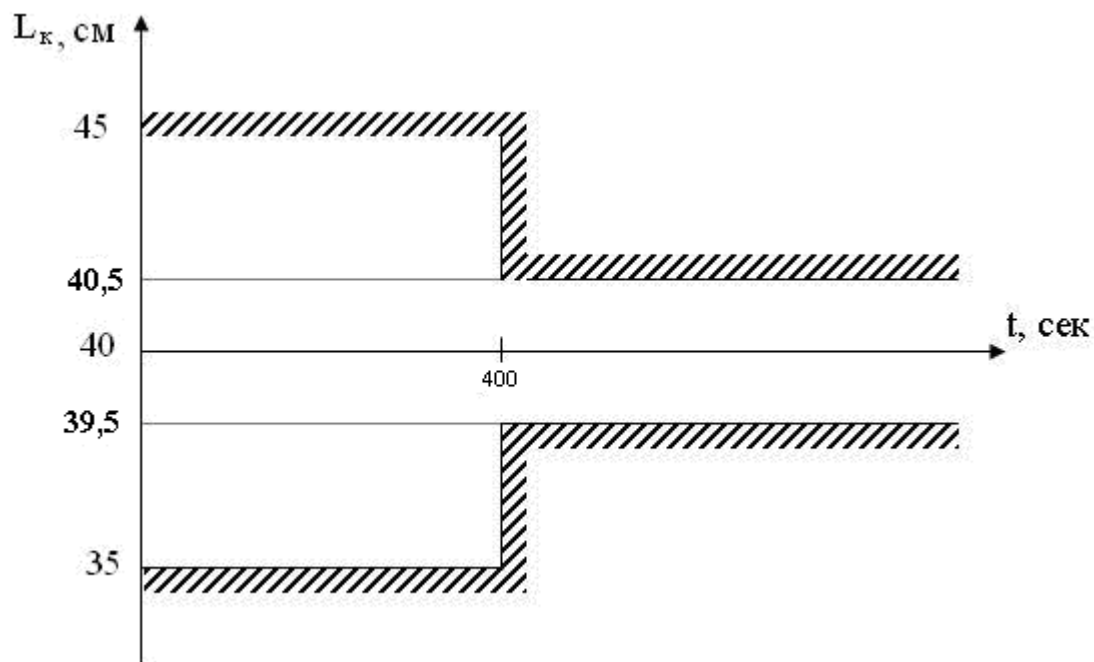


Рис. 3.2 – Регламентна за рівнем конденсату у паровій рубашці

Отже, ефективну роботу САР з регулювання тиску середовища та рівню конденсату, підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} \left[\frac{|\Delta P_4(t)|}{20} + \frac{|\Delta L_k(t)|}{5} \right] \cdot dt$$

де t_M - час моделювання;

$\Delta P_4(t)$ – помилка регулювання тиску середовища у котлі;

$\Delta L_k(t)$ – помилка регулювання рівню конденсату у паровій рубашці.

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР тиску середовища P_4 та рівню конденсату L_k у котлі для варки мармеладу матиме вигляд, наведений на рис. 3.1.

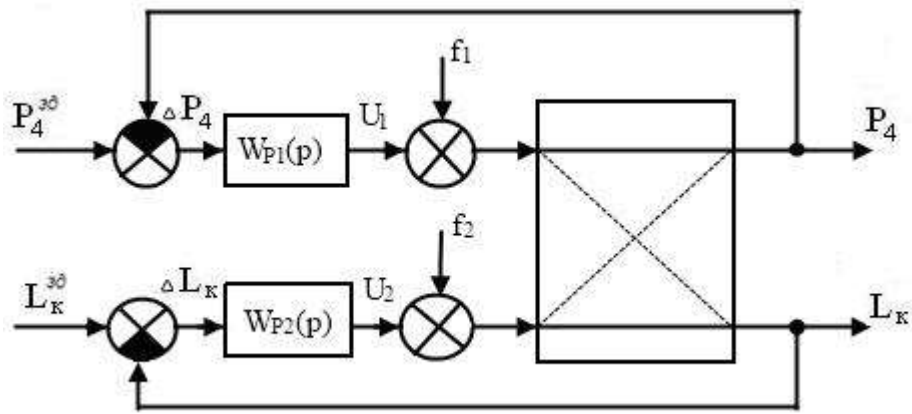


Рис. 3.3 – Структурна схема САР базової структури

На схемі $W_{P1}(p)$ - передаточна функція регулятора тиску середовища у котлі; $W_{P2}(p)$ - передаточна функція регулятора рівню конденсату у паровій рубашці; $P_4^{зд}$, $L_k^{зд}$ - задані значення регульованих координат; ΔP_4 , ΔL_k - помилки регулювання.

Процес варки мармеладу за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ІЗ}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ} p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ІЗ}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{yП} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{уп}p\right)$$

В результаті виконання роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу варки мармеладу. Результати ідентифікації зведені в таблицю 4.1.

Схема моделювання САР з ПІ-регуляторами наведена на рис. 6.2, а с ПІД-регуляторами – на рис. 6.3.

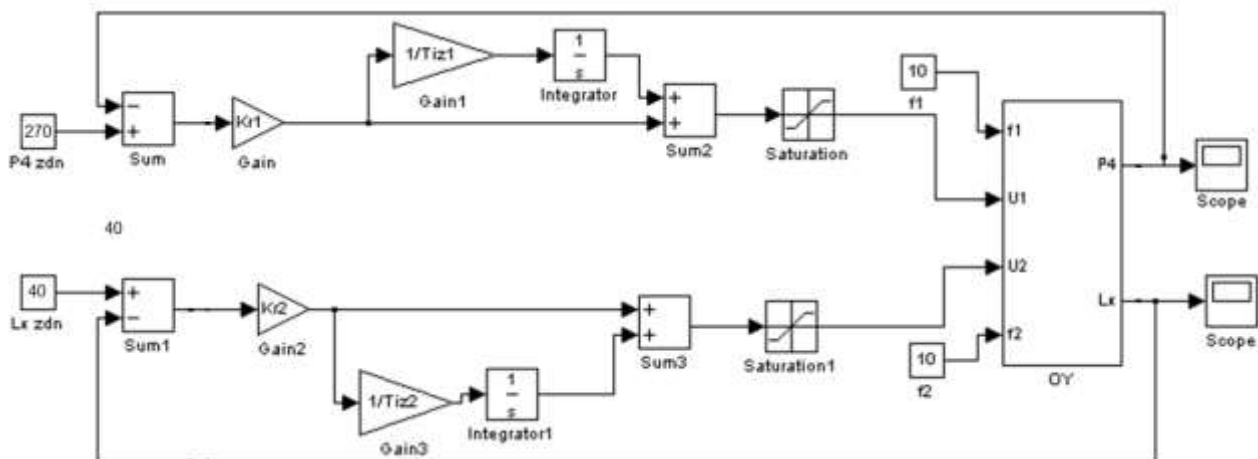


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

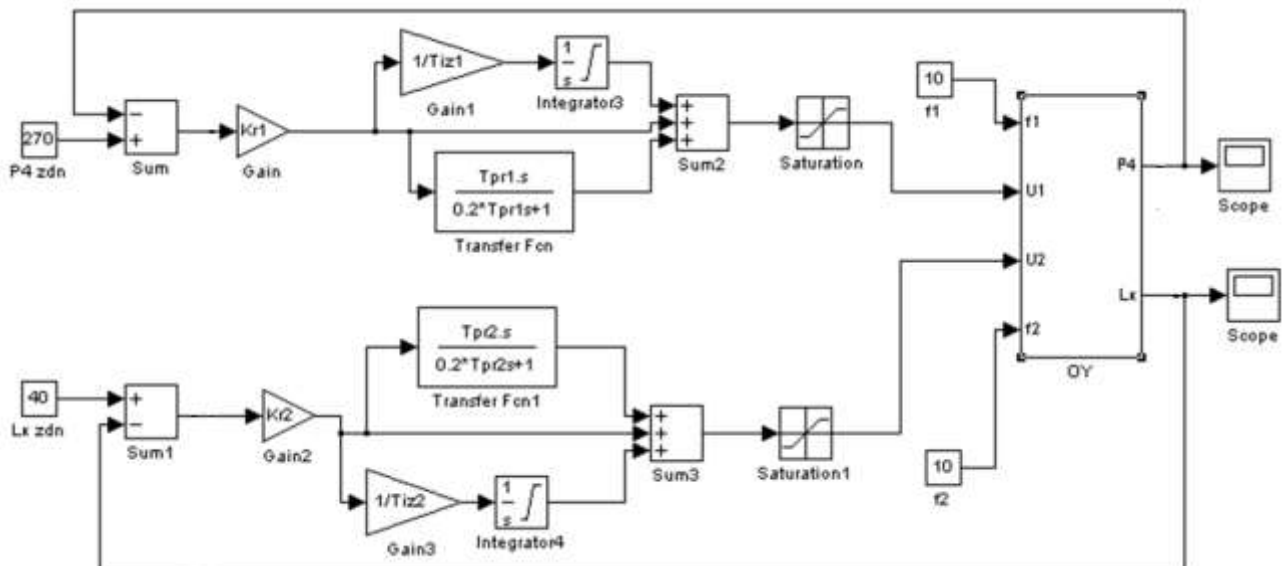


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регуляторами

Проведемо розрахунок початкових наближень параметрів регуляторів. Для цього скористаємося інженерною методикою Копеловича А.П..

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналу тиску має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-22p}}{10p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 10}{-2 \cdot 22} = -0,18 \frac{\%x.p.o.}{кПа}$$

$$T_{ИЗ} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 22 = 55c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1 \cdot 10}{-2 \cdot 22} = -0,23 \frac{\%x.p.o.}{кПа}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 22 = 44c$$

$$T_{ИР} = \tau_o = 22c$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналу рівню має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-115,5p}}{78,75p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 78,75}{0,5 \cdot 115,5} = 1,09 \frac{\%x.p.o.}{см}$$

$$T_{ИЗ} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 115,5 = 288,75c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1 \cdot 78,75}{0,5 \cdot 115,5} = 1,36 \frac{\%x.p.o.}{см}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 115,5 = 231c$$

$$T_{ИР} = \tau_o = 115,5c$$

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 6.4. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 6.5.

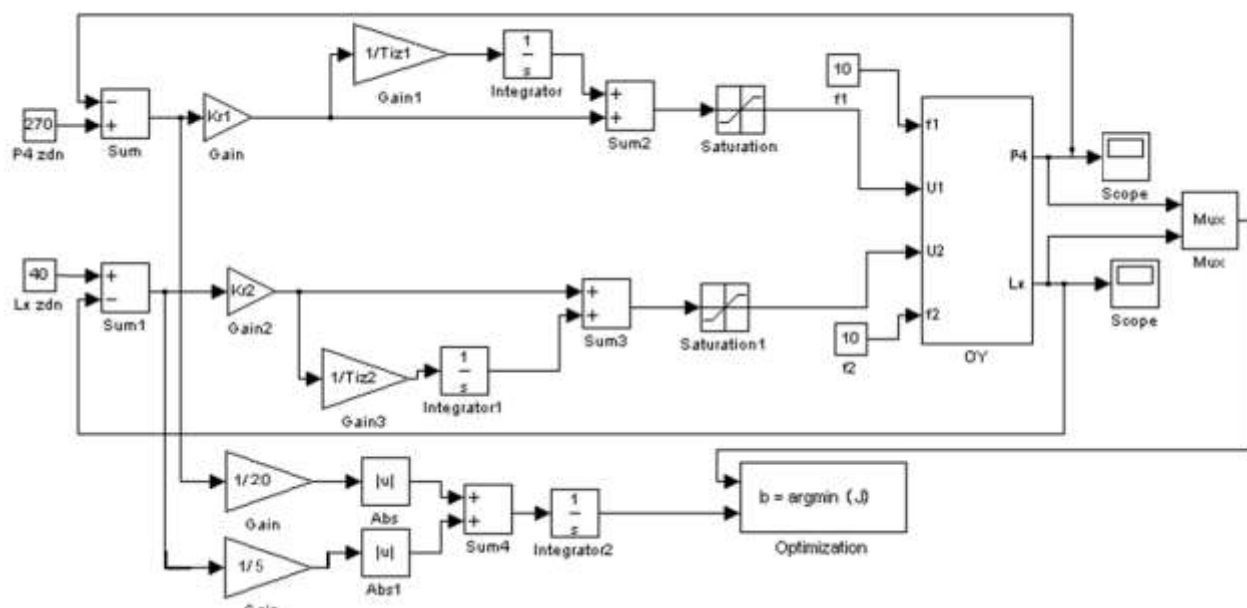
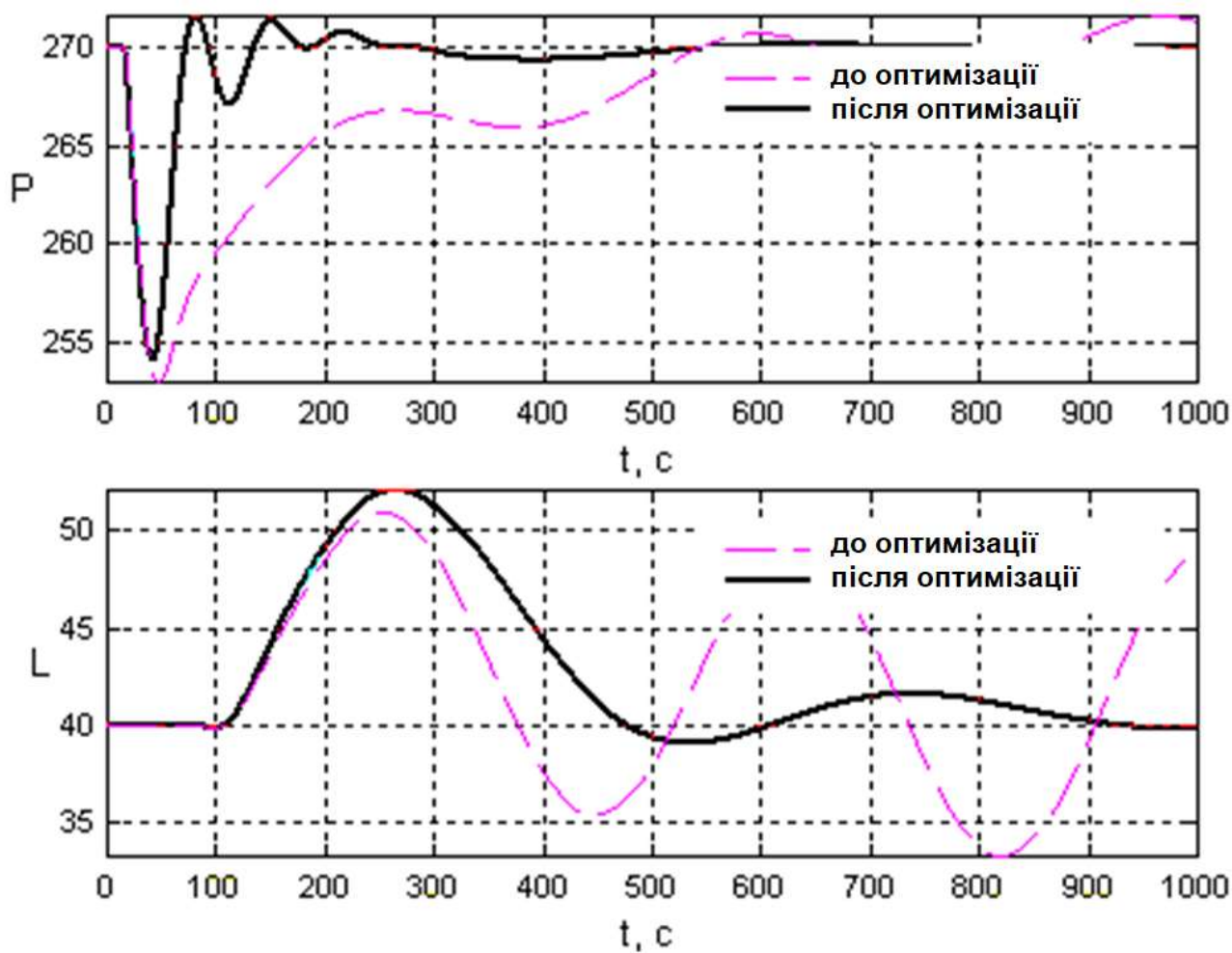


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань
ПІ-регуляторів



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-0.45488	-5	-0.18	0	до - 1100.818
Tiz1	27.8639	0.5	55	440	після - 624.9232
Kr2	0.4823	0	1.09	13.6	оптимізації
Tiz2	132.7851	0.5	288.75	2310	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальне - 3000
					фактичне - 352

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 6.6. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 6.7.

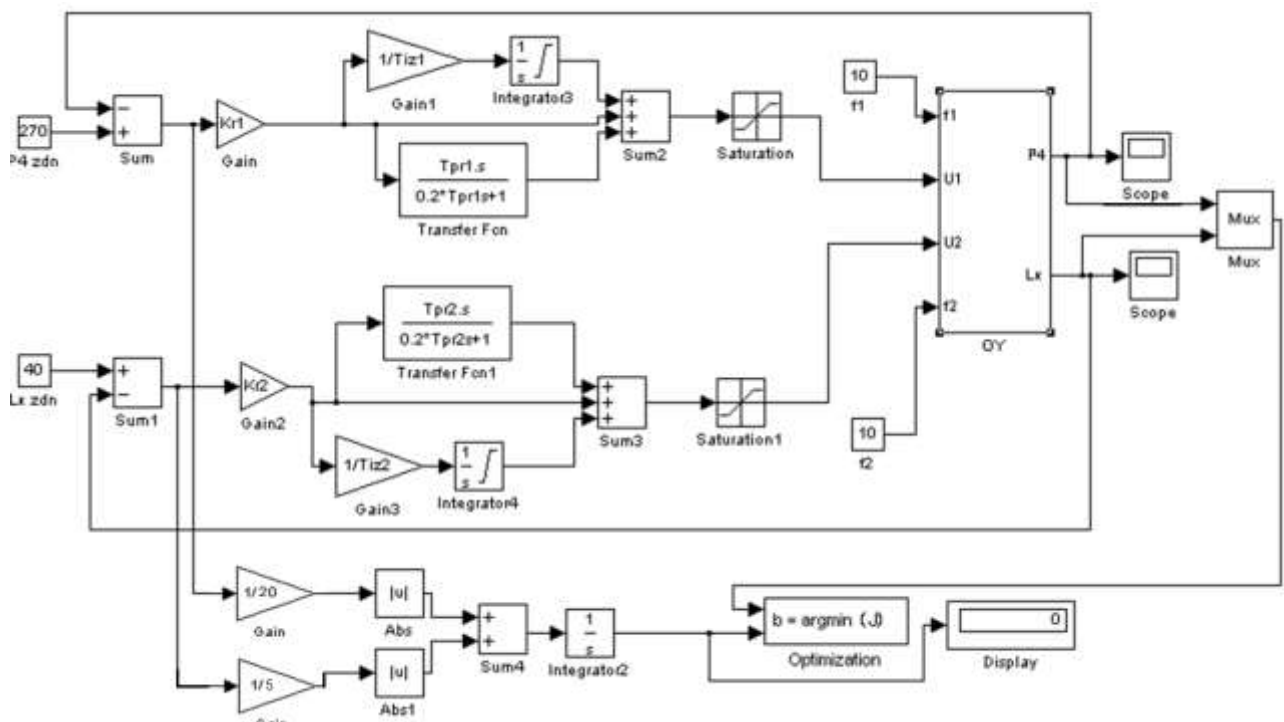
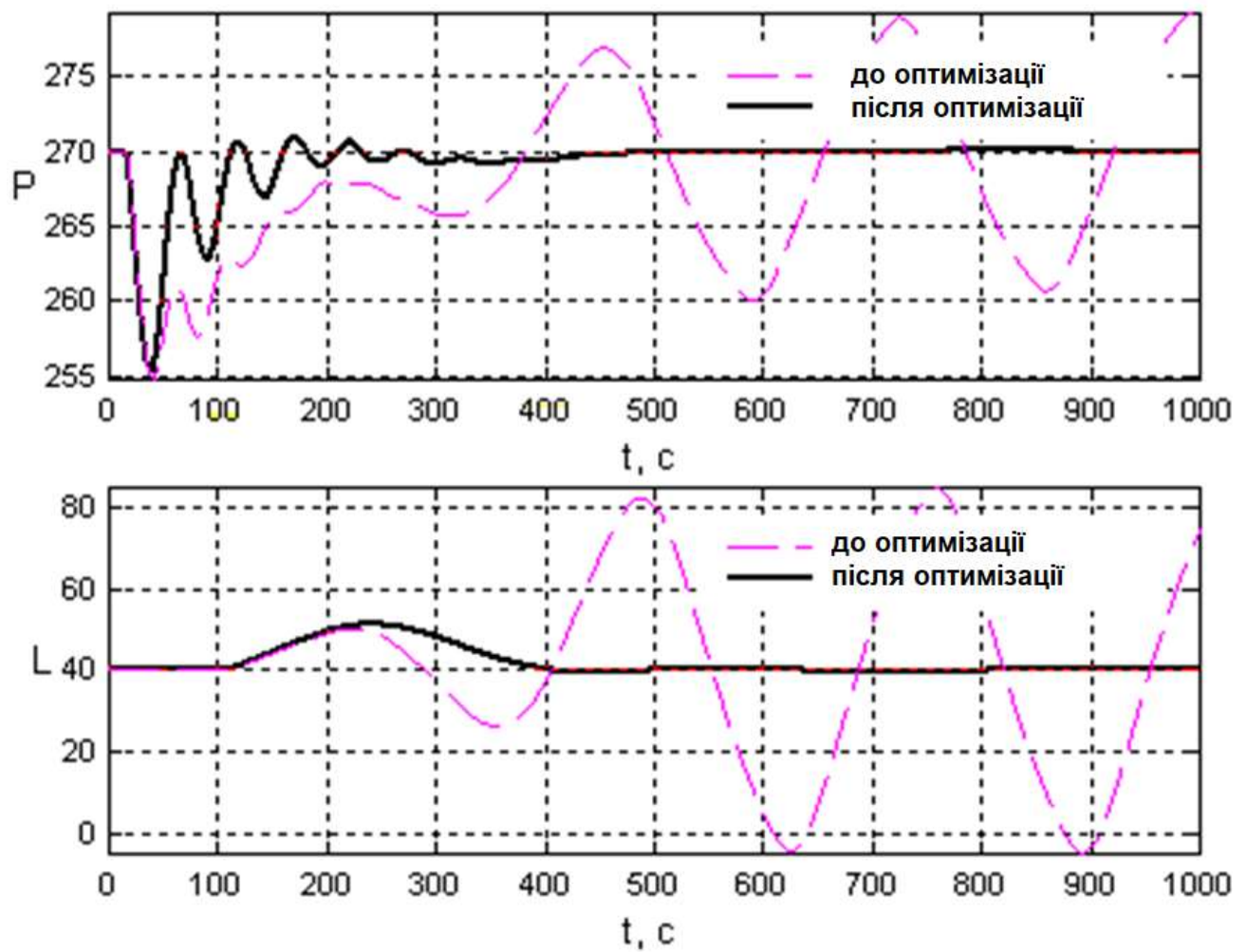


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-0.67759	-5	-0.23	0	до - 3727.2723
Tiz1	51.2932	0.5	44	440	після - 443.1054
Tpr1	4.0409	0	22	220	оптимізації
Kr2	0.59358	0	1.36	13.6	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	102.0809	0.5	231	2310	максимальне - 3000
Tpr2	49.4213	0	115.5	1155	фактичне - 1197

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Результати порівняння САР з ПІ та ПІД-регулятором наведено на рис. 3.7 і в таблиці 3.1.

