

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



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**на тему «Автоматизація процесу керування стерилізацією консервів у тарі»**  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Д.В. Лобунець  
(прізвище, ініціали)  
4 курсу А-40 групи

Керівник доцент В.А. Хобін  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:

\_\_\_\_\_

(посада, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(посада, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС \_\_\_\_\_  
(назва кафедри) (підпис) Підпис

І.М. Світий  
(ПІБ)

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</u> .
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і</u> <u>робототехнічних систем</u> .
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u> .
Спеціальність	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані</u> <u>технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> <u>автоматизації</u> .

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. зав. кафедри АТПіРС  
В.М. Левінський

«23» листопада 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

**Здобувач Лобунець Дмитро Вікторович**

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування стерилізацією консервів у тарі»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Хобін Віктор Андрійович, д.т.н. професор  
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
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. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.  
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК.  
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.  
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	<i>Керівник КРБ за наказом</i>		
Розділи 2, 3	<i>Керівник курсової роботи з ТАУ</i>		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	<i>Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС</i>		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«04» березня 2024 р.	
Розділ 2	«18» березня 2024 р.	
Розділ 3	«01» квітня 2024 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2024 р.	
Розділ 5	«29» квітня 2024 р.	
Розділ 6	«13» травня 2024 р.	
Розділ 7	«27» травня 2024 р.	
Розділ 8	«03» червня 2024 р.	
Розділ 9	«10» червня 2024 р.	

Здобувач Лобунець Д.В.

Керівник роботи Хобін В.А.

*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 Лобунець Д.В.

Прізвище, ініціали

Підпис

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Лобунця Дмитра Вікторовича «Автоматизація процесу керування стерилізацією консервів у тарі» викладена на 118 сторінках, кількість таблиць 17, рисунків – 98, додатків - 4, джерел з переліку посилань - 18.

*Ключові слова:* автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

*Об'єкт розробки* – система автоматичного керування процесом *стерилізації*.

*Мета роботи* – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування *стерилізації в автоклаві*, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

*Методи дослідження* – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, імітаційного моделювання.

*Отримані результати* – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ .....	2
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА .....	2
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН .....	3
ВСТУП .....	10
1.Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	11
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів .....	11
1.1.1. Короткий опис підприємства, характеристика виробничої і господарської діяльності .....	11
1.1.2. Узагальнений опис технологічного процесу стерилізації консервів .	12
1.1.3. Опис конструкції автоклаву та особливостей його експлуатації. ....	13
1.1.4. Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.....	15
1.1.5. Параметризація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей. ....	16
1.1.6. Виявлення нормативів ведення стерилізації і роботи автоклаву. ....	17
1.1.7. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски. ....	18
1.1.8. Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення процесу стерилізації та експлуатації автоклаву.....	19
1.1.9. Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми. ....	20
1.2. Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК .....	20
1.2.1. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи .....	20
1.2.2. Конкретизація мети модернізації системи.....	21
1.3. Висновки до розділу .....	21
Провели опис та параметризацію ТП, після чого склали таблицю регламентів .....	21

яка визначає основні параметри та режими роботи обладнання, а також .....	21
формалізовану параметричну схему, яка наочно ілюструє взаємозв'язок між .....	21
різними елементами системи. Наступним етапом роботи є аналіз існуючого рівня автоматизації та виявлення потенційних джерел економічної ефективності. На основі отриманих даних було виявлено кілька ключових напрямків для підвищення ефективності роботи системи.....	21
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання .....	22
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	22
2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання.....	23
2.2.1. Априорний аналіз фізичної суті моделювання впливу змін вхідних змінних каналів регулювання та контрольованих збурень на їх вихідні змінні. Загальні властивості каналів об'єкта ОР .....	23
2.2.2. Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного та (або) уявного експериментів. ....	23
2.2.3. Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей). .....	24
2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання.....	31
2.4. Реалізація математичних моделей на ПЕОМ у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу.....	33
2.4.1. Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками .....	34
2.4.2. Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності .....	38
2.4.3. Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей вхідних дій і підтвердження їх адекватності .....	39
2.5. Висновки до розділу .....	46
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР .....	48

3.1.	Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.....	48
3.2.	Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	50
3.2.1.	Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її базової конкретної структури. ....	50
	Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а с ПІД-регулятором - на рис. 3.6. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.7. ....	51
3.2.2.	Розрахунок початкових наближень налаштувань регуляторів.....	52
3.2.3.	Проводимо розробку та налаштування схеми моделювання САР з ПІ-та ПІД-регуляторами.....	53
3.2.4.	Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК.....	58
3.3.	Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	64
3.3.1.	Аналіз особливостей регульованого об'єкта, що знижують динамічну точність.....	64
3.3.2.	Розробка, реалізація та налагодження імітаційної моделі коригуючого зв'язку і САР в цілому .....	65
3.3.3.	Перевірка САР підвищеної динамічної точності на грубість.....	70
3.4.	Висновки до розділу .....	71
4.	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	72
4.1.	Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій.....	72
4.2.	Формалізація регламентів функціонування циклу роботи автоклаву та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис	73
4.4.	Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис .....	77
5.	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі .....	79
5.1.	Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	79

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	81
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	84
5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	85
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	93
6.1. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	93
6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування .....	95
6.3. Розробка програм переміщення робочого органу робота .....	98
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	99
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога	99
7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	99
7.2.1. Шаблон екранів. ....	99
7.2.2. Мнемосхема ділянки. ....	101
7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів. ....	102
7.2.4. Діагностичні повідомлення. ....	103
7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК ..	103
7.4. Висновок за розділом .....	104
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці .....	105
8.1. Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	105
8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи .....	105
8.3. Розробка принципів схем.....	106
8.4. Охорона праці.....	106
9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності .....	110
впровадження модернізованої САК.....	110
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації .....	110

9.2. Розрахунок витрат на виробництво продукції до і після модернізації системи управління .....	111
9.3. . Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості .....	112
9.4 Висновки за розділом.....	113
Літературні Джерела .....	116

## ВСТУП

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

Аналіз виробничої ситуації на ділянці стерилізації в автоклаві 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 розпочинати з підвищення динамічної точності алгоритмів автоматичного регулювання. Доцільно розробити алгоритми автоматичного логічного керування. Значне покращення якості керування здатна дати докорінна модернізація елементної бази системи керування, в основу якої буде покладена контролерно-комп'ютерна мережа.

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

## **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**

#### **1.1.1. Короткий опис підприємства, характеристика виробничої і господарської діяльності**

ОДЕСЬКИЙ КОНСЕРВНИЙ ЗАВОД – підприємство консервної промисловості. Заснований в 1919 у результаті націоналізації приватної харчової фабрики та переобладнання військових казарм у Водопровідному провулку Одеси.

1933 на заводі введено в дію перший вітчизняний вакуум-концентратор із тепловим насосом.

1940 виготовлено 27 млн умовних банок рибних та овочевих консервів, зокрема 18,4 млн томат-пасти, що крім радянського ринку, експортували у країни Європи та США.

Під час 2-ї світової війни 1941 частину устаткування заводу евакуйовано у Поволжя (РФ), майже всі виробничі приміщення зруйновано, лінію для первинного перероблення томатів та випарну апаратуру вивезено до Німеччини. Відбудову підприємства розпочато 1944 після визволення міста і в тому ж році вироблено першу післявоєнну продукцію.

1959 внаслідок приєднання до заводу 3-х радгоспів із Біляївського, Овідіопольського та Роздільнянського районів Одеської області утворився Одеський консервний комбінат. До його складу у 1970 входили 5 основних цехів (овочево-м'ясний, дієтичних консервів, обрушувальний та 2 томатні), допоміжні (жерстяно-банковий, ящиківий, фабрикатний та холодильний), а також 5 радгоспів овочево-плодовиноградного напрямку із загальною земельною площею 16,3 тис. га.

Продукція комбінату: консерви ( В1969 їх виготовлено 60,9 млн умовних банок) – м'ясні, м'ясо-рослинні, овочевозакусочні, перші обідні страви тощо, а також халва. На підприємстві вперше в СРСР розроблено й впроваджено нову технологію пасивації жерстяної тари (покривання її оксидами металів, щоб запобігти корозії), нову конструкцію розвантажувача автоклавних корзин із банками (т. зв. розвантажувач-орієнтатор), створено лінію сушіння

томатного насіння, впроваджено нову технологічну схему виготовлення халви, потоко-механізовані лінії виробництва овочевих консервів та ін.

З відновленням незалежності України 1991 підприємство не лише не скоротило обсяги випуску, а й значно розширило асортимент продукції. Від 1998 – ЗАТ, від 2010 – ПрАТ «ВО “О. к. з.”». Має повний цикл виробництва: вирощування овочів на полях, їх перевезення, виготовлення тари та упаковки, випуск готової продукції, яку реалізує під торг. марками «Господарочка» (від 2002), «Союз-Агро» та «Союз морів» (обидві – від 2010).

У структурі – 4 виробничих комплекси: з виготовлення халви в асортименті (в упаковці від 30 г до 5 кг), різноманітність консервованих овочів, томат. пасти, кабачкової та баклажанної ікри, різних видів квасолі; з виробництва зеленого горошку та цукрової кукурудзи в жерстяних і скляних банках «СКО» та «Твіст»; сокове виробництво, де відбувається перероблення фруктів та томатів із подальшим використанням під час виготовлення пастеризованих соків, нектарів, а також соусів, кетчупів, томатної пасти в упаковці «дойпак»; рибопереробний комплекс – понад 20 видів рибних консервів, зокрема шпроти натурал. копчення та шпроти паштет.

Окрім того, підприємство здійснює заморожування овочів для потреб власного виробництва, а також з метою реалізації іншими виробниками. Продукцію експортує у 14 країн Європи, Азії та США. Кількість працівників (2021) – близько 800 осіб. Тривалий час підприємство очолює В. Шильберг.

### **1.1.2. Узагальнений опис технологічного процесу стерилізації консервів**

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Стерилізація полягає у знезараженні продукту під впливом високої температури, що передається від пари. Технологічний процес реалізується у внутрішній камері автоклаву. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

Камеру автоклаву перед завантаженням підігрівають до температури 30° С. Потім консерви, що завантажуються підсушують при температурі  $t=45^{\circ}\text{C}$  протягом часу, заданого технологічного режиму. Після підсушування температуру в камері підвищують до значення, необхідного для протікання процесу стерилізації при температурі 100°С і вище. Тривалість стерилізації визначається видом продукту.

При стерилізації консервів основне значення мають два фактори – температура та тривалість її впливу. Чим вище температура стерилізації, тим

менше часу потрібно щоб знищити мікроби, і навпаки. Температурний режим підтримується водяною парою, що нагрівається в калориферах до температури, заданої режимом стерилізації.

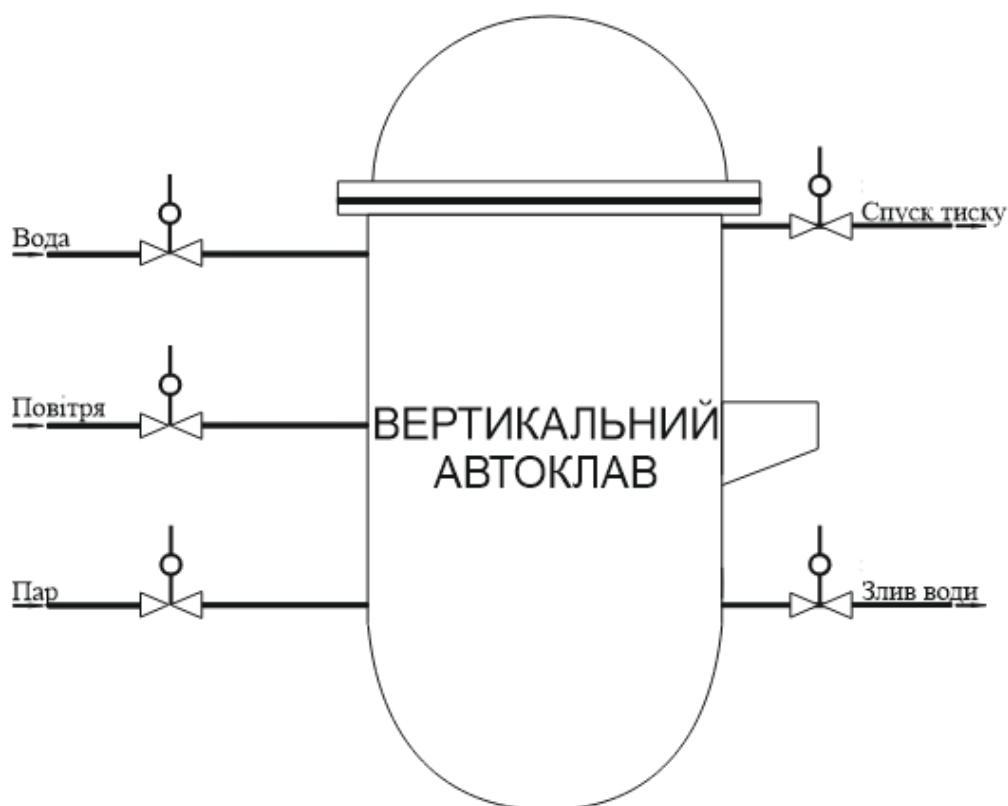


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу стерилізації

Передбачається контроль та регулювання тиску пари (0 - 300 кПа) та повітря (0 - 500 кПа) в трубопроводах, температури (20-180<sup>0</sup>С) всередині автоклаву, програмне керування циклами нагріву.

Закінчується все охолодженням до температури (30 - 40 ° С), що дозволяє скинути тиск і розвантажити автоклав.

### 1.1.3. Опис конструкції автоклаву та особливостей його експлуатації.

Автоклави вертикальні Б6-КАВ-2 (двошкошковий) (рис. 1.2), і Б6-КАВ-4 (чотирьохшкошковий) періодичної дії з циліндричними кошиками призначені для стерилізації плодово-овочевих, м'ясних і рибних консервів у скляній та металевій тарі.

Автоклави застосовуються на консервних підприємствах, у переробних цехах, у фермерських господарствах та ін. виробників консервів.

Особливість експлуатації автоклаву свідчить, що наш об'єкт керування періодичної дії – продукт випускається окремими партіями.

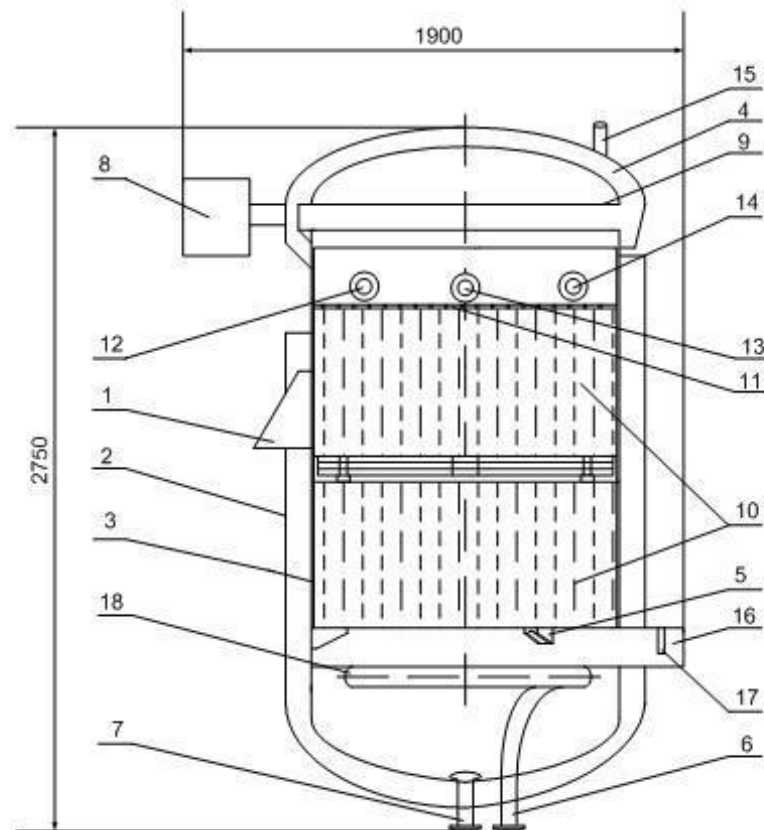


Рис. 1.2 – Конструкція автоклаву

1 – опора; 2 – корпус; 3 – термоізоляція; 4 – кришка; 5 – кронштейни; 6 – патрубок; 7 – зливальний патрубок; 8 - противага; 9 – фланцевий затвор; 10 – автоклавні кошики; 11 – розсіювач; 12 – подача стисненого повітря; 13 – злив зверху; 14 – подача холодної води; 15 – запобіжний клапан; 16 – коробка; 17 – місце підключення датчиків (термометр, манометр); 18 – барботер.

Номінальне споживання установки, потужність, габарити – все це залежить від комплектації та бажаного об'єму обробки продукту (таблиця 1.1).

В автоклаві для підвищення температури та створення тиску використовується водяне середовище, яким заповнюється міжстінний простір (водопарова камера). Після вибору технологічного (робочого) циклу робочій камері автоклава створюється з періодичним прогріванням вакуум, відбувається ефективно видалення повітря і конденсату робочої камери.

При нагріванні водяна пара надходить у камеру, підвищуючи в ній тиск і температуру відповідно до заданих параметрів, і починається фаза стерилізації. При трансформації вологи в газ формується надлишковий тиск. В процесі зростаючої температури випаровування припиняється.

Підвищений тиск автоклаві компенсує температурне розширення продукту.

Такі умови дають змогу прискорити реакцію, а також збільшити вихід продукту. Після закінчення стерилізаційної витримки в камері автоклава скидається тиск і починається етап вакуумної пульсуючої сушіння виробів, а волога, що залишилася, миттєво випаровується при високій температурі і негативному тиску.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики автоклавів

Назва параметра або розміру	Одиниця вимірювання	Марка автоклава	
		Б6-КАВ-2	Б6-КАВ-4
Кількість кошиків	шт.	2	4
Місткість корисна, не менше	м <sup>3</sup>	1, 07	2, 14
Місткість корисна кошика, не менше	м <sup>3</sup>	0, 535	
Робочий тиск, не більше	МПа	0, 343	
Максимальна температура стерилізації	°С	130	
Допустима температура стінки	°С	150	
Нерівномірність температурного поля в період власне стерилізації, не більше ніж	°С	2	
Кінцева температура води в автоклаві під час стерилізації, не більше ніж	°С	40	
Швидкість підймання температури грюючого середовища в автоклаві, не менше	°С/хв	4	
Витрата води	м <sup>3</sup> /цикл	3,9	6, 1
Витрата пари	кг/цикл	306	532, 4
Витрата стисненого повітря	м <sup>3</sup> /цикл	27	33, 5
Номінальний внутрішній діаметр корпусу	мм	1000	
Габаритні розміри довжина ширина висота	мм	2 380	
		1 650	
		2 750	4 200
Маса, не більше ніж	кг	1 620	2 320
Місткість одного кошика 0,5 л скляна банка 1 л скляна банка 3, 0 л скляна банка	шт.	450 220 50	

#### 1.1.4. Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес

Мета ведення процесу стерилізації – отримання готового продукту із заданими показниками якості. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес стерилізації доцільно реалізовувати, якщо:

- забезпечується збереження фізичних якостей продукту;
- продуктивність не менше 500 кг/год;
- в результаті отримуємо повне знищення мікроорганізмів;
- присутнє місце для відвантаження готового продукту.

### 1.1.5. Параметризація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Технологічний процес стерилізації є тепловим процесом, пов'язаним з передачею тепла від пари шляхом його конденсації на стінках банок. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є заповнення автоклава продуктом. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3.

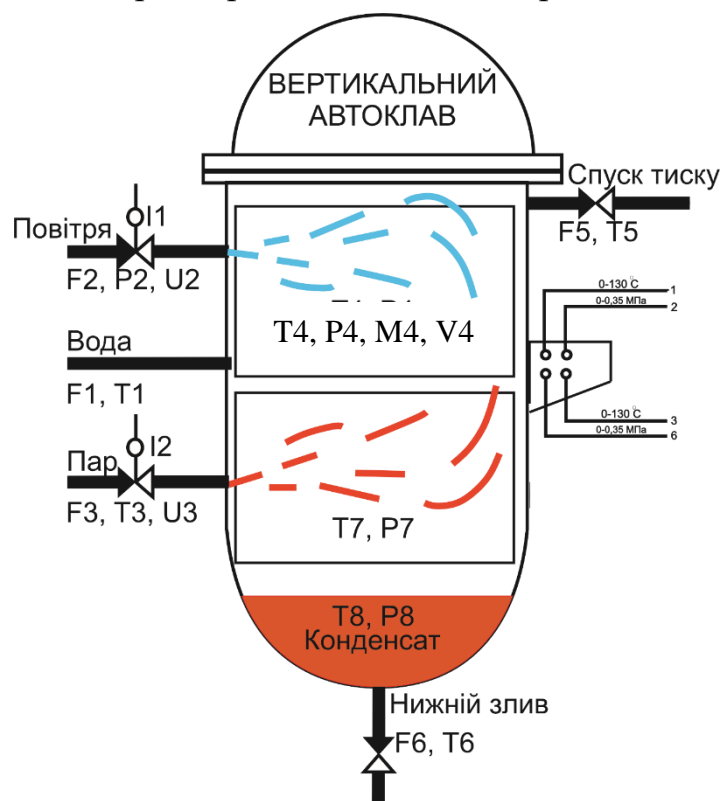


Рис. 1.3 – Параметризована технологічна схема процесу стерилізації

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

P4, T4 – початкова та кінцева температура та тиск всередині автоклаву;

T7, P7 – температура та тиск всередині автоклаву під час стерилізації;

F1, T1 – витрати та температура води при подачі в автоклав;

F2, P2 – витрати та тиск повітря на початку;

F3, T3 – витрати та температура пари на початку;

U2, U3 – положення засувки подачі повітря та пари відповідно;

F5,6, T5,6, P5,6 – витрати, температура та тиск енергоносіїв після стерилізації;

F8, T8 – витрати та температура конденсату;

M4 – маса продукту;

V4 – тип тари продукту;

### 1.1.6. Виявлення нормативів ведення стерилізації і роботи автоклаву.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу стерилізації консерви таким параметром є: T7, P7 – температура та тиск всередині автоклаву під час стерилізації. А також час стерилізації. Все це відбувається згідно формули та режиму стерилізації (рис.1.4).

$A-C(a \cdot b \cdot c)/t \cdot d$

A — тип тари

C — об'єм тари, мл;

a — час виходу на режим стерилізації, хв;

b — час витримки на режимі стерилізації, хв;

c — час охолодження, хв;

d – величина протитиску, кПа;

t – температура стерилізації, °C.

$$I-500 \frac{25-50-25}{120} \cdot 250$$

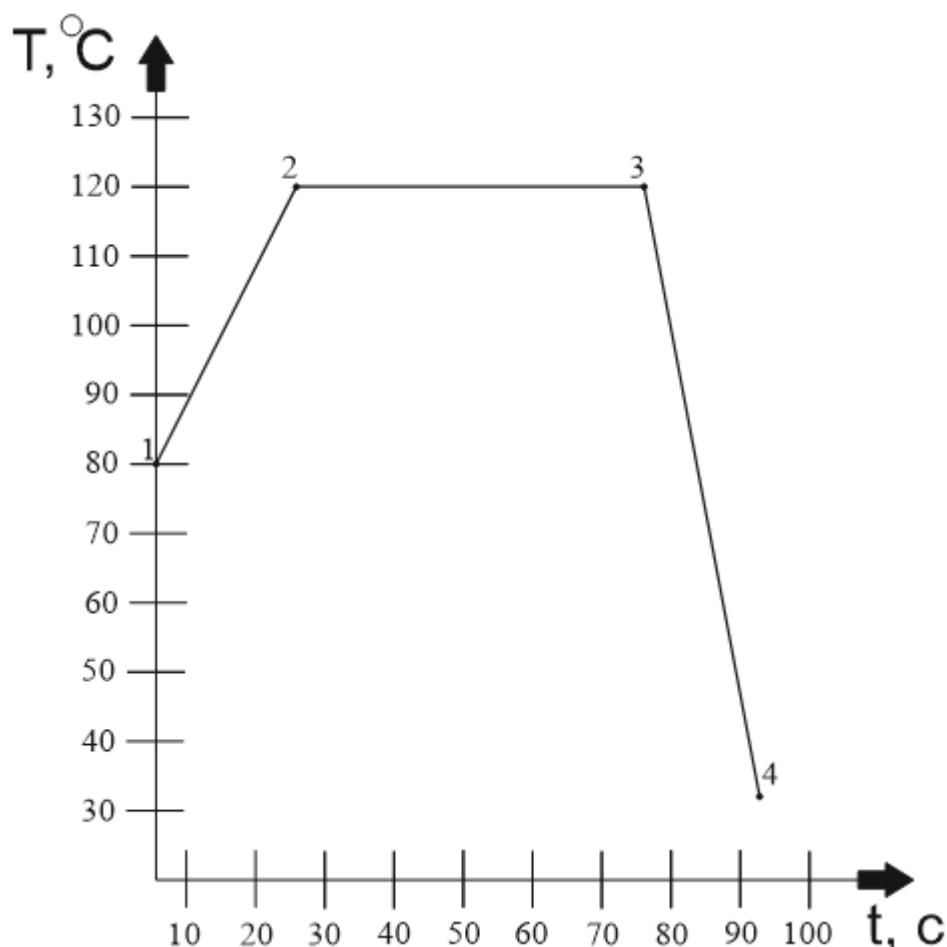


Рис. 1.4 – Режим стерилізації кабачкової ікри в автоклаві

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для автоклаву таким параметром є тиск пари та повітря в клапанах І1 та І2.

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести: F5,6 , T5,6 –витрати та температуру енергоносіїв, а також параметри конденсату F8,T8.

### **1.1.7. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.**

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Відхилення температури стерилізації нижче гранично припустимих значень може призвести до недостерилізації продукту, а перевищення температури верхнього гранично припустимого значення може призвести до пригорання продукту. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

Відхилення тиску продукту від регламентних допусків у меншу сторону може привести до закипання продукту всередині банок та до взриву тари. Перевищення тиску гранично припустимого значення приведе до взриву тари та можливий пригар продукту.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короткочасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.2.

Таблиця 1.2 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
						Величина	Величина
1	Температура консерви на етапі стерилізації	T	°C	120	±1,5	±6	60 с
2	Тиск в автоклаві на етапі стерилізації	P	кПа	250	±2,5	±12	60 с
3	Температура консерви на етапі нагріву	T1	°C	80-120	1-2	–	25 хв
4	Тиск в автоклаві на етапі нагріву	P1	кПа	100-250	$Const_{1-2} \cdot T_{1-2}$	–	25 хв
5	Температура консерви на етапі охолодження	T2	°C	120-30	3-4	–	25 хв
6	Тиск в автоклаві на етапі охолодження	P2	кПа	250-100	$Const_{3-4} \cdot T_{3-4}$	–	25 хв

### 1.1.8. Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення процесу стерилізації та експлуатації автоклаву.

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 певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо: T4 – температура консерви при завантаженні, тип тари V4 та її масу з продуктом M4

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: U2, U3 – положення засувки подачі повітря та пари відповідно.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо:  $F1$ ,  $T1$  – витрати і температура води;  $F2$ ,  $T2$  – витрати та тиск повітря;  $F3$ ,  $T3$  – витрати і температура пари.

### 1.1.9. Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування об'єкту моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкту - вхідними.

Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні, згодом деякими зв'язками можна буде знехтувати, деякі представити опосередковано. Параметрична схема процесу стерилізації наведена на рис. 1.5.

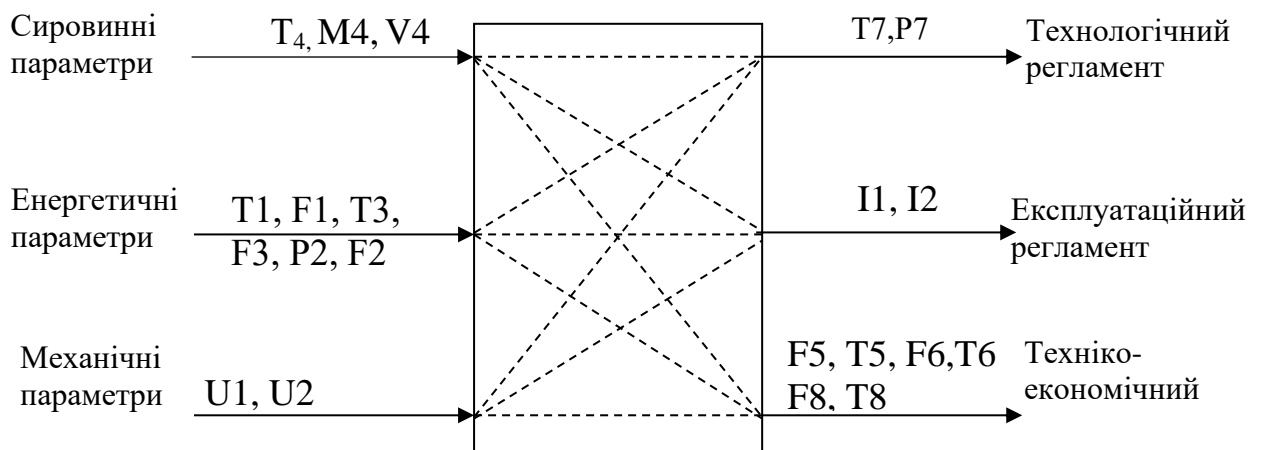


Рис. 1.5 – Параметрична схема процесу стерилізації

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

### 1.2.1. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи

Точність підтримання рівня температури в камері автоклаву забезпечує необхідну для процесу термообробку продукту аби знищити шкідливі мікроорганізми. Підтримання тиску в апараті забезпечить задані технологією температурні режими обробки сировини.

Недотримання регламентів за обома регульованими координатами призведе до збільшення виходу браку готової продукції. Отже, у процесі функціонування системи управління процесом стерилізації кабачкової ікри основними джерелами підвищення ефективності процесу є зменшення втрат від браку готової продукції.

Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності зведемо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Вирішувані задачі

Основні витрати	Очікуваний джерело економії	Кількісна оцінка
Втрати від браку готової продукції	Стабілізація температури продукту та тиск в апараті	Відсоток браку – 8%, після модернізації – 2%

### 1.2.2. Конкретизація мети модернізації системи

Економічною метою дипломної роботи є підвищення конкурентоспроможності основних показників економічної діяльності підприємства за рахунок заходів з підвищення якості готової продукції шляхом впровадження модернізованої системи управління.