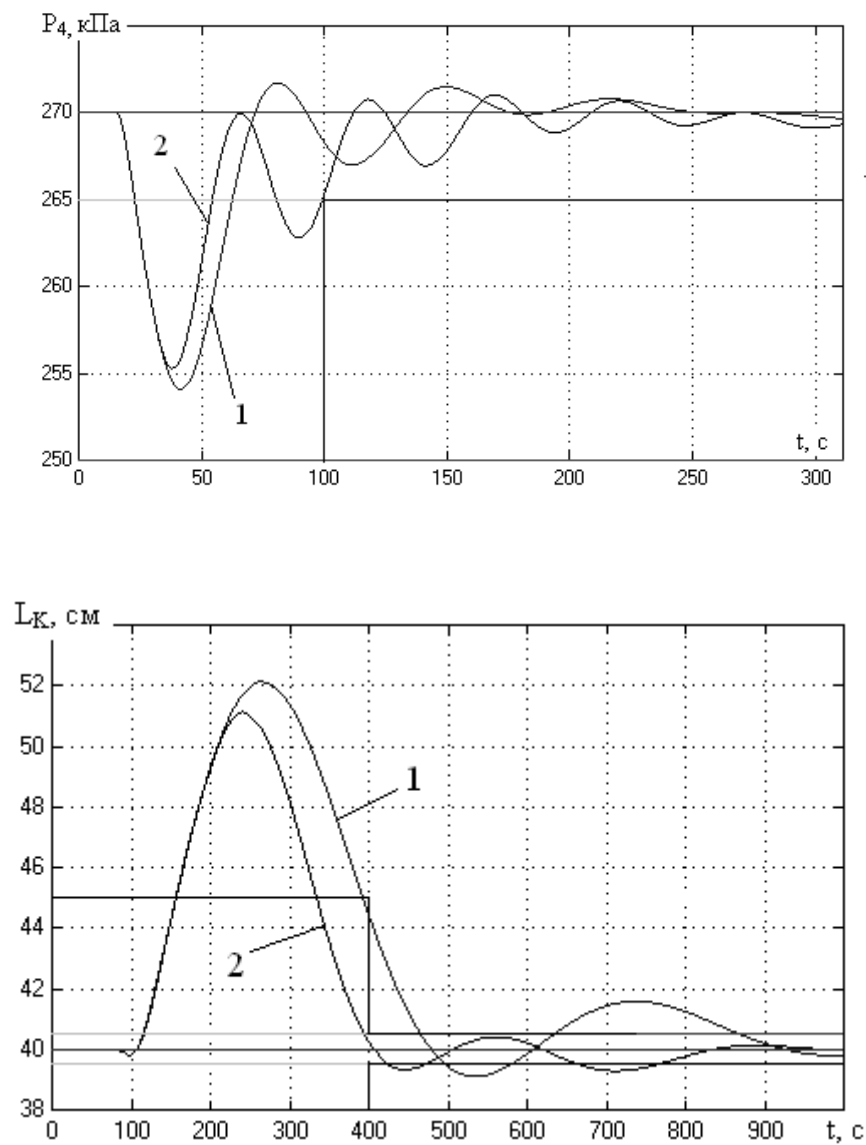


Рис. 3.8 – Результати порівняння САР з ПІ (1) та ПІД-регулятором (2)

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta P_4^{\text{МАКС}}$	$\Delta L_k^{\text{МАКС}}$	$P_4 T_{\text{пп}}, \text{с}$	$L_k T_{\text{пп}}, \text{с}$	
ПІ	15,9	12,1	62,5	870	625
ПІД	14,7	11,1	99,2	765	443,2

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регуляторами є кращою за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання доцільно використовувати і надалі.

В процесі роботи варочного котла внаслідок нелінійності параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\%x.p.o.$ Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором на грубість наведені вище на рис. 6.5 та 6.7.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.9, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.10. Як видно з результатів, САР з ПІ-регуляторами та з ПІД-регуляторами є грубими.

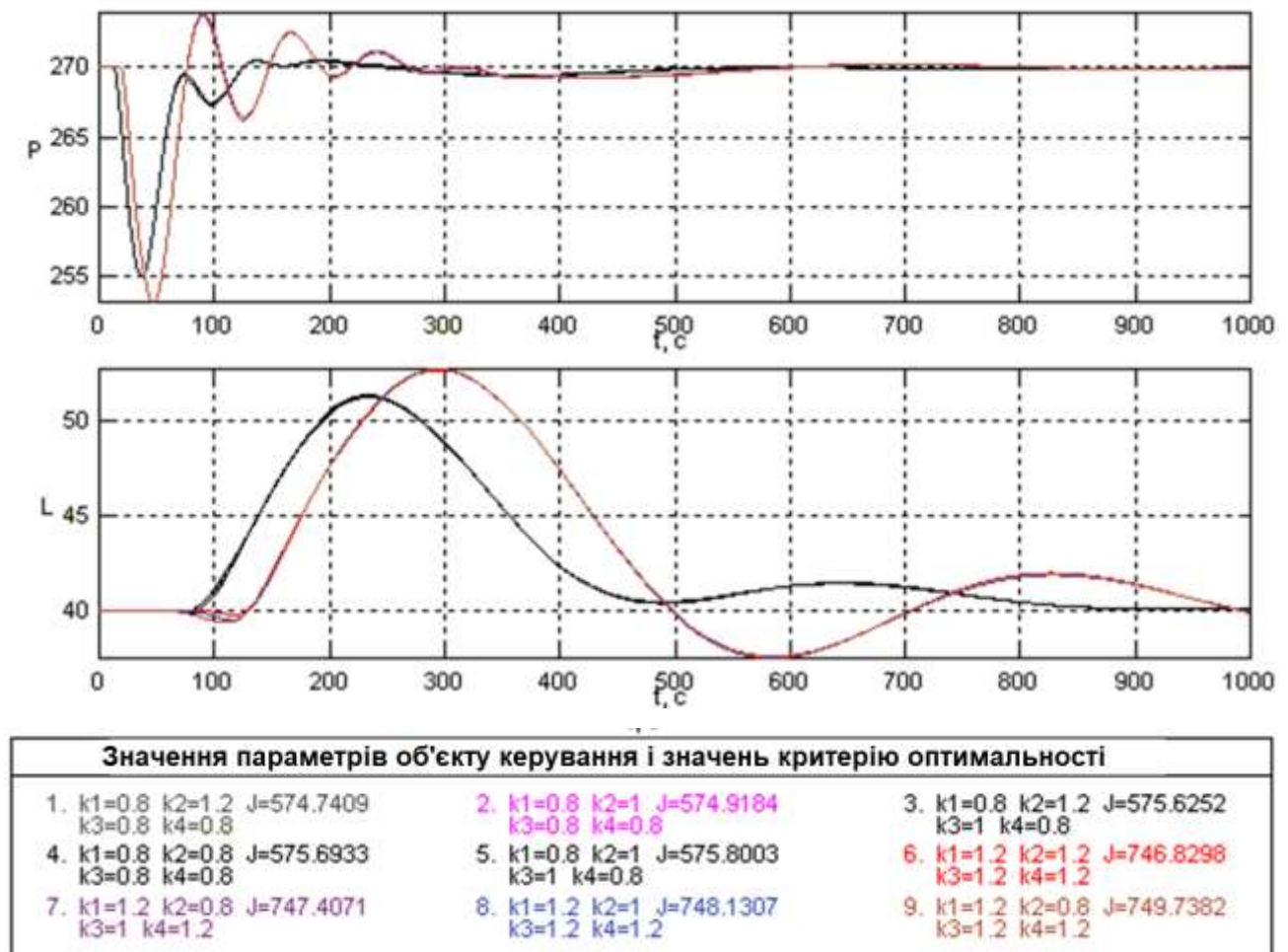


Рис. 3.9 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором

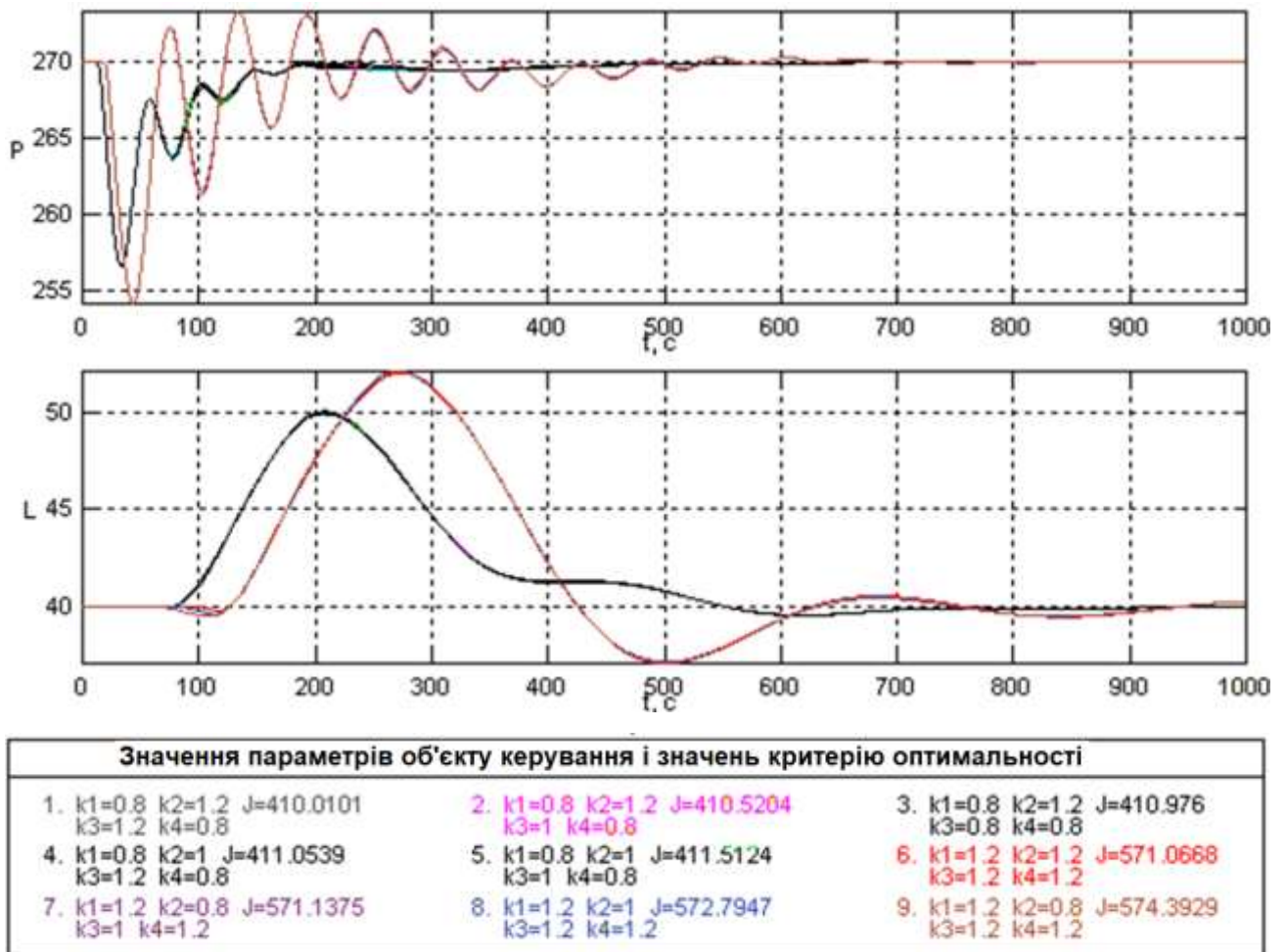


Рис. 3.10 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором

3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз

В основу підвищення динамічної точності САР буде покладено принцип двоканальності Петрова, суть якого у введенні додаткових каналів впливу через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу інваріантності Петрова структурна схема автономної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.11.

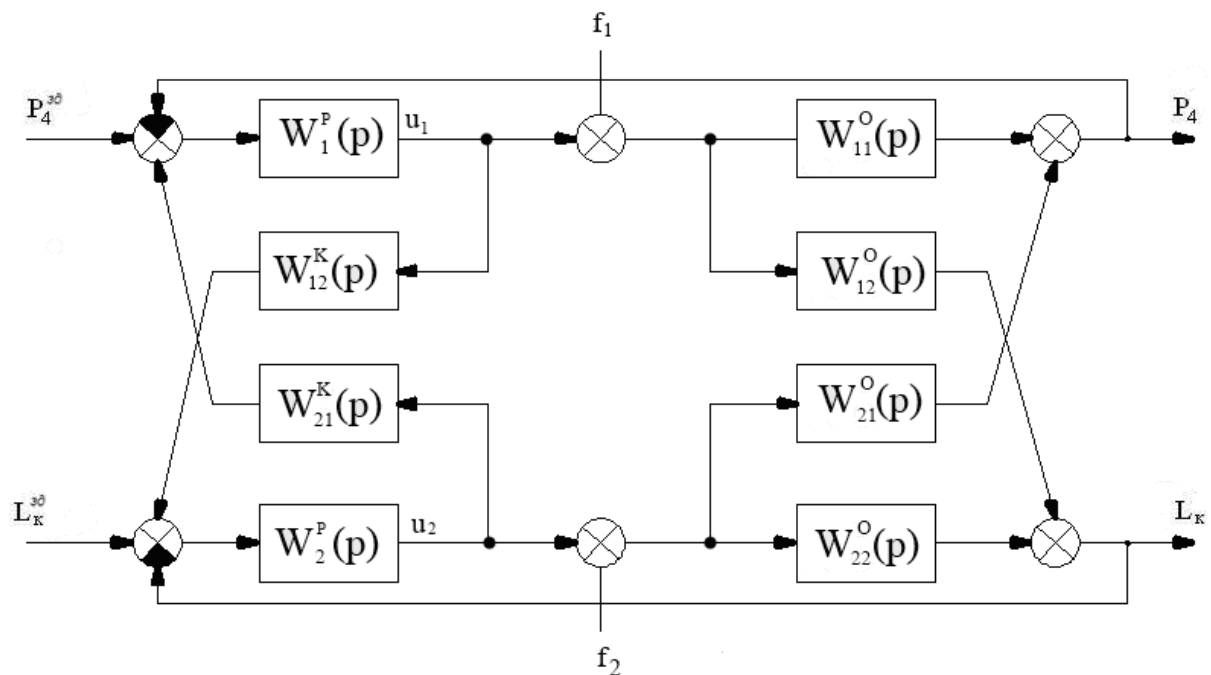


Рис. 3.12 – Структурна схема автономної САР

Виведення передаточних функцій коригуючих зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної можливості бути реалізованим, приведення до фізично реалізується увазі, подання до формі з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик.

Запишемо передаточні функції коригуючих зв'язків, що забезпечують автономність САР.

$$W_{K1}(p) = - \frac{W_{12}^O(p)}{W_2^P(p) \cdot W_{22}^O(p)}$$

$$W_{12}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-109,5p}}{48,75p+1}; W_{22}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-111,5p}}{78,75p+1}; W_2^P(p) = 0,59 \cdot \left(1 + \frac{1}{102,1p} + 49,5p\right)$$

Тоді

$$W_{K1}(p) = - \frac{\frac{-0,2 \cdot e^{-109,5p}}{48,75p+1}}{0,59 \cdot \left(1 + \frac{1}{102,1p} + 49,5p\right) \cdot \frac{0,5 \cdot e^{-111,5p}}{78,75p+1}} = 1,69 \cdot e^{2p} \cdot \frac{(78,75p+1) \cdot 102,1p}{(48,75p+1) \cdot (5043,7p^2+102,1p+1)} =$$

$$1,69 \cdot e^{2p} \cdot \frac{8040,4p^2+102,1p}{24880p^3+10021,1p^2+150,9p+1}$$

Отриманий коригуючий зв'язок є фізично нереалізовуваним, оскільки містить ланку чистого випередження. Для забезпечення можливості фізичної реалізації коригуючого зв'язку здійснимо заміну:

$$e^{2p} = 1 + \frac{2p}{0,2p+1} = \frac{2,2p+1}{0,2p+1}$$

Поведемо підстановку, отримаємо:

$$W_{K1}(p) = 1,69 \cdot \frac{8040,4p^2 + 102,1p}{24880p^3 + 10021,1p^2 + 150,9p + 1} \cdot \frac{2,2p+1}{0,2p+1}$$

$$W_{K2}(p) = -\frac{W_{21}^o(p)}{W_1^P(p) \cdot W_{11}^o(p)}$$

$$W_{21}^o(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-138p}}{60p+1}; W_{11}^o(p) = \frac{-2 \cdot e^{-22p}}{10p+1}; W_1^P(p) = -0,68 \cdot \left(1 + \frac{1}{51,3p} + 4p\right)$$

Тоді,

$$\begin{aligned} W_{K2}(p) &= -\frac{\frac{1,5 \cdot e^{-138p}}{60p+1}}{-0,68 \cdot \left(1 + \frac{1}{51,3p} + 4p\right) \cdot \frac{-2 \cdot e^{-22p}}{10p+1}} = \\ &= -0,37 \cdot e^{-116p} \cdot \frac{(10p+1) \cdot 51,3p}{(60p+1) \cdot (205,2p^2 + 51,3p + 1)} = -0,37 \cdot e^{-116p} \cdot \frac{91p^2 + 9,1p}{6792p^3 + 659,2p^2 + 69,1p + 1} \end{aligned}$$

Отриманий корегуючий зв'язок є фізично реалізовуваним.

Отримані передаточні функції коригуючі зв'язків представлені занадто складними передаточними функціями, тому їх доцільно спростити при збереження диференціюючих властивостей. Скорочені передаточні функції матимуть наступний вигляд:

$$W_{K1}(p) = 1,69 \cdot \frac{102,1p}{10021,1p^2 + 150,9p + 1}; W_{K1}(p) = K_{K1} \cdot \frac{T_{K1}p}{T_{K1}^2 p^2 + 2T_{K1}\vartheta p + 1}$$

$$K_{K1} = 1; T_{K1} = 100,1 \text{ c}; \vartheta = 0,75.$$

$$W_{K2}(p) = e^{-116p} \cdot \frac{-9,1p}{659,2p^2 + 69,1p + 1}; W_{K2}(p) = K_{K2} \cdot e^{-\tau_{K2}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K2}^2 p^2 + 2T_{K2}p + 1}$$

$$K_{K2} = -0,35; T_{K2} = 25,7 \text{ c}; \tau_{K2} = 116 \text{ c}.$$

Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$ скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.2. Результати розрахунку наведено в рис. 7.3. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$ скористаємося схемою моделювання, наведеною на

рис. 3.12. Результати розрахунку наведено в рис. 3.13.

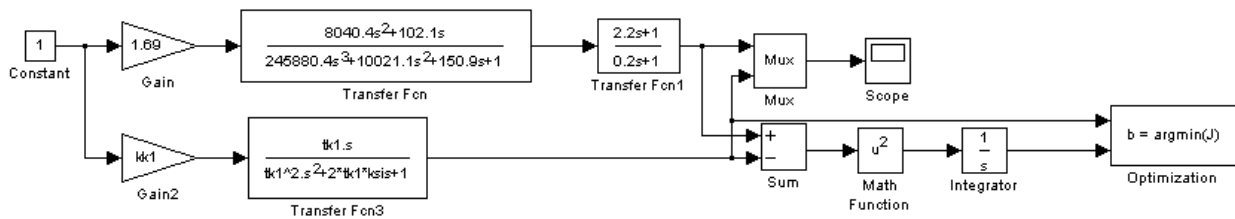
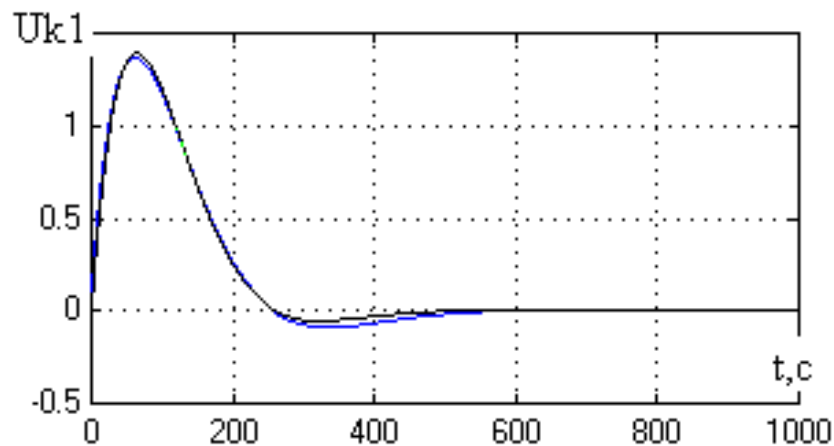


Рис. 3.13 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності: до - 91.974 після - 0.48673 оптимізації
kk1	3.0884	-10	1	10	
tk1	57.5537	0.5	100.1	500	Кількість кроків процедури оптимізації: максимальне - 3000 фактичне - 107
ksi	0.71979	0	0.75	3	

Рис. 3.14 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$

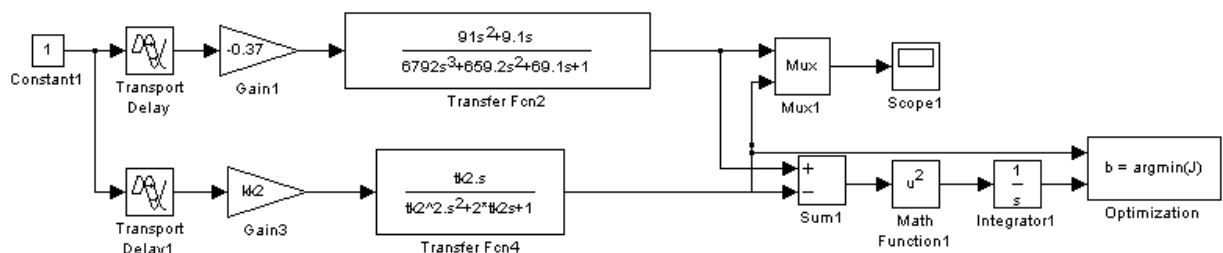
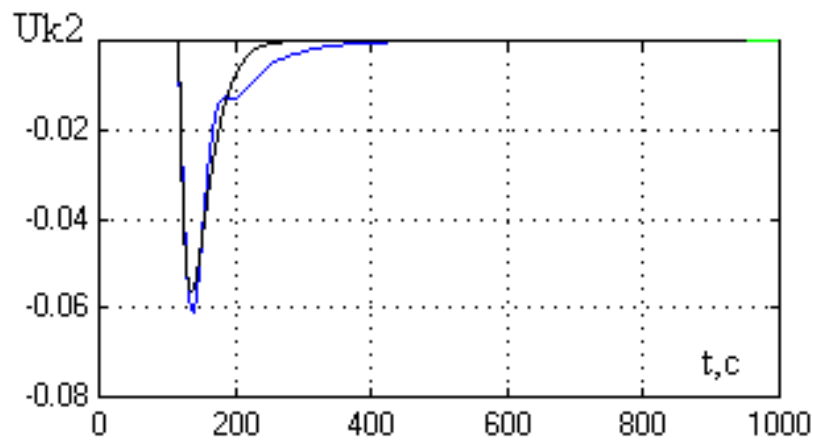


Рис. 3.15 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kk2	-0.1529	-10	-0.35	10	до - 0.33453
tk2	18.2904	0.5	25.7	500	після - 0.0044147
tau_k2	117.0972	0	116	300	оптимізації
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальне - 3000
					фактичне - 121

Рис. 3.16 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_{k2}(p)$

Розробка структурної схеми імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності.

Проведемо оптимізацію на лаштувань коригуючи зв'язків у складі САР з параметрично оптимальними регуляторами. Схема моделювання автономної САР наведена на рис. 3.15, результати оптимізації – на рис. 3.16.

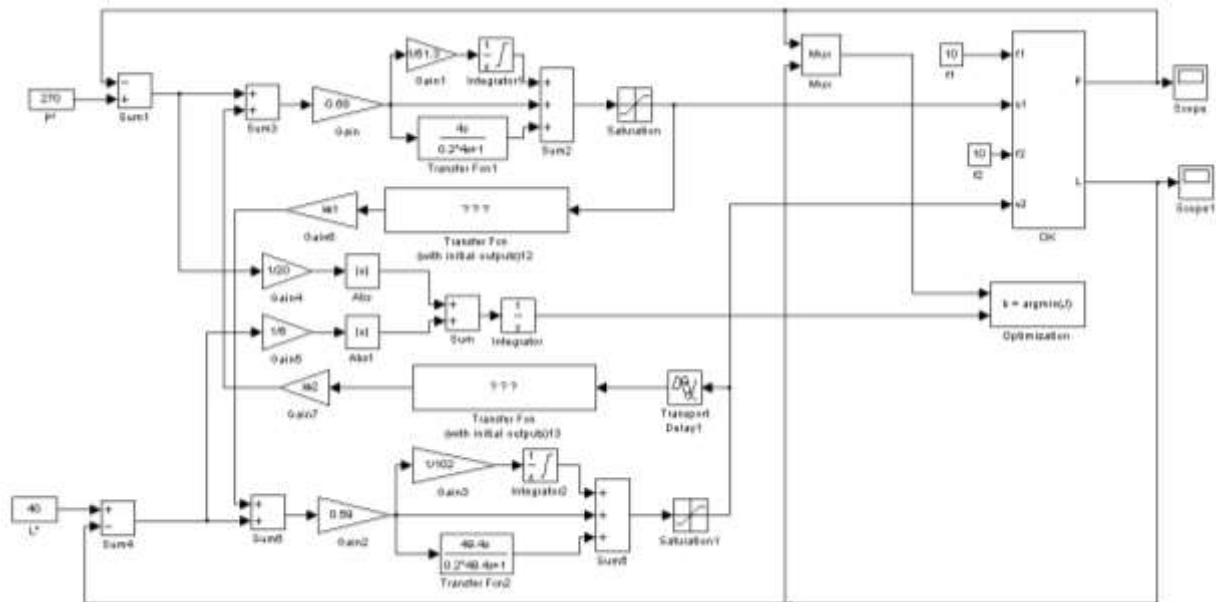
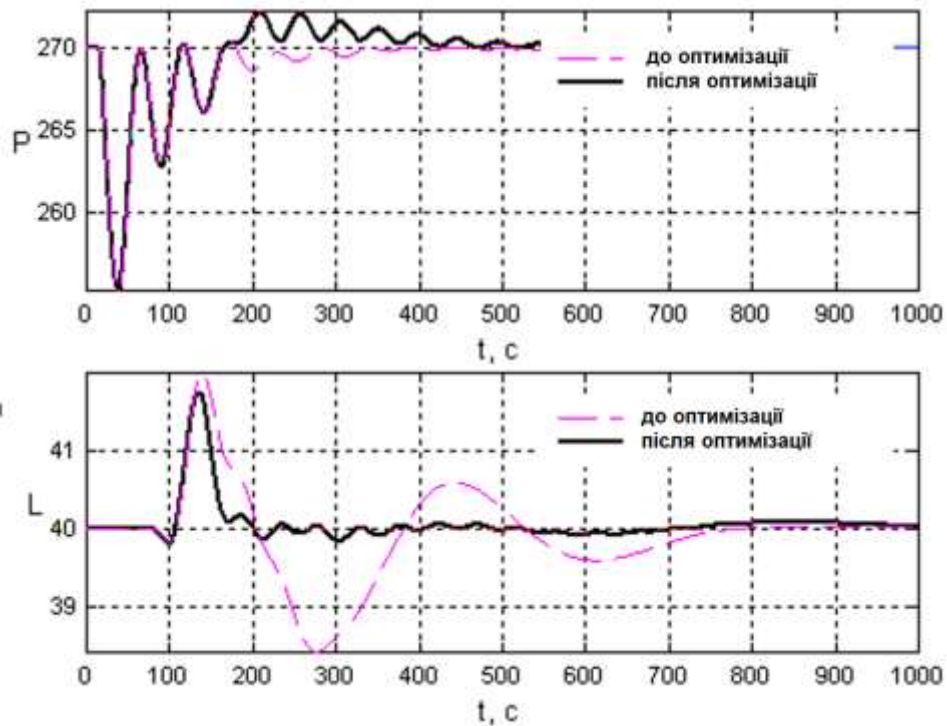


Рис. 3.17 – Схема моделювання автономної САР

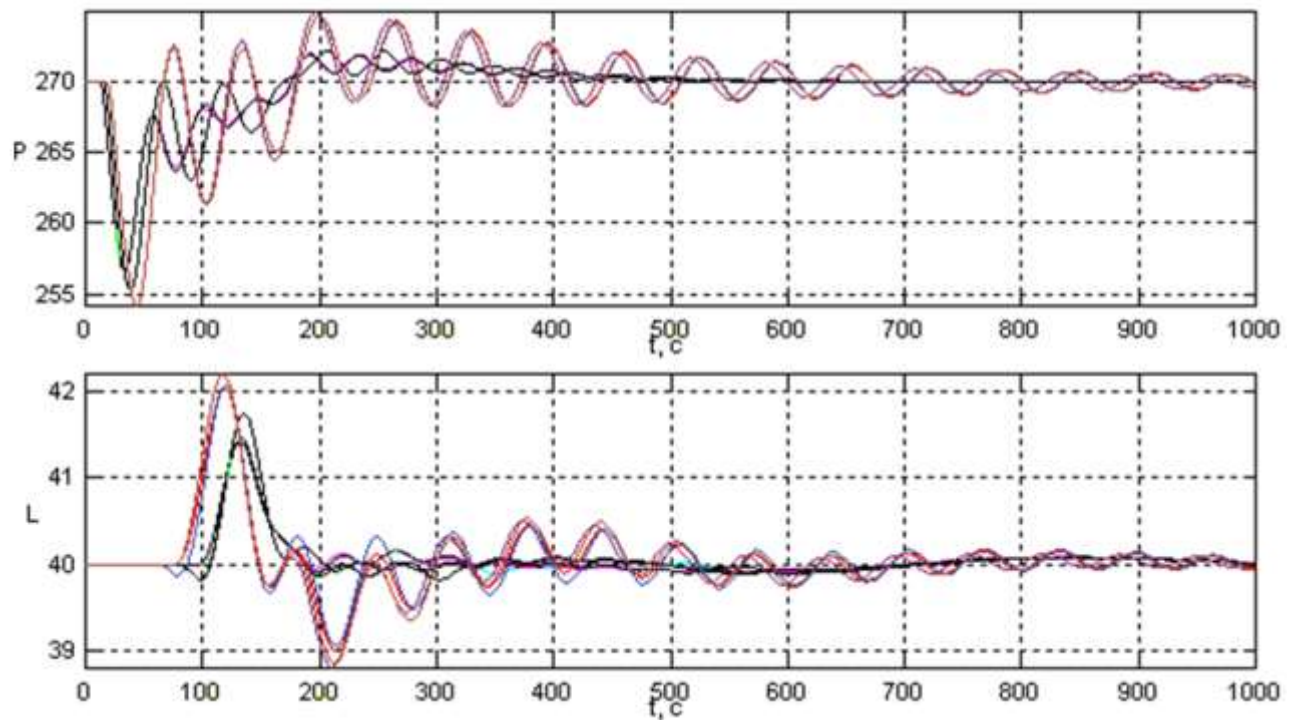


Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kk1	3.5301	-10	3.1	10	до - 113.3906
tk1	47.4058	0.5	57.6	500	після - 68.1913
ksi	0.89909	0	0.72	3	оптимізації
kk2	-0.61988	-10	-0.15	10	Кількість кроків процедури оптимізації:
tk2	62.3269	0.5	18.3	500	максимальне - 3000
tauk2	124.729	0	117.1	300	фактичне - 574

Рис. 3.17 –Результати оптимізації на лаштувань коригуючи зв'язків у складі автономної САР

САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часів запізнення в каналах ОК $\pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 7.8. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК, лише САР з допоміжним ПІ-регулятором є грубою.



Значення параметрів об'єкту керування і значень критерію оптимальності		
1. $k_1=0.8$ $k_2=1.2$ $J=66.9123$ $k_3=0.8$ $k_4=1$	2. $k_1=0.8$ $k_2=1$ $J=67.4773$ $k_3=0.8$ $k_4=1$	3. $k_1=1$ $k_2=1$ $J=67.6616$ $k_3=0.8$ $k_4=1$
4. $k_1=0.8$ $k_2=1.2$ $J=67.7312$ $k_3=1$ $k_4=1$	5. $k_1=0.8$ $k_2=1$ $J=68.0123$ $k_3=1$ $k_4=1$	6. $k_1=1.2$ $k_2=1$ $J=125.233$ $k_3=0.8$ $k_4=0.8$
7. $k_1=1.2$ $k_2=1.2$ $J=127.1466$ $k_3=1.2$ $k_4=0.8$	8. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=128.5924$ $k_3=0.8$ $k_4=0.8$	9. $k_1=1.2$ $k_2=1.2$ $J=131.8774$ $k_3=0.8$ $k_4=0.8$

Рис. 3.18 – Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.18. Результати порівняння наведені на рис. 3.19 і в таблиці 3.2.

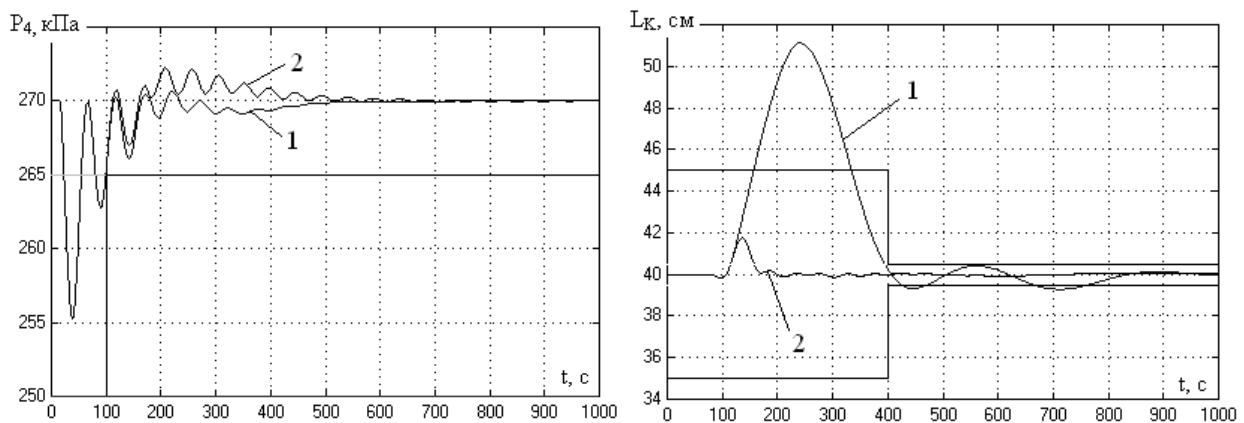


Рис. 3.19 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР каскадної структури (2)

Таблиця 3.2 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Варіант САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta P_4^{\text{МАКС}}$	$\Delta L_k^{\text{МАКС}}_{\text{с}}$	$P_4 \text{ Тпп, с}$	$L_k \text{ Тпп, с}$	
Базової структури з ПД-регулятором	14,7	11,1	99,2	765	443,2
Підвищеної динамічної точності	14,7	1,75	99,2	157	68,2

Як видно з результатів порівняння, САР підвищеної динамічної точності за усіма показниками є кращою. Особливо слід зазначити суттєве покращення якості регулювання рівню конденсату

3.4 Висновки за розділом

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми отримали систему, показники якості якої, з більше високою динамічною точністю в порівнянні із САР базової структури, а головне, більш грубою. Це означає підвищення працездатності й надійності системи. Як уже було вище сказане, більше грубою виявилася САР підвищеної динамічної точності в силу введення в

САР коригувальних зв'язків. Введення коригувальних зв'язків в контурі регулювання, сприяє значному підвищенню динамічної точності і система стає більш працездатною і стійкою до змін параметрів ОУ. Таким чином, доцільно використовувати отриману систему підвищеної динамічної точності. Було отримано цифрові аналоги алгоритмів регулювання, які будуть використані в подальшими.

РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

4.1. Конкретизація задачі та необхідного рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним процесом

Сутність технологічного процесу варіння мармеладу полягає у доведенні скупажованої сирієї маси до стану готового продукту у варочному котлі. На початку циклу до котла завантажується сирий пектин кімнатної температури до заданого рівня. Після завершення завантаження кришка котла закривається та розпочинається подача пари до парової сорочки. Як тільки рівень конденсату в паровій сорочці досягає необхідного значення, система переходить до контролю кількості теплоти, що підводиться до сорочки, та тиску середовища всередині котла.

Задана температура варіння пектину становить 130°C і забезпечується регульованою подачею пари до парової сорочки. Оскільки процес нагрівання здійснюється через парову сорочку, обов'язковим є організація відведення конденсату. Регулювання тиску в котлі виконується за допомогою відповідного клапана: у разі перевищення допустимого значення клапан відкривається для скидання надлишку, а при необхідності підвищення тиску — прикривається. Номінальне значення тиску в котлі в процесі варіння мармеладу становить 270 кПа. Тривалість варіння складає від 7 до 10 хвилин залежно від кількості пектинової маси в котлі. Після завершення процесу готова мармеладна маса через нижній відвід котла подається на конвеєр для подальшої технологічної обробки.

Технологічна схема процесу для вирішення задачі логічного керування наведена на рис. 4.1. Логічне керування технологічним циклом передбачає виконання наступної послідовності операцій: перевірку передпускових умов, подачу попереджувального сигналу, заповнення ємності до необхідного рівня, забезпечення перемішування, нагрівання продукту до 130°C , підтримання заданого тиску в ємності та рівня конденсату в паровій сорочці, витримку

продукту протягом 7 хвилин та злив готової маси. Блок-схема регламенту логічного керування процесом варіння мармеладу наведена на рис. 4.2.

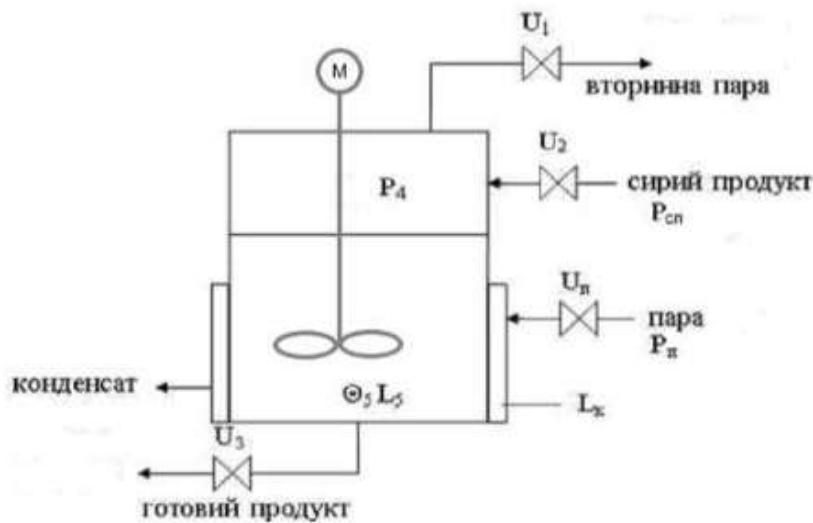


Рис. 4.1 – Технологічна схема процесу варки мармеладу для вирішення задачі логічного керування

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокуванню передаварійних ситуацій та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис



Рис. 4.2 – Блок-схема регламент на технологічний цикл процесу варки мармеладу

Для того щоб заповнити ємність продуктом до рівня L5, необхідно відкрити клапан подачі продукту і по досягненні заданого рівня, закрити. Далі відкриваємо клапан подачі пари на 60%. При досягненні заданої температури відкриваємо клапан U1, таким чином створюємо необхідні умови для роботи, а саме необхідний рівень конденсату в рубаци та тиск в ємності, після досягнення рівня конденсату 35см, вмикаємо контру регулювання рівня. Після досягнення тиску 250 кПа, вмикаємо контру рулювання тиску. Витримуємо продукт 7-10 хв. Після чого вимикаємо обидва контури регулювання та відкриваємо клапан U3, для злиття продукту. Блок-схема алгоритму логічного автоматичного керування процесом наведена на рис. 4.3.



Рис. 4.3 – Блок-схема алгоритму логічного автоматичного керування процесом варки мармеладу



Рис. 4.3 (закінчення) – Блок-схема алгоритму логічного автоматичного керування процесом варки мармеладу

4.3. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис

Функціональна логічна схема є проміжним етапом до програмної реалізації

алгоритмів автоматичного керування на мікропроцесорному контролері.

Функціональна логічна схема системи керування процесом варки мармеладу розроблена у відповідності до алгоритму автоматичного керування (рис. 4.3) та приведена на рис. 4.4.

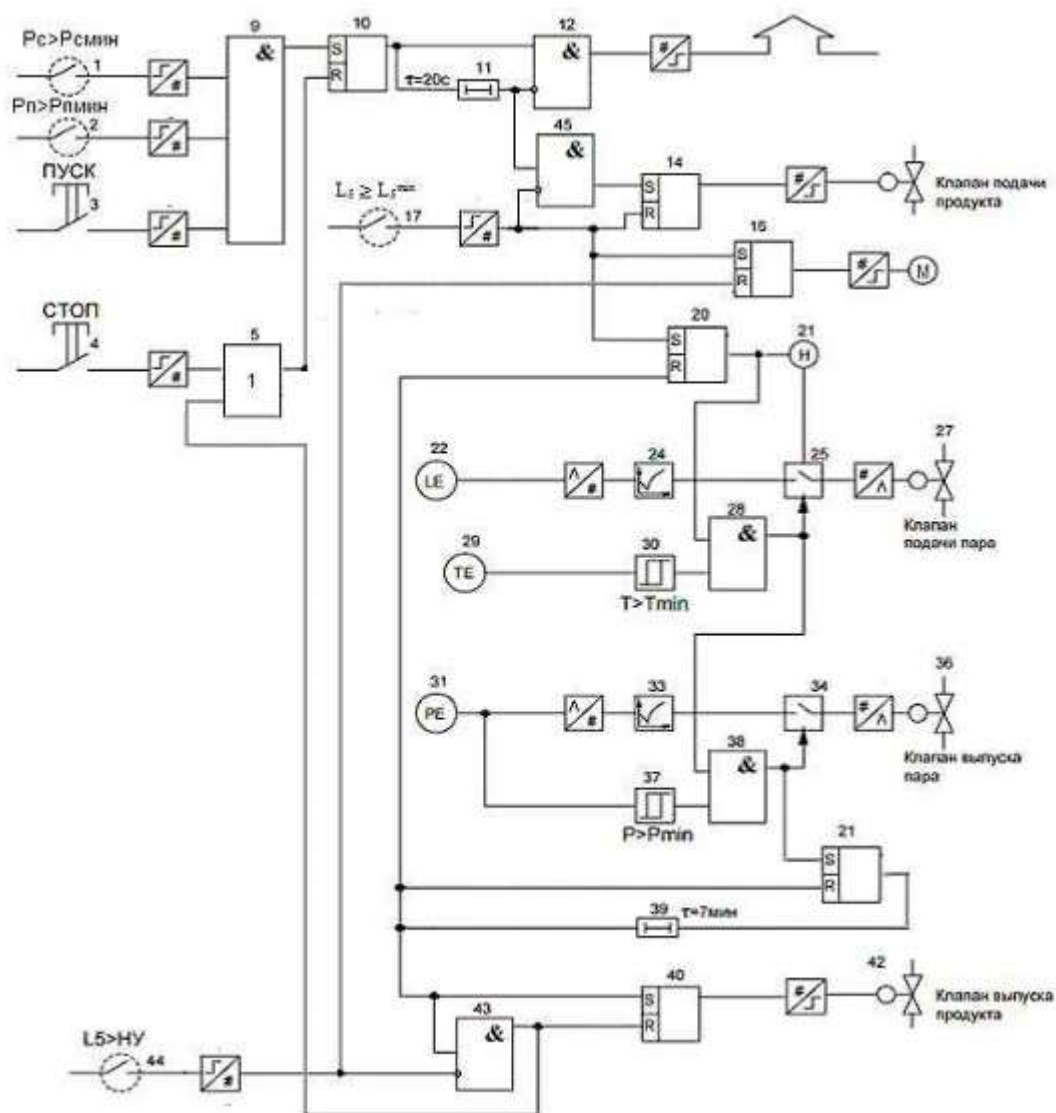


Рис. 4.4 – Функціональна логічна схема системи керування процесом варки мармеладу

Схема працює наступним чином. Формування умов, необхідних для запуску процесу виконує елемент 9 за сигналом від датчиків реле 1 – тиску продукту та 2 – тиску пари, та після натикання кнопки ПУСК 3. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 10. З появою логічної 1 на виході починає спрацьовувати

передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримку часу на ППЗС забезпечує таймер 11. Формирує сигнал на ППЗС елемент 12. По завершенню ППЗС, сигнал після таймера 11, поступає в RS-тригер 14 через логічний елемент "I" 45. RS-тригер 14 через відкриває клапан подачі продукту. Після досягнення продуктом необхідного рівню спрацьовує датчик реле 17, вимикає RS-тригер 14, який закриває клапан подачі продукту. Сигнал з датчика 17 також потрапляє на "Set" RS-тригера 16, що керує приводом мішалки. Також сигнал з датчика 17 вмикає тригер 20, що, в свою чергу, відкриває клапан подачі пари на 60% через задатчик 21. Замикається контур автоматичного регулювання перемикачем 25 при наявності сигналу пуску контуру та при досягненні температурою значення 1500С, який формує нуль-орган 30. Загальний сигнал на замикання контуру автоматичного регулювання формує елемент 28. Контур регулювання тиском працює аналогічно. Нуль орган 37 при досягненні тиску 240 кПа спрацьовує і через елемент 38 і перемикач 34 вмикає контр регулювання. Після вмикання останнього контуру вмикається таймер 39. Після витримки часу сигнал з таймера скидає тригер 20, що вимикає усі контури регулювання, а також вмикає тригер 40 що відкриває клапан випуску готового продукту 42. Реле рівню 44 контролює нижній рівень, який скидає тригер 10, та обнуляє схему в цілому.

4.4 Висновки за розділом

В ході розробки алгоритмів логічного керування для варки мармеладу в варочному котлі було складено регламент функціонування та алгоритм автоматичного керування циклом роботи варочного котла, розроблена функціональна логічна схема, здійснено імітаційне моделювання розроблених алгоритмів у середовищі MATLAB. Як видно з циклограми, робота системи логічного керування відповідає розробленому алгоритму автоматичного управління.

5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

Мета даного розділу – обрати технічні засоби для реалізації алгоритмів керування, які були розроблені в попередніх розділах. Самі засоби повинні задовольняти багатьом вимогам, зокрема: надійність, точність, безпека, ремонтпридатність, простота обслуговування, можливість тиражування і розвитку, екологічна безпека, вартість.

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

5.1.1 Технічні засоби знаходяться в виробничих приміщеннях, тому надамо їх характеристики. Технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації ділянки упарювання мармеладу знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухобезпечної, оскільки відсутні чинники, які можуть викликати вибух або пожежу.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на обладнанні і трубопроводах, по яким подається сировина та гріюча пара. Інше технічне обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога доцільно розмістити в окремому приміщенні з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

Визначимо класифікацію приміщення, де розміщується обладнання для упарювання мармеладу. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «вологе приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %».

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) вологості або струмопровідного пилу;
- 2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 3) високої температури;
- 4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщене обладнання для упарювання мармеладу, слід віднести до приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом, оскільки наявні пункти 2 і 4.

5.1.2 Датчики САР контактують з наступними речовинами:

- пектин для упарювання з температурою до 130 °С;
- тиск у котлі при варці мармеладу до 270 кПа;
- пара з температурою 150 °С.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- пара з температурою 150 °С;
- вторинна пара з температурою до 130 °С;
- мармелад з температурою до 130 °С.

Виконавчі механізми, які встановлені на клапанах, контактують з наступними речовинами:

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 25...30 °С.

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

5.2.1 Для визначення температури пектину в котлі застосований датчик-реле температури Danfoss RT-107.



а)

Технічні характеристики:
температурний діапазон 70-150 °C
Струм навантаження AC-3 4 А
Степінь захисту IP 66

б)

Рис.- 5.1. Датчик-реле температури Danfoss RT-107:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.2 Для виміру тиску гріючої пари із діапазону 0...10 бар застосований датчик-реле тиску Danfoss BCP4H. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.2.