Система управління процесом стерилізації кабачкової ікри реалізується на базі технічних засобів, ПК та МПК.

Система повинна реалізовувати такі функції:

а) інформаційні: збір та обробка інформації; оперативне відображення інформації; зберігання інформації;

б) керуючі: стабілізація технологічних параметрів; логічне керування ходом технологічного процесу; ручне (дистанційне) керування технологічним процесом; вибір режимів керування.

### 1.3. Висновки до розділу

Провели опис та параметризацію ТП, після чого склали таблицю регламентів

яка визначає основні параметри та режими роботи обладнання, а також формалізовану параметричну схему, яка наочно ілюструє взаємозв'язок між

різними елементами системи. Наступним етапом роботи є аналіз

існуючого рівня автоматизації та виявлення потенційних джерел економічної ефективності. На основі отриманих даних було виявлено кілька ключових напрямків для підвищення ефективності роботи системи.

## **2. Розробка концептуальної моделі об'єкта 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**

Для процесу стерилізації консервів в якості регульованої координати доцільно обрати температуру в камері автоклаву (Т) та тиск в камері автоклаву (Р).

Для задач регулювання управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів.

Регулювання температури та тиску відбувається за допомогою регулювальних органів і керуючих впливів, які буде виражено в % ходу регулюючого органу (% х.р.о.).

Отже виділимо два регулюючі впливи :

- $u_1$  – положення регулюючого органу, який регулює подачу пари в касеру автоклаву;
- $u_2$  – положення регулюючого органу, який регулює подачу стисненого повітря в камеру автоклаву.

У процесі класифікації збурень не було виявлено таких, які доцільно віднести до контрольованих. Так як процес стерилізації періодичний в закритому середовищі – неконтрольовані збурення будуть мінімальними. Тому всі збурення було зведено до двох векторів неконтрольованих збурень  $f_1$  та  $f_2$

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК. Структурна схема процесу кондиціонування повітря наведена на рис. 2.1.

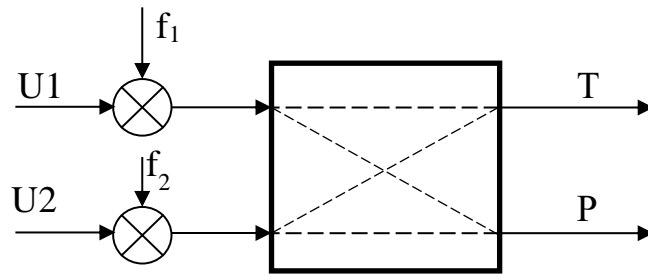


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу стерилізації як об'єкту регулювання

## 2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання

### 2.2.1. Априорний аналіз фізичної суті моделювання впливу змін вхідних змінних каналів регулювання та контрольованих збурень на їх вихідні змінні. Загальні властивості каналів об'єкта ОР

Технологічний процес стерилізації за каналами управління, має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим. Збільшення управляючої дії приведе до збільшення температури стерилізації (регульованої координати).

Так як процес, що протікає в ОК, тепловий, ці він може бути описаний нелінійним диференціальним рівнянням. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температури стерилізації як регульованої координати. Тому для спрощення задачі процес опишемо лінійним диференціальним рівнянням, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

### 2.2.2. Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурального та (або) уявного експериментів.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням  $u_2 = 60 \text{ \%x.p.o.}$  та  $u_3 = 60 \text{ \%x.p.o.}$  будуть відповідати значення регульованих координат  $T = 120^\circ\text{C}$ ,  $P = 250 \text{ кПа}$ .
2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідні змінні перестануть змінюватися.

3. Змінимо управляючу дію  $u_1$  ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.
4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.
5. Повертаємо  $u_1$  у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.
6. Змінимо управляючу дію  $u_2$  ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.
7. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

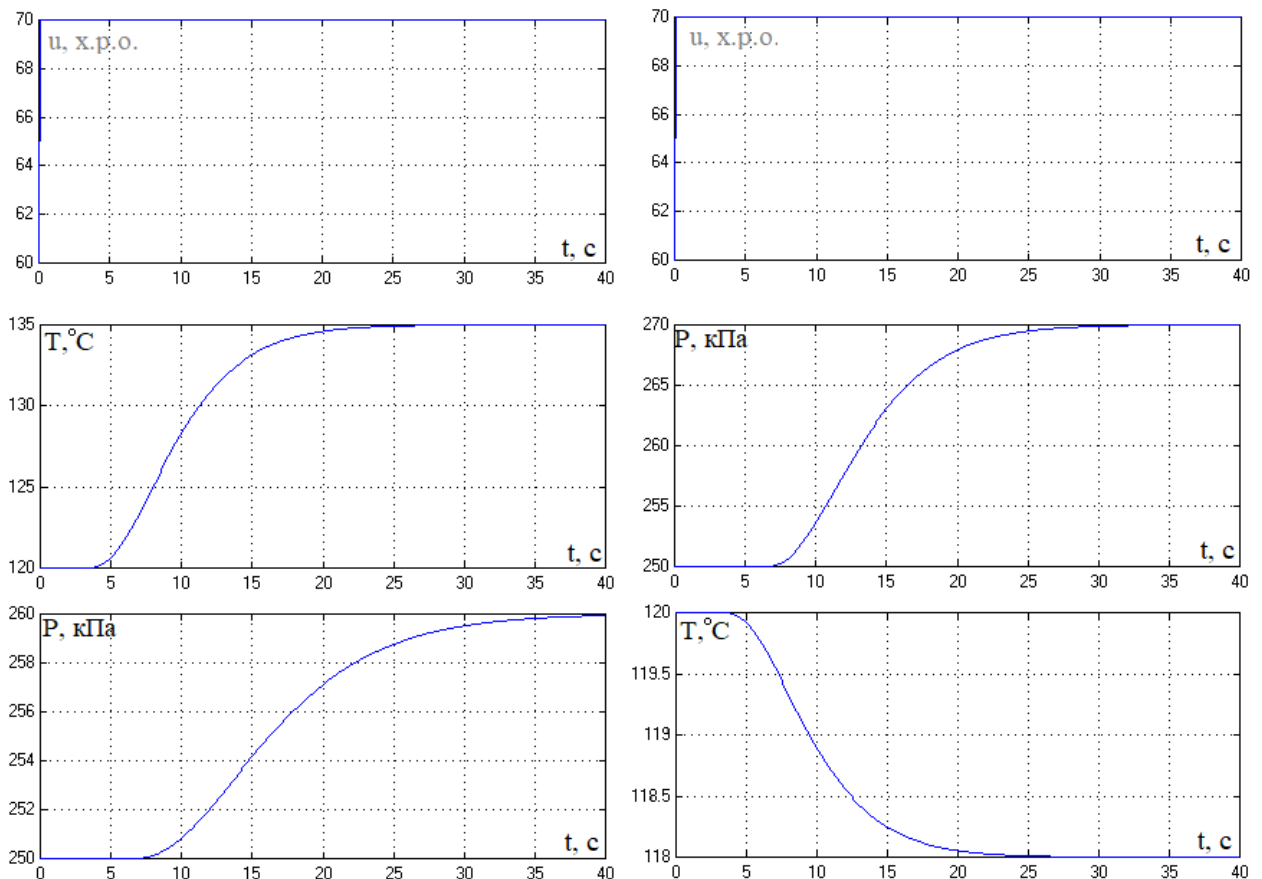


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

### 2.2.3. Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей).

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить

його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}.$$

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК ( $K_0$ ), сталу часу ( $T_0$ ) і час запізнення ( $\tau_0$ ).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta T_{\square}}{\Delta u} = \frac{135 - 120}{70 - 60} = 1,5 \text{ } ^{\circ}\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

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”.

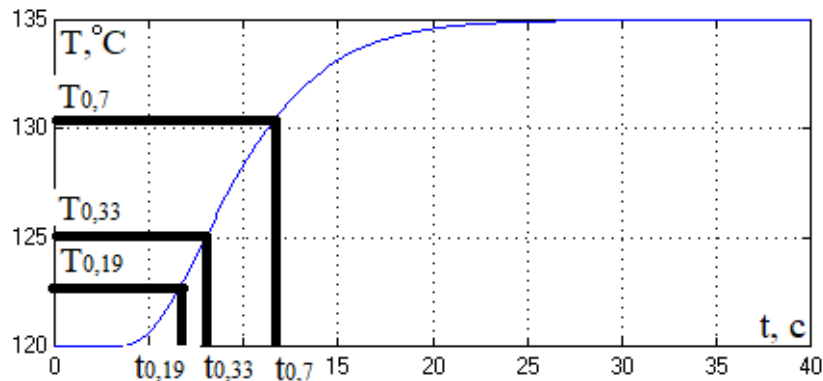


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК каналу u1-T

Для моделі 1-го порядку каналу u1-T

$$T_{1,0} = 135 - 120 = 15^{\circ}\text{C};$$

$$T_{0,33} = 0,33 \cdot 15 + 115 = 125^{\circ}\text{C};$$

$$T_{0,7} = 0,7 \cdot 15 + 115 = 130,5^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

$$t_{0,33} = 8 \text{ c};$$

$$t_{0,7} = 11,7 \text{ c}.$$

$$\text{Тоді} \quad \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 8 - 11,7) = 6,15 \text{ c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (11,7 - 6,08) / 1,2 = 4,6 \text{ c}$$

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

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-6,15p}}{4,6p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку каналу u1-T

$$T_{0,19} = 0,19 \cdot 15 + 115 = 123,85^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо  $t_{0,19}$ .

$$t_{0,19} = 7,32\text{c}.$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 7,32 - 11,7) = 5,13\text{c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/2,4 = (11,7 - 5,13)/2,4 = 2,74\text{c}$$

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

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-5,13p}}{(2,74p + 1)^2}$$

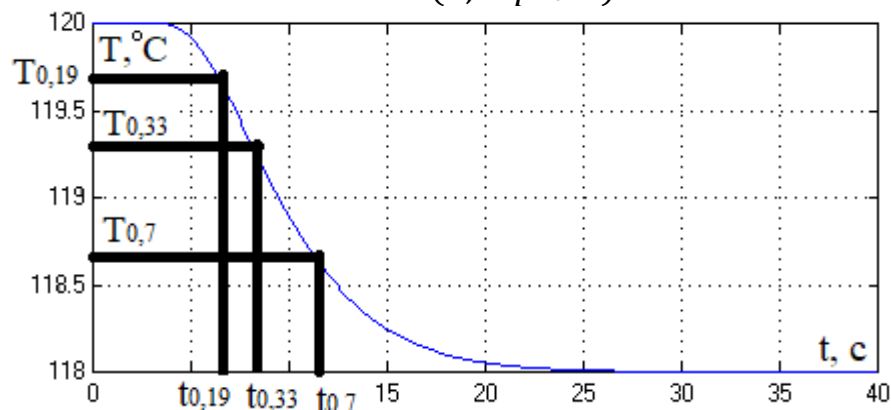


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК каналу u2-T

$$K_0 = \frac{\Delta T_{10}}{\Delta u} = \frac{120 - 118}{70 - 60} = -0,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\%x.p.o.$$

Для моделі 1-го порядку каналу u2-T

$$T_{1,0} = 118 - 120 = -2^{\circ}\text{C};$$

$$T_{1,0,33} = 0,33 \cdot (-2) + 115 = 119,3^{\circ}\text{C};$$

$$T_{1,0,7} = 0,7 \cdot (-2) + 115 = 118,6^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

$$t_{0,33} = 8,1\text{c};$$

$$t_{0,7} = 11,7\text{c}.$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 8,1 - 11,7) = 6,3\text{c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/1,2 = (11,7 - 6,3)/1,2 = 4,5\text{c}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-6,3p}}{4,5p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{1,0,19} = 0,19 \cdot (-2) + 115 = 119,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо  $t_{0,19}$ .

$$t_{0,19} = 6,8 \text{ с.}$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 6,8 - 11,7) = 4,3 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/2,4 = (11,7 - 4,3)/2,4 = 3 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК каналу u2-T буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-4,4p}}{(3p + 1)^2}$$

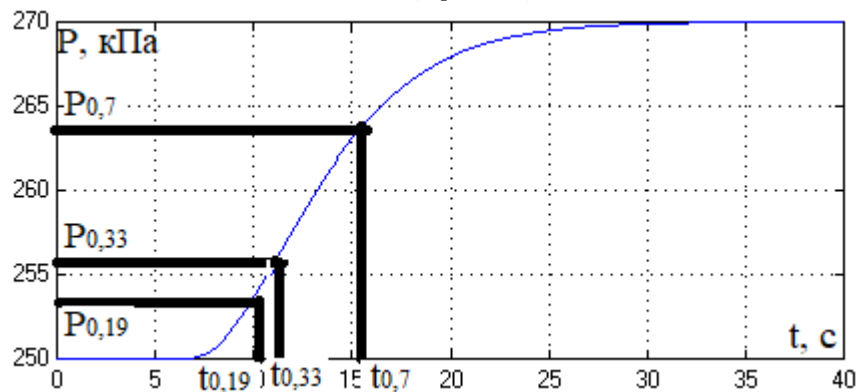


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК каналу u2-P

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

Для моделі 1-го порядку каналу u2-P

$$P_{1,0} = 270 - 250 = 20 \text{ кПа};$$

$$P_{0,33} = 0,33 \cdot 20 + 250 = 256,6 \text{ кПа};$$

$$P_{0,7} = 0,7 \cdot 20 + 250 = 264 \text{ кПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

$$t_{0,33} = 11,5 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 15,67 \text{ с.}$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 11,5 - 15,67) = 9,42 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/1,2 = (15,67 - 9,42)/1,2 = 5,2 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{2 \cdot e^{-9,42p}}{5,2p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$P_{0,19} = 0,19 \cdot 20 + 250 = 253,8 \text{ кПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо  $t_{0,19}$ .

$$t_{0,19} = 10,12 \text{ с.}$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 10,12 - 15,67) = 7,35 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/2,4 = (15,67 - 7,35)/2,4 = 3,47 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК каналу u2-P буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{2 \cdot e^{-7,35p}}{(3,47p + 1)^2}$$

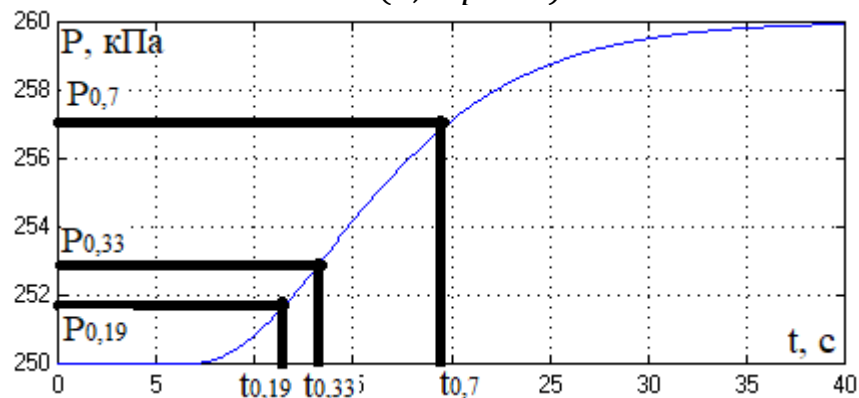


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК каналу u1-P

$$K_0 = \frac{\Delta P_{\square}}{\Delta u} = \frac{260 - 250}{70 - 60} = 1 \text{ кПа}/\% \text{ х. р. о.}$$

Для моделі 1-го порядку каналу u1-P

$$T1_{1,0} = 260 - 250 = 10 \text{ кПа};$$

$$T1_{0,33} = 0,33 \cdot 10 + 250 = 253,3 \text{ кПа};$$

$$T1_{0,7} = 0,7 \cdot 10 + 250 = 257 \text{ кПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо  $t_{0,33}$  і  $t_{0,7}$ .

$$t_{0,33} = 13,8 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 19,76 \text{ с.}$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 13,8 - 19,76) = 10,82 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0)/1,2 = (19,76 - 10,82)/1,2 = 7,45 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{1 \cdot e^{-10,82p}}{7,45p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{10,19} = 0,19 \cdot 10 + 250 = 251,9 \text{ кПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо  $t_{0,19}$ .

$$t_{0,19} = 11,8 \text{ с.}$$

$$\text{Тоді } \tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 12 - 19) = 7,82 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (19,76 - 7,82) / 2,4 = 4,98 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК каналу u2-T буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1 \cdot e^{-7,82p}}{(4,98p + 1)^2}$$

Проведемо структурний I параметричний синтез САР моделей статички. Для цього сплануємо активний експеримент. Результати наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

u1, % х.р.о	u2, % х.р.о	T, °C	P, кПа	u1, % х.р.о	u2, % х.р.о	T, °C	P, кПа
0	60	30	190	60	0	132	130
10	60	45	200	60	10	130	150
20	60	60	210	60	20	128	170
30	60	75	220	60	30	126	190
40	60	90	230	60	40	124	210
50	60	105	240	60	50	122	230
60	60	120	250	60	60	120	250
70	60	135	260	60	70	118	270
80	60	150	270	60	80	116	290
90	60	165	280	60	90	114	310
100	60	180	290	60	100	112	320

Побудова у графічному вигляді статичних характеристик ОК, попередня оцінка їх адекватності.

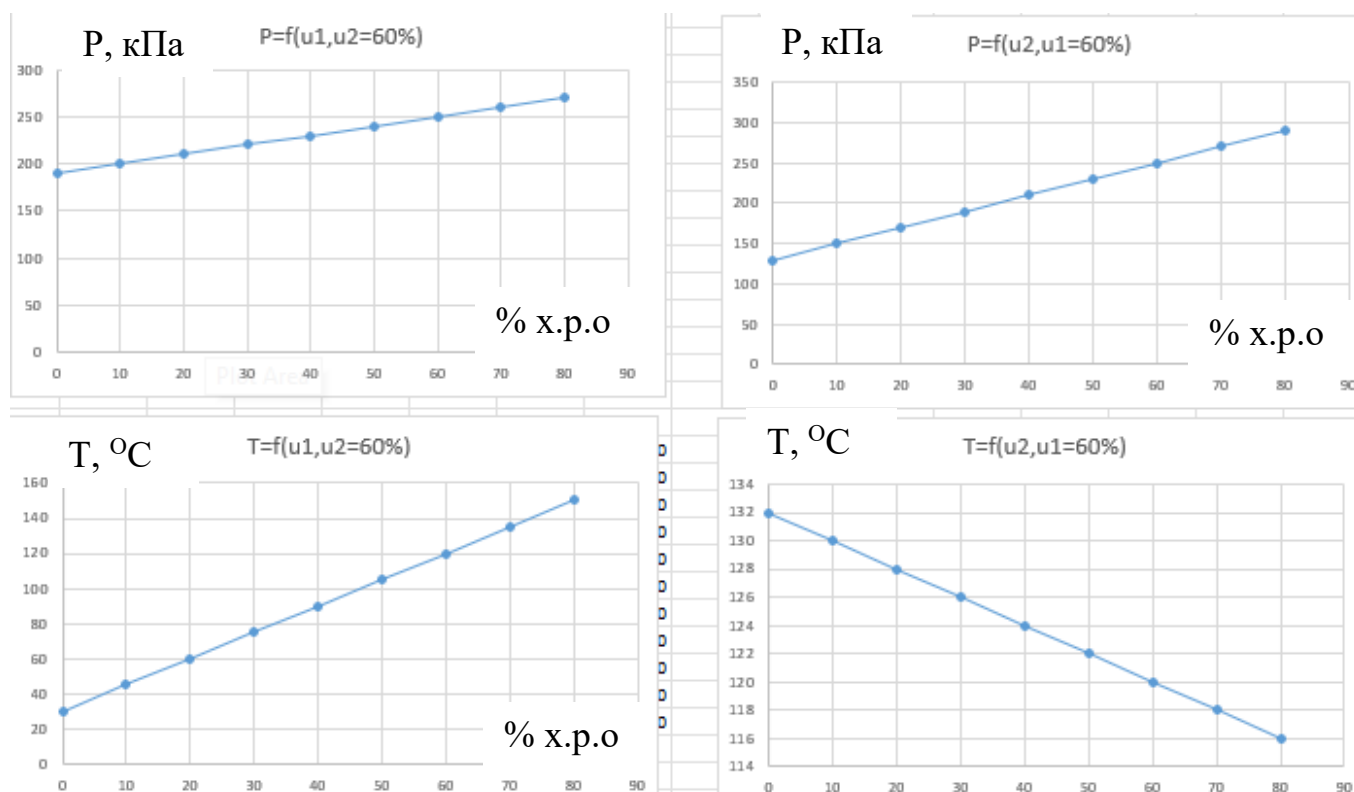


Рис. 2.7 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Для досліджуваного ОК каналу u1-T, як видно з рис. 2.7, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T = a_1 \cdot u_1 + a_2 \cdot u_2 + a_0$$

Параметри  $a_1$  і  $a_2$  були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2 і 2.3. При цьому  $a_1 = K_{u1-T} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{ х.р.о.}$ ,

$$a_2(u_2-T) = 1 \text{ кПа}/\% \text{ х.р.о.}$$

Параметр  $a_0$  можна визначити із залежності:

$$a_0 = P - a_1 \cdot u_1 - a_2 \cdot u_2 = 250 - 1,5 \cdot 60 - 1 \cdot 60 = 250 - 90 - 60 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК каналу u1-T буде описана залежністю:  $T = 1,5 \cdot u_1 + 1 \cdot u_2 + 100$

Для другого каналу:

$$P = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0$$

Параметри  $b_1$  і  $b_2$  були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2 і 2.3. При цьому  $b_1 = K_{u2-P} = 2 \text{ кПа}/\% \text{ х.р.о.}$ ,

$$b_2(u_1-P) = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ х.р.о.}$$

Параметр  $b_0$  можна визначити із залежності:

$$b_0 = T - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 120 - 2 \cdot 60 + 0,2 \cdot 60 = 120 - 120 + 12 = 12$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК каналу u2-P буде описана залежністю:  $P = 2 \cdot u_2 - 0,2 \cdot u_1 + 12$

### 2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Квазидетерміновану та стохастичну складові (fНС) доцільно привести до регульованої координати (рис.2.8).

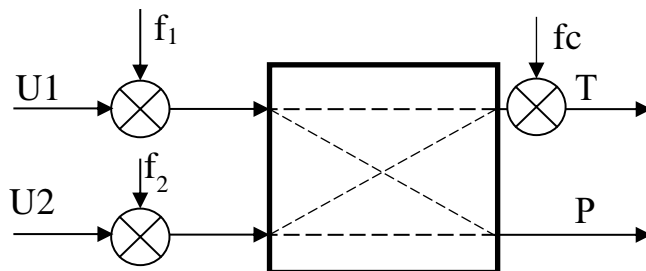


Рис. 2.8 – Структурна схема додавання координатних збурень

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма у середовищі імітаційного моделювання. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК

Т, °С ні на рис. 2.9.  
Реалізація вихідного сигналу (y)

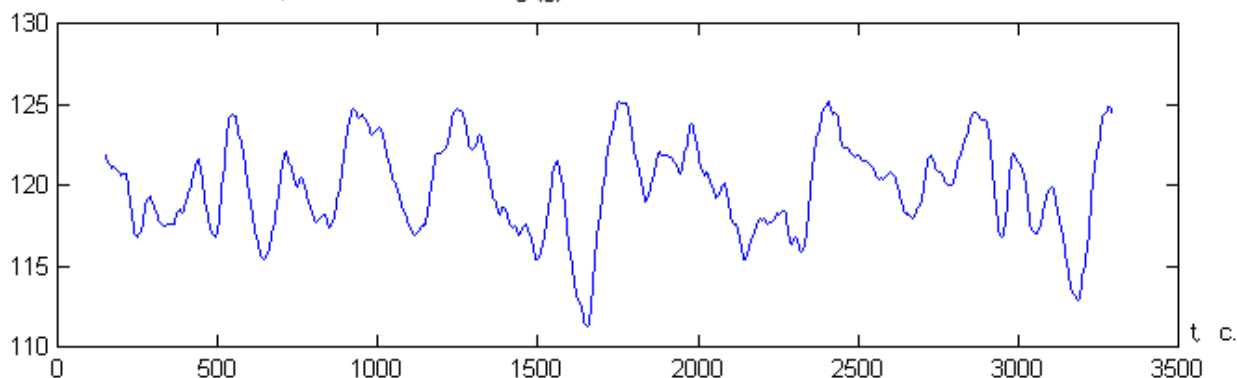


Рис. 2.9 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

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. 2.10.

Крок 1: Візуалізація досліджуваного ВП, результати оцінювання його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності імовірності

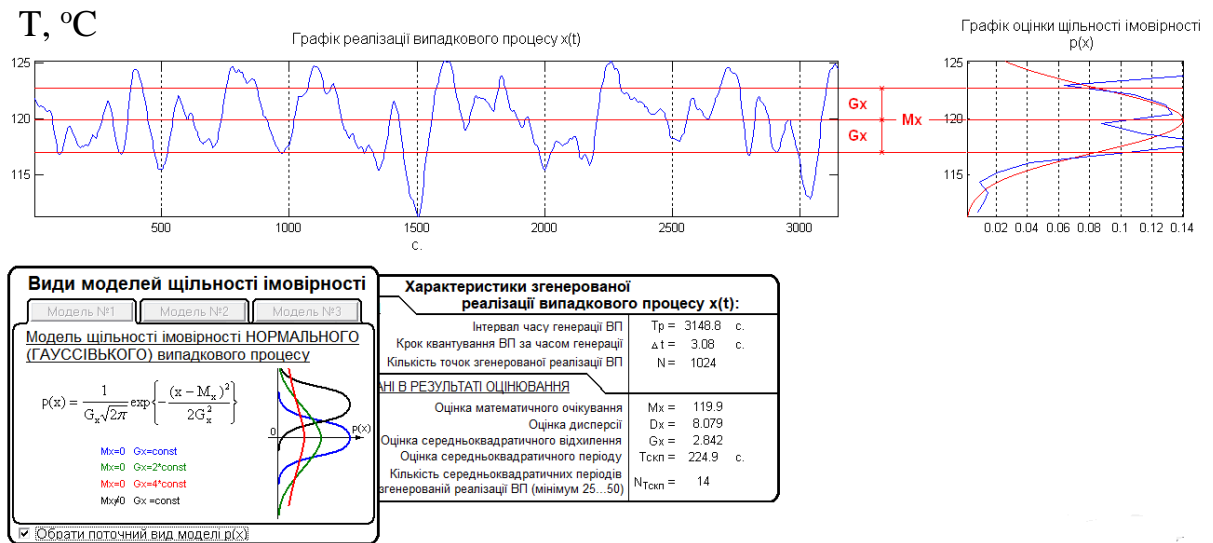


Рис. 2.10 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

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

### 2.3.1. Параметрична ідентифікація моделей імовірнісних властивостей випадкової складової, оцінка результатів ідентифікації.

Параметрами моделей випадкових складових збурень є коефіцієнт спаду  $\alpha$  і коефіцієнт коливальності  $\beta$ . Пошук значень цих параметрів і називають параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Вона ведеться, як правило, у два етапи: 1) вибір початкових наближень параметрів  $\hat{\alpha}^0, \hat{\beta}^0$ ; 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

Провівши 3 експерименти вибираємо модель з найменшим критерієм оптимізації рис. 2.11. В даному випадку найменше значення критерію оптимізації у моделі №7. Результати параметричної ідентифікації моделі №7 контрольованого збурення наведені на рис. 2.12.

Крок 4: Підсумки ідентифікації моделей випадкових процесів

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	$\alpha$	$\beta$	A	C	$\gamma$	Значення критерію оптимізації
✓ 5	0.013147	0.015991	-	-	-	4.903
✓ 6	0.02014	0.027758	-	-	-	4.8884
✓ 7	0.0088192	0.0064307	-	-	-	2.7447

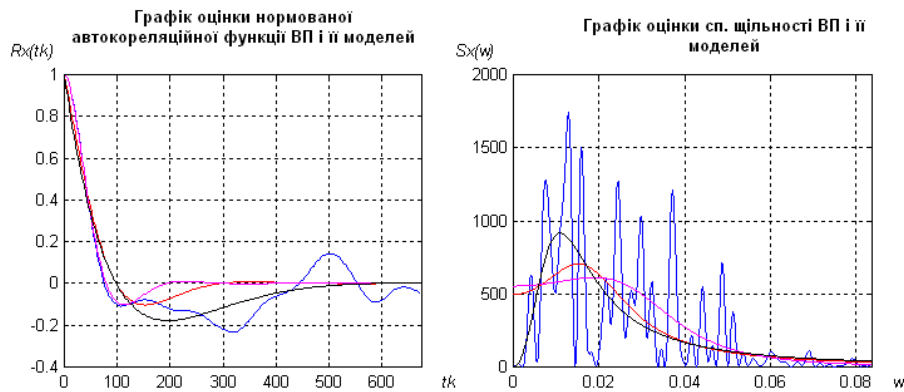


Рис. 2.11 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

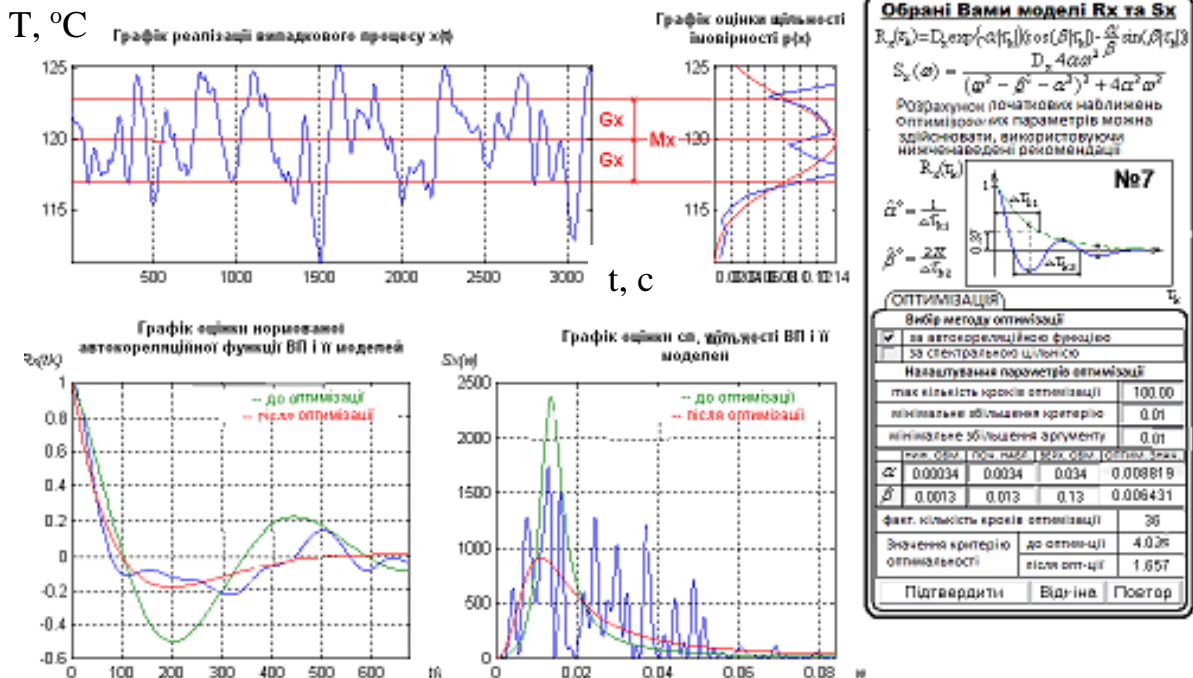


Рис. 2.12 – Результати параметричної ідентифікації моделі №7 неконтрольованих збурень

2.4. Реалізація математичних моделей на ПЕОМ у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними

## комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу

### 2.4.1. Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками

Для зручності зведемо передаточні функції моделей каналів ОК у таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Результати ідентифікації моделей каналів

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
“u <sub>1</sub> -T”	$W_o(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-6,15p}}{4,6p + 1}$	$W_o(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-5,13p}}{(2,74p + 1)^2}$
“u <sub>2</sub> -T”	$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-6,3p}}{4,5p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-4,4p}}{(3p + 1)^2}$
“u <sub>2</sub> -P”	$W_o(p) = \frac{2 \cdot e^{-9,42p}}{5,2p + 1}$	$W_o(p) = \frac{2 \cdot e^{-7,35p}}{(3,47p + 1)^2}$
“u <sub>1</sub> -P”	$W_o(p) = \frac{1 \cdot e^{-10,82p}}{7,45p + 1}$	$W_o(p) = \frac{1 \cdot e^{-7,82p}}{(4,98p + 1)^2}$

Для порівняння моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.3.