а)

Media	Steam, water, air	
Ambient temperature	-20 - 70 °C	
Media temperature	Up to 120 °C (Above 120 °C a water-filled loop must be installed)	
Enclosure	IP65	
Action type acc. to EN 60730	Type BCF - 2B Types BCPL/BCPH - 2BDF	
Electrical connection Plug	DIN 43650, Pg 11	
Switch type	SPDT, snap action microswitch	
Contact material	Silver/gold (gold plated silver)	
Contact load	Minimum	1mA, 5V
	Maximum	1 AC-1: 6A, 250V
		1 AC-15: 1A, 250 V

б)

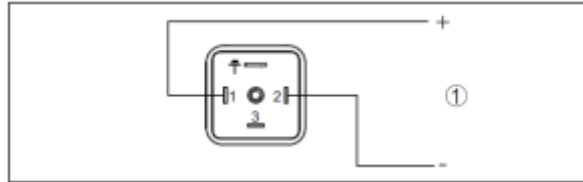
Рис. 5.2. – Датчик-реле тиску Danfoss BCP4H: а) зовнішній вигляд;

б) технічні характеристики

5.2.3 Для виміру тиску вторинної пари із діапазону 0...10 бар застосований датчик тиску VEGABAR 18 з двопровдною системою підключення 4..20 мА. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.2.



Вихідна величина - Двопровідна система 4 ... 20 mA	
Вихідний сигнал	4 ... 20 mA - пасивно
Техніка під'єднання	Двопровідна система
Діапазон вихідного сигналу	3,8 ... 20,5 mA
Живлення	
Робоча напруга U_B	12 ... 35 V DC
Захист проти інверсії полярності	Вбудований



б)

в)

Рис. 5.3. – Датчик мікрохвильовий Hydro-Mix XT: а) схема встановлення; б) зовнішній вигляд; в) технічні характеристики

5.2.4 Для виміру рівня конденсату застосований ультразвуковий датчик рівня EASYTREK SP 500.



Технічні характеристики:

Transducer / enclosure materials	PP, PVDF
Process temperature	PP, PVDF transducers: -30 °C ... +90 °C [-20 °F ... 190 °F]
Ambient temperature	-30 °C ... +80 °C [-20 °F ... 175 °F]
Pressure ¹⁾ (Absolute)	0.05 - 0.3 MPa (0.5 - 3 bar) [7.25 psi - 43.5 psi]
Seals	PP transducer: EPDM. All other transducer versions: FPM
Ingress protection	IP68
Power supply	10% - 36 V DC with HART communication
Accuracy ²⁾	± (0.1% measured + 0.025% max.) or ± (0.05% max.) whichever is greater
Resolution	Depending on the measured distance: <2 m: 1 mm, 2 - 5 m: 2 mm, 5 - 10 m: 5 mm, >10 m: 10 mm [<6.5 ft: 40 mil, 6.5 ft - 16 ft: 78 mil, 16 ft - 32 ft: 200 mil, >32 ft: 400 mil]
Outputs	Analogue: 4 - 20 mA (3.9 - 20.5 mA), $R_{load} = (U_s - 10 V) / 0.02 A$, Galvanic isolation, protection against surge transients SPDT relay: 30 V / 1 A DC; 48 V / 0.5 A AC Serial communication: HART interface (terminal resistor ≥ 250 Ohm) Programming / diagnostic interface: 3.3 V LVDS, 100 mA max., Galvanic isolated
Electrical connection	6 x 0.5 mm ² [20 AWG] shielded cable ≤ 6 mm x 5 m (available max. length 30 m)
Electrical protection	Class III SELV

а)

б)

Рис.- 5.4. Датчик рівня EASYTREK SP 500:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

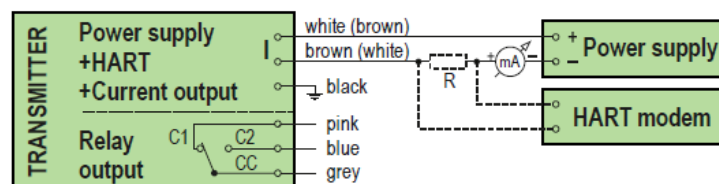


Рис.5.5.- Схема зовнішніх підключень датчика рівня EASYTREK SP 500

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1. Для зміни витрат гріючої та вторинної пари використаємо регулюючий клапан RV-210 DN32 PN16 з електроприводом RTN 2 Ekorex, сигнал керування 4...20 мА.



Технічні характеристики:
вхідний сигнал 4...20 мА;
перестановочне зусилля 2 кН;
живлення 230 V AC
ступінь захисту IP 54;

Рис. 5.6 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану RV-210

5.3.2. Для переривання потоку пектину і мармеладу використані електромагнітні клапани CEME 8617, сигнал керування 0-220 V AC.



Технічні характеристики:
Пропускна здатність K_v 2,2 м³/год
Мінімальний диференціал тиску 0,3 бар
Максимальний диференціал тиску 10 бар;
живлення 230 V AC
ступінь захисту IP 54;

Рис. 5.7 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану CEME 8617

5.3.3. Для переривання потоку пари використаний електромагнітний клапан SV-SH-ES-22NC-50, сигнал керування 0-220 V AC.



Технічні характеристики високотемпературних клапанів SV-SH

Конструкція	Дволінійний двопозиційний нормально закритий клапан з одностороннім пілотним ел. управлінням	
Матеріали	Нержавіюча сталь, Teflon	
Приєднання	Різьбове	G2"
	Фланцеве	F25, F32, F40, F50
Кріплення	Вертикальне	
Діапазон робочих температур	від 0 до 250° C	
Напруга живлення	AC 220В, AC 110В (потужність 33VA), DC 24В (потужність 24W)	
Допустима зміна напруги живлення	±10%	
Робоче середовище	Повітря, вода, пар та інші речовини, сумісні з матеріалами клапану	

Рис. 5.8 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
клапану SV-SH-ES-22NC-50

Для прямого пуску електроприводів застосовуються автоматизахисту
двигуна і контактори фірми Eaton/

	Max. motor rating	Rated uninterrupted current	Setting range		Screw terminals
	AC-3 380 V 400 V 415 V <i>P</i> kW	I_u A	Overload releases I_r A 	Short-circuit release I_{rm} A 	Part no.
Motor-protective circuit-breakers coordination type "1" and "2"	—	0.16	0.1 – 0.16	2.2	PKZM0-0,16
	0.06	0.25	0.16 – 0.25	3.5	PKZM0-0,25
	0.09	0.4	0.25 – 0.4	5.6	PKZM0-0,4
	0.12	0.63	0.4 – 0.63	8.8	PKZM0-0,63
	0.25	1	0.63 – 1	14	PKZM0-1
	0.55	1.6	1 – 1.6	22	PKZM0-1,6
	0.75	2.5	1.6 – 2.5	35	PKZM0-2,5
	1.5	4	2.5 – 4	56	PKZM0-4
	2.2	6.3	4 – 6.3	88	PKZM0-6,3





Рис. 5.9 Технічні дані автомату захисту електродвигуна



Mini contactor relays DILEM ¹				
AC-3 380 V/ 400 V		AC 230 V 50 Hz 240 V 60 Hz,		
I_e	P	Contacts	Part no.	
A	kW		Add voltages from above	
6.6	3	1N/O -	DILEEM-10(...)	
6.6	3	- 1N/C	DILEEM-01(...)	
8.8	4	1N/O -	DILEEM-10(...)	
8.8	4	- 1N/C	DILEEM-01(...)	

Рис. 5.10 Технічні дані контактора для електродвигуна

5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

5.4.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи.

Для визначення кількості і типів сигналів, які обробляються в контролері, базуючись на основі аналізу системи автоматизації за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів.

Табл. 5.1 Список параметрів на входах та виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Тиск вторинної пари на котлі	A	I	4...20 mA DC
2	Рівень конденсату в сорочці	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал тиску гріючої пари	D	I	24 V DC
10	Сигнал температури продукту в котлі	D	I	24 V DC
11	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
12	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
13	Сигнал керування відсічним клапаном пари	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування відсічним клапаном пектину	D	O	24 V DC
15	Сигнал керування відсічним клапаном продукту	D	O	24 V DC
16	Сигнал керування регулюючим клапаном гріючої пари	A	O	4...20 mA DC
17	Сигнал керування регулюючим клапаном вторинної пари	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 8, DO – 5

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Оскільки технологічне обладнання та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у навісній шафі зі ступенем захисту не

менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.11).

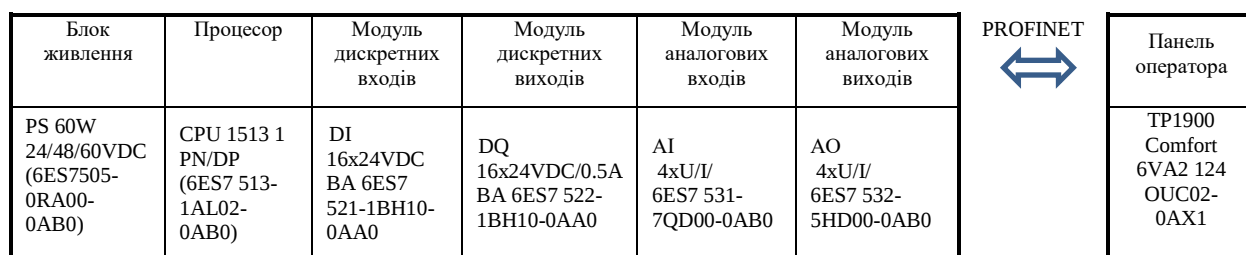


Рис. 5.11 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1513 1 PN без вбудованих каналів вводу-виводу, орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1500.

Article number	6ES7513-1AL02-0AB0
General information	
Product type designation	CPU 1513-1 PN
HW functional status	FS01
Firmware version	V2.5
Engineering with	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15
Configuration control	
via dataset	Yes
Display	
Screen diagonal (cm)	3.45 cm
Control elements	
Number of keys	8
Mode buttons	2
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Mains buffering	
• Mains/voltage failure stored energy time	8 ms
• Repeat rate, min.	1/s
Input current	
Current consumption (rated value)	0.7 A
Current consumption, max.	0.95 A
Inrush current, max.	1.9 A; Rated value
PI	0.02 A ² s
Power	
Infused power to the backplane bus	10 W
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W
Power loss	
Power loss, typ.	5.7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes

Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for logic operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	256 ns
CPU blocks	
Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UDTs
DB	
• Number range	1 ... 60 999; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 84: 60 000 ... 60 999
• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the DB is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
OB	
• Size, max.	300 kbyte
• Number of free cycle OBs	100
• Number of time alarm OBs	20
• Number of delay alarm OBs	20
• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3x cycle of 500 µs
• Number of process alarm OBs	50
• Number of DPV1 alarm OBs	3
• Number of isochronous mode OBs	1
• Number of technology asynchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.12 Технічні дані CPU 1513 1 PN

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

Digital inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type	Yes
3	
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
for signal "0"	-30 to +5 V
for signal "1"	+11 to +30 V

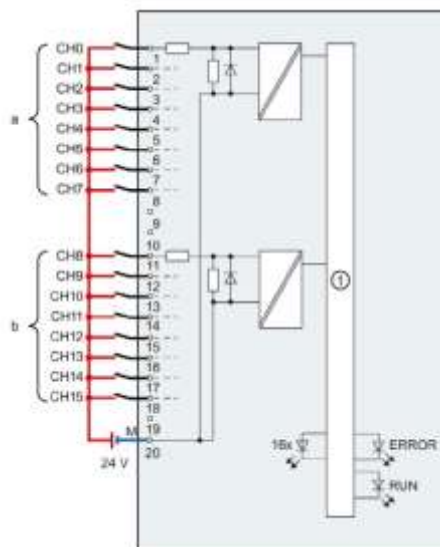


Рис. 5.13 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of digital outputs	16
Current-sourcing	Yes
Short-circuit protection	Yes; Clocked electronically
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Controlling a digital input	Yes
Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	0.5 A
• on lamp load, max.	5 W

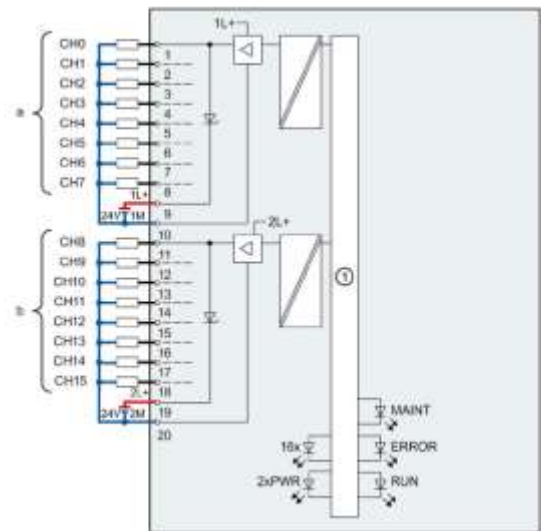


Рис. 5.14 Технічні характеристики та схема підключень
DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0).

Analog inputs	
Number of analog inputs	4
Number of analog inputs with current measurement	4
Number of analog inputs for voltage measurement	4
Number of analog inputs for resistance/resistance thermometer measurement	2
Number of analog inputs with thermocouple measurement	4
Permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	28.8 V
Permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Technical unit for temperature measurement adjustable	Yes

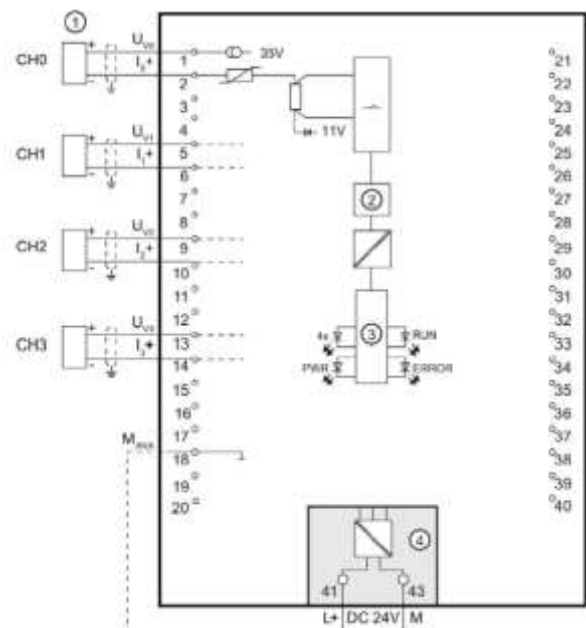


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень
датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль АО 4xU/I/6ES7 532-5HD00-0AB0

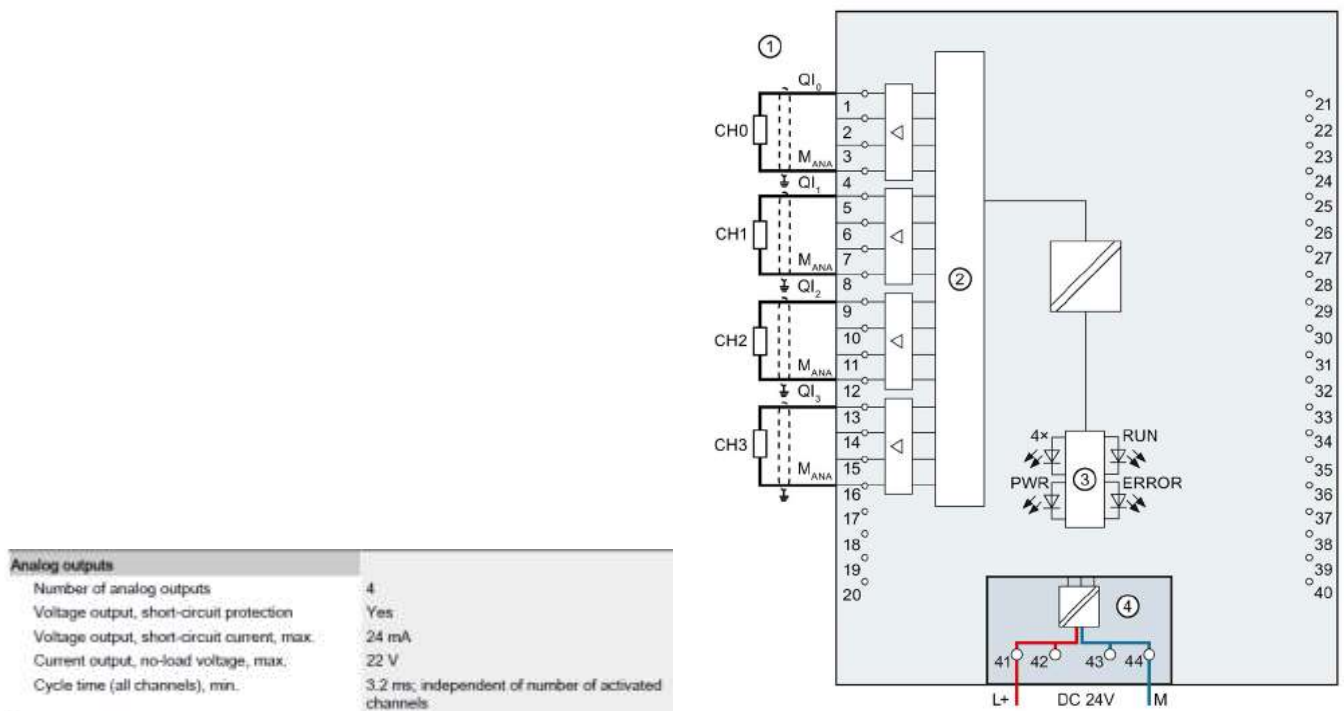


Рис. 5.16 Технічні характеристики та схема формування уніфікованого струму на виходах 6ES7 532-5HD00-0AB0

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом випарювання мармеладу . Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

РОЗДІЛ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Для програмної реалізації САК процесом варки мармеладу створюємо у середовищі TIA Portal проект і додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

Конфігурування обраного контролера та панелі оператора проводимо шляхом налаштування мережевих зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.



Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту та налаштування мережевих зв'язків.

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО, для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

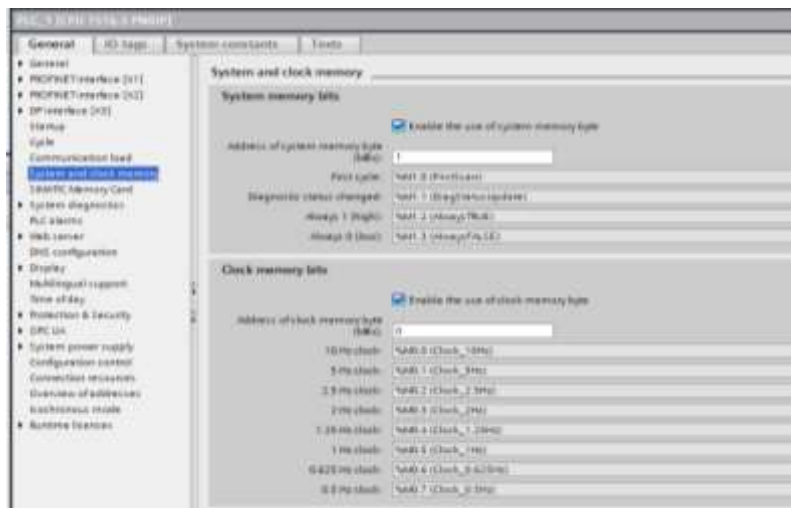


Рис. 6.2 Конфігурування системних областей пам'яті CPU.

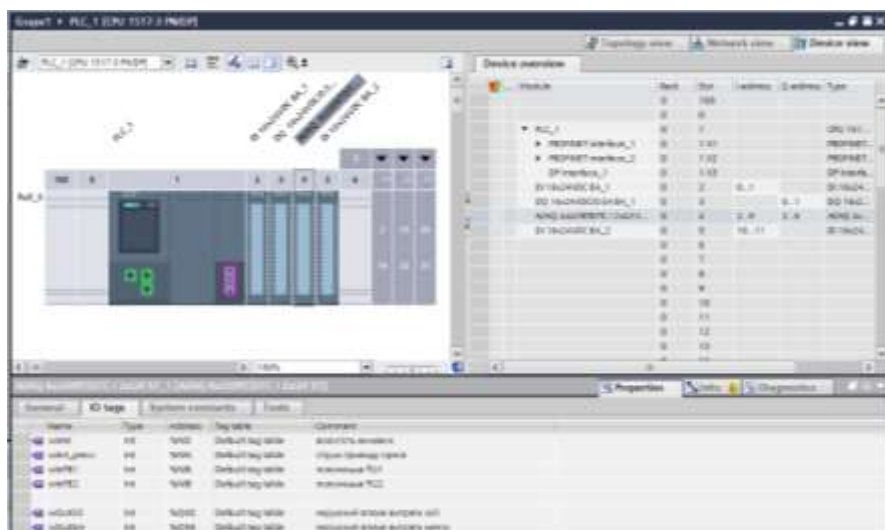


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО.

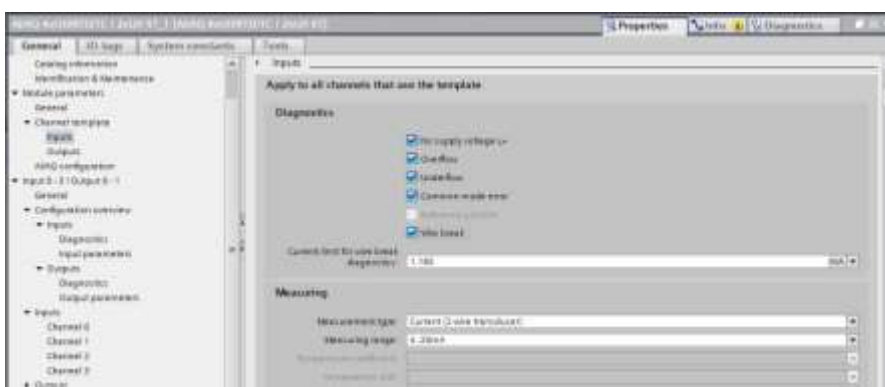


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля.

Відповідно до табл. 5.5 проводимо остаточне редагування імен

ВХОДІВ/ВИХОДІВ В ТАБЛИЦІ ТЕГІВ ПРОГРАМИ.

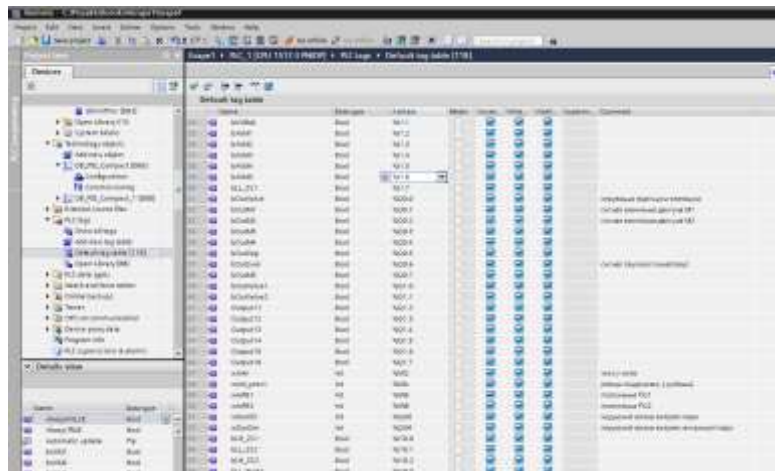


Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів САК процесу варки мармеладу.

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо дві папки: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування процесу варки мармеладу.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки для керування електроприводами, аналоговими та відсічним клапанами.

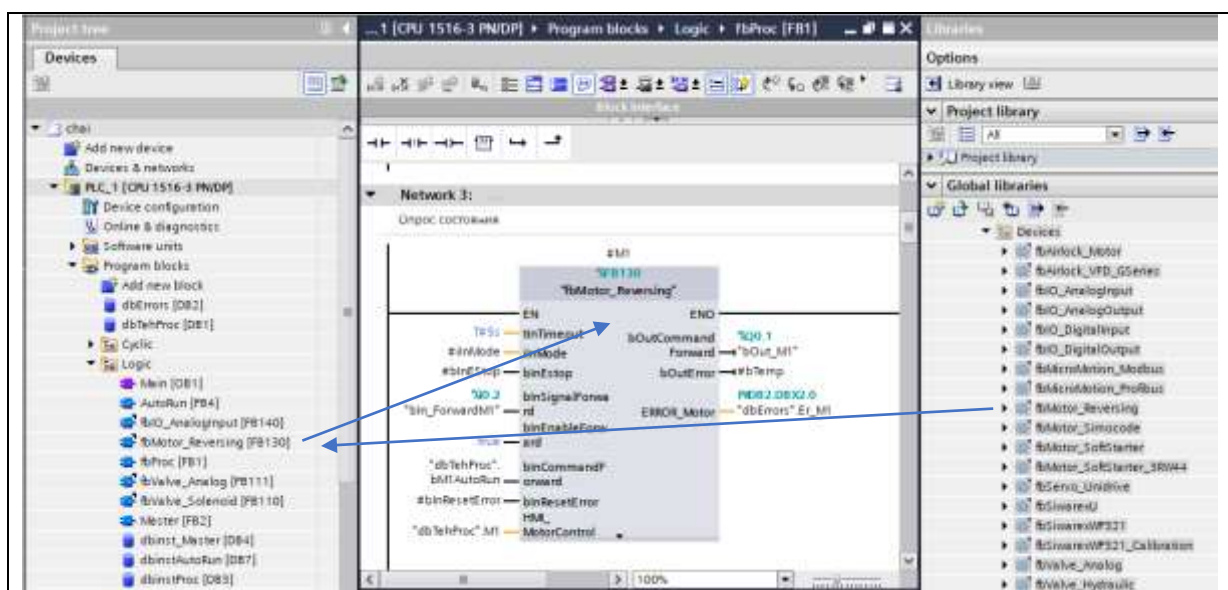


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor.

Основні функціональні можливості цих блоків:

- формування керуючих впливів;

- - аналіз зворотного зв'язку про результати виконання;
- - формування структур даних для обміну з НМІ програмами.

Використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors.

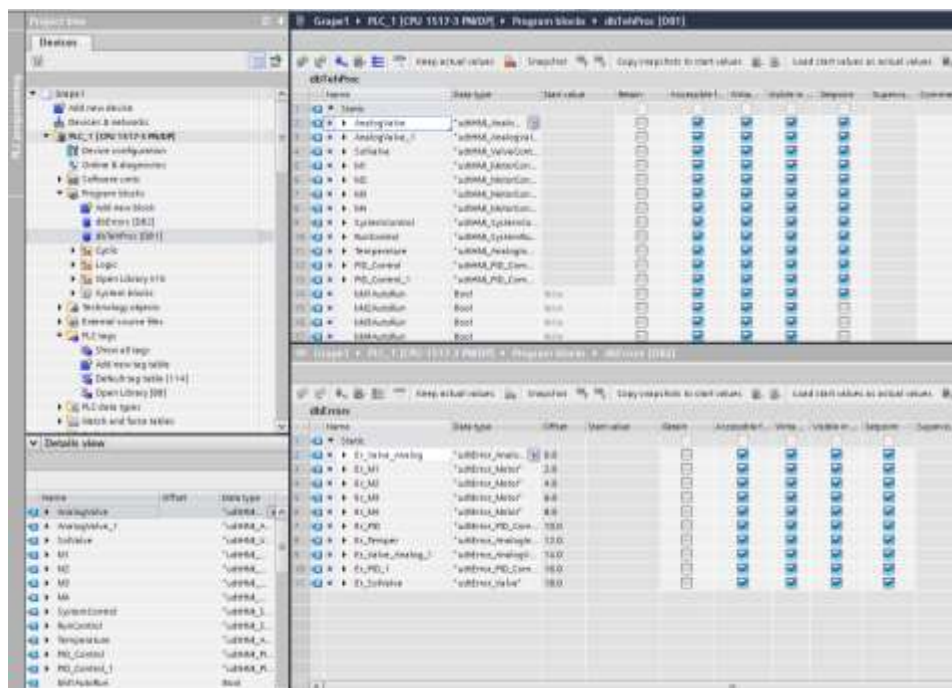


Рис. 6.7 Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК процесом варки мармеладу.

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів мішалки M1 та насосу M2 аналогових та відсічних клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Insta...	Stable...
Input						
inMode	Int	0	Non-ret...	☒	☒	☒
inStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
inResetError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
inSimulate	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
Output						
oOutAuto	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
oOutError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
oOut				☒	☒	☒
Static						
Am	"BMotor_Reversing"			☒	☒	☒
MD	"BMotor_Reversing"			☒	☒	☒
MT	"BMotor_Reversing"			☒	☒	☒
MA	"BMotor_Reversing"			☒	☒	☒
AnalogValve	"Bvalve_Analog"			☒	☒	☒
AnalogValve_1	"Bvalve_Analog"			☒	☒	☒
Temperature	"BIO_AnalogInput"			☒	☒	☒
SolValve	"Bvalve_Solenoid"			☒	☒	☒
oOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
oOutAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
inAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
inAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
Temper	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒

Рис. 6.8 Інтерфейс функціонального блоку fbProc.

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbMotor_Reversing та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbMotor_Reversing підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.9).

Аналогічно здійснюється опит стану відсічних (рис. 6.10) та аналогових клапанів (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbValve_Solenoid, fbValve_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

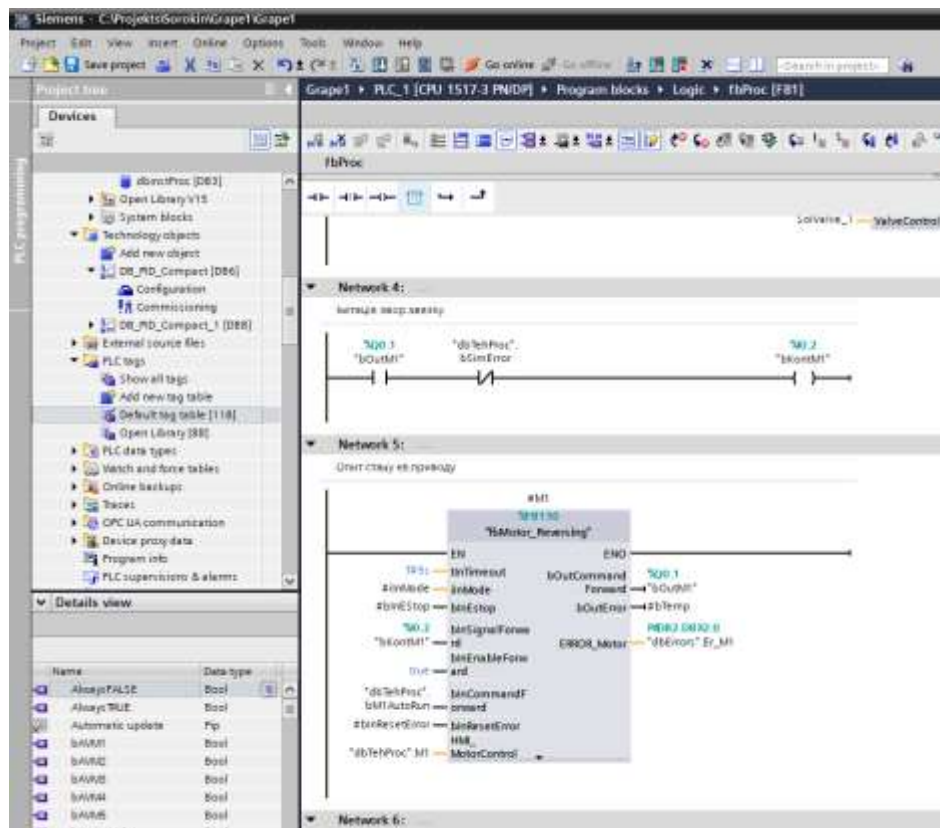


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

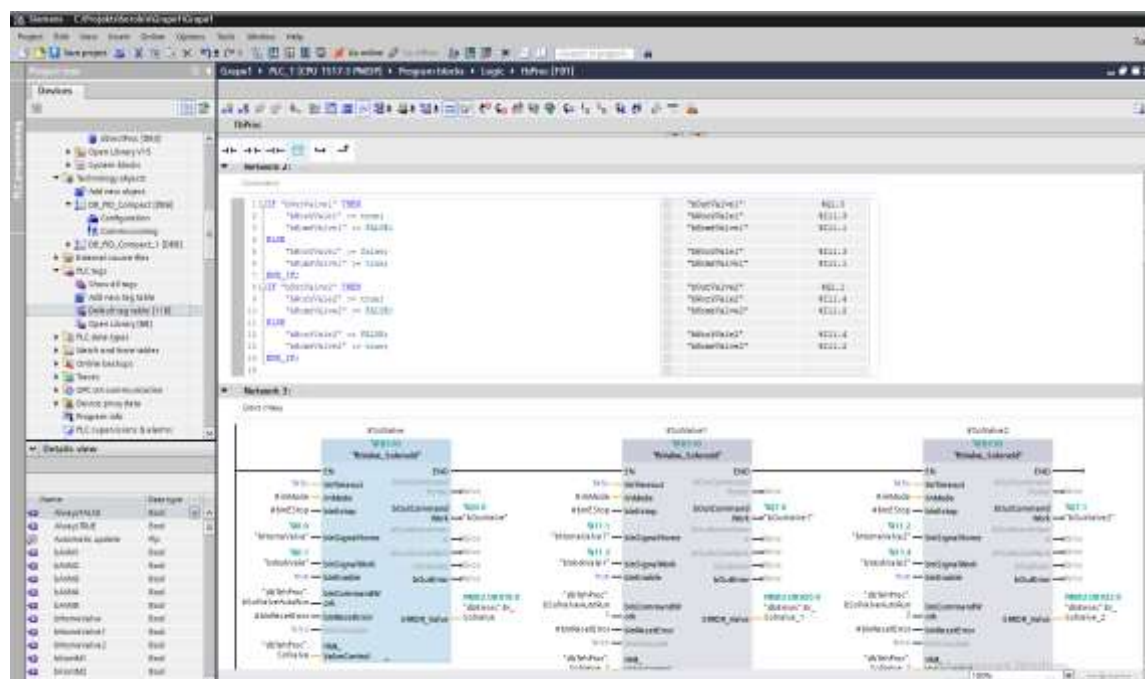


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

fbAutoRun							
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Write...	Visible in...
1	Input						
2	bInEnableStart	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
3	bInNotError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
4	Output						
5	bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
6	InOut						
7	add if new				☐	☐	☐
8	Static						
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
11	bZvuk	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
12	bM1	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
13	bSV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
14	bM4	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
15	bAV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
16	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
17	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
18	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
19	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
20	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒

Рис. 6.13 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun.

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.14), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та клапанів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

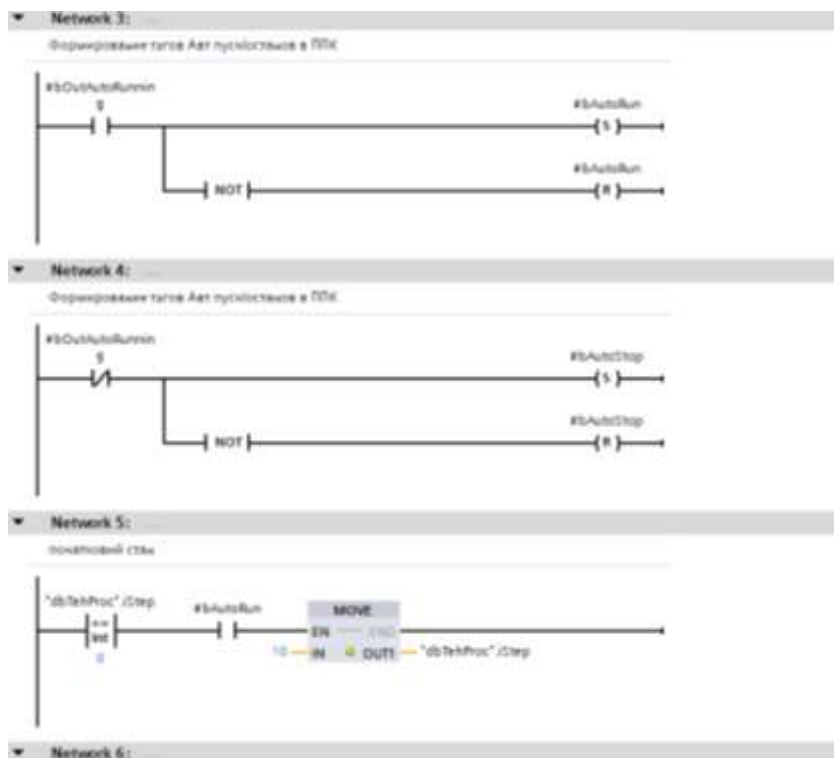


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.



Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

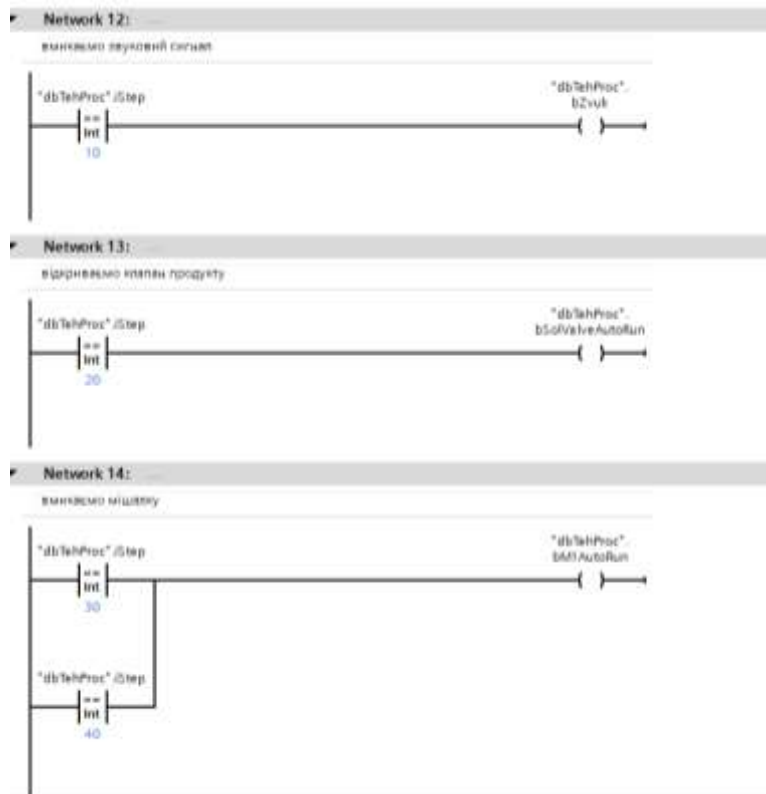


Рис. 6.16 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи «ручний-автоматичний» ПД-регулятора (рис. 6.17).

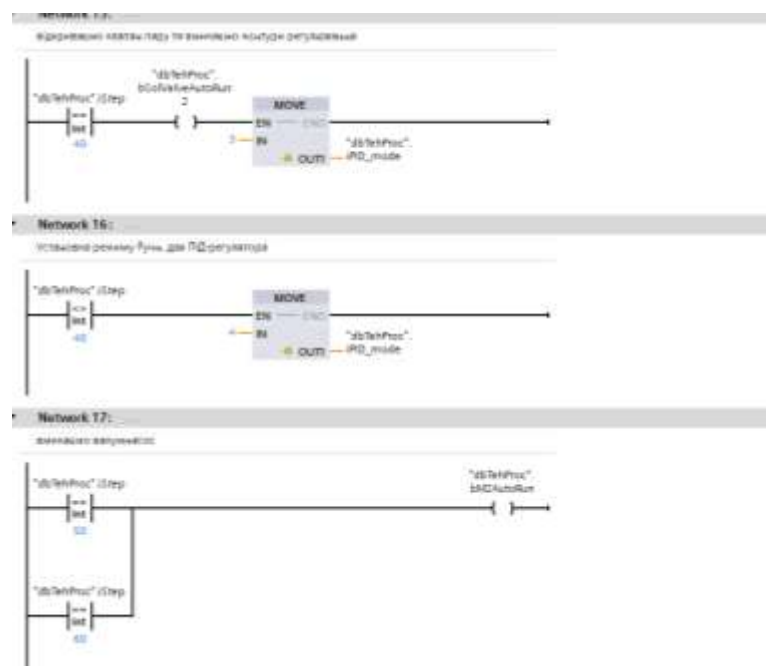


Рис. 6.17 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.18), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).



Рис. 6.18 Інтерфейс та текст підпрограми Master.

Циклічне виконання цих підпрограм забезпечує опит стану обладнання, його автоматичний пуск і зупинку.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання тиску середовища у котлі та рівня конденсату у паровій рубашці були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель САР тиску середовища у котлі та рівня конденсату у паровій рубашці реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0,1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.19, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

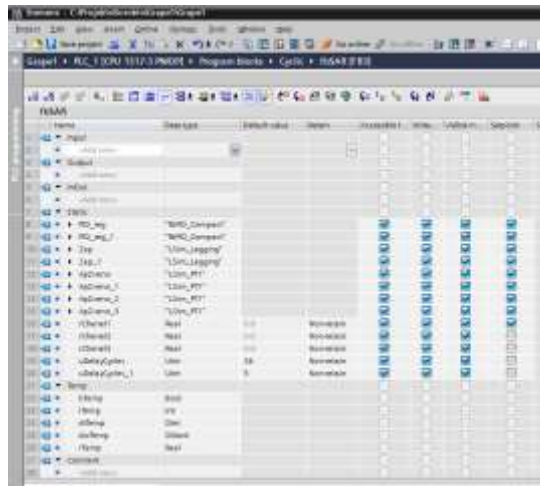


Рис. 6.19 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR.

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціональних блоків ПД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

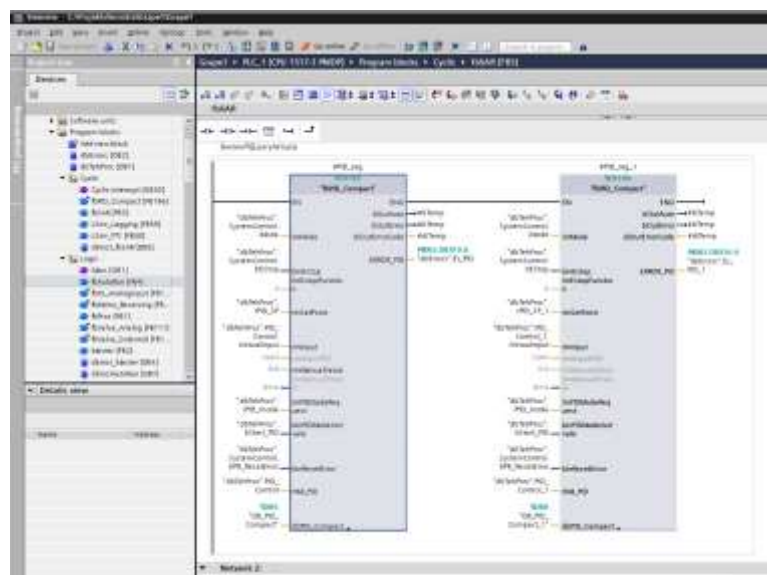


Рис. 6.20 – Фрагмент функціональних блоків fbSAR, що реалізує ПД-регулятори тиску середовища у котлі та рівня конденсату у паровій рубашці.

Налаштування параметрів ПД-регуляторів проводимо через їх блоки даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

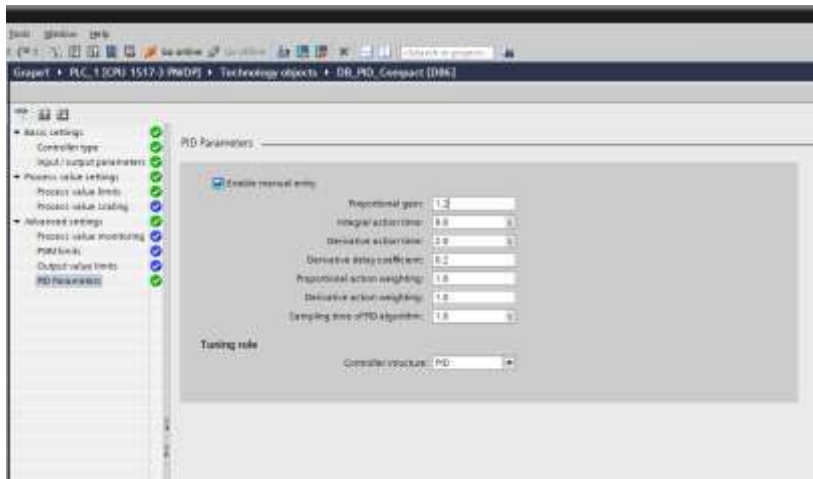


Рис. 6.21 Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора тиску середовища у котлі.

Вихідні сигнали ПД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів (див. рис. 6.22).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.23). Параметри моделі відповідають значенням, отриманим при ідентифікації моделі ОК.

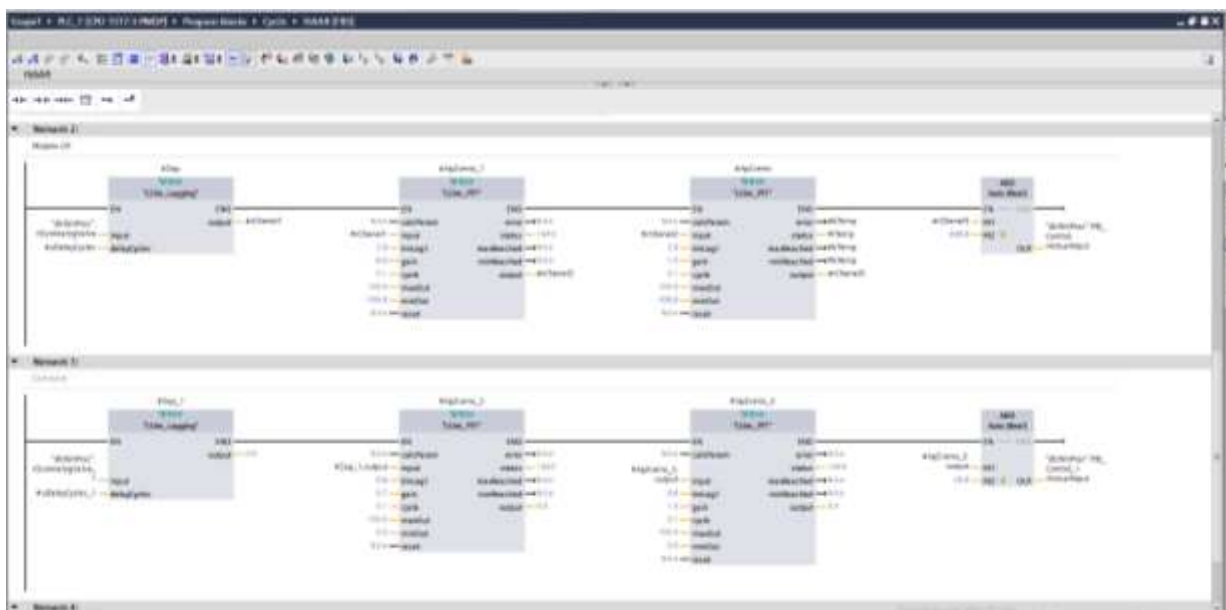


Рис. 6.22 Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує модель ОК

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.23 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.23 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування.

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу було виконано вибір необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500. Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для процесу первинної переробки винограду.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панелью оператора, її конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET. Результати конфігурування для системи керування процесу варки мармеладу наведено на рис. 7.1.

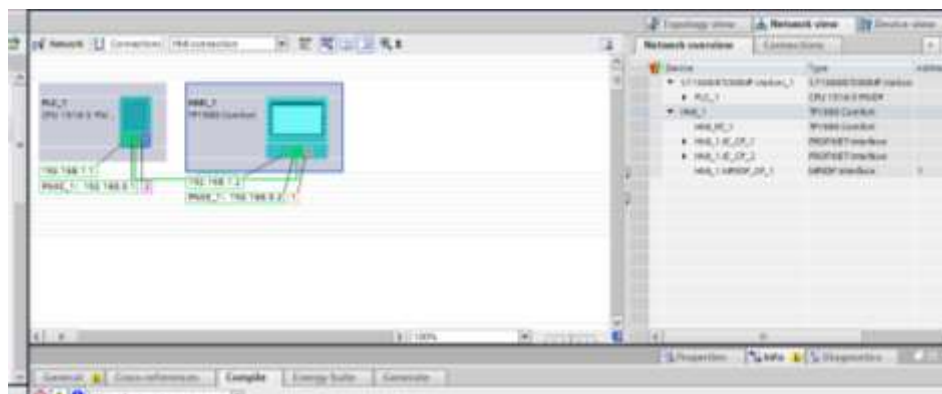


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі Runtime settings дерева каталогу проекту.