Схема моделювання для каналів «u<sub>1</sub> – T», «u<sub>1</sub> – P», «u<sub>2</sub> – P», «u<sub>2</sub> – T» ОК наведені на рис. 2.13, 2.15 та 2.17, 2.19 відповідно. Результати моделювання для каналів наведені на рис. 2.14, 2.16 та 2.18, 2.20.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані

	u <sub>1</sub> , % х.р.о	u <sub>2</sub> , % х.р.о	T, °C	P, кПа
1	0	60	25	210
2	10	60	40	225
3	20	60	55	240
4	30	60	70	255
5	40	60	85	270
6	50	60	100	285
7	60	60	115	300
8	70	60	130	315
9	80	60	145	330
10	90	60	160	345

11	100	60	175	360
12	60	0	127	120
13	60	10	125	150
14	60	20	123	180
15	60	30	121	210
16	60	40	119	240
17	60	50	117	270
18	60	60	115	300
19	60	70	113	330
20	60	80	111	360

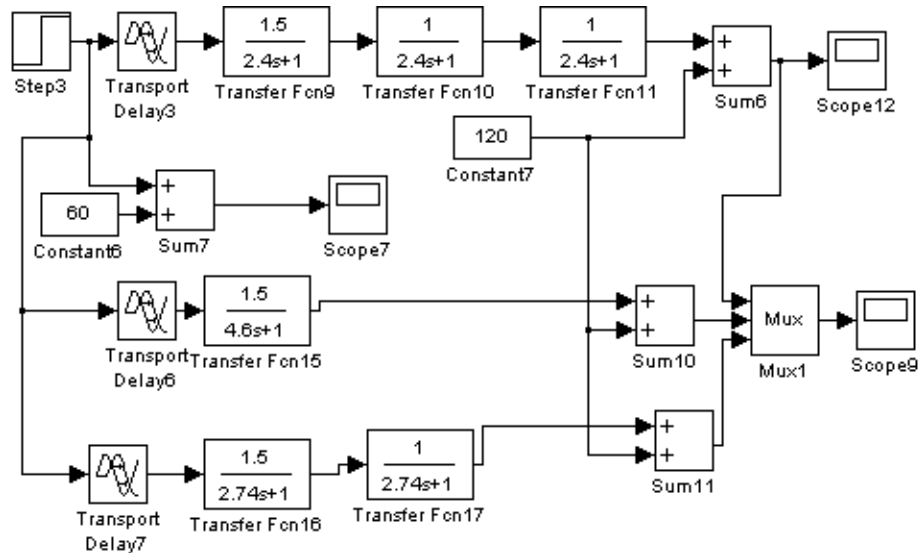


Рис. 2.13 – Схема моделювання за каналом « $U_1 - T$ »

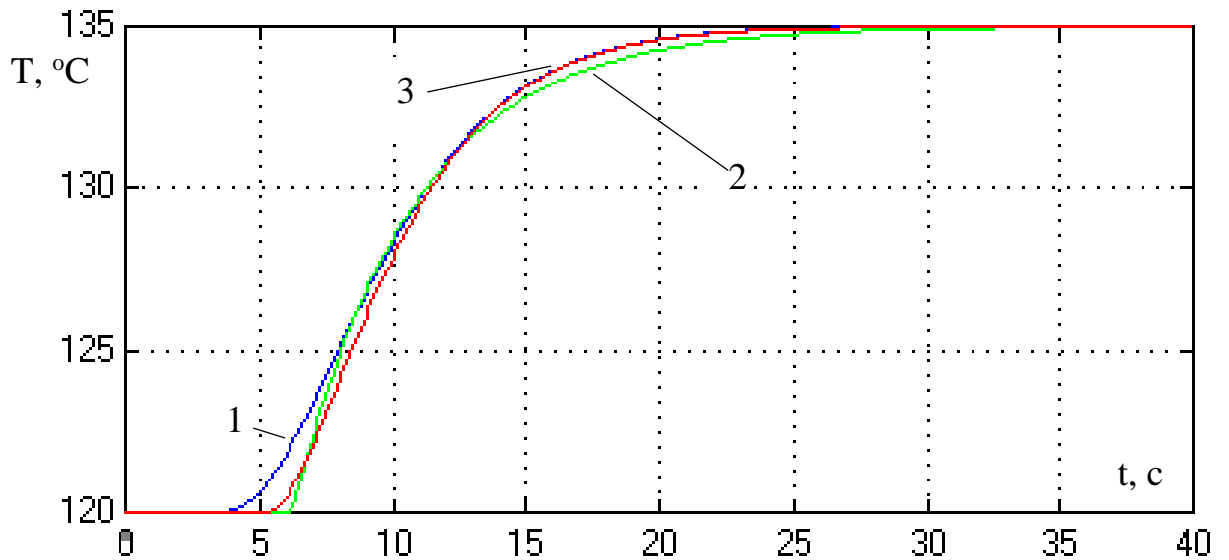


Рис. 2.14 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

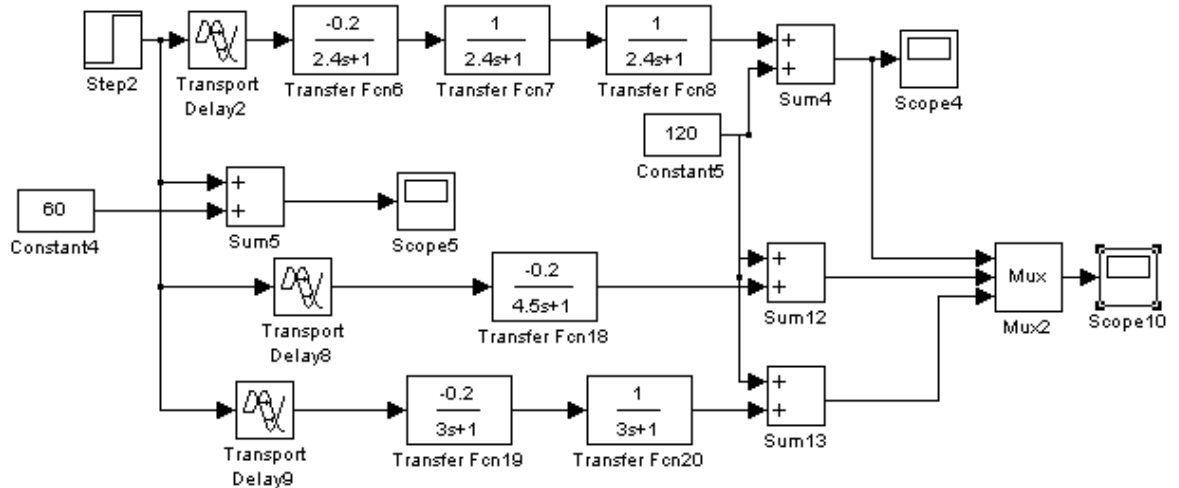


Рис. 2.15 – Схема моделювання за каналом « $U_2 - T$ »

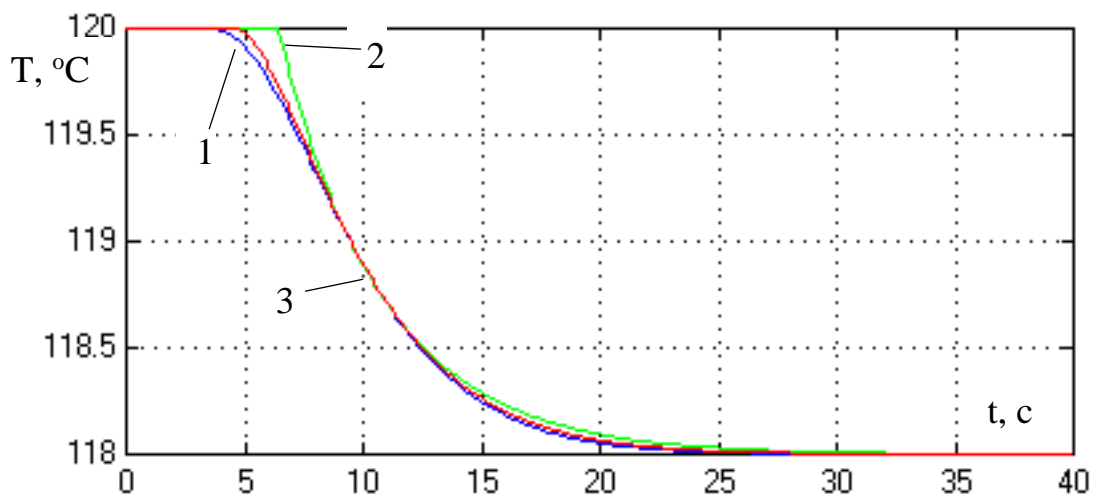


Рис. 2.16 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

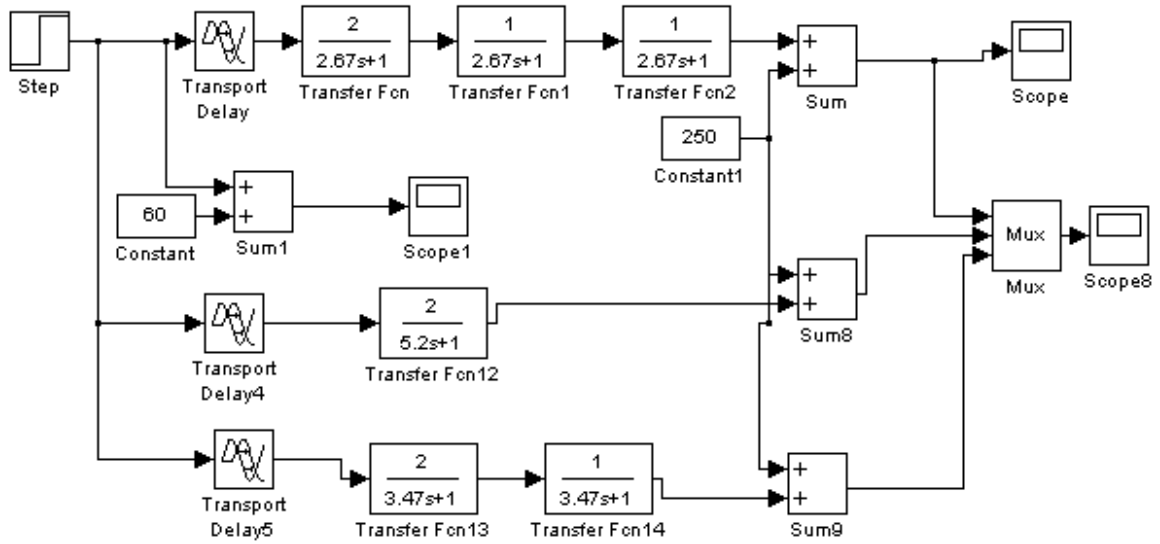
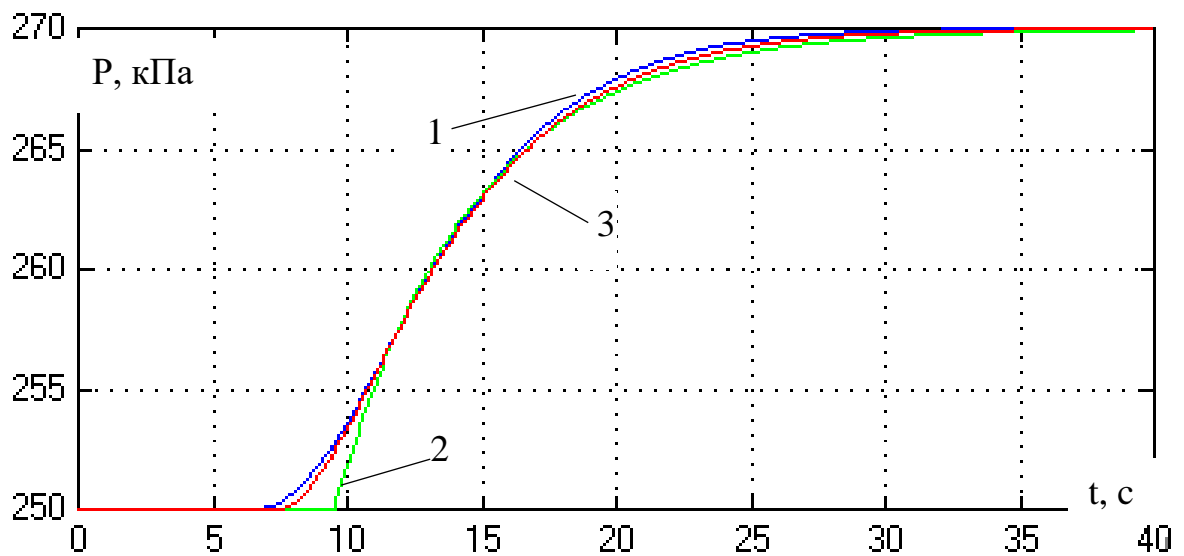
Рис. 2.17 – Схема моделювання за каналом « $U_2 - P$ »

Рис. 2.18 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

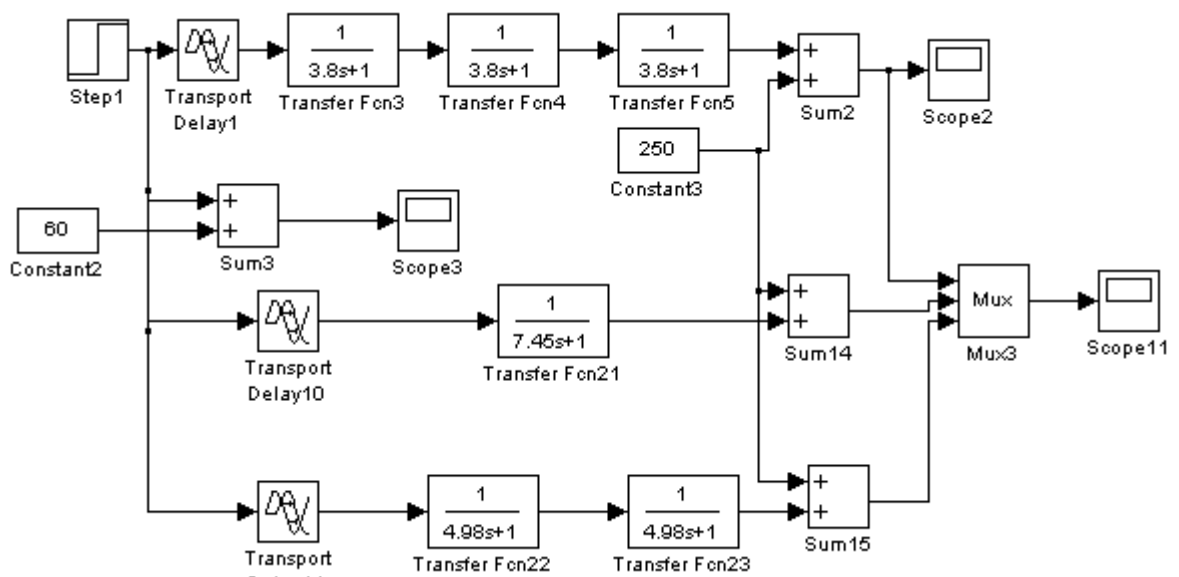


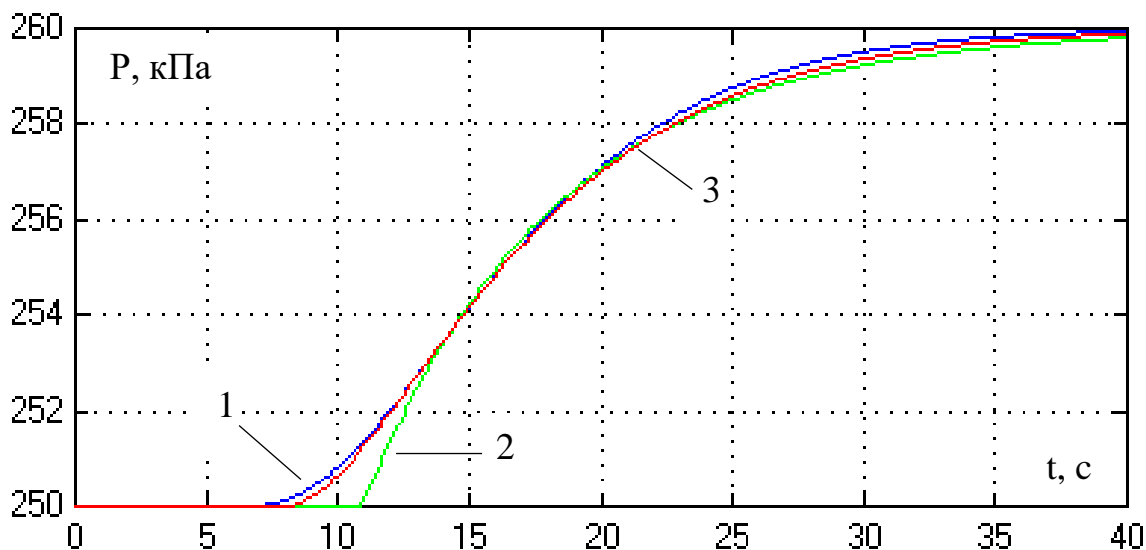
Рис. 2.19 – Схема моделювання за каналом «U<sub>1</sub> – P»

Рис. 2.20 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

За результатами моделювання вказаними на рис.2.14, 2.16 та 2.18, 2.20, бачимо, що моделі другого порядку є більш точними, тому надалі використовуватимемо їх.

#### 2.4.2. Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності

Модель статичних характеристики:

$$T = 1,5 \cdot u_1 + 1 \cdot u_2 + 100$$

$$P = 2 \cdot u_2 - 0,2 \cdot u_1 + 12$$

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.21, а результати моделювання – на рис. 2.22, 2.23.

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані (табл. 2.3). Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

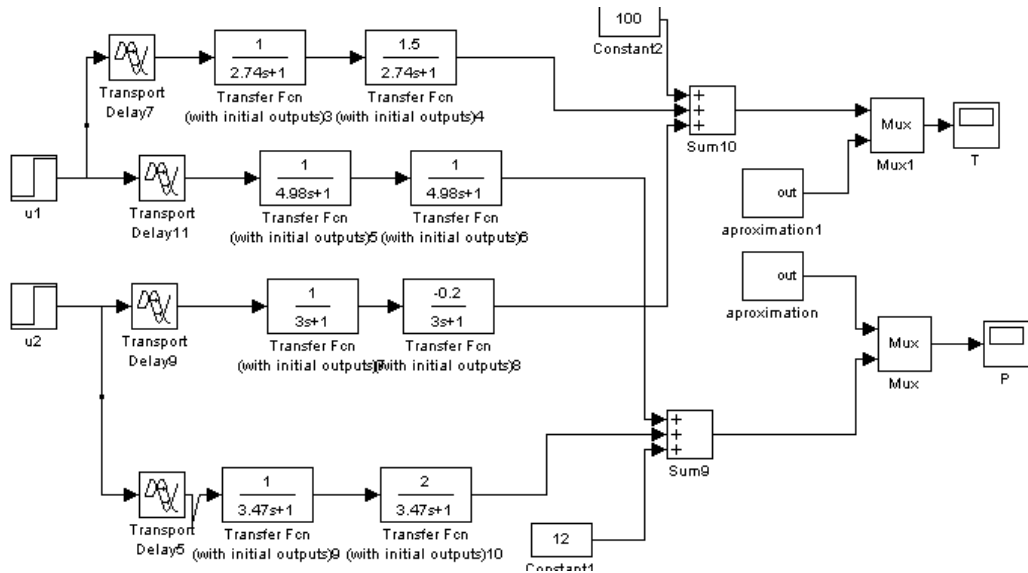


Рис. 2.21 – Схема моделювання повної моделі ОК

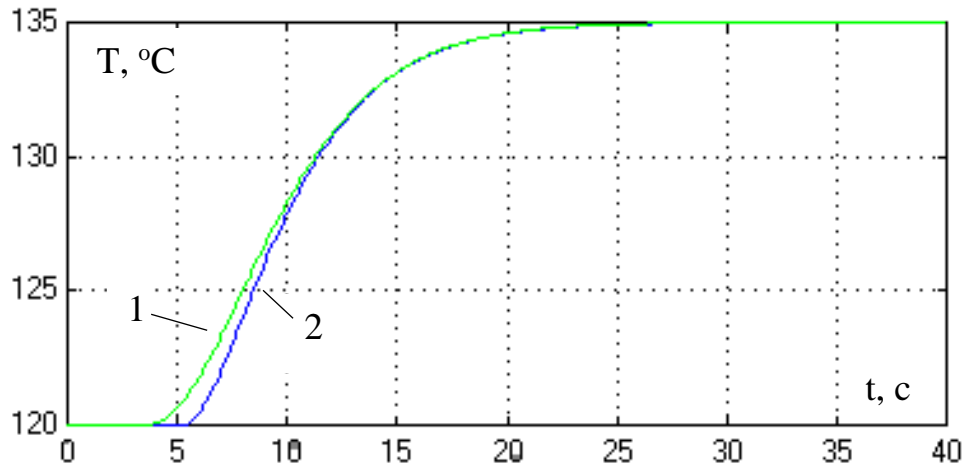


Рис. 2.22 – Результати моделювання за каналом « $u_1 - T_0$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку

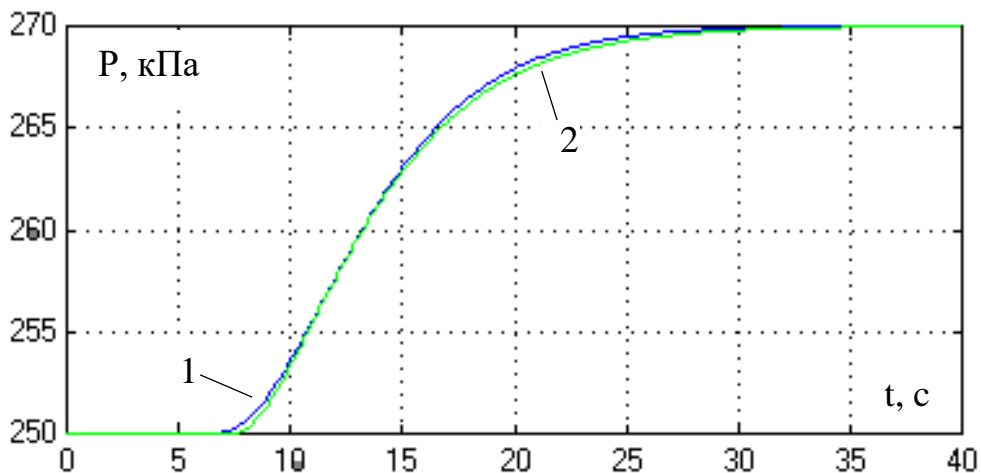


Рис. 2.23 – Результати моделювання за каналом « $u_2 - P$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку

### 2.4.3. Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей вхідних дій і підтвердження їх адекватності

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

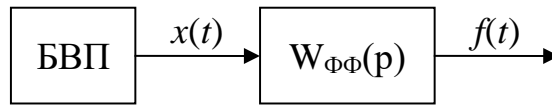


Рис. 4.12 – Структурна схема моделі СП

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

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

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

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

де  $G_x$ - середньоквадратичне відхилення процесу  $x(t)$ ,  $\Delta t_r$  – крок генерації випадкового процесу.

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

Для моделі №7

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

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

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

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

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

А після заміни  $W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}p}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\sqrt{D_f\alpha}p}{(\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left( \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$  .

В результаті отримуємо наступну ланку, що є передатною функцією формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(j\omega) = \frac{k\rho}{T^2\rho^2 + 2\varepsilon T\rho + 1}$$

де

$$k = \frac{\sqrt{D_f a}}{\alpha^2 + \beta^2} \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \quad \varepsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,009$$

$$\beta = 0,006$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{2,84}{2} = 1,42$$

$$\Delta t_{\Gamma} = \frac{1}{(2\dots 3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2\dots 3) \cdot 0,009} = 37,3\dots 55 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 40.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_{\Gamma}}{3} = 1,42^2 \cdot \frac{2 \cdot 40}{3} = 53,7$$

$$k = \frac{\sqrt{D_f \cdot \alpha}}{\alpha^2 + \beta^2} = \frac{\sqrt{8 \cdot 0,009}}{0,009^2 + 0,006^2} = 2293,4$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,009^2 + 0,006^2}} = 92,5$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,009}{\sqrt{0,009^2 + 0,006^2}} = 0,83$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{2293,4\rho}{92,5^2\rho^2 + 2 \cdot 0,83 \cdot 92,5\rho + 1}$$

*Сигнал неконтрольованих збурень*

Повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 119,9; \sigma_f = 2,84; \alpha = 0,009; \beta = 0,006$$

Кількість точок моделювання  $N = 1024$

$$T_p = N \cdot \Delta t_{\Gamma} = 1024 \cdot 40 = 40960 \text{ с}$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.24.

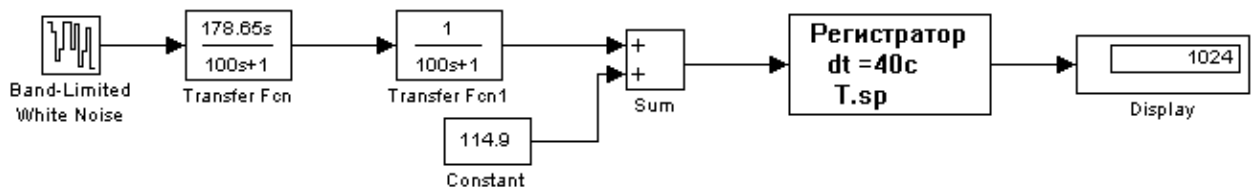


Рис. 2.24 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$Noise\ power = S_x(\omega) = 53,7;$$

Sample time =  $t_T = 40$ ;

Seed = 1.