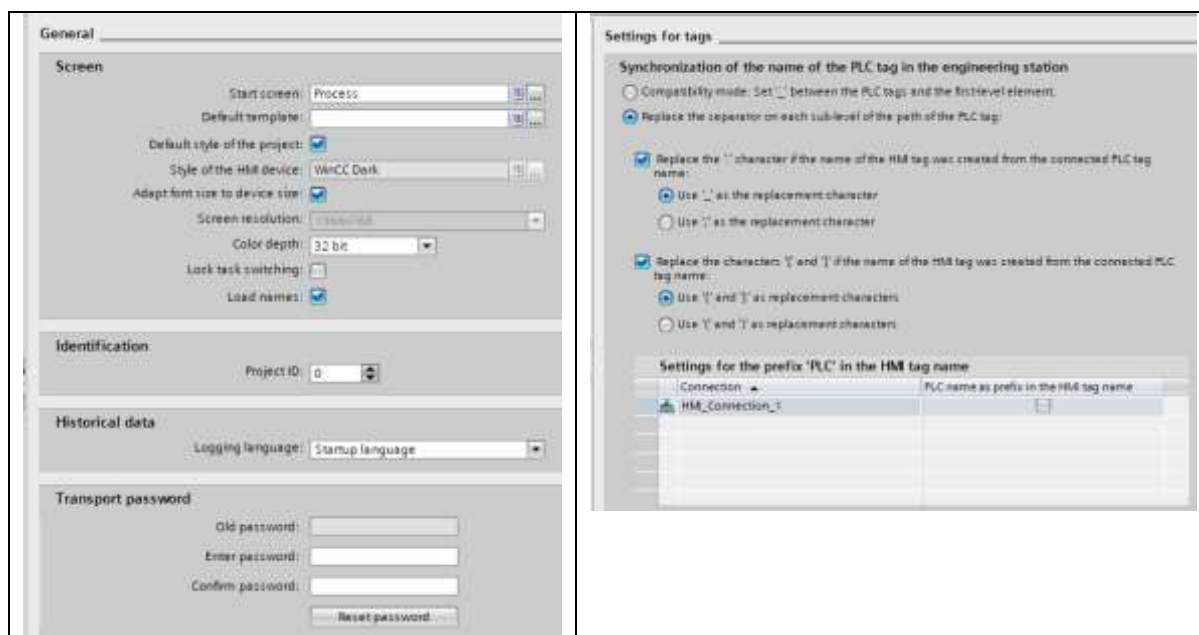


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та НМІ, створюємо таблицю НМІ-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

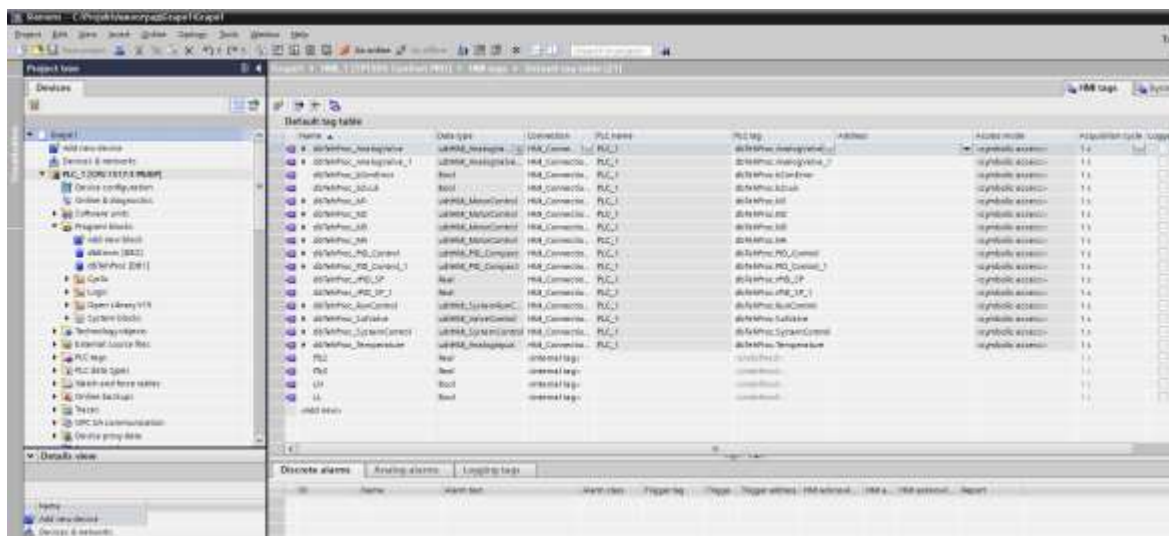


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛК будуть відображатися в елементах НМІ.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога процесу варки мармеладу повинна містити в собі екрани для керування агрегатом:

екран схеми установки для керування технологічним процесом;

екран для спостерігання за регульованими змінними (Тиск середовища у котлі та рівень конденсату у паровій рубашці);

екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічних агрегатів.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

екран схеми установки надає функції управління усіма клапанами та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регуляторів тиску середовища у котлі та рівня конденсату у паровій рубашці;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності, а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі HMI. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає логотипи академії, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.

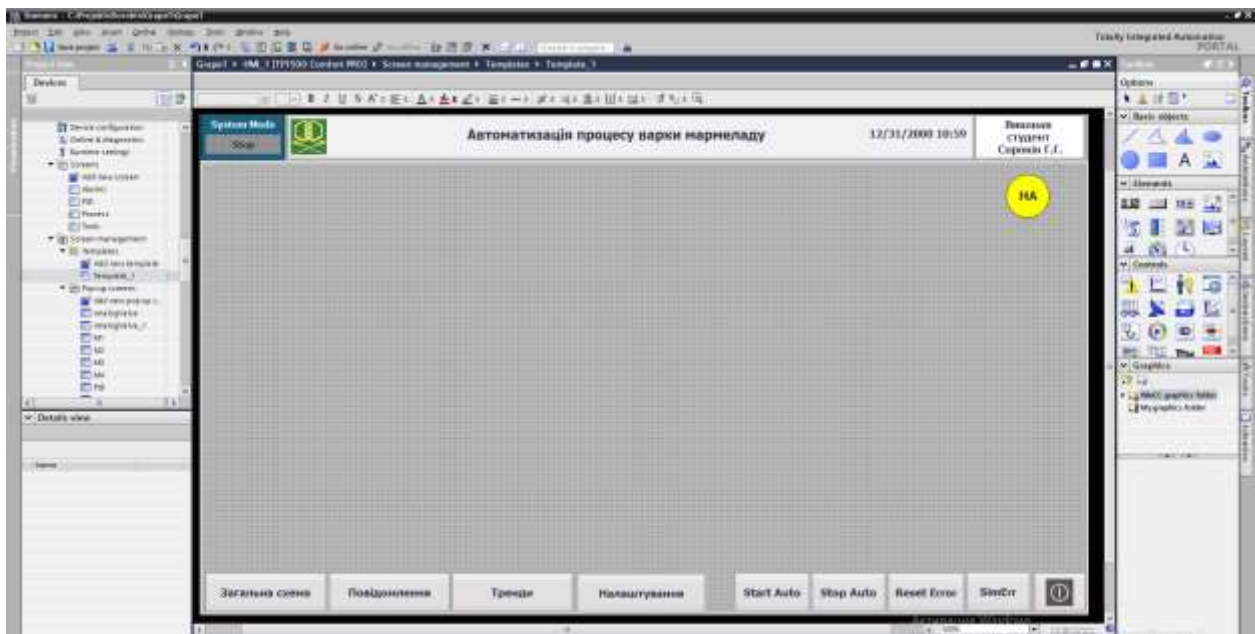


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції «ActivateScreen» (рис. 7.5).

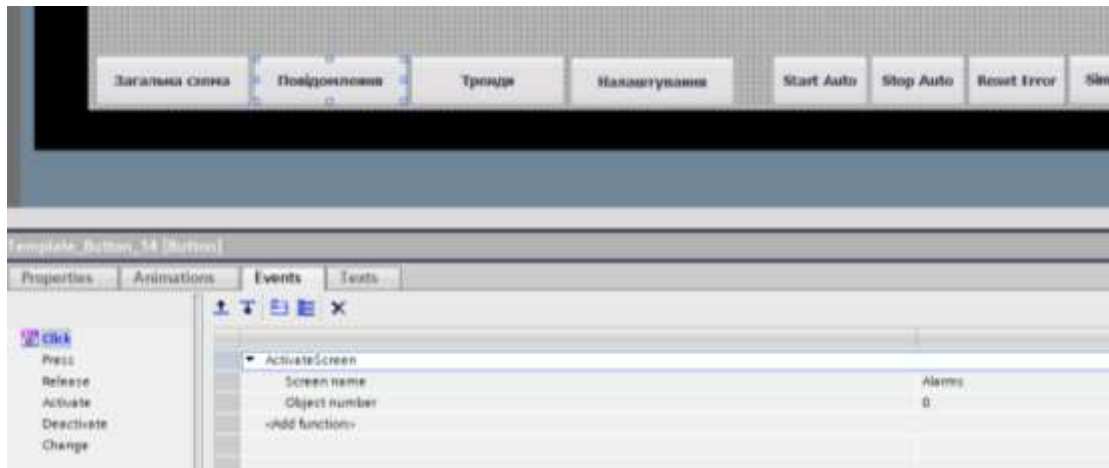


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикавання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання створюємо спливаючі вікна Pop-up screens і заповнюємо їх з відповідного розділу бібліотеки SOL.

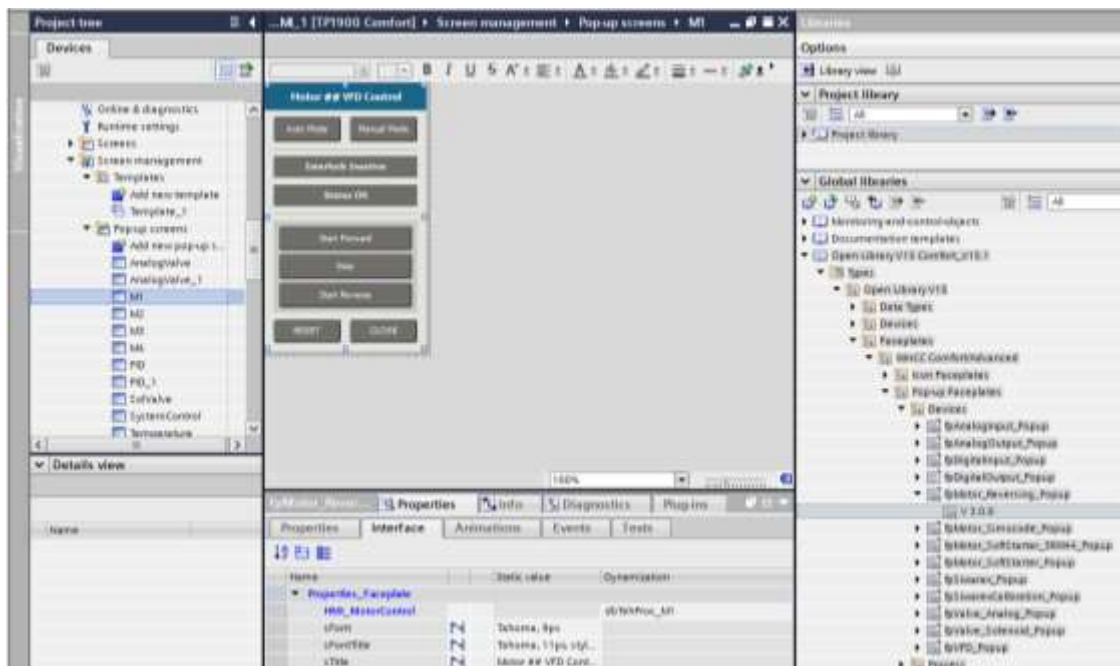


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом НМІ, який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів вакуум-апарату.

Основний екран «Загальна схема» містить схематичне зображення лінії

первинної переробки винограду з нанесеними на нього елементами відображення і керування. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.



Рис. 7.7 Екран схеми установки

Для цього на проекцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

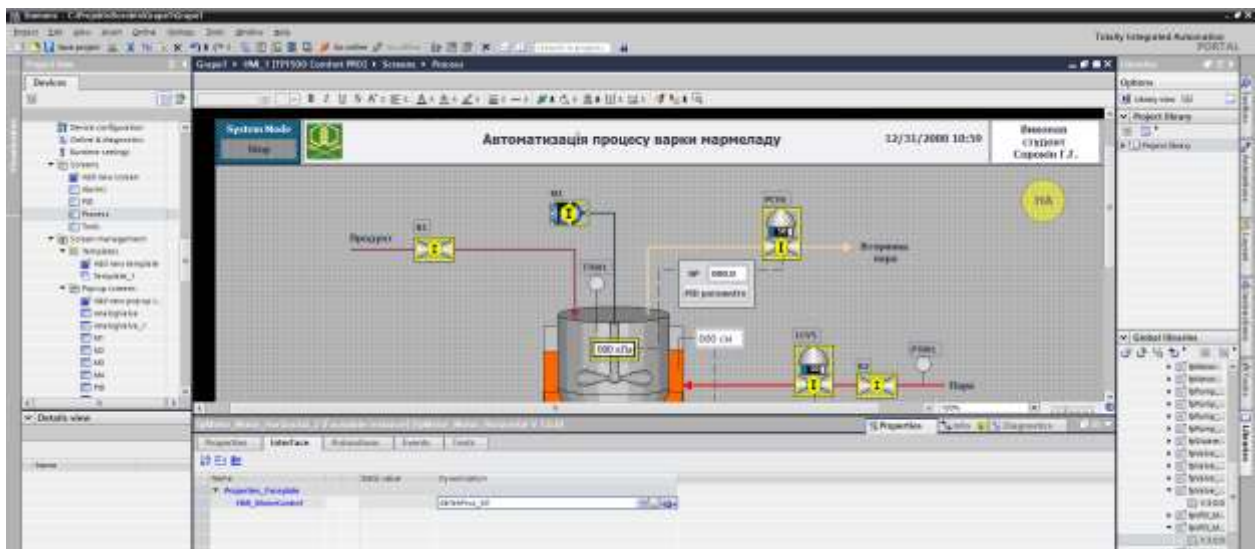


Рис. 7.8 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.9).

Для побудови графіків зміни тиску середовища у котлі та рівня конденсату у паровій рубашці; використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється натисканням відповідної кнопки на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу.

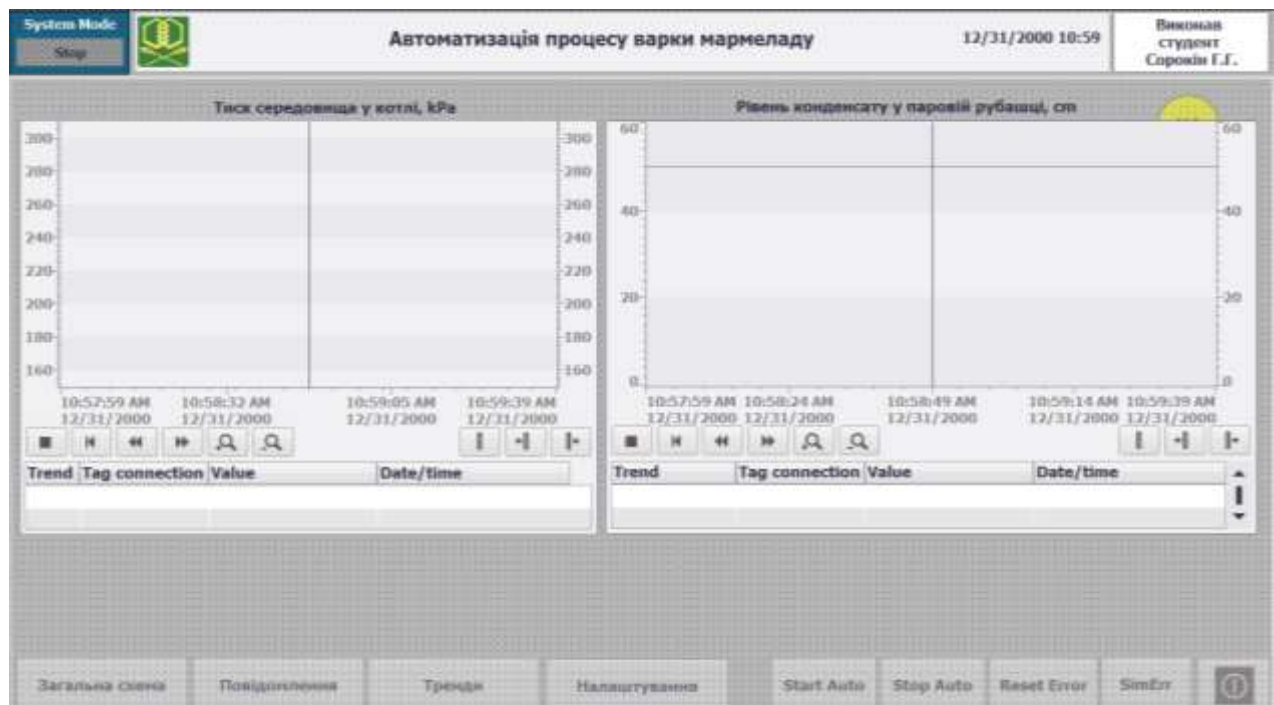


Рис. 7.9 Екран графіків

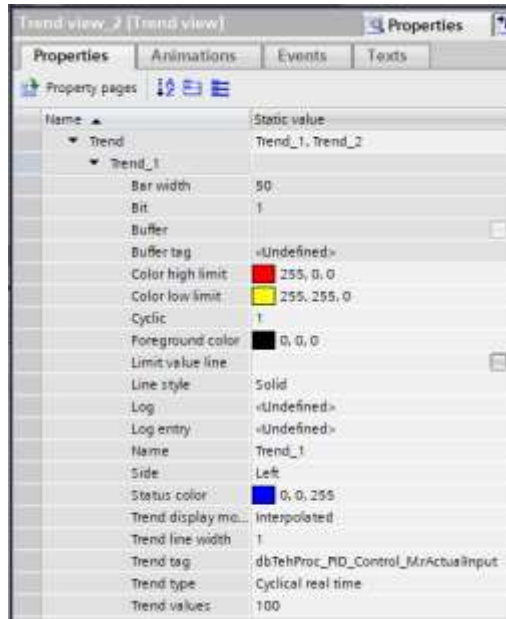


Рис. 7.10 Вікно налаштування елементу Trend



Рис. 7.11 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу виробництва мармеладу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням вакуум-апарату в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами HMI.

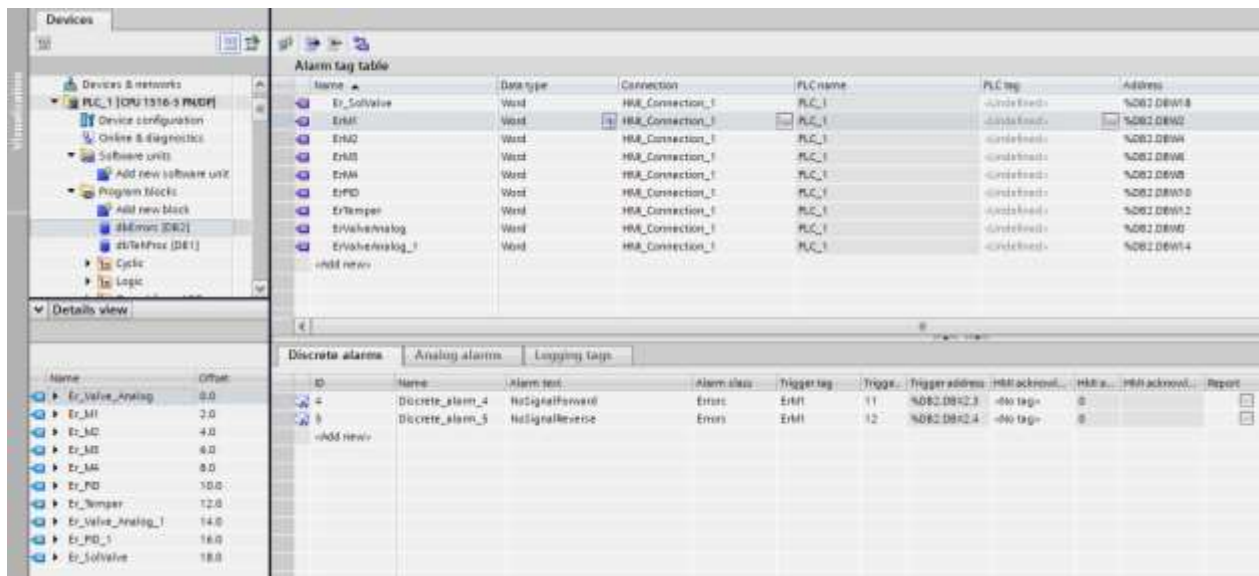


Рис. 7.13 Приклад привязки тегів dbErrors з HMI-тегами

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

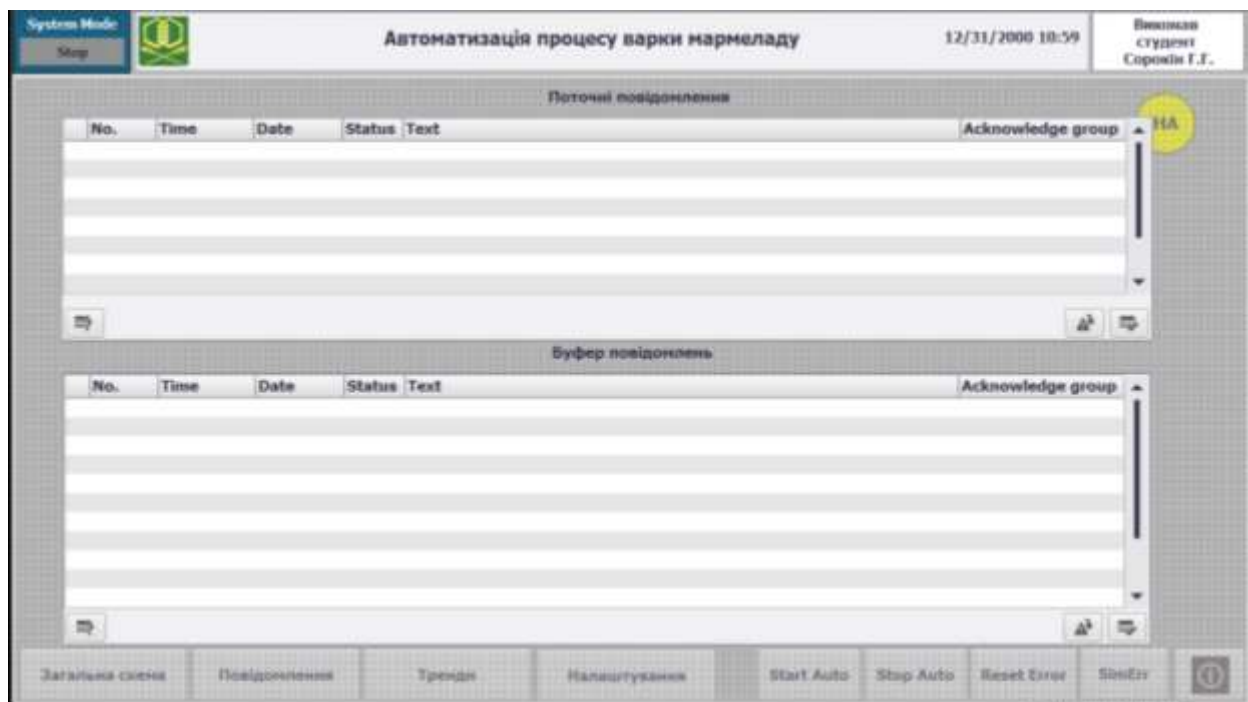


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних

повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

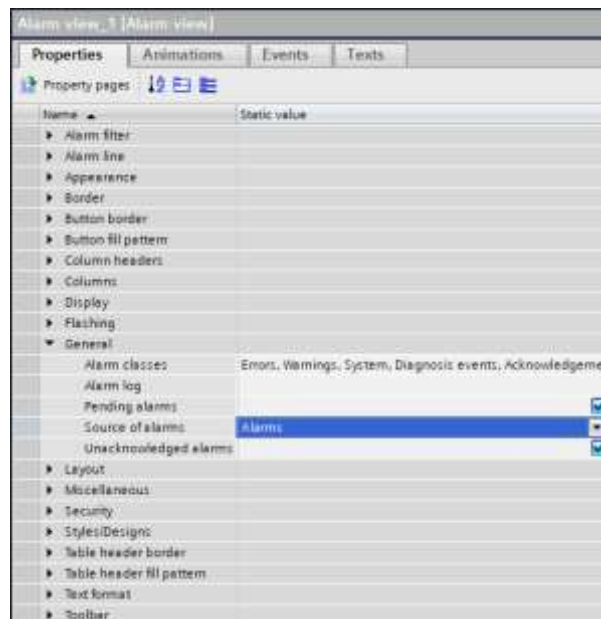


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елементу Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

Тестування системи керування процесом варки мармеладу проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовищі якої завантажуюмо проект ПЛК після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюмо проект HMI.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.