Результати моделювання наведені на рис. 2.25 та 2.26.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|119,9 - 119,9|}{119,9} \cdot 100 = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|10,09 - 8,08|}{10,09} \cdot 100 = 19,9\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,009 - 0,009|}{0,009} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,006 - 0,006|}{0,006} \cdot 100 = 0\%$$

Крок 1: Візуалізація досліджуваного ВП, результати оцінювання його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності імовірності

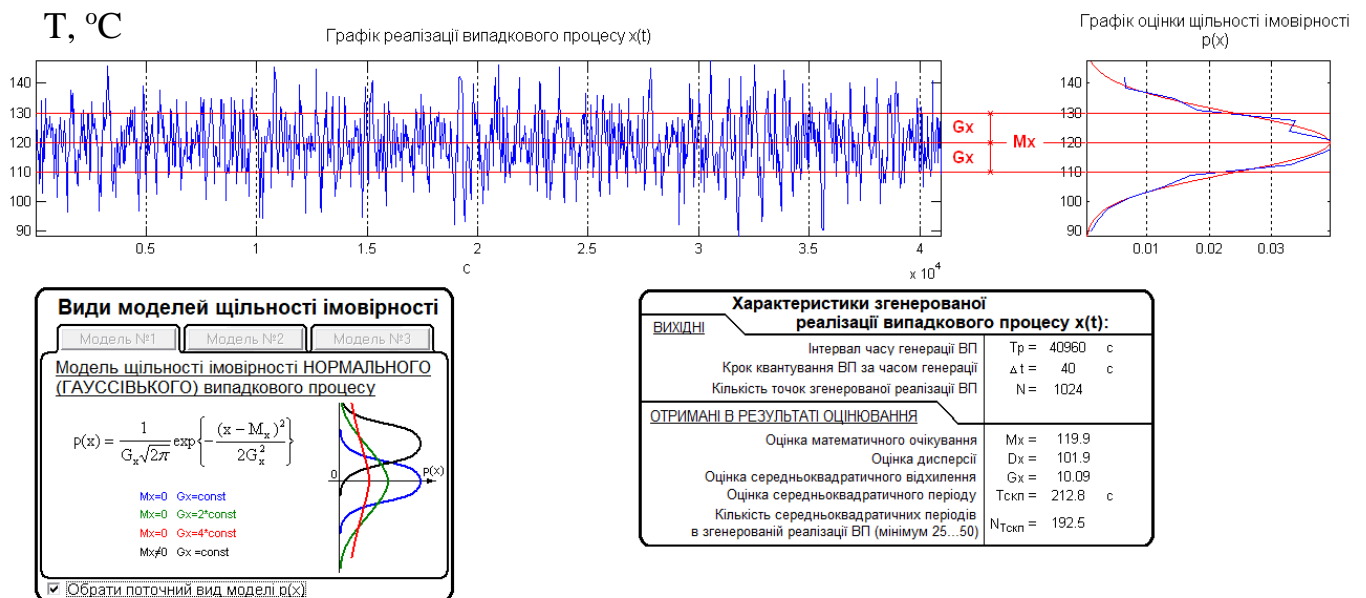


Рис. 2.25 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

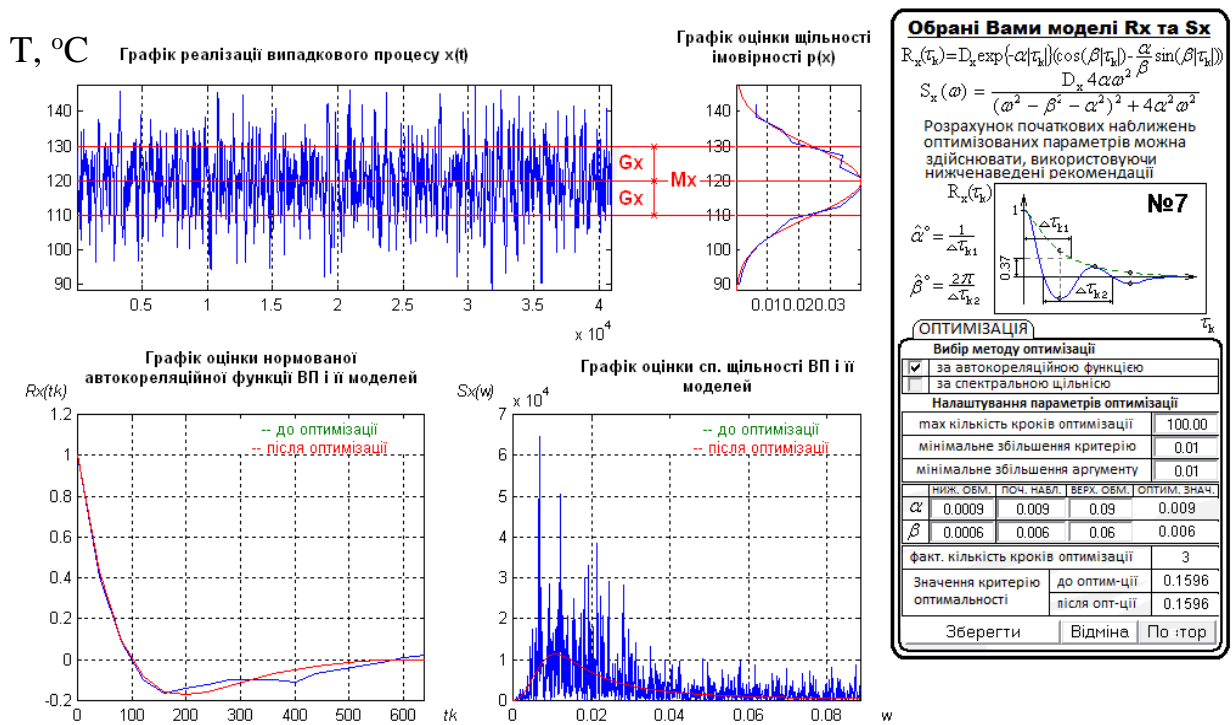


Рис. 2.26 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення  $\sigma_f$  більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра:  $k = 650$ . Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.27, а результати моделювання наведені на рис. 2.28 та 2.29.

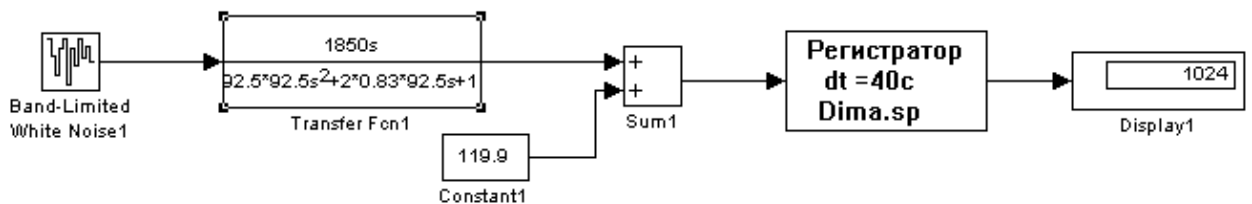


Рис. 2.27 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

Крок 1: Візуалізація досліджуваного ВП, результати оцінювання його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності імовірності

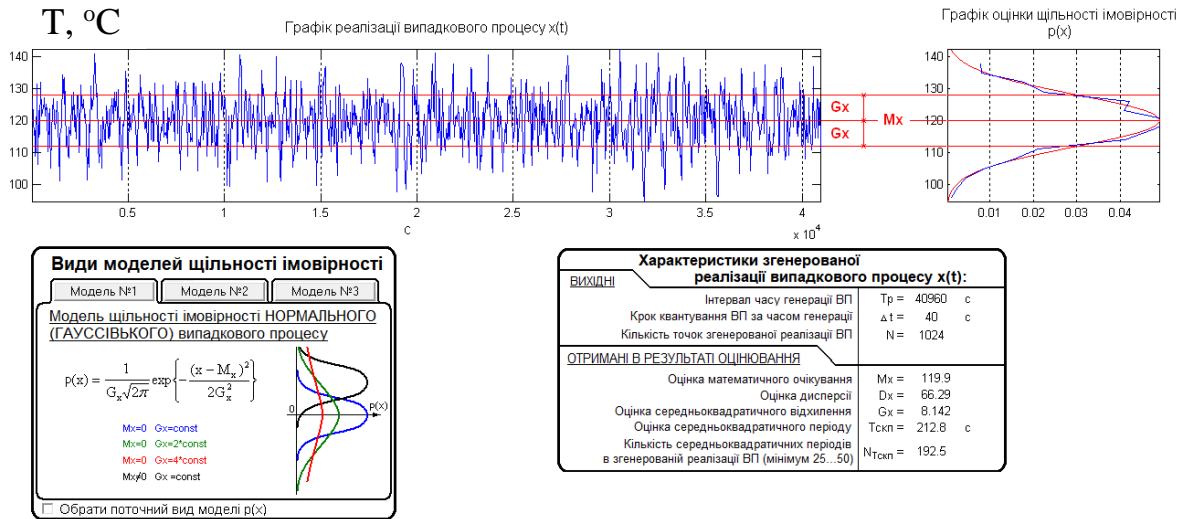


Рис. 2.28 - Результати моделювання неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

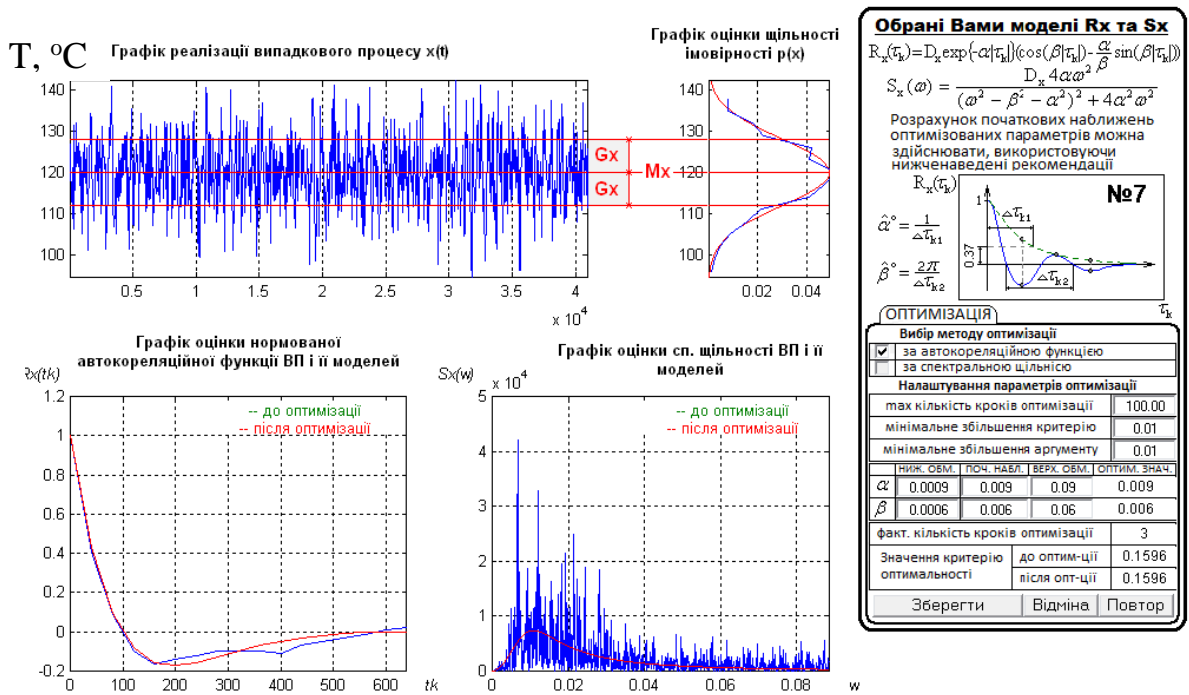


Рис. 2.29 - Результати моделювання неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|119,9 - 119,9|}{119,9} \cdot 100 = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|8,14 - 8,08|}{8,14} \cdot 100 = 0,7\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,009 - 0,009|}{0,009} \cdot 100 = 0\%$$

Точність відтворення коефіцієнта коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,006 - 0,006|}{0,006} \cdot 100 = 0\%$$

Похибка відтворення  $\sigma_f$ ,  $\alpha$  і  $\beta$  менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

Кінцеву передаточна функція формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1850p}{92,5^2 p^2 + 2 \cdot 0,83 \cdot 92,5p + 1}$$

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.30.

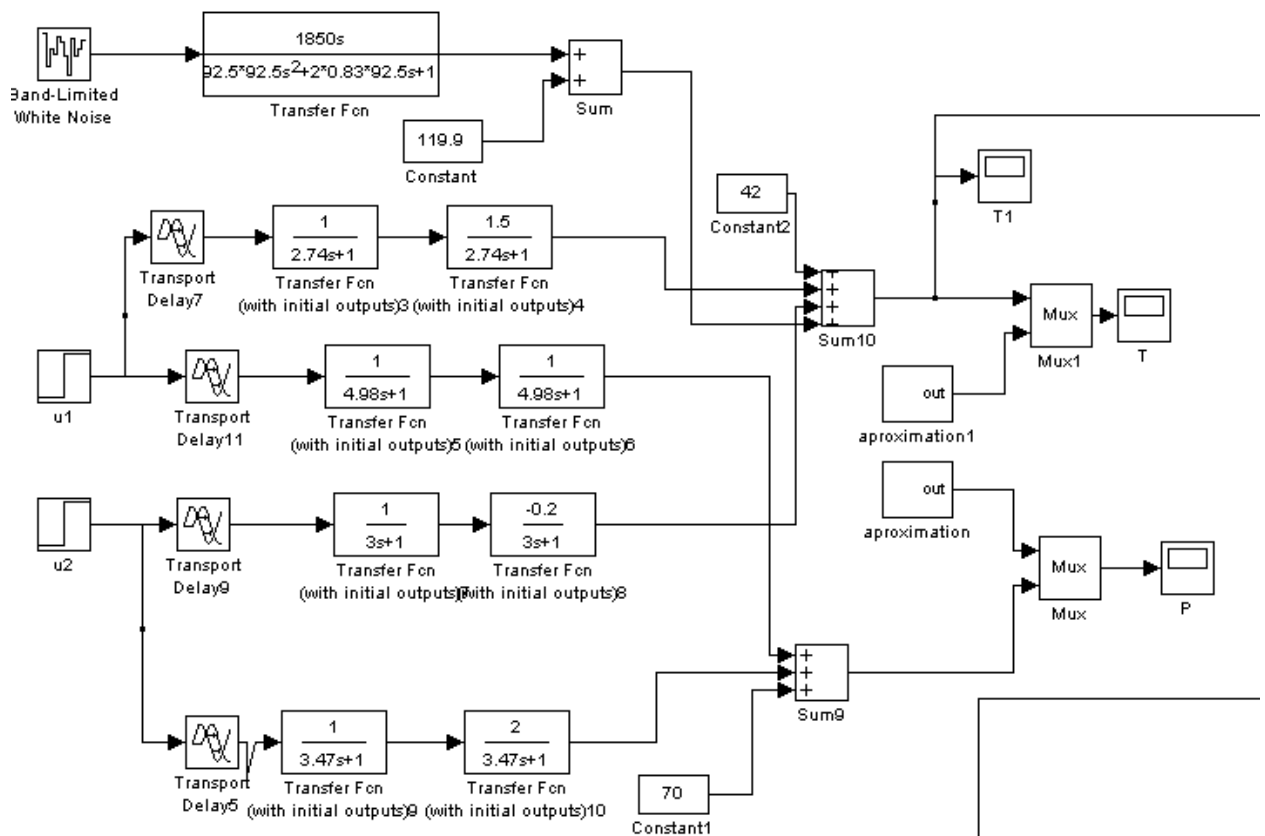


Рис. 2.30 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експеримент з повною моделлю ОК. Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 2.31,

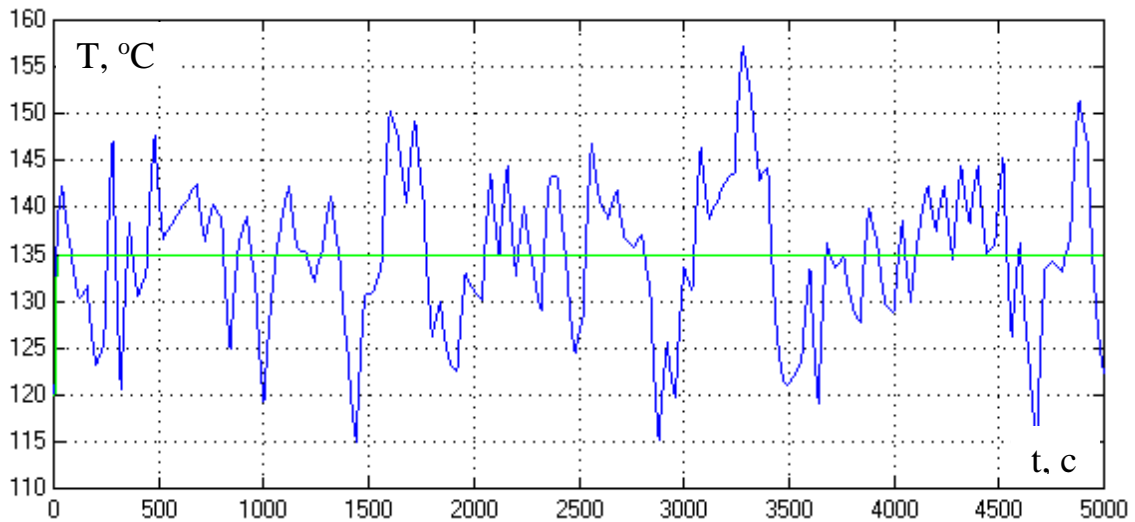


Рис. 2.31 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень: 1 – експериментальні дані; 2 – модель з СНЗ.

## 2.5. Висновки до розділу

В якості базової моделі відтворення неконтрольованого збурення, як випадкового процесу, прикладеного до  $T$ , було обрано метод формуючого фільтра. За яким базовий випадковий процес з властивостями «білого шуму» пропущено через спеціально розрахований та скоригований формуючий фільтр. Як показали розрахунки, за математичним очікуванням, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнтом спаду  $\alpha$  і коефіцієнтом коливальності  $\beta$  похибка відтворення моделей випадкового процесу не перевищує 5%, тобто є достатнім.

Отже, було виконано структурну та параметричну ідентифікацію моделей динаміки каналів ОК та перевірено відповідності їх експериментальним даним. Виходячи з експериментальних даних, математичні моделі каналів об'єкту керування можуть бути представлені статичною аперіодичною ланкою 1-го або 2-го порядку і ланкою запізнення. Параметрична ідентифікація проводилася за методиками двох загальних точок для першого і другого порядку. Порівняння кусочно лінійних апроксимацій експериментальних даних з результатами моделювання показали, що параметрична ідентифікація математичних моделей була проведена з прийнятною точністю.

### 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 вихідної змінної об'єкту керування ( $T$ ) на її заданому значенні (ТЗДН) - 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.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 2.1) температура стерилізації кабачкової ікри  $T$  має підтримуватися на рівні  $120^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . За цим параметром припустимі короточасні відхилення до  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  протягом часу не більше 60 секунд. Так само і тиск під час стерилізації має підтримуватися на рівні 250 кПа з точністю  $\pm 1,5$  кПа та на короточасних відхиленнях  $\pm 12$  кПа. Регламентна зона за цими параметрами наведені на рис. 3.1 та 3.2 відповідно.

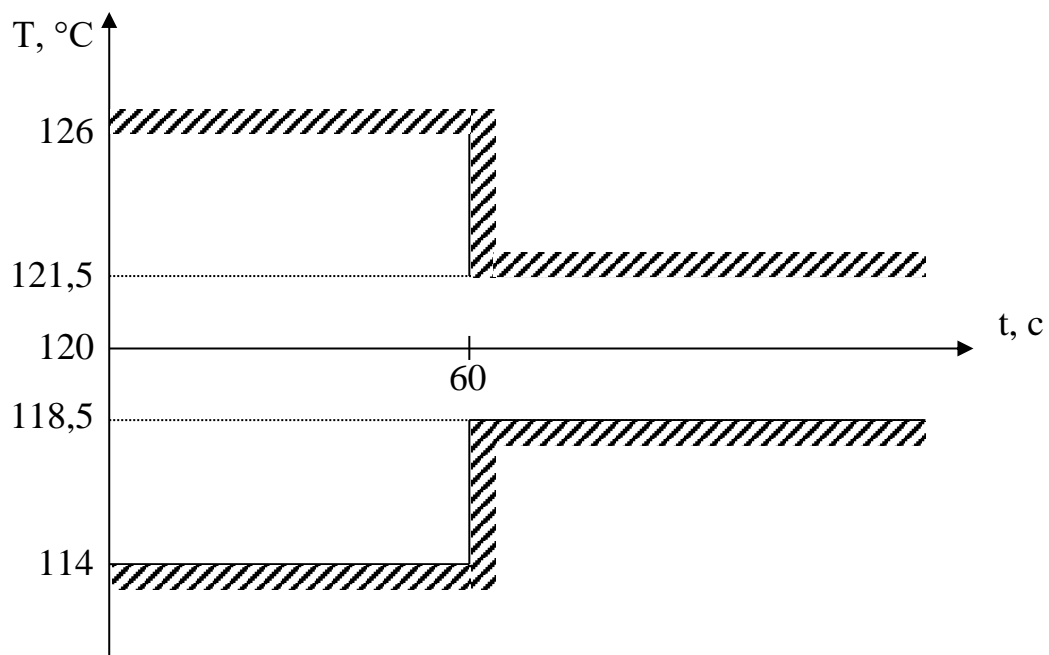


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури стерилізації кабачкової ікри  $T$

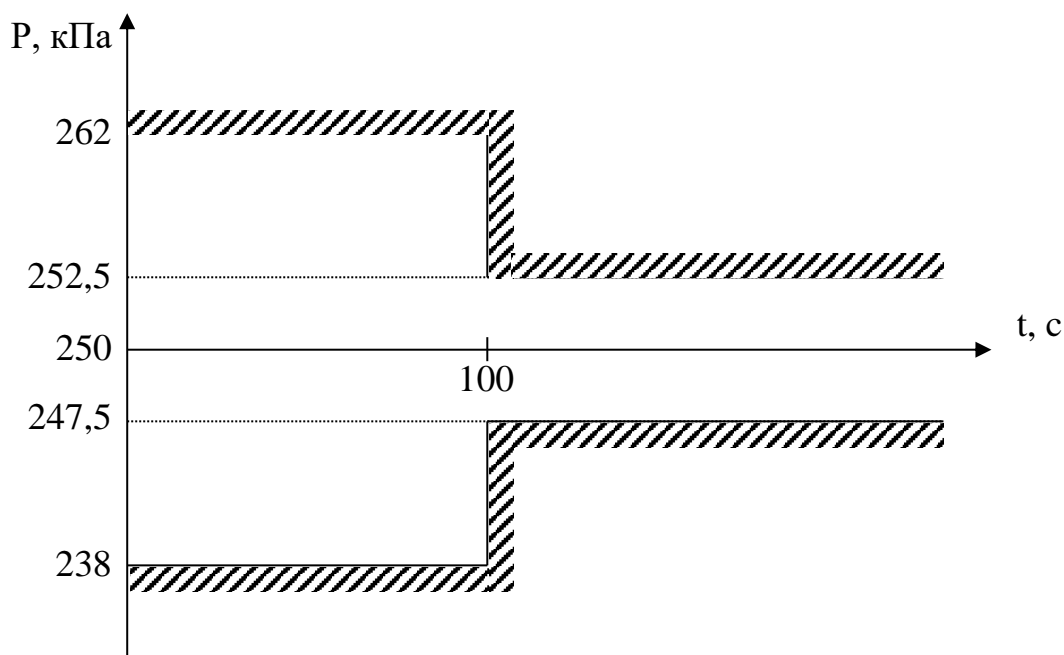


Рис. 3.2 – Регламентна зона для тиску під час стерилізації кабачкової ікри Р

Як видно з регламентів на САР для процесу стерилізації кабачкової ікри особливо жорсткі вимоги пред'являються до короткочасних відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій. Тому ефективність роботи САР температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} \left[ \frac{|\Delta T(t)|}{1,5} + \frac{|\Delta P(t)|}{2,5} \right] dt$$

де  $t_M$  – час моделювання;

$\Delta T(t)$  – відхилення температури стерилізації від заданого значення.

$\Delta P(t)$  – відхилення тиску стерилізації від заданого значення.

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ  $\bar{y}^*$ , про поточний стан ОУ  $\bar{y}_t$  та про збурення  $\bar{f}$ . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОУ виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого твердого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОУ або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для системи керування процесу стерилізації кабачкової ікри доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ( $T^{здн}$ ), є інформація про поточний стан ОК ( $T$ ). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу ( $u$ ) достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей

принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температури стерилізації базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

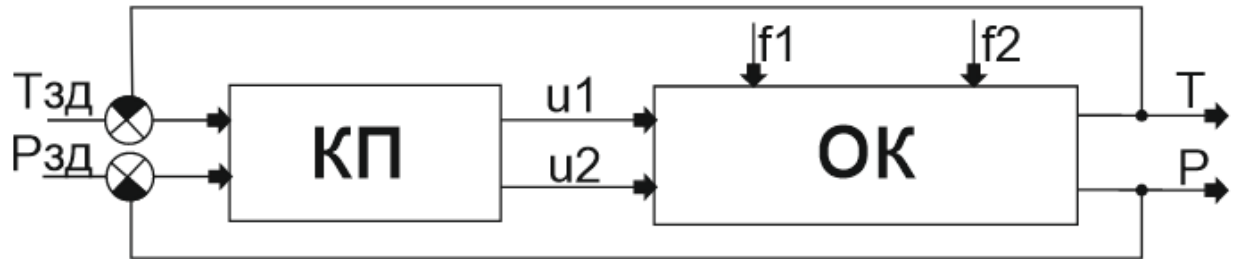


Рис. 3.3– Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

## 3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

### 3.2.1. Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її базової конкретної структури.

Координатна схема процесу стерилізації в автоклаві наведена на рис. 1.5. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

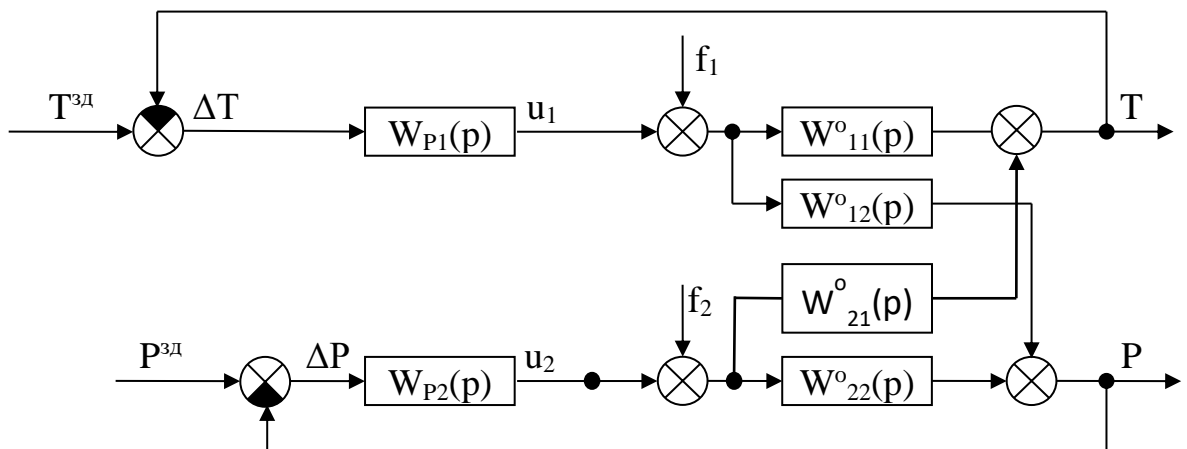


Рис. 3.4 – Структурна схема САР стерилізації консервів базової структури

На рисунку:

$u_1, u_2$  – положення регулюючого органу подачі пари та тиску;

$T$  – температура всередині автоклаву під час стерилізації;

$P$  – тиск всередині автоклаву під час стерилізації;

$f_1, f_2$  – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{P1}(p), W_{P2}(p)$  – передаточна функція регулятора температури та тиску всередині автоклаву під час стерилізації;

$T^{зд}, P^{зд}$  – задане значення регульованої координати;

$\Delta T, \Delta P$  – помилка регулювання по каналу температури та тиску.

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

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а с ПІД-регулятором - на рис. 3.6. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.7.

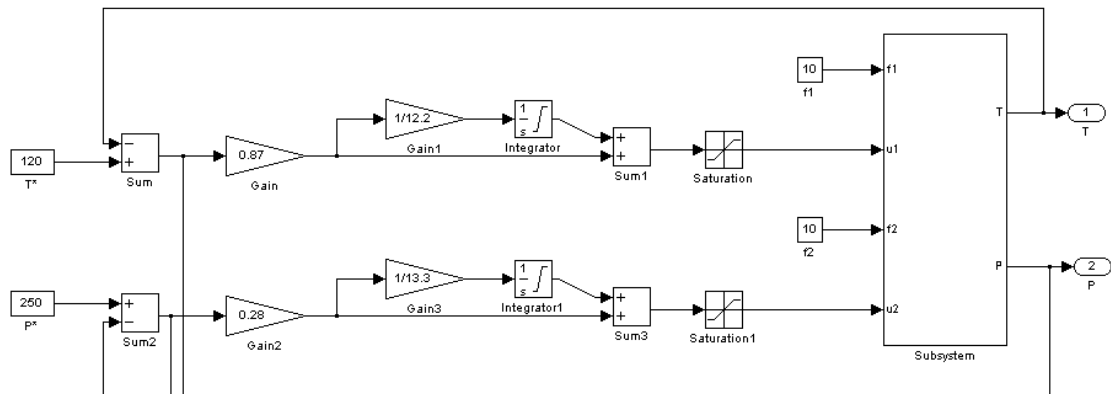


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

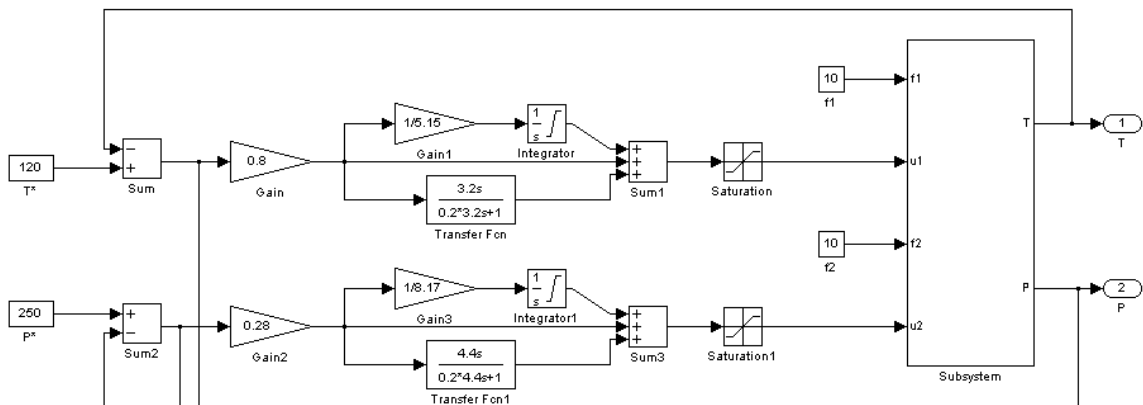


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

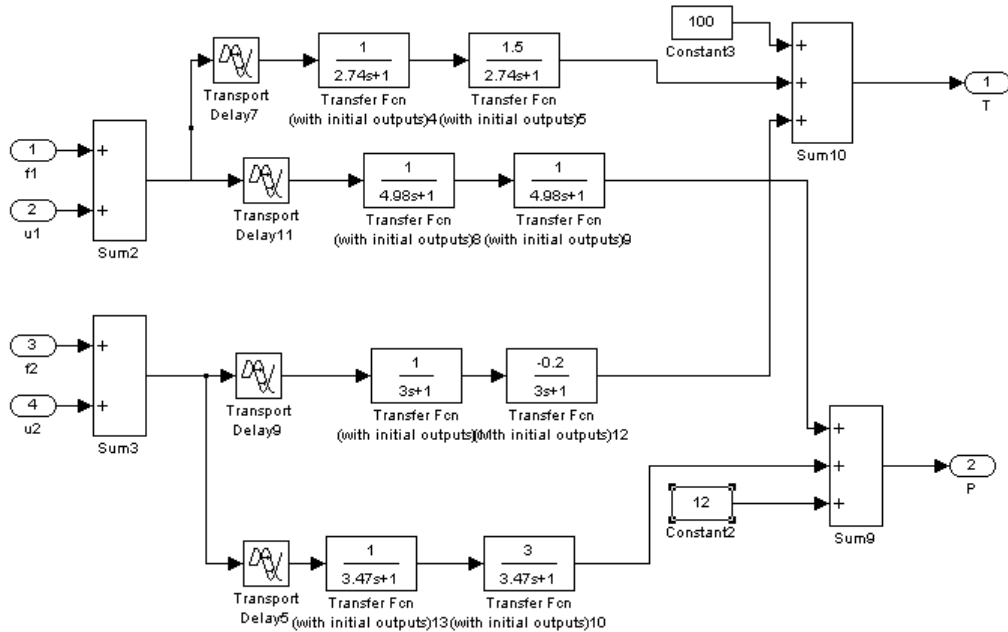


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання ОК

### 3.2.2. Розрахунок початкових наближень налаштувань регуляторів.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_{ИЗ} p} + \frac{T_{ИД} p}{0,2 \cdot T_{ИД} p + 1} \right)$$

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор  $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 4,6}{1,5 \cdot 6,15} = 0,55 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

$$T_{ИЗ1} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 6,15 = 12,3 \text{ с}$$

Регулятор  $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 5,2}{2 \cdot 9,42} = 0,3 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

$$T_{ИЗ2} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 9,42 = 18,8 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор  $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 4,6}{1,5 \cdot 6,15} = 0,6 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

$$T_{ИЗ1} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 6,15 = 8,6 \text{ с}$$

$$T_{y\Pi 1} = 1,0 \cdot \tau_0 = 1,0 \cdot 6,15 = 6,15 \text{ с}$$

Регулятор  $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,2 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,2 \cdot 5,2}{2 \cdot 9,42} = 0,33 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 1,4 \cdot \tau_0 = 1,4 \cdot 9,42 = 13,2 \text{ с}$$

$$T_{y\Pi 2} = 1,0 \cdot \tau_0 = 1,0 \cdot 9,42 = 9,4 \text{ с}$$

### 3.2.3. Проводимо розробку та налаштування схеми моделювання САР з ПІ- та ПІД-регуляторами.

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.9.

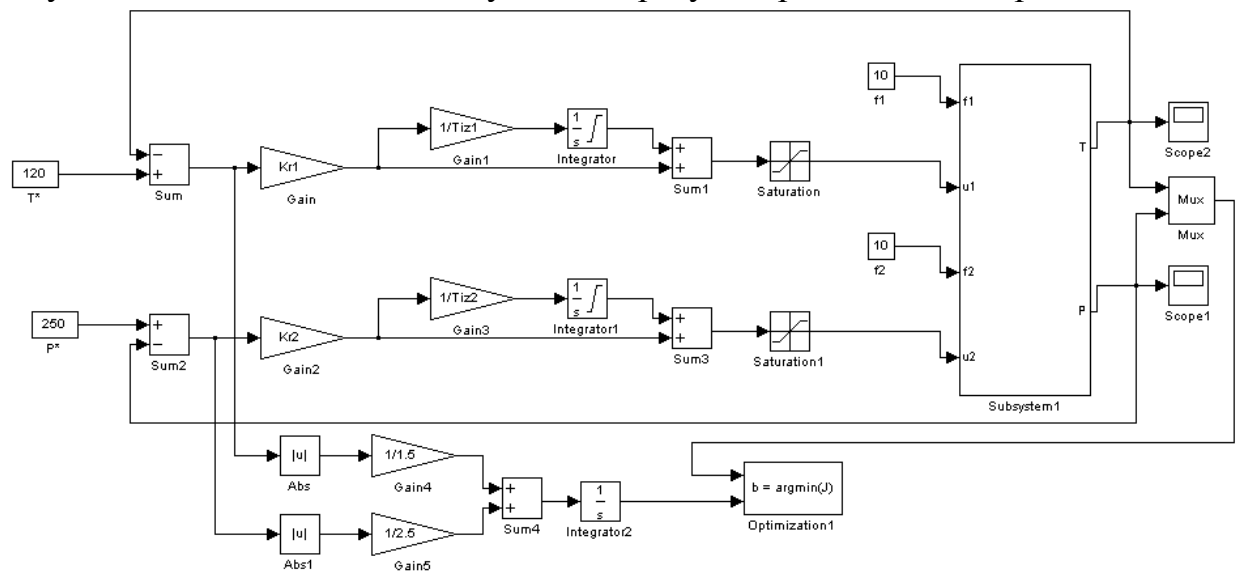
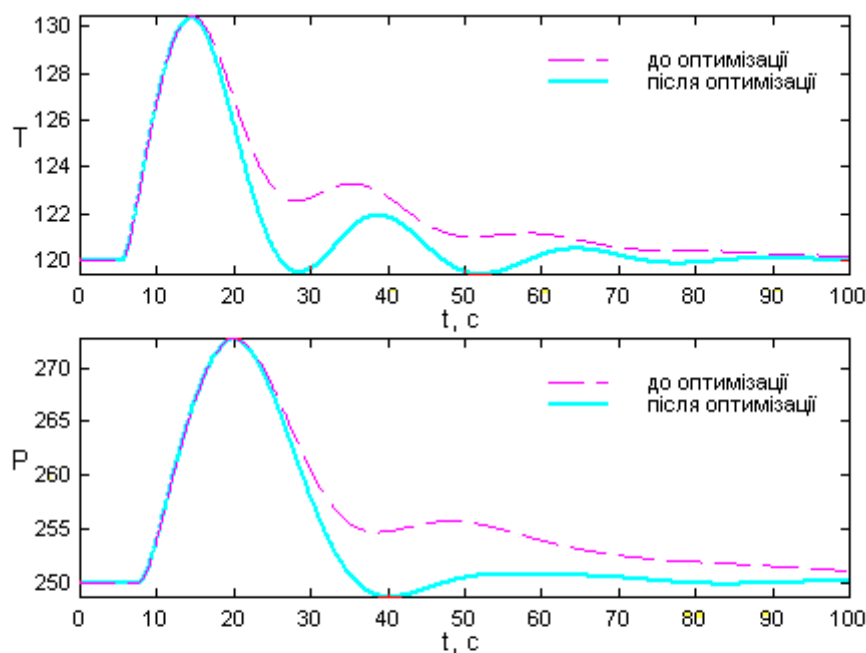


Рис. 3.8 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності: до - 381.158 після - 250.3586 оптимізації.
Kr1	0.57066	-10	0.55	50	
Ti1	7.6396	-10	12.3	50	Кількість кроків процедури оптимізації: максимальна - 1000 фактична - 249
Kr2	0.26655	-10	0.3	50	
Ti2	9.4805	-10	18.8	50	

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T^{\text{МАКС}}$ , °C	$T_{\text{ПІ1}}$ , с	$\Delta P^{\text{МАКС}}$ , °C	$T_{\text{ПІ2}}$ , с	
до оптимізації	10,5	90	24,8	100	381
після оптимізації	10,2	80	23,7	60	250

Для оптимального параметричного синтезу САР стерилізації консервів в автоклаві з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.11.

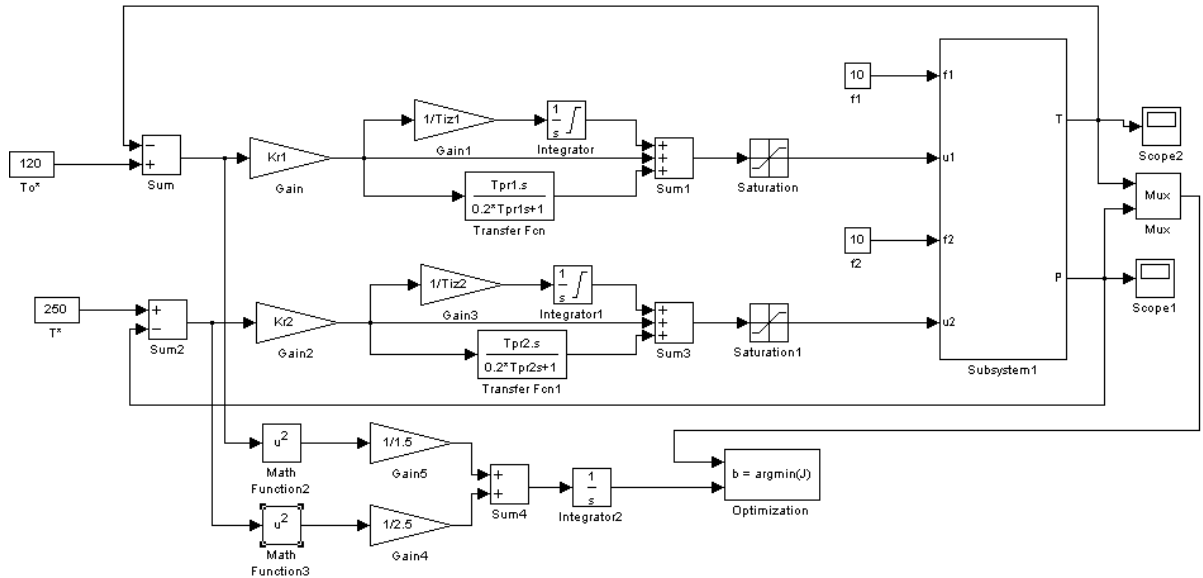
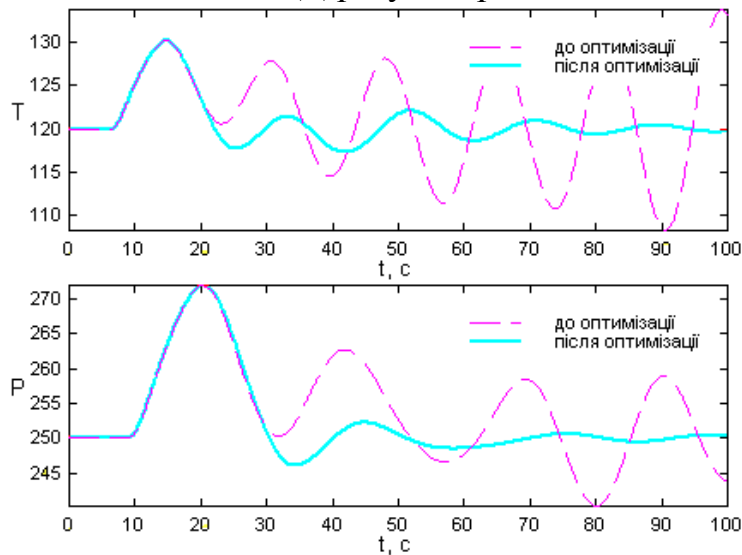


Рис. 3.10 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	0.70997	-10	0.6	50	до - 5493.3099
Tiz1	5.4259	-10	8.6	50	після - 2327.6771
Tpr1	3.4816	-10	6.15	50	оптимізації.
Kr2	0.37421	-10	0.33	50	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	8.8337	-10	13.2	50	максимальна - 1000
Tpr2	4.8882	-10	9.4	50	фактична - 449

Рис. 3.11 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T^{\text{МАКС}}$ , °С	$T_{\text{пп1}}$ , с	$\Delta P^{\text{МАКС}}$ , °С	$T_{\text{пп2}}$ , с	
до оптимізації	$\infty$	$\infty$	20	$\infty$	5493

після оптимізації	9,4	85	20	70	2327
-------------------	-----	----	----	----	------

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.12. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.13, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.14. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.15 та 3.16, і в таблиці 3.3.

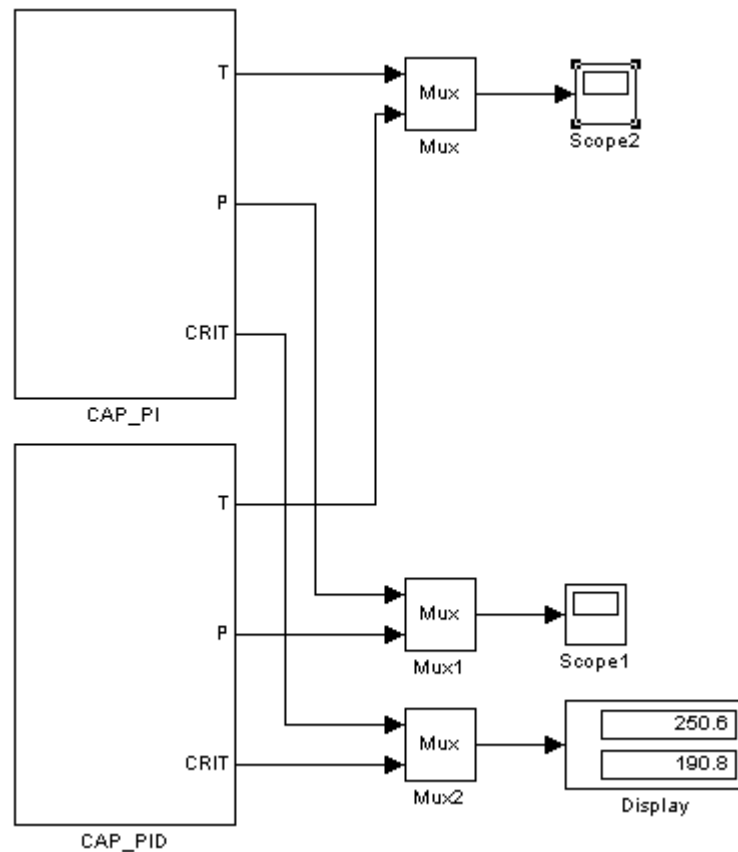


Рис. 3.12 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

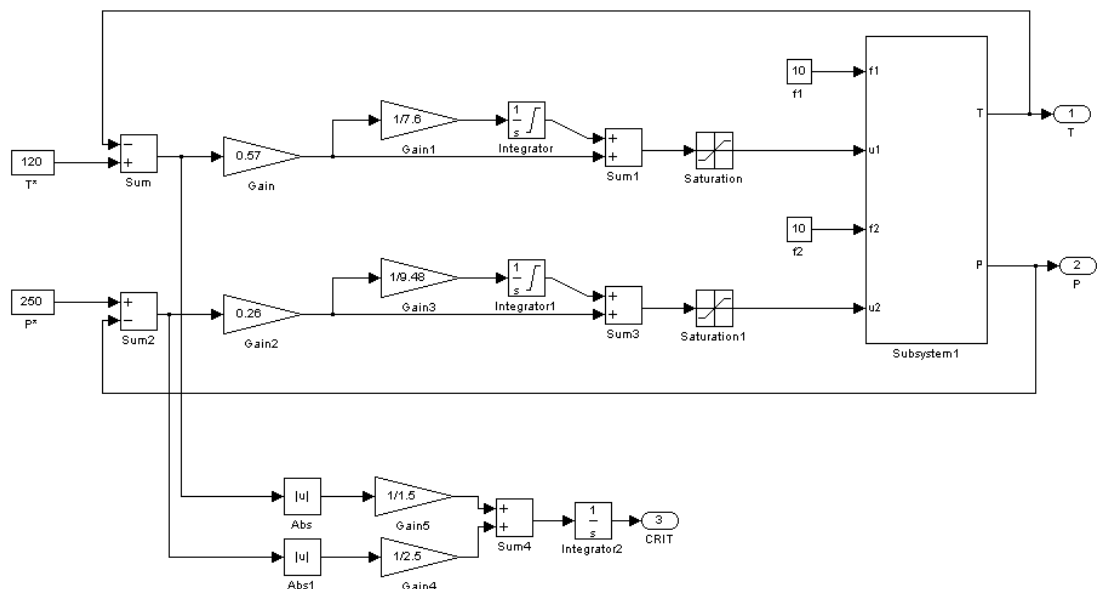




Рис. 3.16 – Результати порівняння варіантів САР по каналу регулювання тиску: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння варіантів САР

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T^{\text{МАКС}}$ , °С	$T_{\text{ПІ1}}$ , с	$\Delta P^{\text{МАКС}}$ , °С	$T_{\text{ПІ2}}$ , с	
ПІ	5,2	80	11,8	80	250
ПІД	4,8	90	10	85	190

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращої за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

### 3.2.4. Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

В процесі роботи теплообмінника може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що 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  $10\% \times \text{р.о.}$ . Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.17, 3.18 и 3.19.

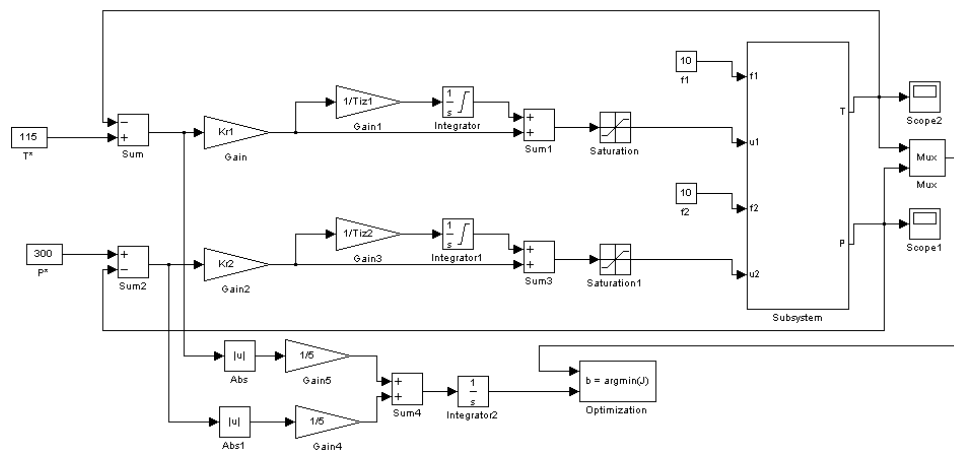


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

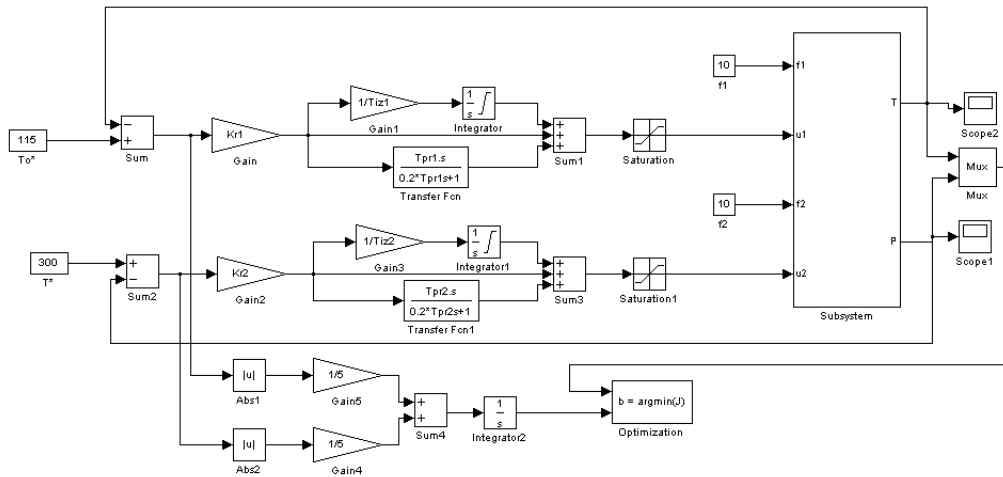


Рис. 3.18 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

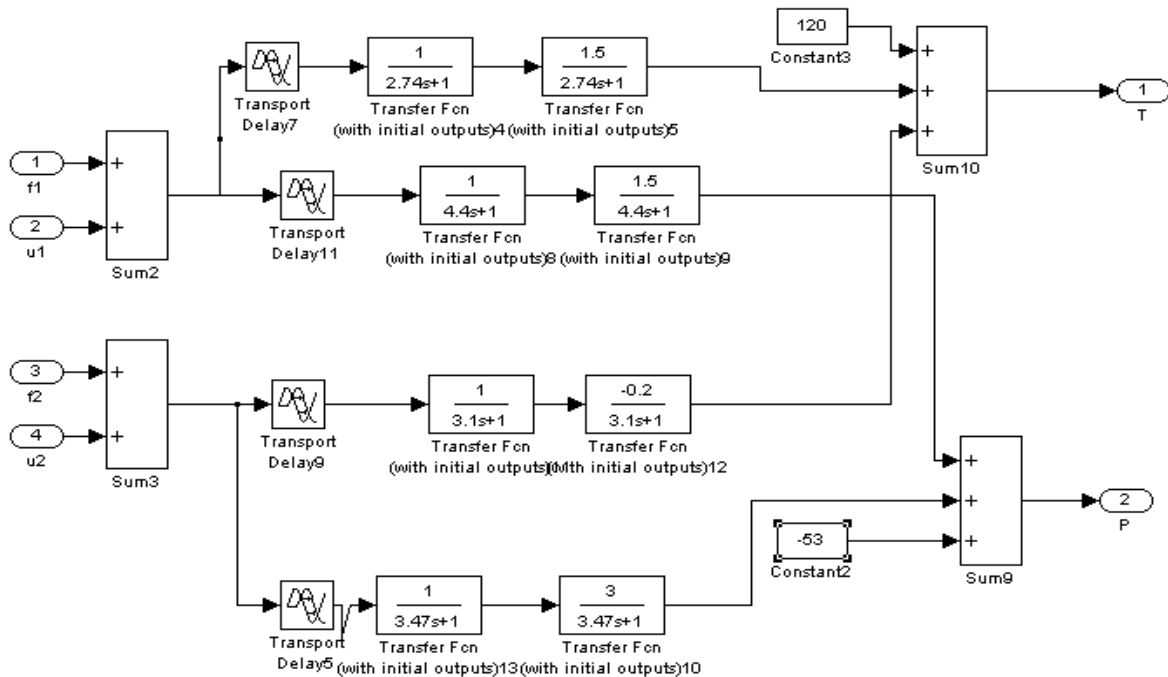


Рис. 3.19 - Структурна схема моделювання ОК для аналізу САР на грубість  
Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.20,  
а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.21.

Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР можуть виходити за рамки регламентних зон.

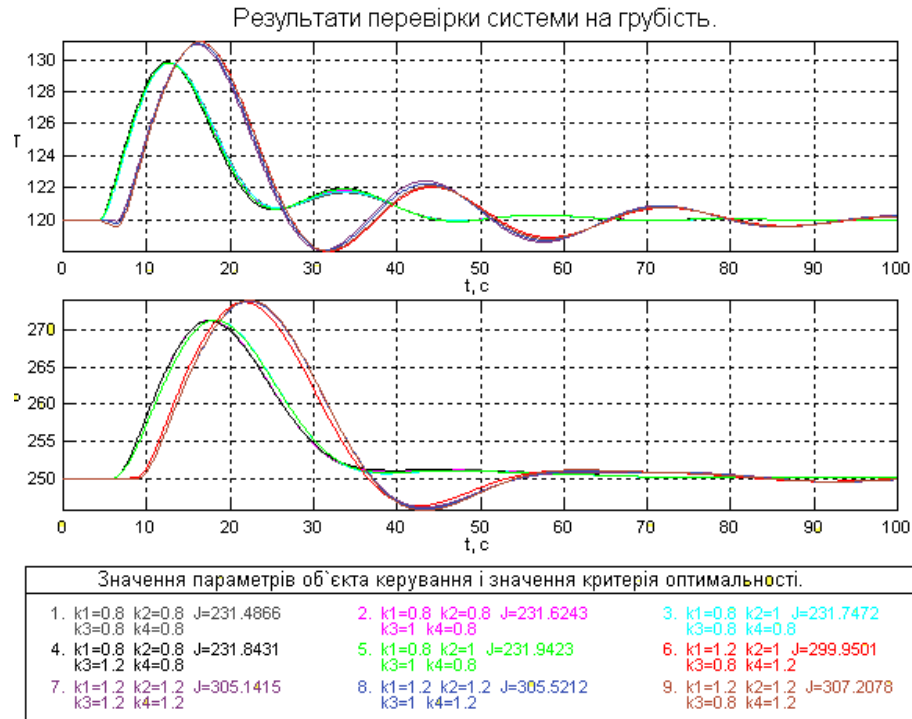


Рис. 3.20 - Аналіз на grubіть САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

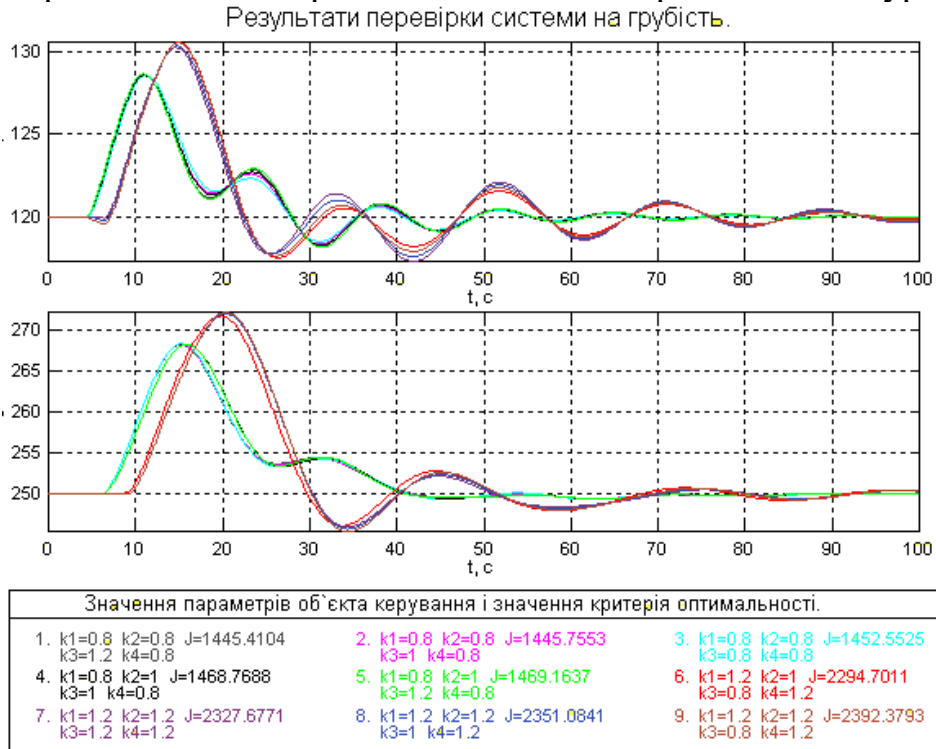


Рис. 3.21 - Аналіз на grubіть САР з ПІД-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

Для оцінки САР на grubіть у сталому режимі будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.22 - 3.24. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведені на рис. 3.25, а з ПІД-регулятором - на рис. 3.26.