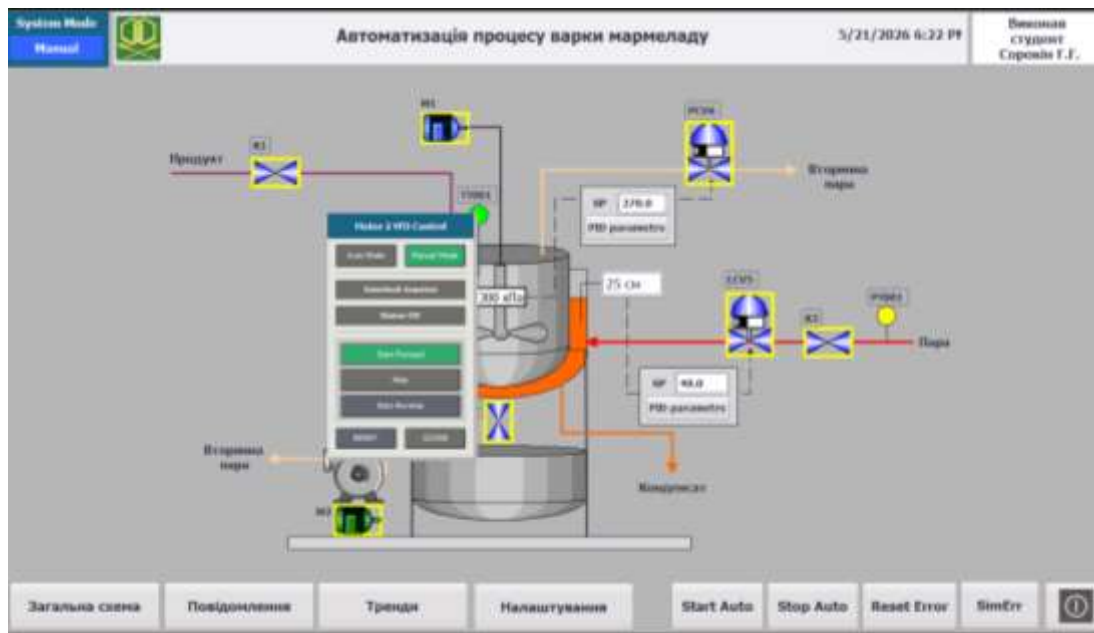


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі.

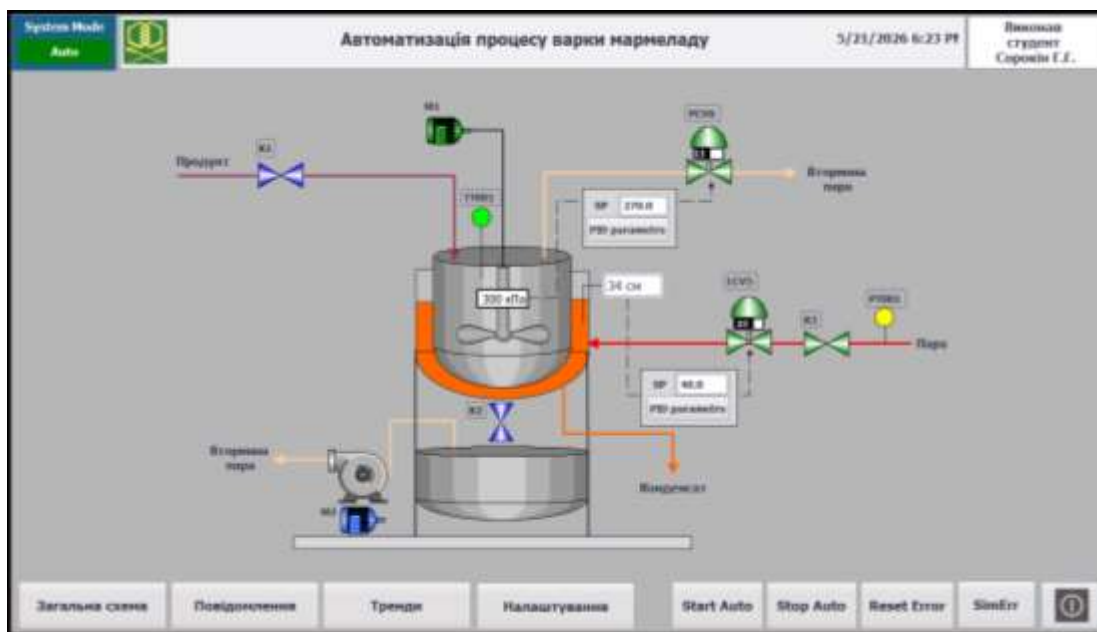


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі.

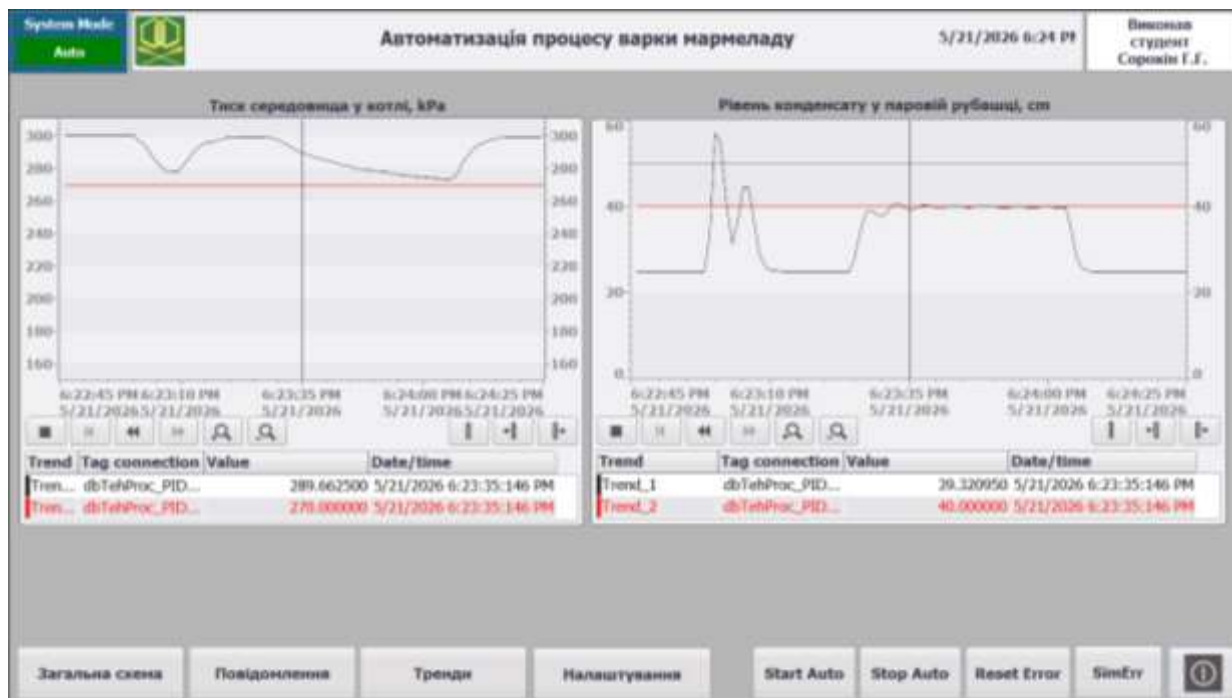


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

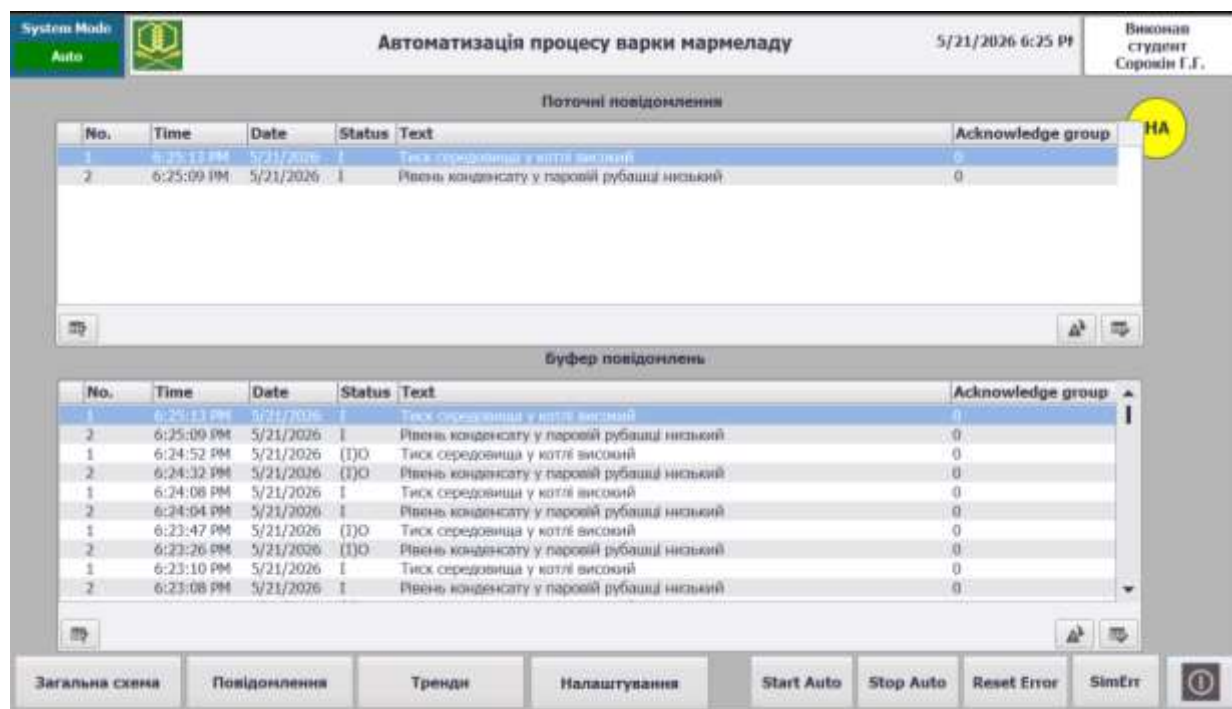


Рис. 7.18 ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності.

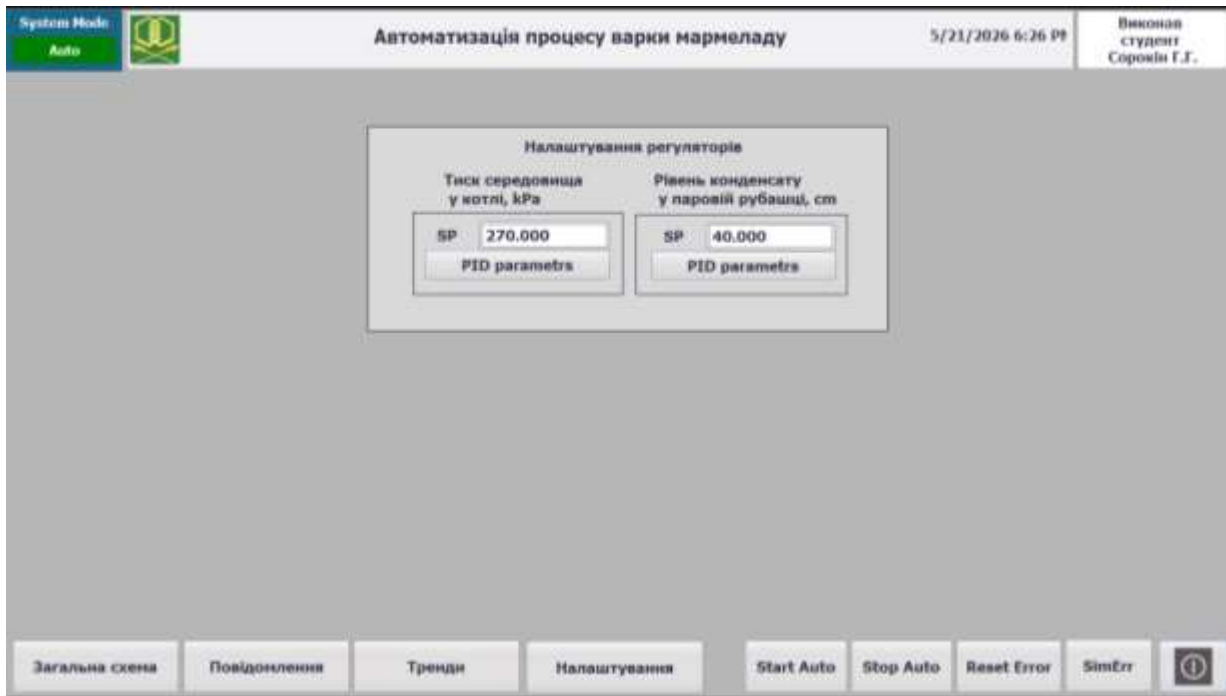


Рис. 7.18 Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності.

Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування технологічним процесом варки мармеладу. Створені екран для відображення схеми вакуум-апарату для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Нижче наведено ключові групи стандартів, які зараз впроваджуються в Україні для переходу України на європейські стандарти (EN) та міжнародні норми (ISO/IEC) у сфері автоматизації:

8.1.1. Проектування та графічні позначення

Для створення схем автоматизації (P&ID) замість застарілих радянських ГОСТів використовуються стандарти, що забезпечують «універсальну мову» інженерів.

ДСТУ ISO 14617 (зокрема ISO 14617-1:2018): Визначає правила побудови графічних символів для діаграм. Це база для роботи в сучасних САПР, таких як EPLAN або AutoCAD Electrical.

ДСТУ EN 62424: Стандарт для представлення проектів автоматизації за допомогою діаграм P&ID та обміну даними між інструментами P&ID та PCE (Process Control Engineering).

8.1.2. Керування рецептурними процесами (Batch Control)

Для харчової та зернопереробної промисловості, де виробництво часто йде партіями, важливим є стандарт ISA-88 (міжнародний аналог — IEC 61512), в якому визначаються поняття Рівень обладнання: Розподіл на установки (Units), агрегати (Equipment Modules) та компоненти (Control Modules); Процесна логіка: Використання термінів «рецепт», «операція» та «фаза». Це дозволяє швидко змінювати асортимент продукції без переписування коду контролера.

8.1.3. Вертикальна інтеграція (Enterprise-Control System Integration)

Для ефективного керування елеватором або харчовим заводом дані з нижнього рівня (датчики/контролери) мають безперешкодно потрапляти в систему управління підприємством (ERP).

ISA-95 (IEC 62264): Цей стандарт визначає інтерфейс між виробничими операціями (MES-системи) та бізнес-плануванням. Він дозволяє автоматизувати звітність про витрати сировини, енергоресурсів та вихід готової продукції.

8.1.4. Безпека харчової продукції та простежуваність

Автоматизація в цих галузях тісно пов'язана з гігієнічними вимогами та

контролем якості.

ISO 22000: Система менеджменту безпеки харчових продуктів. Автоматика має забезпечувати контроль критичних точок (НАССР) — наприклад, температуру сушіння зерна або пастеризації молока.

Простежуваність (Traceability): Стандарти вимагають, щоб автоматизована система могла «відстежити» шлях кожної партії сировини від прийомки до готового виробу.

8.2. Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Для реалізації системи автоматичного керування (САК) ділянкою нагріву пектину і його упарення до рівня мармеладу запропонована технічна структура, яка представлена на рис. 8.1.

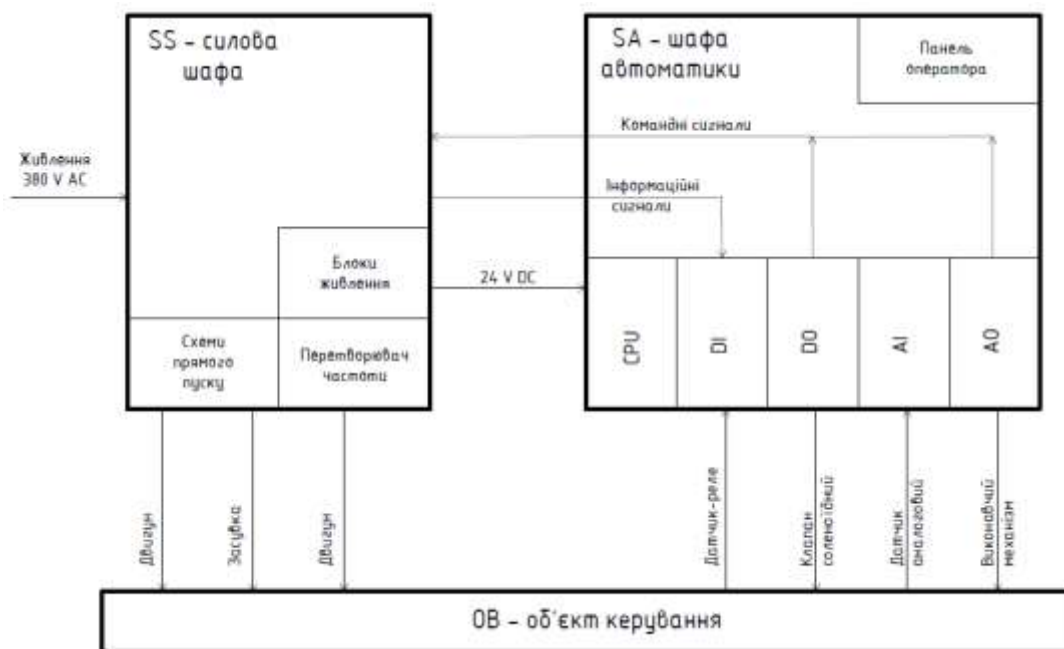


Рис. 8.1 Структура САК

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування електроприводами та блоки живлення. В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора, що покращує завадостійкість системи керування.

За результатами вибору комплексу технічних засобів і відповідно до

складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керуванням електроприводу;
- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора.

Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу – модуль AI 4xU/I (6AG 1531-7KF00-7AB0) та модуль AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0);
- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ

16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування застосовується панель оператора TP1900 Comfort (6VA2 124 OUC02-0AX1), на якій встановлена система виконання SCADA WinCC Comfort, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів.

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА DC), вихідні аналогові сигнали струму (4...20мА DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

Розглянемо перелік контурів контролю й керування, які наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

1 – 2 керування та контроль стану електроприводів M1, M2;

3, 4, 7 – керування та контроль стану соленоїдних клапанів LV3, LV4, TV7;

5, 6 – контроль і регулювання рівня конденсату і тиску вторинної пари в котлі;

8 – 9 – контроль тиску гріючої пари і температури продукту;

У контурах 1 – 4 та 7 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 5 реалізована система контролю та регулювання конденсату в сорочці котла. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика рівня з уніфікованим перетворювачем PY/5 пропорційний рівню сигнал струму 4...20 мА DC подається

на регулятор ТС/5, який формує керуючий вплив у вигляді 4...20 мА DC, що подається виконавчий механізм клапану TCV5. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/5, які реалізовані в панелі оператора. Контур 6 працює аналогічно.

В контурах 8 і 9 сигнал від датчику-реле тиску PS/8, температури TS/ з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації LIS/9, TIS/10 на панелі оператора

У додатку А наведені схема автоматизації та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода М1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродвигуна Q1, клеми контактора КМ1, кабель W2 та вимикач ОВ-Q1.

Місцеве керування електроживленням котушки контактора здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле 25, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки КМ1.

Стани КМ1, S3, K5 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Дана схема забезпечує живлення модулів ПЛК і панелі оператора. Всі її компоненти розміщуються в силовій шафі SS. Живлення здійснюється від фази L1 через автоматичний вимикач Q4 та блок безперебійного живлення UPS. До його виходів через автоматичні вимикачі Q6, Q7 підключені два джерела живлення G1, G2 220 V AC/ 24 V DC, які забезпечують напругу живлення для модулів ПЛК і панелі оператора. Вихідні ланки G1, G2 захищені від режиму «короткого замикання» запобіжниками F2, F3.

Освітлення в шафі забезпечує лампа Н2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5. Розробка принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами M1, M2, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелях W1, W8, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле PS/8, TS.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелях W4, 5, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелях W3, 15, 9, що підключаються до клем SA-X1, підключаються проміжні реле K3, K4, K5, для керування соленоїдами клапанів LV/3, LV/4, TV/7.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6AG 1531-7KF00-7AB0) розміщується на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики рівня і тиску з уніфікованим виходом 4...20 mA DC LY5, PY6.

Модуль аналогових виходів AO 2xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнал 4...20 mA DC, які за допомогою кабелів W13, 14, що підключаються до клем SA-X1, передають сигнали керування на виконавчі механізми LCV5, PCV6.

У додатку Б наведені ПЕС підключення до модулів ПЛК та перелік приладів, що в них використані.

8.6 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП

8.6.1 Загальні положення

Безпека праці при створенні та експлуатації систем автоматизації

технологічних процесів повинна відповідати вимогам:

- Закону України «Про охорону праці»; НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»; НПАОП 0.00-1.32-01 «Правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок»; ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання будівель і споруд»; ДСТУ EN 60204-1:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин»; ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

Цей розділ поширюється на:

- шафи керування (ПЛК, частотні перетворювачі, пристрої захисту);
- польове обладнання (датчики, виконавчі механізми, регулювальні клапани);
- кабельні мережі та кросові з'єднання;
- операторські станції та серверне обладнання;
- системи живлення (щити, ДБЖ).

8.6.2 Вимоги до розміщення обладнання АСКТП

Доступність та обслуговування

- Шафи керування повинні встановлюватися в приміщеннях з вільною доступністю для кваліфікованого персоналу (ширина проходу – не менше 0,8 м, перед щитами – не менше 1,0 м).

- Обладнання масою понад 30 кг слід монтувати на несучих конструкціях із передбаченням такелажних пристроїв.

- Для обладнання, що виділяє тепло (частотні перетворювачі, блоки живлення), необхідно забезпечити природну або примусову вентиляцію згідно з паспортними даними.

Захист від зовнішніх впливів

- Ступінь захисту оболонки шаф — не нижче IP54 (для чистих приміщень) або IP65 (для зон з пилом/вологою).

- Польове обладнання обирається зі ступенем захисту відповідно до класу зони за ПУЕ (IP54, IP65, IP67).

- У зонах з підвищеною вологістю або хімічною активністю додатково

передбачається герметизація кабельних вводів та встановлення корозійностійких матеріалів (AISI 304/316L).

Пожежна безпека

- Шафи керування повинні розташовуватися на відстані не менше 1,0 м від горючих матеріалів.

- Кабельні траси (лоточні, коробні системи) виконуються з негорючих матеріалів (метал).

- Для категорійних приміщень за вибухопожежною небезпекою застосовуються кабелі з оболонкою, що не поширює горіння (нг-LS, нг-HF).