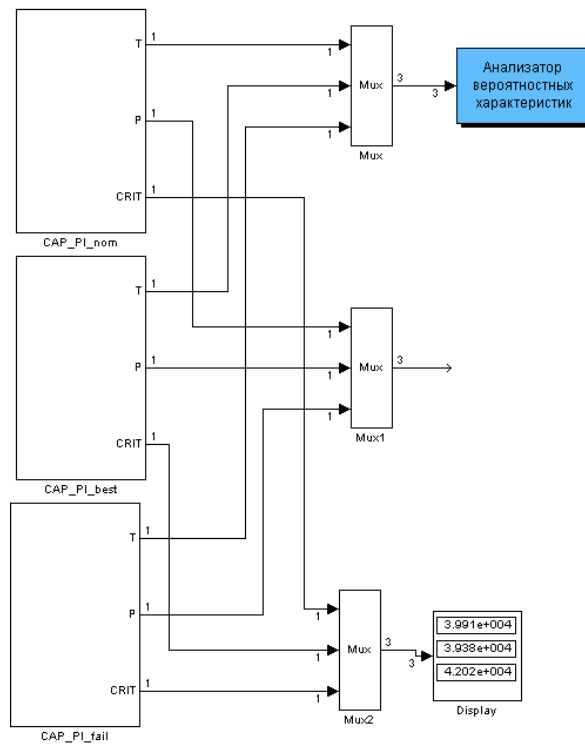


Рис. 3.22 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

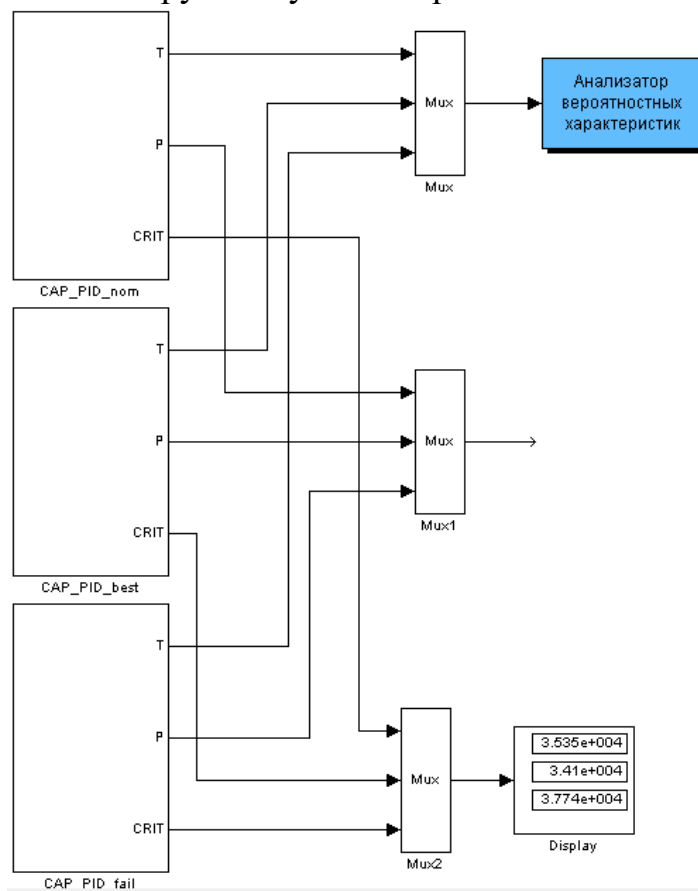


Рис. 3.23 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

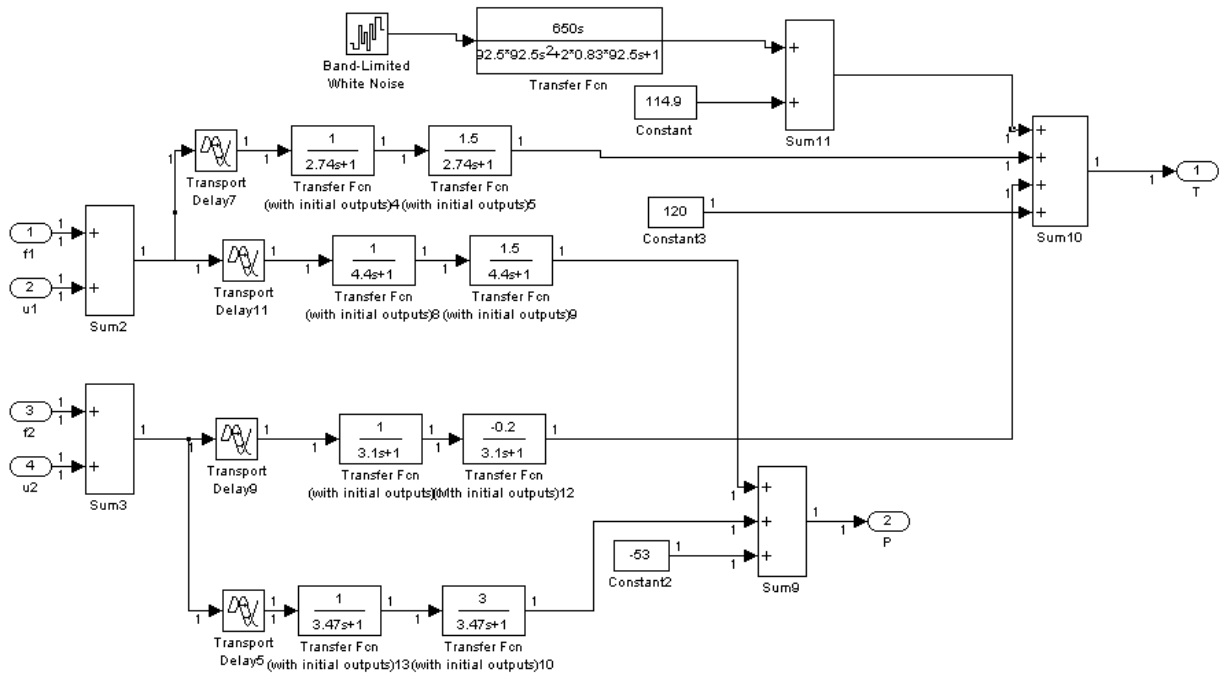


Рис. 3.24 - Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості САР у сталих режимах

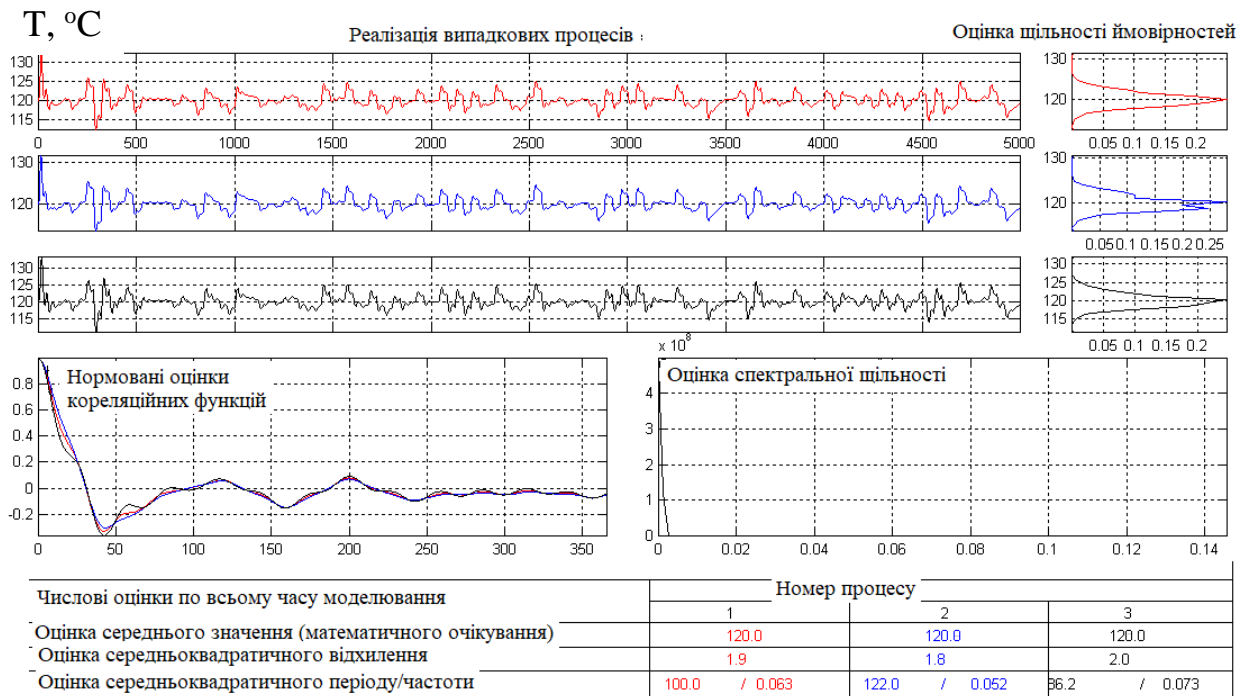


Рис. 3.25 – Результати моделювання САР з ПІ-регулятором

T, °C

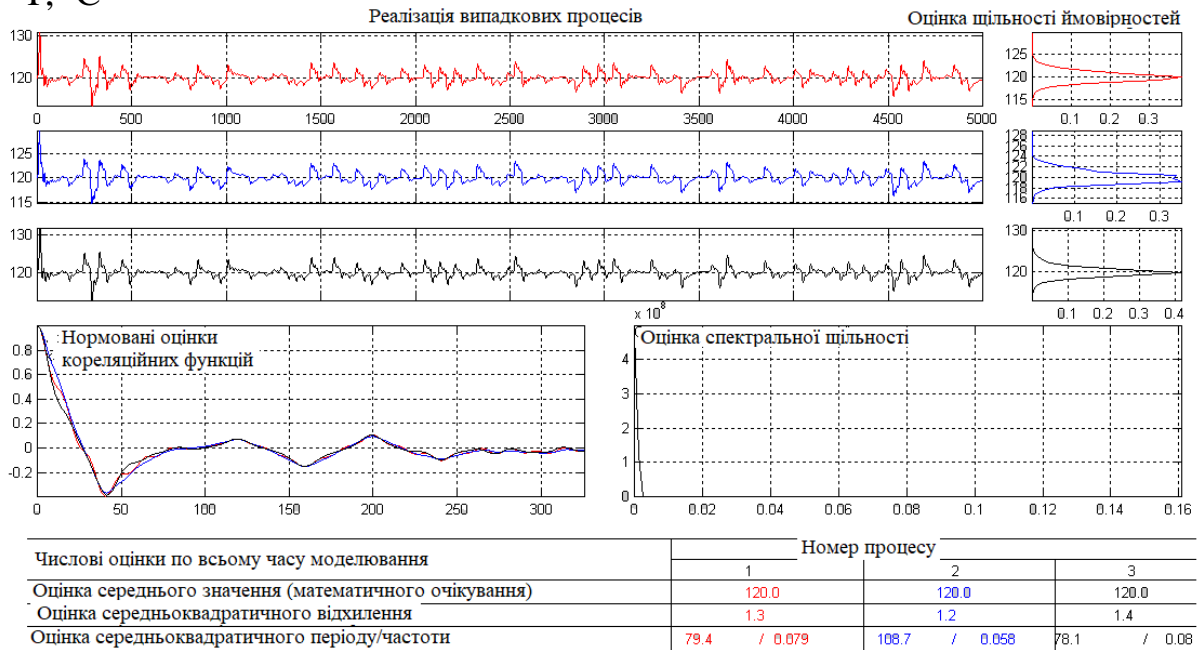


Рис. 3.26 – Результати моделювання САР з ПІД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 3.4, а САР з ПІД-регулятором - в таблицю 3.5.

Таблиця 3.4 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	«найсприятливіші»	номінальні	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	120	120	120
Середньоквадратичне відхилення	1,8	1,9	2
Середньоквадратичний період	122	100	86
Інтегральний критерій	3938	3991	4202

Таблиця 3.5 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	«найсприятливіші»	номінальні	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	120	120	120
Середньоквадратичне відхилення	1,2	1,3	1,4
Середньоквадратичний період	108	79	78
Інтегральний критерій	3410	3535	3774

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

#### 3.3.1. Аналіз особливостей регульованого об'єкта, що знижують динамічну точність

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: вплив інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивні зміни завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення  $t_0/T_0$ , взаємний вплив каналів в багатовимірному САР).

У нашому випадку основною причиною цього є вплив контуру регулювання тиску в автоклаві під час стерилізації на контур регулювання температури в камері. Основним способом підвищення динамічної точності САР стерилізації в автоклаві у складі двоканальної САР є забезпечення автономності контуру регулювання тиску в камері.

Основою для підвищення динамічної точності САР послужить принцип двоканальності, суть якого полягає у введенні додаткового каналу впливу через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу автономності структурна схема автономної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.27.

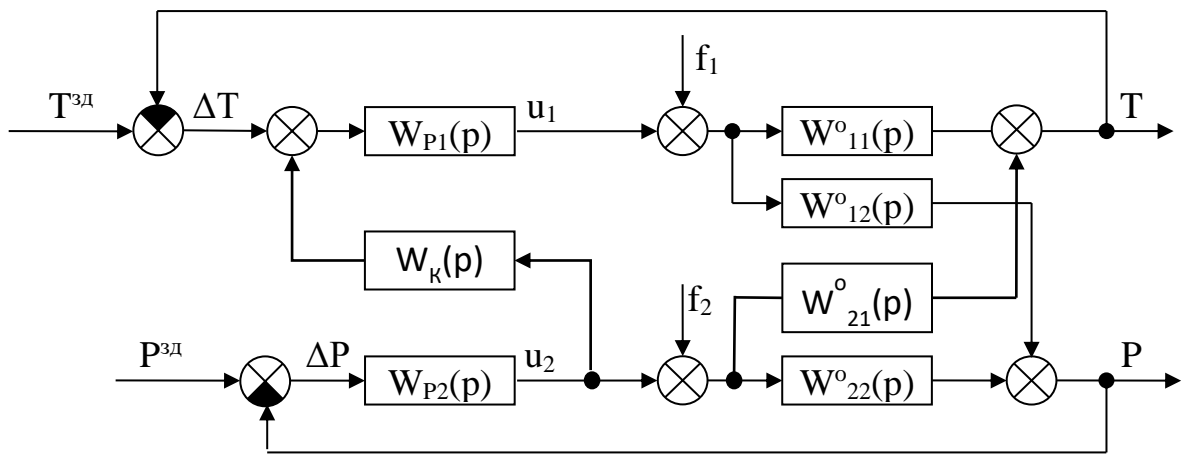


Рис. 3.27. – Структурна схема автономної САР  
На схемі  $W_K(p)$  - передаточна функція коригуючого зв'язку.

Обов'язковою умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу для контрольованого збурення, а для САР, що розглядається, така можливість існує. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізованість передаточної функції коригуючого зв'язку.

### 3.3.2. Розробка, реалізація та налагодження імітаційної моделі коригуючого зв'язку і САР в цілому

$$P' + P'' = P = 0$$

$$P' = u_2 \cdot W_{21}^O(p); \quad P'' = u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)$$

$$u_2 \cdot W_{21}^O(p) + u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = 0$$

$$u_2 \cdot W_K(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = -u_2 \cdot W_{21}^O(p)$$

$$W_K(p) = -\frac{W_{21}^O(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)}$$

Якщо

$$W_{21}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-6,3p}}{4,5p+1}; \quad W_{11}^O(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-6,15p}}{4,6p+1};$$

$$W_{P1}(p) = 0,7 \cdot \left(1 + \frac{1}{5,4p} + 3,48p\right) = 0,7 \cdot \frac{18,8p^2 + 5,4p + 1}{5,4p}$$

Тоді

$$W_K(p) = -\frac{W_{21}^O(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)} = -\frac{\frac{-0,2 \cdot e^{-6,3p}}{4,5p+1}}{0,7 \cdot \frac{18,8p^2 + 5,4p + 1}{5,4p} \cdot \frac{1,5 \cdot e^{-6,15p}}{4,6p+1}} =$$

$$= -\frac{-0,2}{0,7 \cdot 1,5} \cdot \frac{e^{-6,3p}}{e^{-6,15p}} \cdot \frac{5,4p \cdot (4,6p+1)}{(4,5p+1) \cdot (18,8p^2 + 5,4p + 1)} =$$

$$= 0,19 \cdot e^{-0,15} \cdot \frac{5,4p \cdot (4,6p+1)}{(4,5p+1) \cdot (18,8p^2 + 5,4p + 1)}$$

У цьому випадку передаточної функції коригуючого зв'язку буде такою:

$$W_K(p) = 0,19 \cdot e^{-0,15} \cdot \frac{5,4p \cdot (4,6p+1)}{(4,5p+1) \cdot (18,8p^2 + 5,4p + 1)}$$

Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку при одиничному ступінчатому впливі наведена на рис. 3.28, а його перехідна характеристика показана на рис. 3.29.

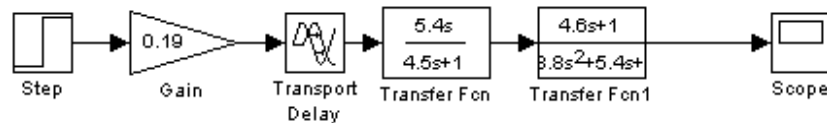


Рис. 3.28 – Структурна схема моделювання передаточної функції

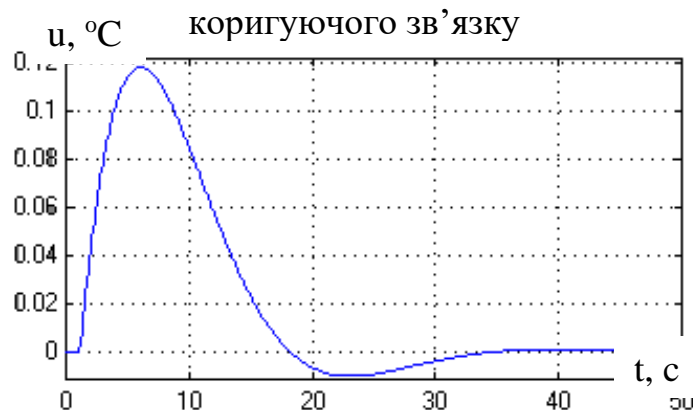


Рис. 3.29 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку є занадто складною передаточною функцією, тому її доцільно спростити, зберігши її диференціюючі властивості. Спрощена передаточна функція коригуючого зв'язку буде наступною:

$$W_K(p) = e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K3}p + 1)^2} = e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K3}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{K3}p + 1}$$

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку візьмемо наступні значення параметрів:  $T_{K1} = 0,15$ ;  $T_{K2} = 5,4$ ;  $T_{K3} = 4,6$ . Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючих зв'язків скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.30. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.31, а результати моделювання показані на рис. 3.32.

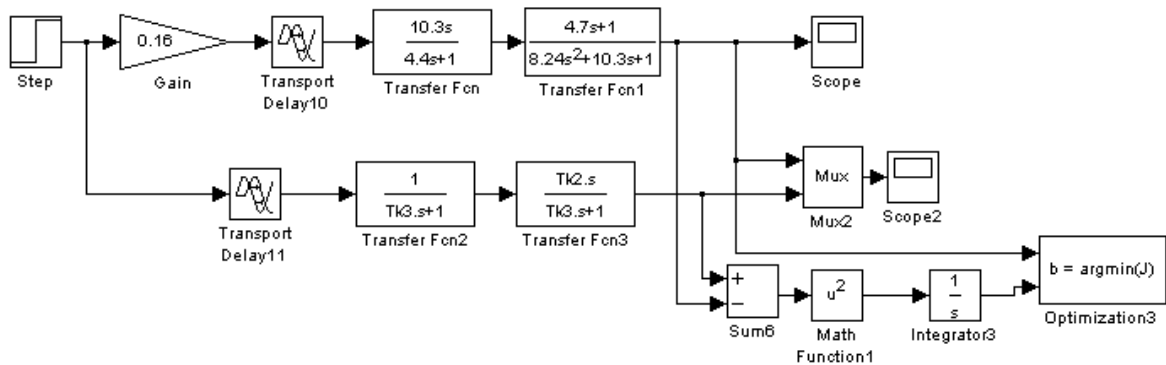
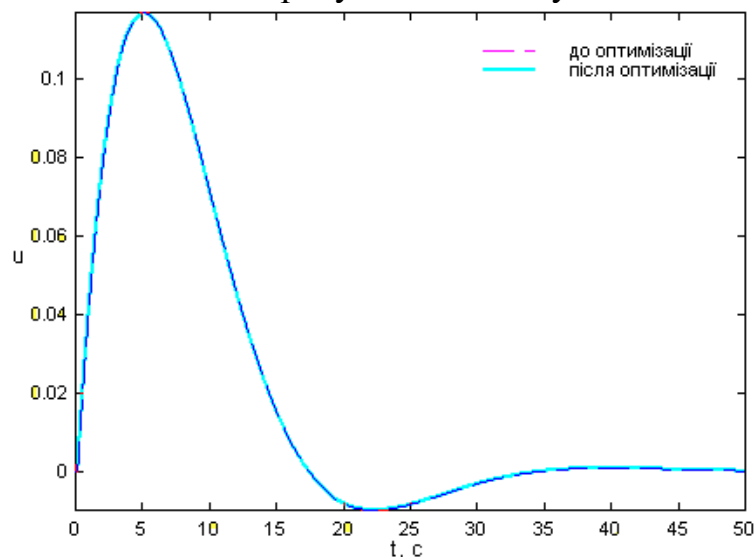
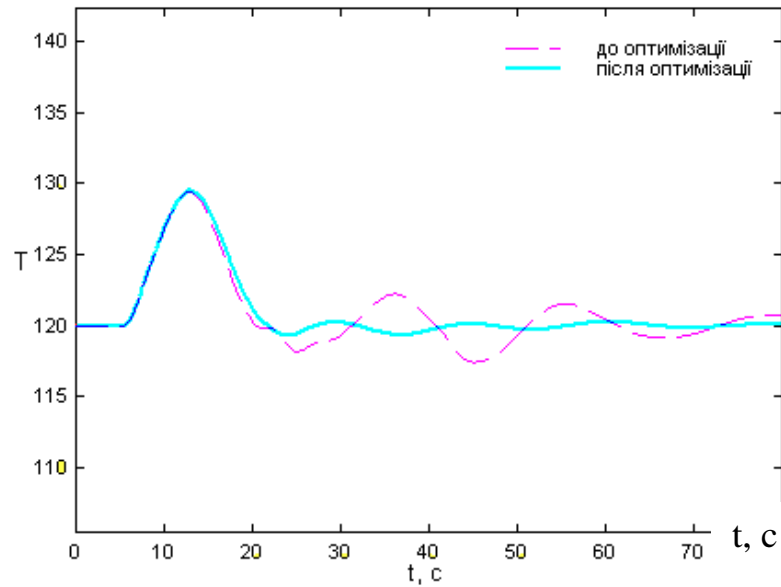


Рис. 3.30 – Схема моделювання уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Tk1	0.67436	-10	0.15	50	до - 0.92259
Tk2	1.1624	-10	5.4	50	після - 0.0032947
Tk3	3.5305	-10	4.6	50	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000





Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	0.71647	-10	0.77522	50	до - 218.6721
Tiz1	5.7789	-10	6.6592	50	після - 176.6598
Tpr1	3.1121	-10	3.5197	50	оптимізації.
Tk1	7.9307	-10	8.6998	50	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tk2	0.51777	-10	1.7377	50	максимальна - 1000
Tk3	0.31958	-10	0.18066	50	фактична - 236

Рис. 3.34 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 3.35. Результати порівняння зображенні на рис. 3.36, рис. 3.37 та в таблиці 3.6.

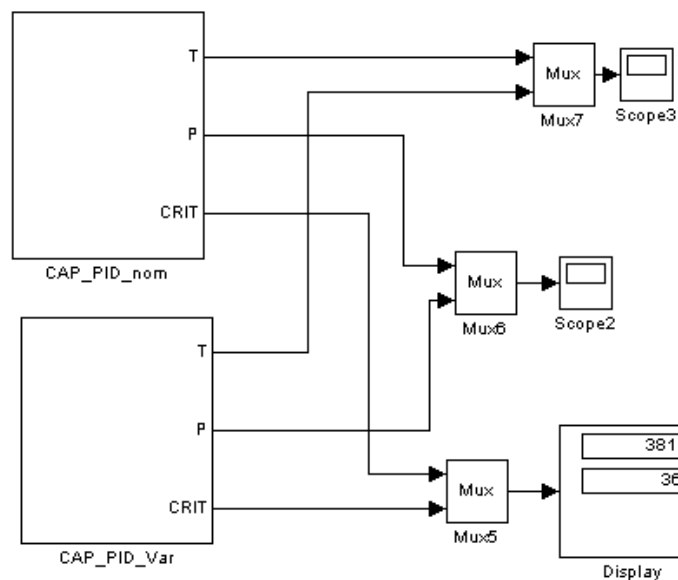


Рис. 3.35 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР збільшеної динамічної точності у перехідних режимах

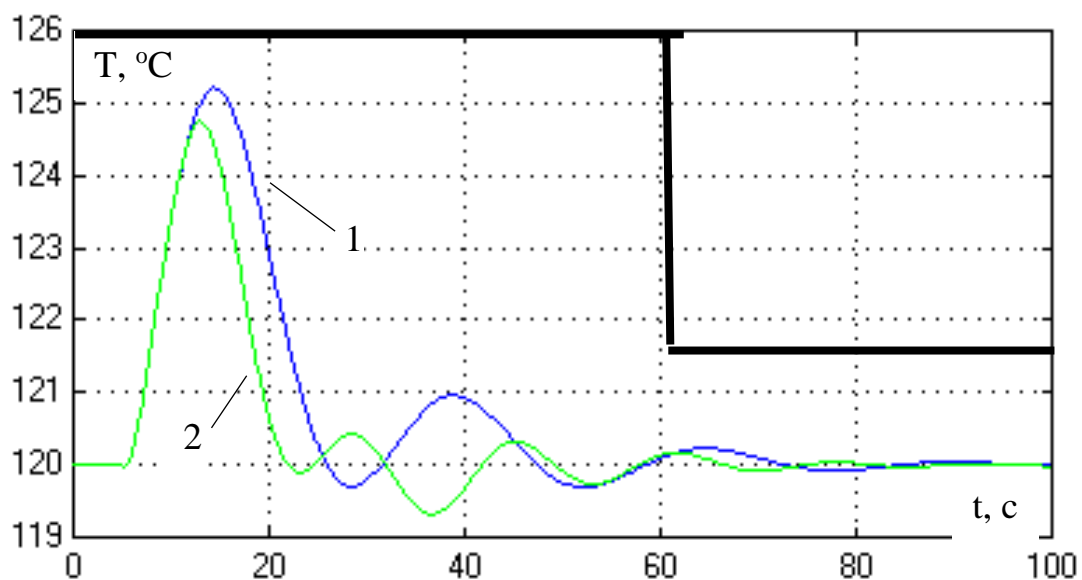


Рис. 3.36 – Перехідні процеси в САР по каналу регулювання температури коли  $f_1=5$ ,  $f_2=5$ : 1 – базової структури; 2 – підвищеної динамічної точності.

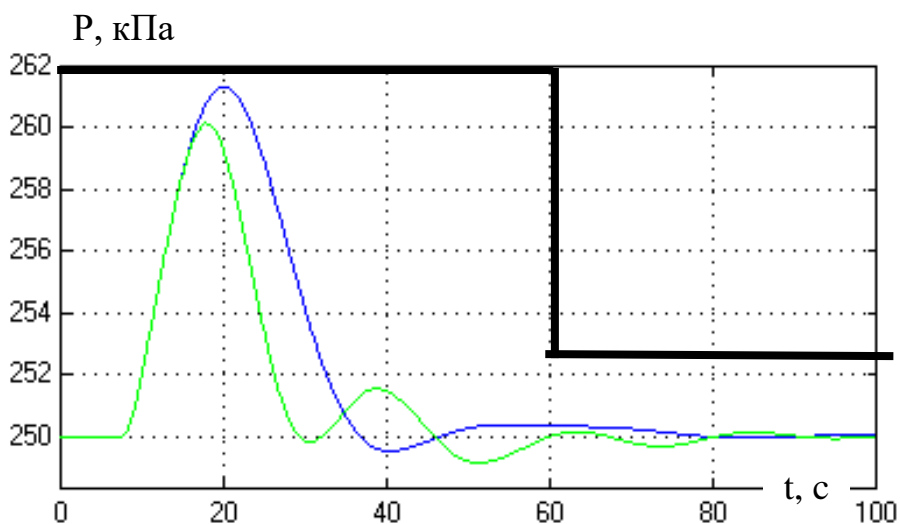


Рис. 3.37 – Перехідні процеси в САР по каналу регулювання тиску коли  $f_1=5$ ,  $f_2=5$ : синій – базової структури; зелений – підвищеної динамічної точності.

Таблиця 3.6 – Результати порівняння базової структури САР і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Структура САР	Прямі показники якості			Критерій
	$\Delta T^{\text{МАКС}}$	$\Delta P^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
Базова	5,2	11,5	85	249
Підвищеної динамічної точності	4,8	10	80	202

### 3.3.3. Перевірка САР підвищеної динамічної точності на грубість

Результати випробувань САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах зміни параметрів ОК наведені на рис. 3.38. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів САР дає збіжні перехідні процеси, а значить, САР груба.

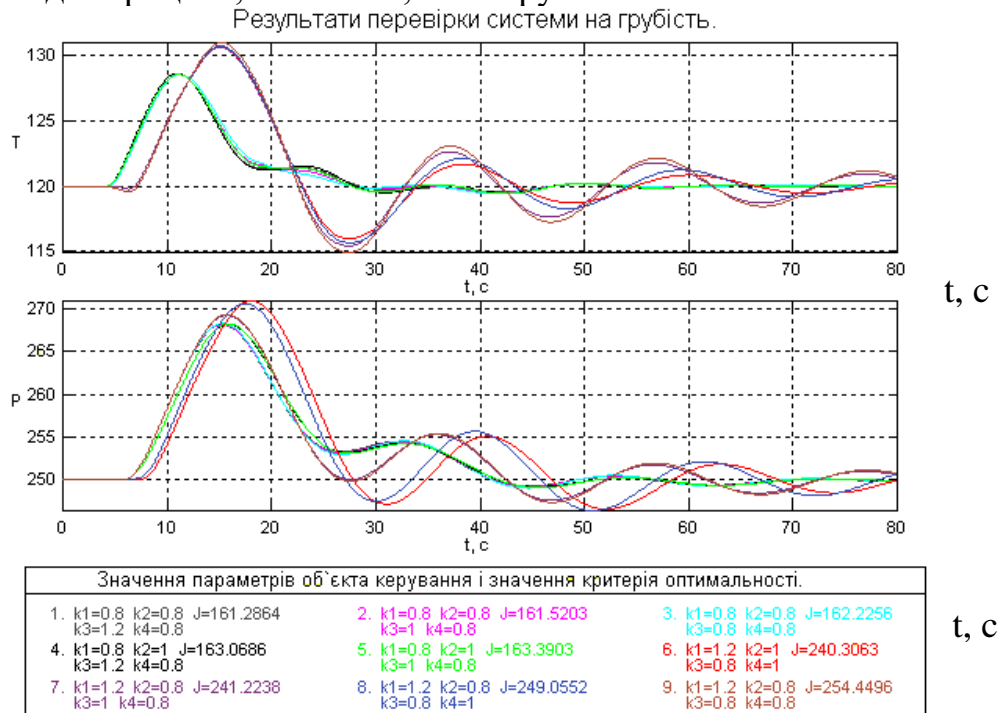


Рис. 3.38 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах зміни параметрів ОК

Для оцінки САР по грубості в стаціонарному стані скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.39. Результати моделювання наведені на рис. 3.40 і таблицею 3.7.

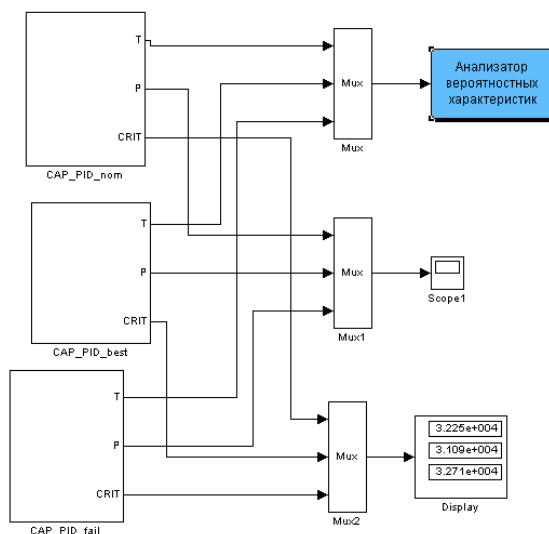


Рис. 3.39 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки грубості в сталих режимах

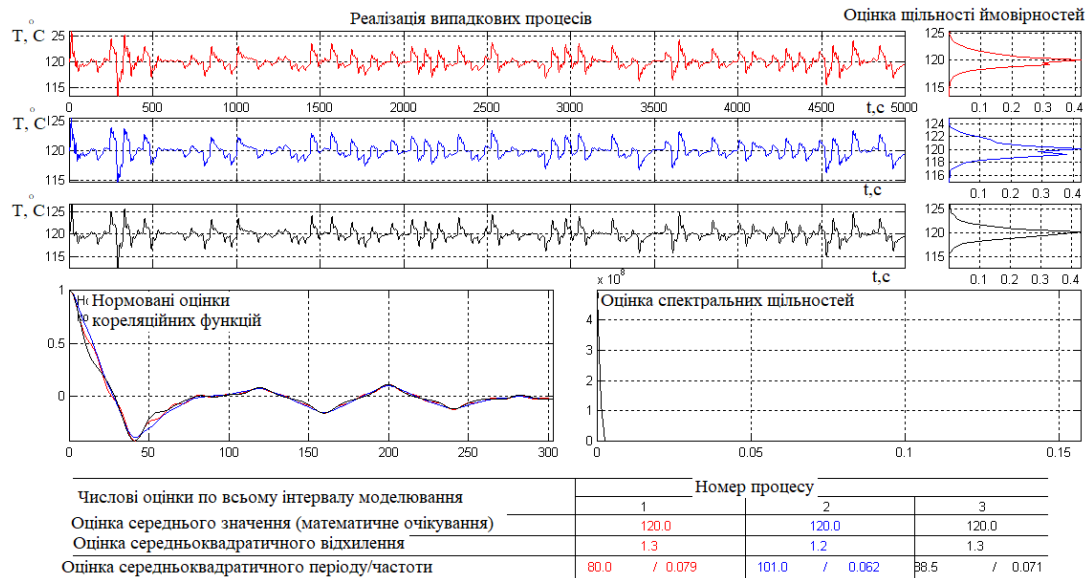


Рис. 3.40 - Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на рубість у сталих режимах

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності для грубості в сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	«найсприятливіші»	номінальні	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	120	120	120
Середньоквадратичне відхилення	1,2	1,3	1,3
Середньоквадратичний період	101	80	88
Інтегральний критерій	3109	3225	3271

### 3.4. Висновки до розділу

САР з ПІ- та ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам. Загалом, параметри регуляторів в результаті параметричної оптимізації змінюються досить суттєво, але і налаштування регуляторів, отримані за інженерними методиками, дають нам стійкі перехідні процеси в САР. Тому можна зробити висновок, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці можуть застосовуватися, хоча існує значний запас підвищення динамічної точності САР.