8.6.3 Вимоги до електрообладнання та засобів захисту

Живлення та заземлення

- Всі металеві частини шаф, пультів, каркасів обладнання повинні бути надійно заземлені (головна заземлювальна шина).

- Електроживлення систем автоматизації виконується згідно з вимогами ПУЕ через роздільні автомати захисту.

- Для зниження завад в ланцюгах сигналізації та керування передбачається роздільне заземлення (силове / сигнальне).

Захист від аварійних режимів

- Електродвигуни та перетворювачі частоти повинні мати захист від короткого замикання, перевантаження (теплове реле, електронний захист), втрати фази.

- Інтегровані системи захисту АСКТП (ПАЗ) повинні дублювати автоматичне вимкнення при перевищенні критичних параметрів (температура обмоток, струм, вібрація).

Розрив усіх фаз

- Комунікаційні апарати (автомати, контактори) повинні забезпечувати одночасне відключення всіх провідників, що перебувають під напругою, у ланцюгах живлення двигунів.

Попереджувальна сигналізація

- При автоматичному або дистанційному пуску механізмів обов'язково

передбачається звукова та світлова передпускова сигналізація (час попередження — не менше 5 с).

Аварійне відключення

- Біля кожного механізму (або в зоні видимості) встановлюється апарат аварійного відключення (червоний грибоподібний вимикач) з фіксацією положення.

- Після спрацювання аварійного вимикача дистанційний та автоматичний пуск блокується до примусового повернення кнопки у вихідний стан.

Блокування мимовільного пуску

- Після тимчасового зникнення напруги — повторний пуск двигунів системи керування може виконуватися лише після ручного підтвердження оператором (за винятком критичних механізмів безперервного циклу, де самозапуск обґрунтований технологічним регламентом).

8.6.4 Особливості для частотно-регульованих приводів

- Кабелі між перетворювачем частоти та двигуном повинні мати екран (або броню), який заземлюється з обох кінців для зниження електромагнітних перешкод.

- Виробник перетворювача частоти повинен забезпечувати фільтри придушення радіоперешкод (згідно з EN 61000-6-3/4).

- Довжина силових кабелів обмежується технічними вимогами ПЧ (зазвичай $\leq 100\text{--}200$ м), або застосовуються вихідні дроселі.

- Потужні частотні перетворювачі (понад 30 кВт) слід розміщувати в окремих шафах з вентиляцією.

8.6.5 Вимоги до устаткування у вибухо- та пожежонебезпечних зонах

Вибухонебезпечні зони (класи В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг за ПУЕ)

- Електрообладнання (двигуни, датчики, світильники, розподільні коробки) повинно мати відповідний рівень вибухозахисту ($E_{x\ d}$, $E_{x\ e}$, $E_{x\ i}$, $E_{x\ t}$ тощо) згідно з ДСТУ EN 60079.

- Забороняється розміщувати в вибухонебезпечній зоні апарати з іскрящими контактами (реле, контактори) без оболонки $E_{x\ d}$ або $E_{x\ p}$.

- Максимальна температура нагріву поверхні двигуна/обладнання не повинна перевищувати температуру самозаймання газопарового середовища ($T_1 \dots T_6$).

- Кабельні вводи повинні мати вибухозахист (Ex d або Ex e).

Пожежонебезпечні зони (класи П-I, П-II, П-IIa)

- Ступінь захисту оболонки — не нижче **IP44** (для зон П-II, П-IIa — IP54).

- Контактні кільця двигуна та інші іскрячі вузли слід розташовувати на відстані не менше 1 метра від горючих речовин або відокремлювати екраном з негорючого матеріалу.

- Для вентиляції двигунів у пожежонебезпечних зонах забороняється використовувати повітря, що містить горючі пари, гази або пил.

8.6.6 Вимоги до засобів автоматики

- Контролери (ПЛК) повинні встановлюватися в закритих металевих шафах із доступом лише для уповноваженого персоналу.

- Кнопкові пости (пульти) з підлоги повинні мати корпус із ізоляційного матеріалу або надійно заземлюватися.

- Для реверсивних пусків передбачається механічне та електричне блокування контакторів (унеможливлення одночасного вмикання).

- Якщо механізм має кілька постів керування — повинно бути блокування (наприклад, ключ-селектор), що забороняє одночасне керування з різних постів.

- Для всіх кнопок аварійної зупинки передбачається фіксація положення та введення додаткового контакту в ПЛК для архівації факту аварійної зупинки.

8.6.7 Маркування та інструктаж

На корпусах апаратів керування (в тому числі на симуляторах та мнемосхемах SCADA) повинні бути чіткі знаки включено/вимкнено. Якщо положення рукоятки не визначає стан апарата однозначно, передбачається світлова індикація.

Усі працівники, які обслуговують, налагоджують або виконують ремонт систем автоматизації, повинні проходити:

- первинний та періодичний інструктаж з охорони праці;
- перевірку знань правил електробезпеки (група допуску не нижче III до 1000 В);
- ознайомлення з проєктною документацією та схемами.

Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу виробництва мармеладу. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ САК

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

В даному розділі проекту буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації. Вибір технічних засобів автоматизації був виконаний у розділі №5 даного дипломного проекту. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСУ будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури, розрідження, вологості.

Таблиця 9.1 – Рахунок на придбання засобів автоматизації.

№ п/п	Назва	К-ть	Ціна за одну штуку, грн.	Загальна вартість з ПДВ, грн.
1	SIMATIC S7-300 PS 307	1	3502	3502
2	SIMATIC S7-300, УСТАНОВОЧНИЙ АДАПТЕР ДЛЯ УСТАНОВКИ	1	237	237
3	SIMATIC S7-300, CPU 313C-2DP	1	20435	20435
4	SIMATIC S7-300, SM 331	1	6042	6042
5	SIMATIC S7-300, SM323	1	2464	2464
6	SIMATIC S7-300, SM332	1	5000	5000
7	SIEMENS SIMATIC S7 PC Adapter USB	1	516	516
8	Термометр опору типу ТСП градуювання 100П	2	180	360

9	Датчик вологості ДВ-УТ-03	2	361	722
10	Манометр ЕКМ-1У	1	600	600
11	Датчик тиску РС-28	1	7500	7500
12	Цифровий перетворювач частоти SINUS K	2	11200	22400
13	Електричні проведення	100	80	8000
14	Комп'ютер для SCADA	1	4000	4000
Всього				81778

Стартові інвестиції в нову техніку розраховуються за формулою:

$$IC_{\text{перв}} = [(C_{\text{пр}} + C_{\text{пр}} \cdot H_{\text{м}} + C_{\text{пр}} \cdot H_{\text{т}}/100 + C_{\text{пр}} \cdot H_{\text{тр}}/100) + (C_{\text{пр}} + C_{\text{пр}} \cdot C_{\text{т}}/100 + C_{\text{пр}} \cdot C_{\text{тр}}/100) \cdot C_{\text{зс}}/100] = C_{\text{пр}} \cdot 1,165$$

$C_{\text{м}}$ – витрати на монтаж обладнання, $C_{\text{м}} = 0.1$; $C_{\text{т}}$ – витрати на тару та упаковку, $C_{\text{т}} = 0,25\%$; $C_{\text{тр}}$ – витрати на транспортування обладнання, $C_{\text{тр}} = 5\%$; $C_{\text{зс}}$ – заготувально-складські роботи, $C_{\text{зс}} = 1,2\%$ Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на інтелектуальне ядро САР і витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи регулювання:

$$IC_{\text{перв}} = 1,165 \cdot 81778 = 95271 \text{ (грн)}$$

Модернізація системи автоматичного регулювання здійснюється за рахунок власних засобів підприємства.

9.2. Розрахунок витрат на виробництво продукції до і після модернізації системи управління

Таблиця 9.2 – Вхідні дані для розрахунку ефективності впровадження системи автоматизації

№	Параметри	Од.вим.	Значення
1	Обсяг готової продукції за рік (виробництва мармеладу)	кг	50 000
2	Вартість 1 кг мармеладу	грн	40
3	Собівартість продукції за сезон		1 650 000
4	Кількість браку до модернізації	%	8
5	Кількість браку після модернізації	%	2

Визначимо розмір браку до і після впровадження САР

$$Br1 = OB_{г} * K_{бр1} = 50\,000 * 0,08 = 4000 \text{ кг};$$

$$Br2 = OB_{г} * K_{бр2} = 50\,000 * 0,02 = 1000 \text{ кг}.$$

Визначимо об'єм реалізованої продукції

$$OP1 = (OB_{г} - Br1) * Цед.прд. = (50\,000 - 4000) * 40 = 1\,840\,000 \text{ грн}$$

$$OP2 = (OB_{г} - Br2) * Цед.прд. = (50\,000 - 1000) * 40 = 1\,960\,000 \text{ грн}$$

Собівартість продукції до впровадження САР, за даними підприємства, складає:

Сп1 = 1 650 000 грн. Після впровадження САР собівартість продукції збільшиться та розраховується за формулою:

$$Сп2 = Сп1 + \Delta З$$

Визначимо прибуток до і після впровадження САР

$$П1 = OP1 - Сп1 \quad П1 = 1\,840\,000 - 1\,650\,000 = 190\,000 \text{ грн}$$

$$П2 = OP2 - Сп2 \quad П2 = 1\,960\,000 - 1\,697\,635 = 262\,365 \text{ грн}.$$

9.3. . Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості

Визначимо приріст прибутку, отриманий після впровадження САР

$$\Delta П = П2 - П1 \quad \Delta П = 262\,365 - 190\,000 = 72\,365 \text{ грн}.$$

Розрахунок зміни основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування і інвестиційної привабливості Рентабельність = Прибуток / Собівартість * 100%;

Таблиця 9.3 – Економічні показники

Показники	До авт.	Після авт.	Відхилення
1.Реалізована продукція, грн.	1 840 000	1 960 000	120 000
2.Повна собівартість, грн.	1 650 000	1 697 635	47 635
3.Прибуток від реалізації, грн.	190 000	262 365	72 365
Рентабельність, %	11,5	14,4	2,9

Приріст чистого прибутку розраховується за формулою:

$$\Delta ЧП = (\Delta П - \Delta З_{\text{а}}) * (1 - H_{\text{п}})$$

$$\Delta ЧП = (72365 - 47635) * 0,82 = 19784 \text{ грн.}$$

$H_{\text{п}}$ - податок на прибуток (18%)

Чистий грошовий потік розраховується за формулою: $ЧГП = \Delta ЧП + \Delta З_{\text{а}}$

$$\times \bar{A} \bar{I} = 19784 + 47635 = 67419 \text{ грн.}$$

9.4 Висновки за розділом:

Виходячи з вищезазначених розрахунків, мій проект є інвестиційно привабливим, адже чистий грошовий потік за період реалізації проекту більше нуля та дорівнює 67419 грн., а термін окупності менше нормативного.

ВИСНОВКИ

Технологічний процес варіння є одним із ключових етапів виробництва мармеладу, тому саме його модернізація здатна забезпечити відчутний економічний ефект. За результатами аналізу господарської діяльності підприємства та перебігу технологічного процесу встановлено, що вдосконалення саме цієї ділянки дозволить суттєво покращити техніко-економічні показники виробництва — насамперед скоротити втрати від браку готової продукції.

Для досягнення поставленої мети в рамках впровадження модернізованої мікропроцесорної системи керування передбачено: підвищення якості регулювання рівня конденсату та тиску в апараті, вдосконалення існуючих алгоритмів логічного керування, а також заміну застарілої елементної бази на сучасні засоби автоматизації.

З метою розв'язання задачі регулювання виконано ідентифікацію математичної моделі процесу варіння мармеладу як об'єкта керування. Ідентифіковано канали управління та перехресні канали, за результатами чого встановлено, що всі досліджувані канали мають статичні властивості — властивості самовирівнювання, що обумовлено фізичною природою процесів у варочному котлі. Побудовані структурні схеми моделювання та результати їх реалізації підтвердили достатній ступінь адекватності отриманих передавальних функцій, що свідчить про коректність проведеної параметричної ідентифікації.

За результатами синтезу системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності отримано систему, яка перевершує базову структуру як за динамічною точністю, так і за робастністю. Введення коригувальних зв'язків у контур регулювання забезпечило суттєве підвищення динамічної точності, стійкості та працездатності системи при змінах параметрів об'єкта керування. З огляду на це, застосування розробленої системи підвищеної динамічної точності є обґрунтованим і доцільним. Отримано цифрові аналоги алгоритмів регулювання для подальшого використання.

У ході розробки алгоритмів логічного керування процесом варіння мармеладу складено регламент функціонування та алгоритм автоматичного керування робочим циклом варочного котла, розроблено функціональну логічну схему, виконано імітаційне моделювання розроблених алгоритмів у середовищі MATLAB.

При виборі технічних засобів контролю та керування проаналізовано умови експлуатації обладнання та специфіку взаємодії засобів автоматизації з технологічним середовищем і обслуговуючим персоналом. На підставі цього аналізу підібрано технічні засоби, що забезпечують належне керування процесом варіння. Класи точності вимірювальних приладів та їх діапазони відповідають виробничим умовам, що гарантує достовірність інформації для оператора. Належний ступінь захисту обладнання від температурних впливів та використання уніфікованих сигналів 4...20 мА забезпечують високу якість керування.

У межах розробки контролерно-комп'ютерної мережі сформовано перелік вхідних та вихідних сигналів інтелектуального ядра системи керування. Відповідно до цього переліку розглянуто два варіанти побудови ядра: на базі контролера Fastwel I/O та контролера Siemens SIMATIC S7-300. Набуто практичних навичок конфігурування та програмування обох контролерів — у середовищах Codesys та Step-7 відповідно. Реалізовано систему регулювання тиску в апараті та рівня конденсату, а також вдосконалено блок ПД-регулятора.

Розроблено та протестовано програму, що реалізує алгоритм логічного керування циклом роботи варочного котла. Тестування підтвердило коректність функціонування програмного забезпечення.

В середовищі SCADA-системи WinCC Flexible розроблено програмний інтерфейс АРМ оператора та наладчика системи автоматичного керування процесом варіння мармеладу. АРМ забезпечує контроль перебігу технологічного процесу, задання режимів роботи, перемикання між автоматичним і ручним

режимами керування, налаштування та налагодження САУ, відображення динаміки зміни технологічних параметрів, ведення журналів подій та адміністрування користувачів. Розглянуто інтеграцію системи з мережею контролерів SIMATIC S7-300.

Для підготовки до технічної реалізації розроблено ескізну проєктну документацію на модернізовану систему автоматичного керування, що включає схему автоматизації та принципові електричні схеми щита керування і живлення. Також опрацьовано питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час експлуатації й обслуговування модернізованої системи керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
2. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.
3. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
4. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.
5. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. — К.: НУХТ, 2011. — 68 с.
6. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-т харч. технологій. — Вид. 2-ге, випр. — Київ : Ліра-К, 2017. — 378 с. — Бібліогр.:с. 376-377.
7. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ :Ліра-К, 2017. — 344 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 341.
8. Муратов В.Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади. Навчальний посібник. Видання 2-е, доповнене. Київ. Освіта України. 2016. 362с.
9. Муратов В.Г. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» для студентів проф. напрямку підготовки 6.050202 усіх форм навчання. Укладач В.Г. Муратов - Одеса. ОНТУ. 2022 - 22с.

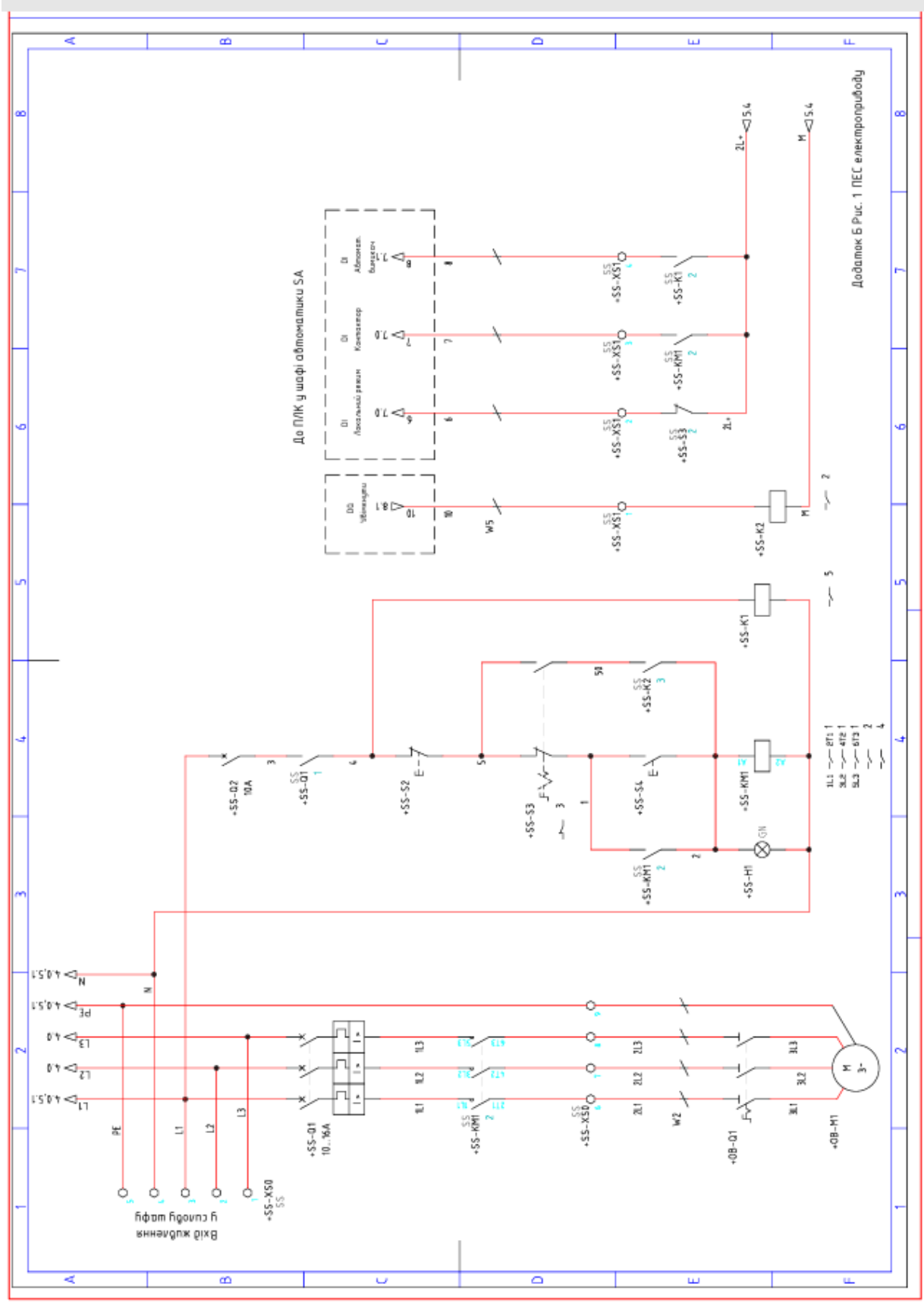
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації
Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

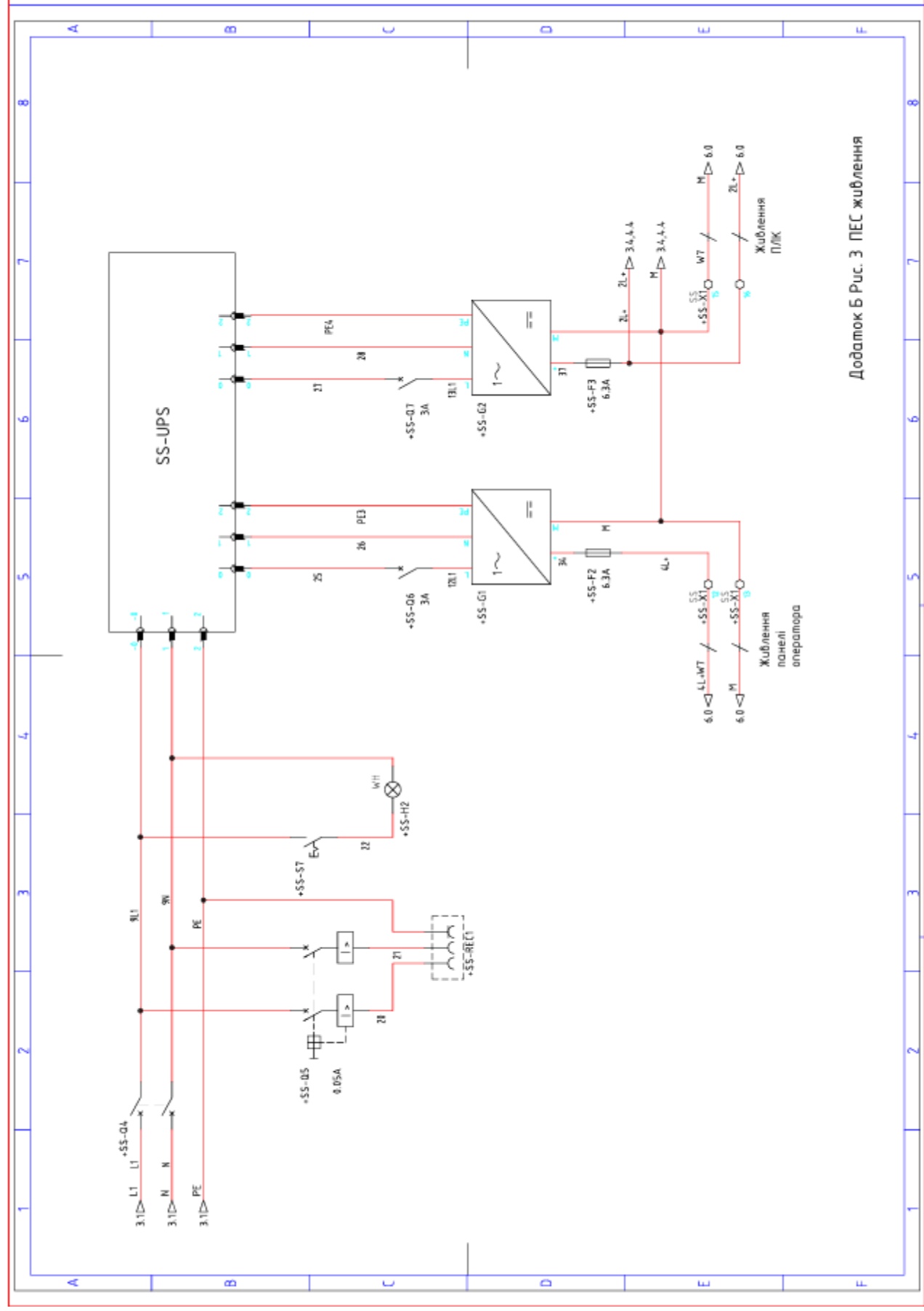
Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
LY/5	Датчик рівня EASYTREK SP 500	1	
PY/6	Датчик тиску VEGABAR 18	1	
PS/8	Датчик-реле тиску Danfoss BCP4H	1	
TS/9	Датчик-реле температури Danfoss RT-107	1	
LCV/6, TCV/:	Регулюючий клапан RV-210 DN32 PN16 з електроприводом RTN 2 Ekorex	2	
LV3, LV4	Електромагнітний клапан CEME 8617	2	
TV7	Електромагнітний клапан SV-SH-ES-22NC-50	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
PC/5, LC 6 KS/1... KS/6	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/6	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/5	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	5	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	5	

ДОДАТОК Б Документація до принципів електричних схем
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної
схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q1	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1НЗ Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	
Q5	MITSUBISHI CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1А, 5x20мм K206: 10921	1	
PS/8	Датчик-реле тиску Danfoss BCP4H	1	
TS/9	Датчик-реле температури Danfoss	1	

	RT-107		
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
K1, K2 K3	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	3	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00- 0AB0)	1	
LY/5	Датчик рівня EASYTREK SP 500	1	
PY/6	Датчик тиску VEGABAR 18	1	
	<u>AO</u>		
PLC4	Модуль AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00- 0AB0)	1	
LCV/6, TCV/:	Регулюючий клапан RV-210 DN32 PN16 з електроприводом RTN 2 Ekorex	2	





Додаток Б Рис. 3 ПЕС житлення