Після додавання коригуючого зв'язку максимальне динамічне відхилення зменшилося на 8%, час перехідного процесу зменшився на 9%, інтегральний критерій зменшився на 19%. З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за більшістю показників якості САР підвищеної динамічної точності є кращою, ніж САР з базовою структурою. Тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

#### **4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом**

##### **4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій**

Мета технологічного процесу стерилізації кабачкової ікри полягає в знезараженні від шкідливих мікроорганізмів зі збереженням якісних показників. У автоклав завантажуються корзини зі скляними банками кімнатної температури. Після цього закривається кришка автоклаву і починається подача пари в камеру. Після того, як температура в камері досягла необхідного значення, починається відстеження тиску середовища в автоклаві аби уникнути розриву тари. Температура стерилізації кабачкової ікри 120°C. Значення протитиску за формулою стерилізації має складати 250 кПа. Якщо тиск перевищує дозволений, то ми можемо відкрити клапан, який регулює цей тиск, або навпаки, закрити його, щоб створити його. Процес нагріву-стерилізації-охолодження займає 25-50-25 хвилин відповідно. Етап охолодження відбувається шляхом подачі холодної та вирівнюванням тиску в камері до заданих значень. Наостанок відбувається вивантаження продукту. Технологічна схема процесу для вирішення задачі логічного керування представлена на рис. 4.1. Логічне керування технологічним циклом має здійснюватися наступним чином. Перед запуском необхідно заповнити ємність продуктом, перевірити необхідні умови для пуску. Потім забезпечити передпускову сигналізацію. Надалі забезпечити нагрів тари до 120 °С, забезпечити тиск у ємності 250кПа; витримати продукт протягом 50 хвилин на заданих значеннях регульованих параметрів; охолодити та вивантажити готовий продукт. Блок схема регламенту логічного керування процесом стерилізації кабачкової ікри в автоклаві наведено на рис. 4.2.

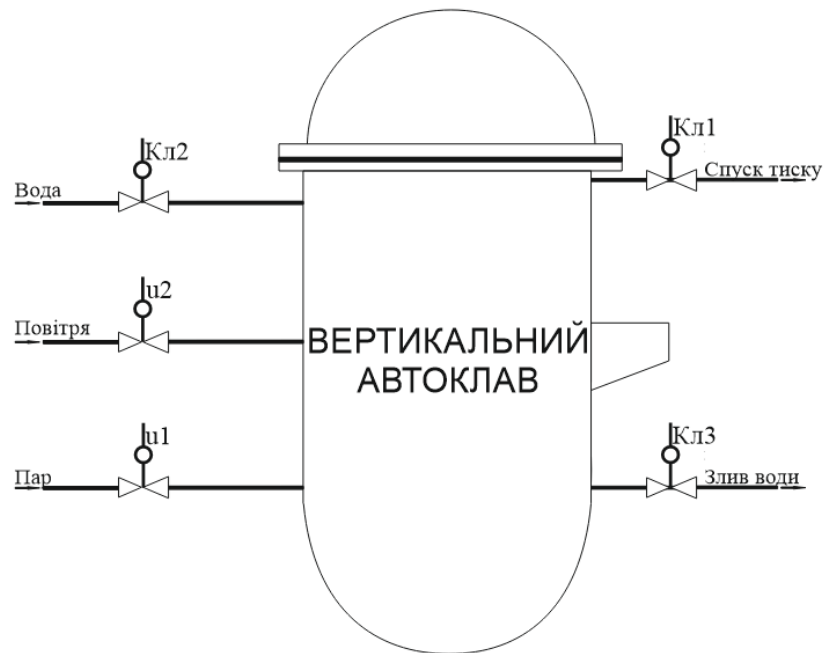


Рис. 4.1 – Апаратно-технологічна схема процесу стерилізації в автоклаві

- u1 – положення регулюючого органу подачі пари;
- u2 – положення регулюючого органу подачі стисненого повітря;
- Кл1 – клапан для вирівнювання тиску;
- Кл2 – клапан подачі холодної води;
- Кл3 – клапан зливу води;

#### 4.2. Формалізація регламентів функціонування циклу роботи автоклаву та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

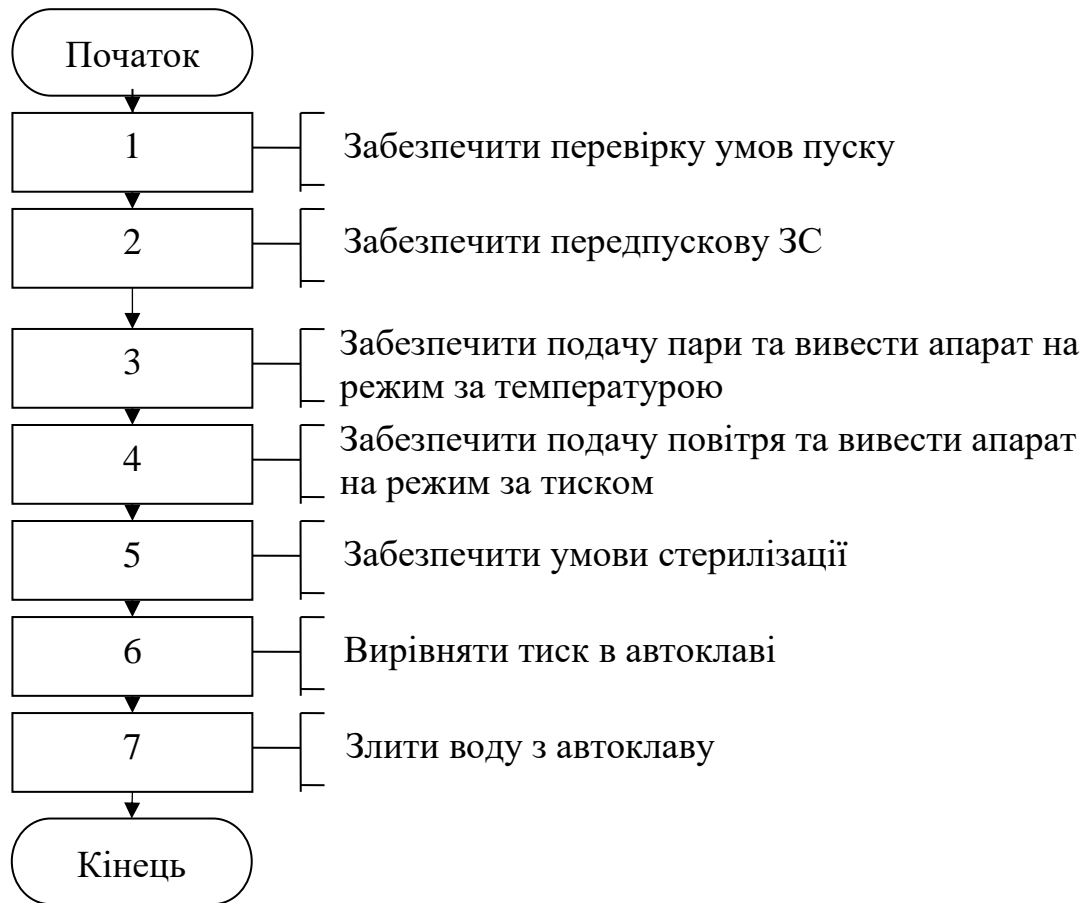


Рис. 4.2 – Блок-схема регламент на технологічний цикл процесу стерилізації

Для аварійної зупинки котла необхідно спочатку припинити подачу повітря, переключити автоклав на режим спуску тиску, після чого припинити подачу пари. При цьому у разі аварії має бути увімкнена звукова сигналізація. На рис. 4.3 наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) автоклаву за його аварійною зупинкою.



Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту аварійної зупинки

#### 4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: пуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис

Перевірку умов, необхідних для пуску виконують за допомогою послідовної перевірки сигналів від датчиків – реле тиску P1, P2 до яких відносяться тиск води у магістралях подачі повітря та пари; наявність сигналу від кінцевого вимикача, що свідчить про закриття кришки автоклаву. Наявність сигналів свідчить про наявність необхідних умов.

За наявності вказаних умов розпочинається процедура пуску, а за відсутності будь-якої з умов процедура припиняється. Після чого необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу, для цього використовується звукова сигналізація, що включається на деякий час, після виключення сигналізації необхідно забезпечити безперешкодну подачу пари в автоклав через клапан u1, а згодом вмикаємо контур регулювання температури камери в автоклаві. Далі відкриваємо клапан u2 та вмикаємо контур регулювання тиску в автоклаві. Далі відбувається витримка згідно регламенту – 50 хвилин. Після чого клапани подачі пари та повітря закриваються, та починається процес охолодження шляхом вирівнювання тиску автоклаву з атмосферним, відкривши Кл1 та подачею холодної води через Кл2 до рівня LB. Коли банки охололи до кімнатної температури – відкривається клапан Кл3 в результаті чого зливається вода і автоклав стає готовим до розвантажування. Алгоритм циклу роботи вказаний у блок-схемі рисунку 4.4.

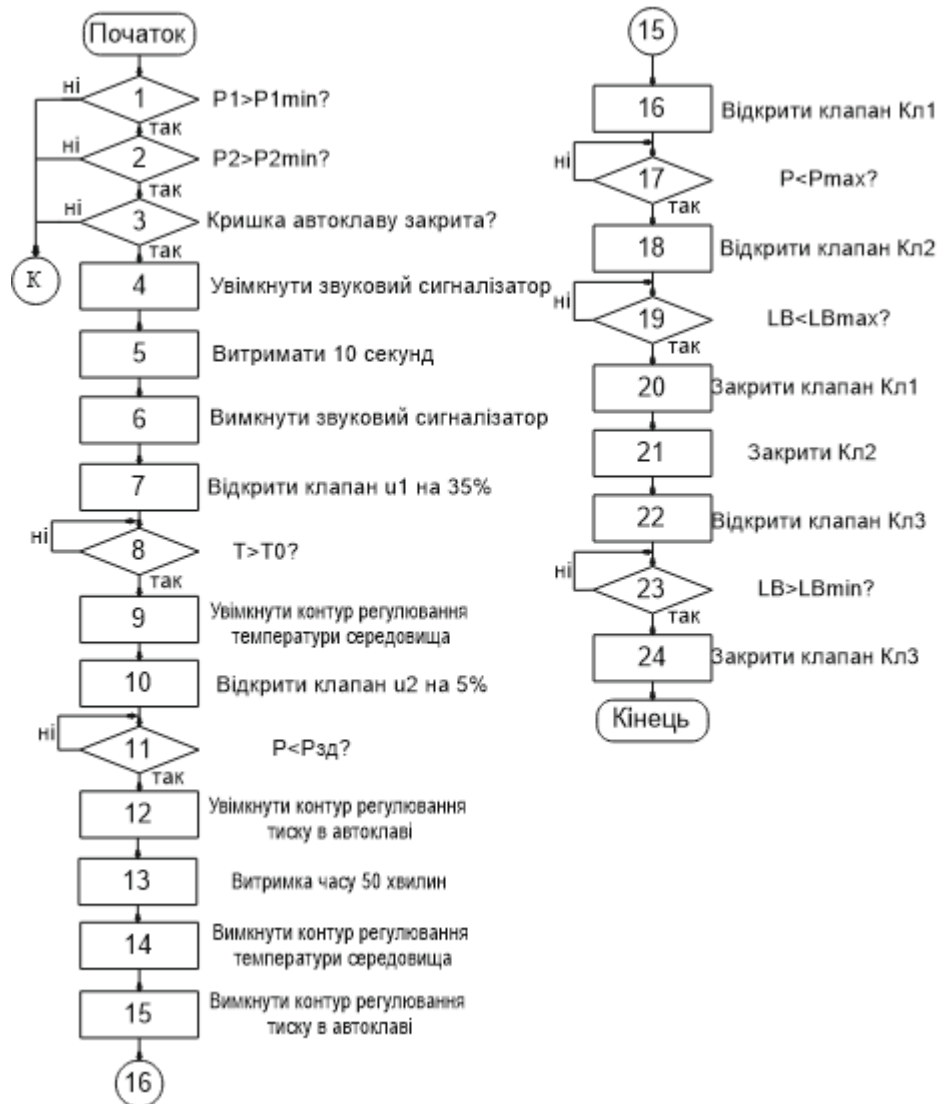


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму управління циклом роботи

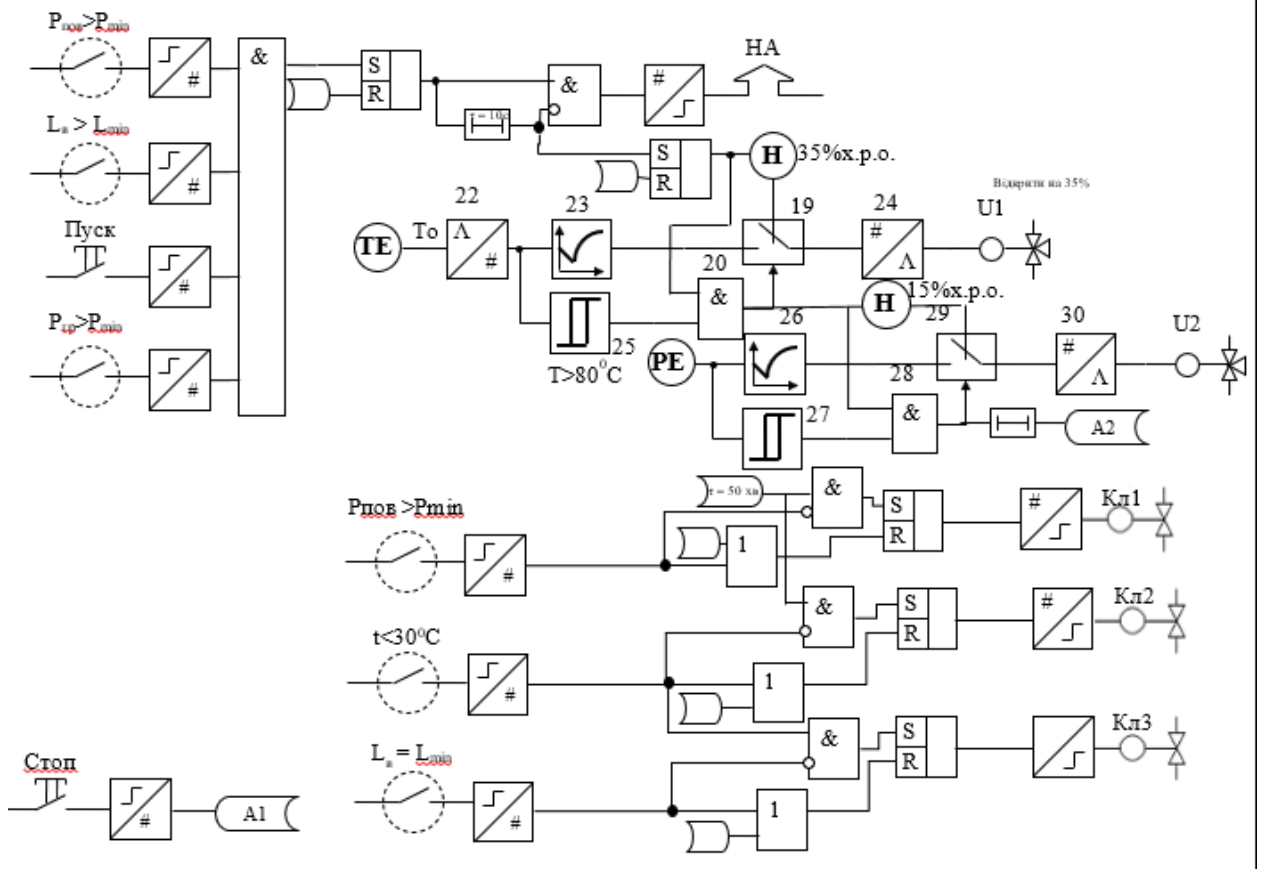
У разі коли автоклав працює у нормальному режимі та при цьому стає відсутній один з сигналів – тиск в камері чи її температура, система переходить в режим аварійної зупинки. Аварійна зупинка здійснюється наступним чином – спрацьовує аварійна сигналізація, вимикаються контури регулювання температури та тиску, відкриваються клапани КЛ1 та КЛ2 для охолодження продукту. Алгоритм аварійної зупинки вказаний у блок-схемі рисунку 4.5.



Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму управління аварійною зупинкою

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

Для розробки цієї схеми необхідні алгоритм автоматичного управління пуском апарату і його зупином. Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 9 по сигналам від датчика тиску в магістралі пари 1, датчика рівня води 2, датчика тиску в трубопроводі стисненого повітря 3 та кнопки пуск 4, які поступають в схему через ДЦП 5, 6, 7, 8. Підхоплення сигналу пуск виконує RS-тригер 10. Після появи логічної 1 на виході RS вмикається передпускова сигналізація звукова (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 11. Формує сигнал ППЗС елемент 10 через ЦДП 12. По завершенні ППЗС від таймера 11 починає свою роботу установка. Вмикається RS – тригер 13 а з нього формується та подається сигнал на відкриття u1 на 35%, та подає логічну одиницю на RS-тригер 13, що вмикає контур регулювання T за умови  $T > 80 \text{ } ^\circ\text{C}$  для цього використовуються елементи 25, 20 та 19.



Після відкриття  $u1$  тиск  $P$  починає збільшуватися й після того як умова  $P > 110$  кПа орган 27 подає сигнал перемикання елемент 29 після чого вмикається контур регулювання  $P$ . Після чого запускається таймер 30, та через 50 хвилин видавши логічну одиницю, він вимикає контури регулювання та стає однією з умов відкриття клапанів Кл1 та Кл2 призначені на охолодження тари. Коли виконуються умови  $T < 30$  °C та  $P > P_{min}$  логічна одиниця з елементів 35 та 36 зупиняють клапани вирівнювання тиску та подачі холодної води, та логічна одиниця прямує на елемент 38 що в свою чергу є сигналом відкриття Кл3 для зливу води. Та після виконання умови  $L > L_{min}$ , сигнал йде на ресет елементу 38 та закриває клапан. Після чого можна вважати що цикл роботи завершено та пройшов успішно.

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

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

Основними середовищами в камері автоклаву є: пароповітряний простір, що має температуру 100-200 °С та тиск 100-350 кПа; конденсат з температурою приблизно 120 °С (табл 5.1).

Виходячи з наведених вище характеристик середовищ для технологічного стерилізації кабачкової ікри в автоклаві можна зробити такі висновки: усі прилади повинні бути термостійкими, оскільки в камері підвищена температура, також вони повинні бути вологостійкими тому, що процес стерилізації супроводжується утворенням конденсату та охолодженням за рахунок подачі холодної води. Це середовище може негативно впливати на роботу засобів автоматизації.

Табл. 5.1 Середовища та їх параметри

Перелік параметрів середовища:	Діапазон зміни параметрів вимірювання
Тиск в камері автоклаву	P = 100-350 кПа
Температура в камері автоклаву	T = 20 – 180 °С

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють (табл. 5.1, 5.2):

Табл. 5.1 – Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)

22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9). Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54
----	---

Для нашого обладнання, виберемо ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Вибухобезпечне електрообладнання».

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходиться тверді горючі речовини і матеріали.

Також вони встановлюють:

Табл. 5.2 – Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-Па	П-ПІ
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень робоче середовище відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходяться тверді горючі речовини і матеріали (IP44).

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

В якості датчика виміру температури в автоклаві обираємо занурювальний термометр опору QAE26.95 компанії Siemens.



Рис. 5.1 – Зовнішній вигляд QAE26.95

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики термометру QAE26.95

Functional data	Measuring range	Refer to "Type summary"
	Sensing element	LG-Ni 1000
	Time constant	See "Type summary"
	Measuring accuracy	Refer to "Function"
	Mounting length	Refer to "Type summary"
	Effective sensor length	
	QAE26.9	25 mm
	QAE26.90, QAE26.91, QAE26.93, QAE26.95, QAE1020.024	15 mm
Degree of protection	Protection degree of housing	IP64 according to EN 60529
	Protection class	III according to EN 60730-1
Electrical connection	Connection cables	two-wire
	Core cross section	
	QAE26.9	0.35 mm <sup>2</sup>
	QAE26.90, QAE26.91, QAE26.93, QAE26.95, QAE1020.024	0.14 mm <sup>2</sup>
	Cable length	Refer to "Type summary"
Mechanical connection	Screwed nipple	R ¼ (sealing capacity inside thread)
Ambient conditions	Permissible cable temperature	
	QAE26.9, QAE26.90, QAE26.91, QAE26.93, QAE26.95	-50...+180 °C
	QAE1020.024	- 5...+105 °C
	Permissible humidity	<95 % rd..

Для передачі даних про температуру в контролер нам знадобиться нормуючий перетворювач НПТ-1.00.1.1 ОВЕН, що буде переводити опір від датчика в уніфікований сигнал 0-20 мА.



Рис. 5.2 – Зовнішній вигляд НПТ-1.00.1.1 ОВЕН

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики перетворювача НПТ-1.00.1.1 ОВЕН

Основні технічні характеристики	
Найменування	Значення
Номінальна напруга живлення	24 В=
Напруга живлення	від 12 до 36 В=.
Споживаний струм, не більше:	
- для робочого режиму	35 мА
- при конфігуруванні (живлення від USB)	50 мА
Клас вибухозахисту	[Ексі]ІІС
Клас точності під час роботи з термометрами опору (ТЗ)	0,25%
Клас точності при роботі з термоелектричними перетворювачами (ТП)	0,5%
Діапазон вихідного струму перетворювача	4...20 мА
Функція перетворення вхідних сигналів	лінійно зростаюча або спадна
Нелінійність перетворення, не гірша	±0,1%
Розрядність аналого-цифрового перетворювача, не менше:	
- під час роботи з термометрами опору	15 біт
- під час роботи з термопарами	14 біт
Розрядність ЦАП не менше	11 біт
Номінальний опір навантаження (при $I_n = 24$ )	600 Ом
Максимальний допустимий опір навантаження (при $I_n = 36$ )	1200 Ом
Час встановлення вихідного сигналу після стрибкоподібного зміни вхідного, не більше	1 с
Час безперервної роботи	цілодобово

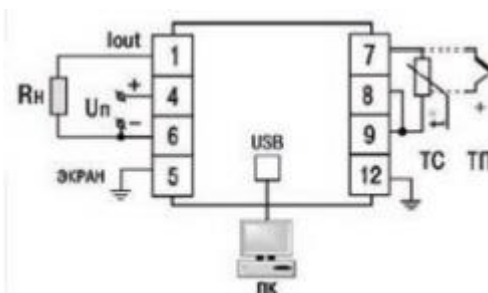


Рис. 5.3 –Схема підключення НПТ-1.00.1.1 ОВЕН

Тиск в камері автоклаву вимірюватиме манометр від Siemens SITRANS P Contrast який одразу видаватиме уніфікований електричний сигнал



Рис. 5.4 – Зовнішній вигляд SITRANS P Contrast

Таблиця 5.5 – Технічні характеристики монотру SITRANS P Contrast

<b>Measuring principle</b>	Piezo-resistive	<b>Emitted interference</b>	To EN 50081 Part 1, issue 1993 (residential and industrial areas). The device has no own emissions.
<b>Input</b>		<b>Noise immunity to</b>	EN 50082 Part 2, issue March 1995 (industrial areas)
Measured variable	Gauge or absolute pressure	<b>Structural design</b>	
Measuring range	0 ... 160 mbar (0 ... 2.32 psi) ... 0 ... 40 bar (0 ... 580 psi)	Weight (without remote seal)	
<b>Output</b>		• Field enclosure	= 460 G (= 1.01 lb)
Output signal		• Enclosure with plug	= 200 g (= 0.44 lb)
• 2-wire system	4 ... 20 mA	Enclosure	
• 3-wire system	0 ... 20 mA	• Designs	• Field enclosure IP65 or IP67, with screw gland • Angled device plug DIN 43650, IP65 • Cable connection, IP67 • M12 device plug, IP65
<b>Measuring accuracy</b>	According to IEC 62828-1	• Material	Stainless steel, mat. no. 1.4404/316L/1.4305
Measurement deviation at limit setting including hysteresis and reproducibility	≤ 0.2% of full-scale value	Material of union nut	Polyamide (with electrical connection using plug or cable) Electronics unit potted with silicone Internal ventilation for measuring ranges < 16 bar (< 232 psi), through enclosure thread or connecting cable depending on design
Adjustment accuracy	≤ ±0.2% of full-scale value	Process connection	
Step response time	< 20 ms	• Versions	See ordering data
<b>Effect of ambient temperature</b>		• Material of coupling	Stainless steel, mat. no. 1.4404/316L
On the enclosure		<b>Auxiliary power</b>	
• Zero point	< 0.2%/10 K of full-scale value	Terminal voltage on transmitter	10 ... 30 V DC
• Measuring span	< 0.2%/10 K of full-scale value	Nominal voltage	24 V DC
On the process connection (remote seals)	Zero-point error (dependent on design) <sup>1)</sup>	<b>Certificates and approvals</b>	
• Flange remote seal		Classification according to pressure equipment directive (PED 2014/68/EU)	
- DN 25/1"	4.8 mbar/10 K (0.069 psi/10 K)	• For 7MF8010-1... (with diaphragm seal)	For gases of fluid group 1 and liquids of fluid group 1; complies with requirements of article 4, paragraph 3 (sound engineering practice)
- DN 32/1 1/4"	2.3 mbar/10 K (0.033 psi/10 K)	• For 7MF8010-2... (with inline seal)	For gases of fluid group 1 and liquids of fluid group 1; complies with the requirements of article 4, paragraph 1 (annex 1); assigned to category III, conformity evaluation module H by the TÜV Nord
- DN 40/1 1/2"	1.6 mbar/10 K (0.023 psi/10 K)	Explosion protection	
- DN 50/2"	0.6 mbar/10 K (0.009 psi/10 K)	• Intrinsic safety "i"	TÜV 03 ATEX 2099 X
• Inline seal		Marking	Ex II 2G EEx ib IIC T6
- DN 25/1"	9.5 mbar/10 K (0.138 psi/10 K)		
- DN 32/1 1/4"	4.1 mbar/10 K (0.060 psi/10 K)		
- DN 40/1 1/2"	3.9 mbar/10 K (0.057 psi/10 K)		
- DN 50/2"	3.9 mbar/10 K (0.057 psi/10 K)		
<b>Operating conditions</b>			
Installation conditions			
• Mounting position	Any, vertical as standard		
Ambient conditions			
• Ambient temperature	-10 ... +70 °C (14 ... 158 °F)		
• Storage temperature	-10 ... +90 °C (14 ... 194 °F)		
• Process temperature	Max. 200 °C (392 °F), depending on design		
• Vacuum-resistant	0 mbar (0 psi) absolute at max. 50 °C. Higher process temperatures on request.		
• Degree of protection according to IEC 60529	IP65, optional IP67		

<sup>1)</sup> The zero-point error specified for the process connection should be considered as a guide value for a standard design. We will make a detailed system calculation on request. Systems with reduced remote seal error are

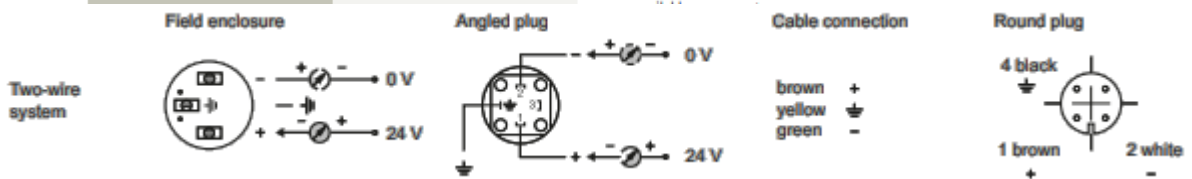


Рис. 5.5 –Схема підключення SITRANS P Contrast

### 5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням

LV24A-TPC електропривід від компанії Velimo призначений для управління сідельним клапаном на подачі пари, повітря та води.



Рис. 5.6 – Зовнішній вигляд LV24A-TPC

Таблиця 5.6 – Технічні характеристики електроприводу LV24A-TPC

Technical data		
<b>Electrical data</b>	Nominal voltage	AC/DC 24 V
	Nominal voltage frequency	50/60 Hz
	Nominal voltage range	AC 19.2...28.8 V / DC 21.6...28.8 V
	Power consumption in operation	1 W
	Power consumption in rest position	0.5 W
	Power consumption for wire sizing	1 VA
	Connection supply / control	Terminals with cable 1 m, 3x 0.75 mm <sup>2</sup> (Terminal 4 mm <sup>2</sup> )
	Parallel operation	Yes (note the performance data)
<b>Functional data</b>	Actuating force motor	500 N
	Manual override	with push-button, can be locked
	Stroke	15 mm
	Running time motor	150 s / 15 mm
	Sound power level, motor	45 dB(A)
	Position indication	Mechanical, 5...15 mm stroke

На магістралях подачі енергоресурсів буде знаходитись сідельний клапан H614S від Velimo, що буде приводиться в дію вище вказаним електроприводом лінійної дії.



Рис. 5.7 – Зовнішній вигляд H614S

Таблиця 5.7 – Технічні характеристики сідельного клапану H614S

**Technical data**

<b>Functional data</b>	Fluid	Hot water and steam ( $\Delta p/P1 < 0.4$ ), water with max. 50% volume of glycol
	Fluid temperature	5...150°C [41...302°F]
	Fluid temperature note	120°C up to 1600 kPa 150°C up to 1400 kPa
	Flow characteristic	equal percentage (VDI/VDE 2173), optimised in the opening range
	Leakage rate	max. 0.05% of the Kvs value
	Closing point	Bottom (▼)
	Pipe connection	Flange according to ISO 7005-2
	Installation orientation	upright to horizontal (in relation to the stem)
	Servicing	maintenance-free
	<b>Materials</b>	Valve body
Body finish		with protective paint
Closing element		Stainless steel

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

Для даного випадку доцільніше вибрати централізований принцип побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі, це коли до складу системи входить контролер, який виконує функції ПЗО та реалізує алгоритми керування, а реалізація АРМ ведеться на панелі оператора чи на промисловому комп'ютері.

Виконав аналіз технологічної схеми та функцій які повинна реалізовувати система керування складемо таблицю (табл. 5.8) зі списком параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Табл. 5.8 – Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№ пп	Назва параметра	Умовне познач.	A/D	I/O	Діапазон сигналу	Познач. на схемі
1	Температура контрольної банки	To	A	I	(0-20 мА)	AI1
2	Температура в камері автоклаву	T	A	I	(0-20 мА)	AI2
3	Тиск в камері автоклаву	P	A	I	(0-20 мА)	AI3
4	Сигнал верхнього рівня води	L_1	D	I	24 V DC	DI1
5	Сигнал нижнього рівня води	L_0	D	I	24 V DC	DI2
6	Керуюча дія ступінь відкриття клапану подачі пари	U1	A	O	(0-10 В)	AO1
7	Керуюча дія ступінь відкриття клапану подачі повітря	U2	A	O	(0-10 В)	AO2
8	Керуюча дія відкриття клапану вирівнювання тиску	U3	A	O	(0-10 В)	AO3
9	Керуюча дія відкриття клапану подачі холодної води	U3	A	O	(0-10 В)	AO4
10	Сигнал відкриття клапана зливу води КлЗ	KI3_1	D	I	24 V DC	D01
11	Сигнал закриття клапана зливу води КлЗ	KI3_0	D	I	24 V DC	D02
12	Сигнал кінцевого вимикача про закриття кришки автоклаву	Kr_1	D	I	24 V DC	DI3
13	Сигналізація	ZV1	D	O	24 V DC	DO3
14	Сигнал Пуск/Стоп	SB1	D	I	24 V DC	DI4

Кількість каналів вводу\виводу:  
 AI – 3 , AO – 4, DI – 4, DO – 3

Технічну структуру системи управління розробимо на базі розподіленої системи Siemens Simatic S7-1500.

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 3- аналогових входів, 4-аналогових виходи, 3-дискретних входів і 2-дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці 5.8, для реалізації алгоритмів керування скористаємося контролером S7-1500 CPU 1511-1 PN з модулями ПЗО: AI 4xU/I/RTD/TC ST (6ES7531-7QD00-0AB0), AQ 4xU/I ST (6ES7532-5HD00-0AB0), DI 16x24VDC/DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7523-1BL00-0AA0).

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера схема технічною структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 5.8).

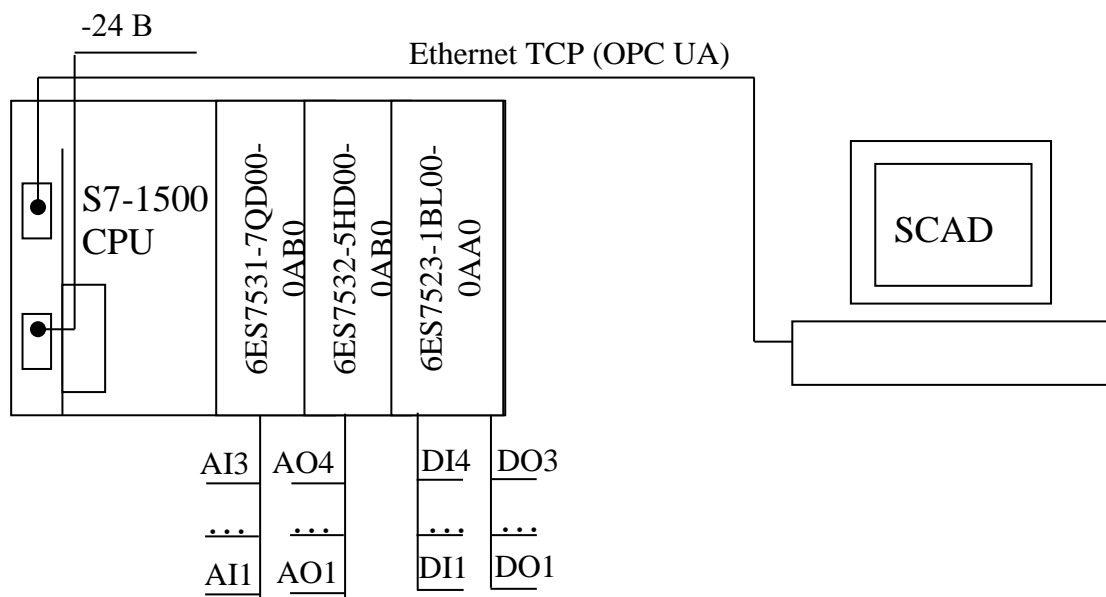


Рис. 5.8 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом стерилізації в автоклаві.

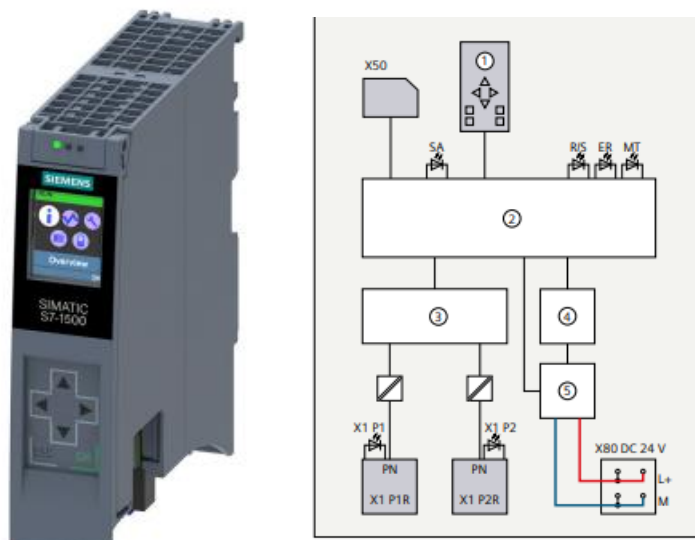


Рис. 5.9 – Загальний вигляд контролера та підключення контролера S7-1500 CPU 1511-1 PN.

<b>Supply voltage</b>	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
<b>Mains buffering</b>	
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
• Repeat rate, min.	1/s
<b>Input current</b>	
Current consumption (rated value)	0.56 A
Current consumption, max.	0.9 A
Inrush current, max.	1.15 A; Rated value
$I^2t$	0.5 A <sup>2</sup> ·s
<b>Hardware configuration</b>	
Number of distributed IO systems	32; A distributed I/O system is characterized not only by the integration of distributed I/O via PROFINET or PROFIBUS communication modules, but also by the connection of I/O via AS-i master modules or links (e.g. IE/PB-Link)
<b>Number of DP masters</b>	
• Via CM	4; A maximum of 4 CMs/CPs (PROFIBUS, PROFINET, Ethernet) can be inserted in total
<b>Number of IO Controllers</b>	
• integrated	1
• Via CM	4; A maximum of 4 CMs/CPs (PROFIBUS, PROFINET, Ethernet) can be inserted in total
<b>Data areas and their retentivity</b>	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	256 kbyte; in total; available retentive memory for bit memories, timers, counters, DBs, and technology data (axes): 216 KB
Extended retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	1.5 Mbyte; When using PS 6 0W 24/48/60 V DC HF

Рис. 5.10 – Технічні характеристики контролера S7-1500 CPU 1511-1 PN.

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового введення Siemens 6ES7531-7QD00-0AB0 (рис. 5.11).

Для виведення аналогових сигналів з контролера (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового виводу Siemens 6ES7532-5HD00-0AB0 (рис. 5.13). Цей аналоговий вихідний модуль генерує стандартні сигнали 0–10 В.

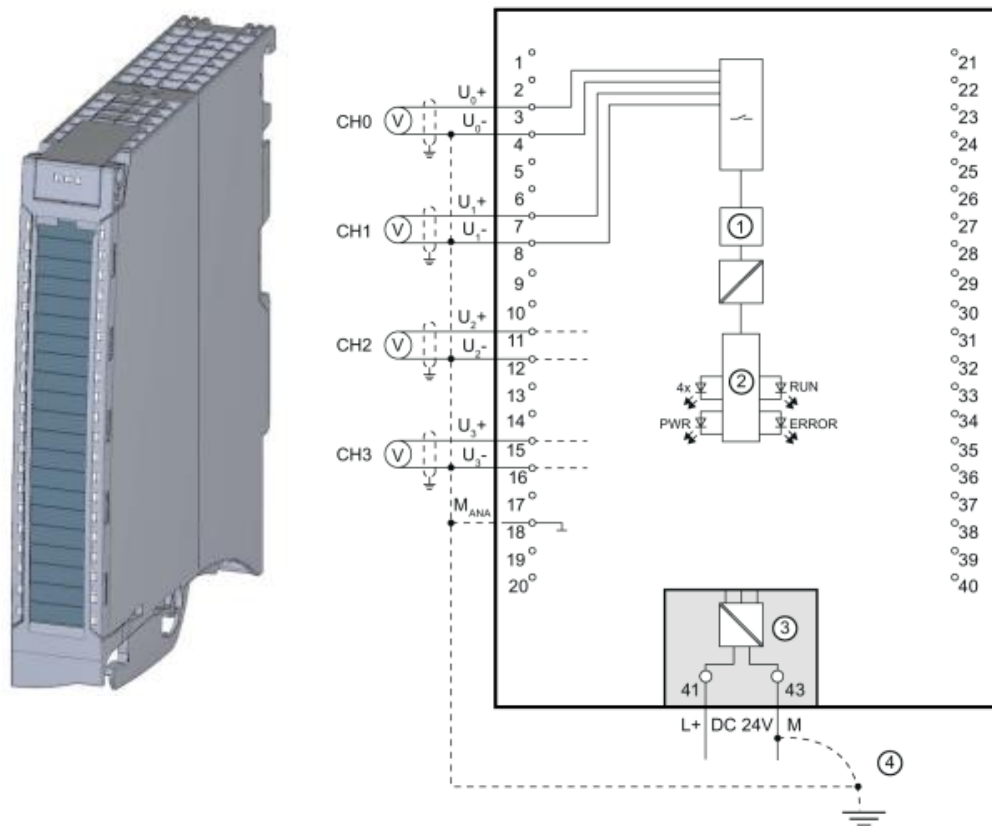


Рис. 5.11 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО Siemens 6ES7531-7QD00-0AB0.

Supply voltage	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Input current	
Current consumption, max.	165 mA
Encoder supply	
24 V encoder supply	
• Short-circuit protection	Yes
• Output current, max.	20 mA; Max. 47 mA per channel for a duration < 10 s
Power	
Power available from the backplane bus	0.7 W
Power loss	
Power loss, typ.	2.3 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	4

Рис. 5.12 – Технічні характеристики ПЗО Siemens 6ES7531-7QD00-0AB0.

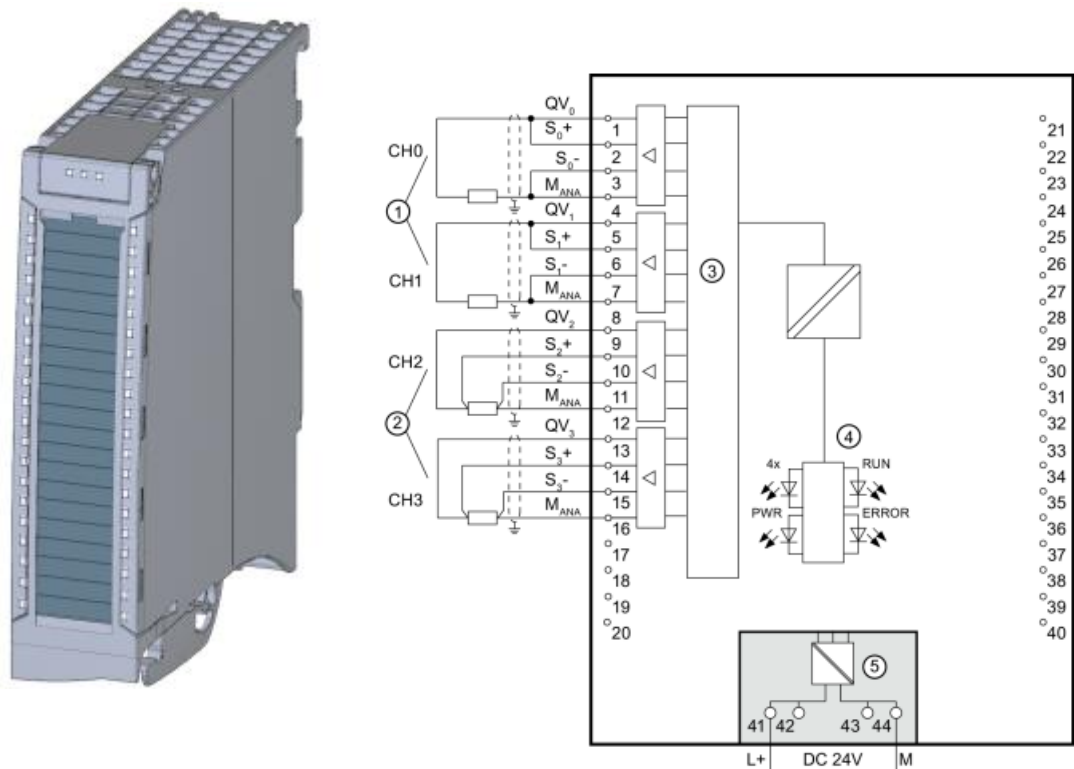


Рис. 5.13 – Загальний вигляд та схема підключення модуля

### ПЗО Siemens 6ES7532-5HD00-0AB0.

<b>Supply voltage</b>	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
<b>Input current</b>	
Current consumption, max.	190 mA; with 24 V DC supply
<b>Power</b>	
Power available from the backplane bus	0.6 W
<b>Power loss</b>	
Power loss, typ.	4 W
<b>Analog outputs</b>	
Number of analog outputs	4
Voltage output, short-circuit protection	Yes
Voltage output, short-circuit current, max.	24 mA
Current output, no-load voltage, max.	22 V
Cycle time (all channels), min.	3.2 ms; independent of number of activated channels

Рис. 5.14 – Технічні характеристики ПЗО Siemens 6ES7532-5HD00-0AB0.

Для вводу дискретних сигналів до контролера будемо використовувати один 32-канальних модуль дискретного вводу та виводу Siemens 6ES7523-1BL00-0AA0 (рис. 5.15)

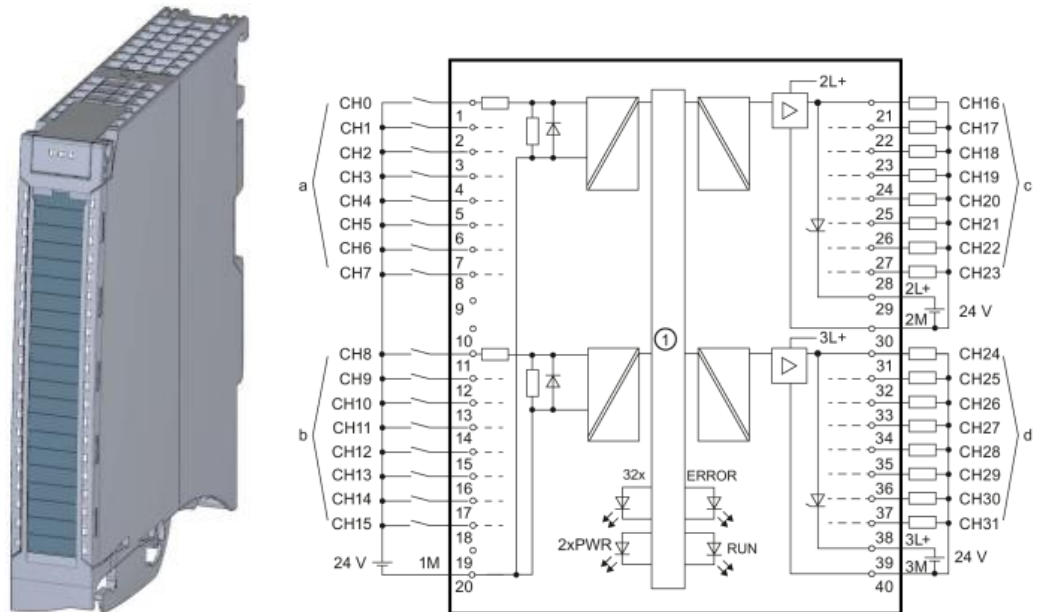


Рис. 5.15 – Загальний вигляд та схема підключення модуля  
ПЗО Siemens 6ES7523-1BL00-0AA0

<b>Supply voltage</b>	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
Permitted range, low limit (DC)	20.4 V
Permitted range, high limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes; with internal protection with 7 A per group
<b>Input current</b>	
Current consumption, max.	30 mA
<b>Power</b>	
Power taken from the backplane bus	1.1 W
<b>Power loss</b>	
Power loss, typ.	3.45 W
<b>Digital inputs</b>	
Number of inputs	16
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type 3	Yes
<b>Digital outputs</b>	
Type of digital output	Transistor
Number of outputs	16
Sourcing output	Yes
Short-circuit protection	Yes
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Activation of a digital input	Yes
<b>Switching capacity of the outputs</b>	

Рис. 5.16 – Технічні характеристики ПЗО Siemens 6ES7523-1BL00-0AA0

Додатково нам знадобиться кінцевий модуль шини 6GK7543-1AX00-0XE0. Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Для стабільної роботи знадобиться блок живлення SIMATIC PM 1507.

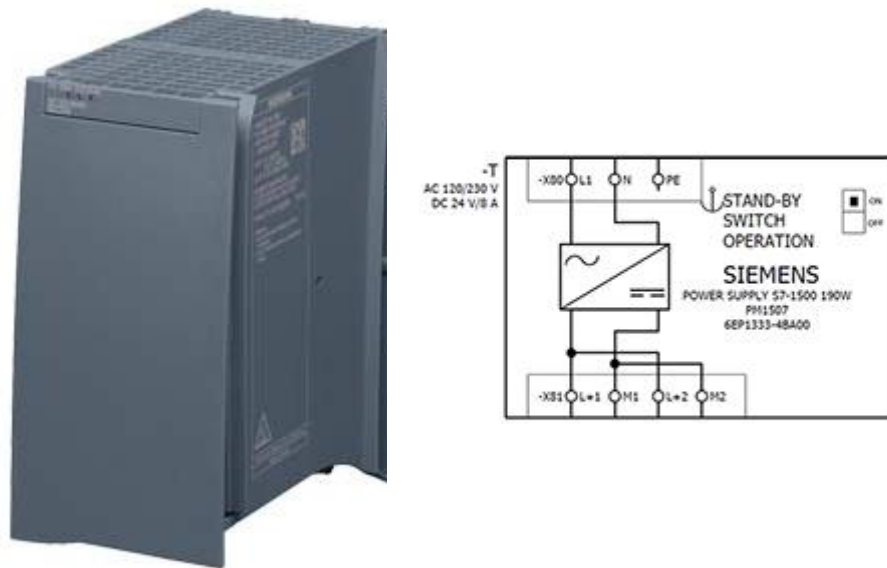


Рис. 5.17 – Загальний вигляд та схема підключення блока живлення Siemens 6EP1333-4BA00

input	
type of the power supply network	1-phase AC
supply voltage at AC	Automatic range selection
supply voltage	120 V/230 V
input voltage 1 at AC	85 ... 132 V
input voltage 2 at AC	170 ... 264 V
wide range input	No
overvoltage overload capability	2.3 × Vin rated, 1.3 ms
buffering time for rated value of the output current in the event of power failure minimum	20 ms
operating condition of the mains buffering	at Vin = 93/187 V
line frequency	50/60 Hz
line frequency	45 ... 65 Hz
input current	
• at rated input voltage 120 V	3.7 A
• at rated input voltage 230 V	1.7 A
current limitation of inrush current at 25 °C maximum	62 A
output	
voltage curve at output	Controlled, isolated DC voltage
output voltage at DC rated value	24 V
output voltage	
• at output 1 at DC rated value	24 V
output current	
• rated value	8 A
• rated range	0 ... 8 A
supplied active power typical	192 W
short-term overload current	
• on short-circuiting during the start-up typical	35 A
• at short-circuit during operation typical	35 A

Рис. 5.18 – Технічні характеристики Siemens SIMATIC PM 1507

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

### 6.1. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Вибираємо в середовищі програмування TIAportal тип контролера та панелі оператора відповідно до 5 розділу, визначаємо структуру і параметри мережі обміну інформацією.

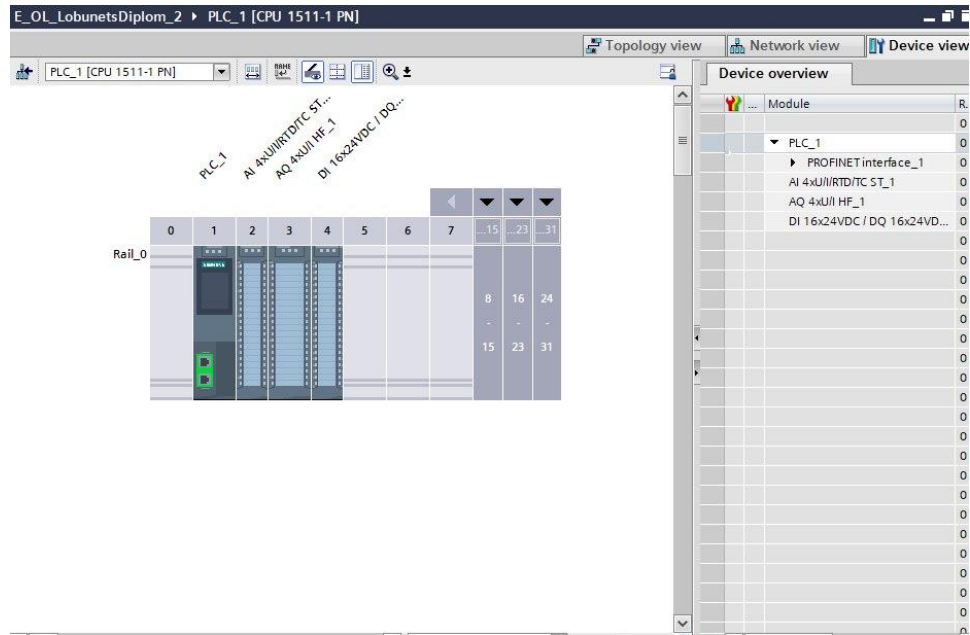


Рис.6.1–Вікно з прикладом вибору контролера та конфігурація модулів.

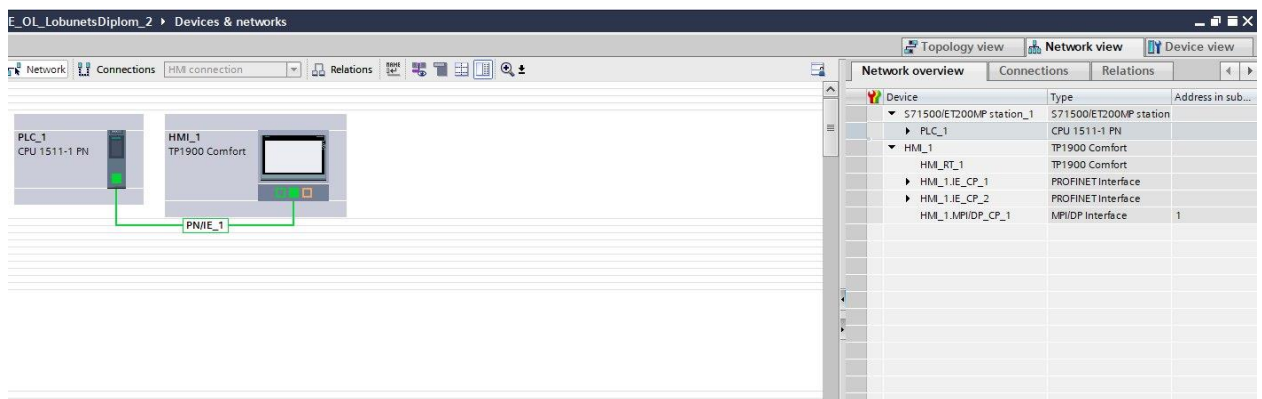


Рис.6.2– Приклад вікна встановлення параметрів мережі обміну інформацією

Згідно розділу 5 налаштовуємо в середовищі TIA портал блоки дискретних та аналогових входів та виходів ( рис 6.1) Далі проводимо конфігурацію обраних модулів, визначаючи імена змінних вхідних та вихідних сигналів ( теги ) (див. рис. 6.3 , 6.4, 6.5 ) та проводячи вибір типу сигналів (рис. 6.6, 6.7) для вхідних аналогових сигналів 4-20мА та вихідних 0-10В

AI 4xU/I/RTD/TC ST_1 [AI 4xU/I/RTD/TC ST]						
General		IO tags		System constants		Texts
Name	Type	Address	Tag table	Comment		
temp1	Int	%IW0	Default tag table			
temp2	Int	%IW2	Default tag table			
tusk	Int	%IW4	Default tag table			
AI4	Int	%IW6	Default tag table			

Рис.6.3– привязка тегів до модуля AI

AQ 4xU/I HF_1 [AQ 4xU/I HF]					
General		IO tags		System constants	Texts
Name	Type	Address	Tag table	Comment	
Par	Int	%QW0	Default tag table		
Pov	Int	%QW2	Default tag table		
SPpov	Int	%QW4	Default tag table		
Wat	Int	%QW6	Default tag table		

Рис.6.4– привязка тегів до модуля AQ

DI 16x24VDC / DQ 16x24VDC/0.5A BA_1 [DI 16x24VDC/DQ 16x24VDC/0.5A BA]							
General		IO tags		System constants		Texts	
Name	Type	Address	Tag table	Comment	A_In4 (Int)	A_Out4 (Int)	
Signal	Bool	%I8.0	Default tag table				
Crushka	Bool	%I8.1	Default tag table				
RWmin	Bool	%I8.2	Default tag table				
RWmax	Bool	%I8.3	Default tag table				
Input4	Bool	%I8.4	Default tag table				
Input5	Bool	%I8.5	Default tag table				
Input6	Bool	%I8.6	Default tag table				
Input7	Bool	%I8.7	Default tag table				
Input8	Bool	%I9.0	Default tag table				
Input9	Bool	%I9.1	Default tag table				
Input10	Bool	%I9.2	Default tag table				
Input11	Bool	%I9.3	Default tag table				
Input12	Bool	%I9.4	Default tag table				
Input13(1)	Bool	%I9.5	Default tag table				
Input14(1)	Bool	%I9.6	Default tag table				
Input15(1)	Bool	%I9.7	Default tag table				
SPWat_O	Bool	%Q8.0	Default tag table				
SPWat_C	Bool	%Q8.1	Default tag table				
Sugnal	Bool	%Q8.2	Default tag table				
output4	Bool	%Q8.3	Default tag table				
output5	Bool	%Q8.4	Default tag table				
output6	Bool	%Q8.5	Default tag table				
output7	Bool	%Q8.6	Default tag table				
output8	Bool	%Q8.7	Default tag table				
output9	Bool	%Q9.0	Default tag table				
output10(1)	Bool	%Q9.1	Default tag table				
output11(1)	Bool	%Q9.2	Default tag table				
output12(1)	Bool	%Q9.3	Default tag table				
output13(1)	Bool	%Q9.4	Default tag table				
output14(1)	Bool	%Q9.5	Default tag table				
output15(1)	Bool	%Q9.6	Default tag table				
output16(1)	Bool	%Q9.7	Default tag table				

Рис.6.5– привязка тегів до модуля DI/DQ

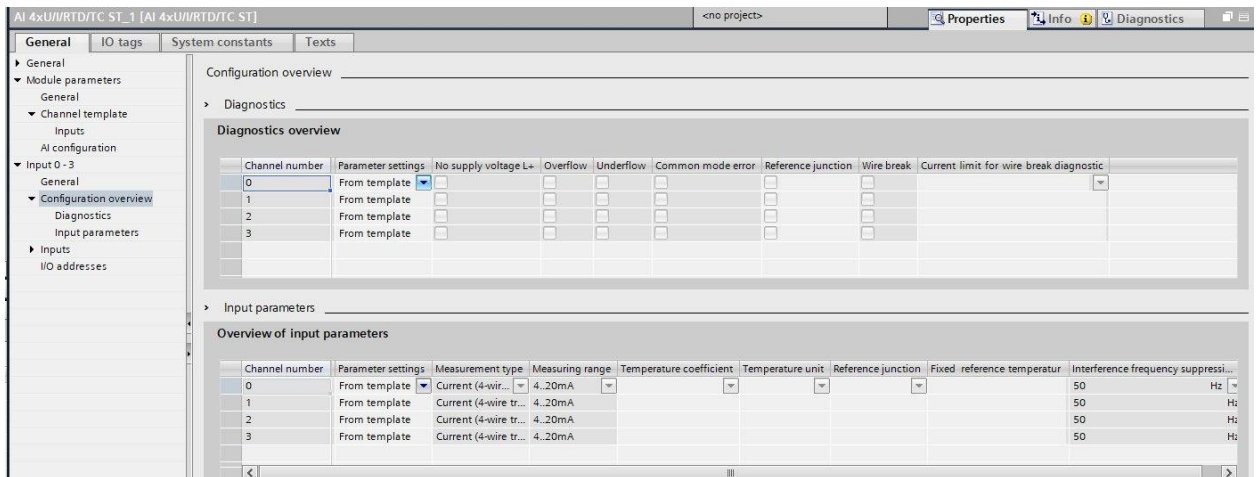


Рис.6.6– вибір типу сигналу для аналогового вхідного модулю

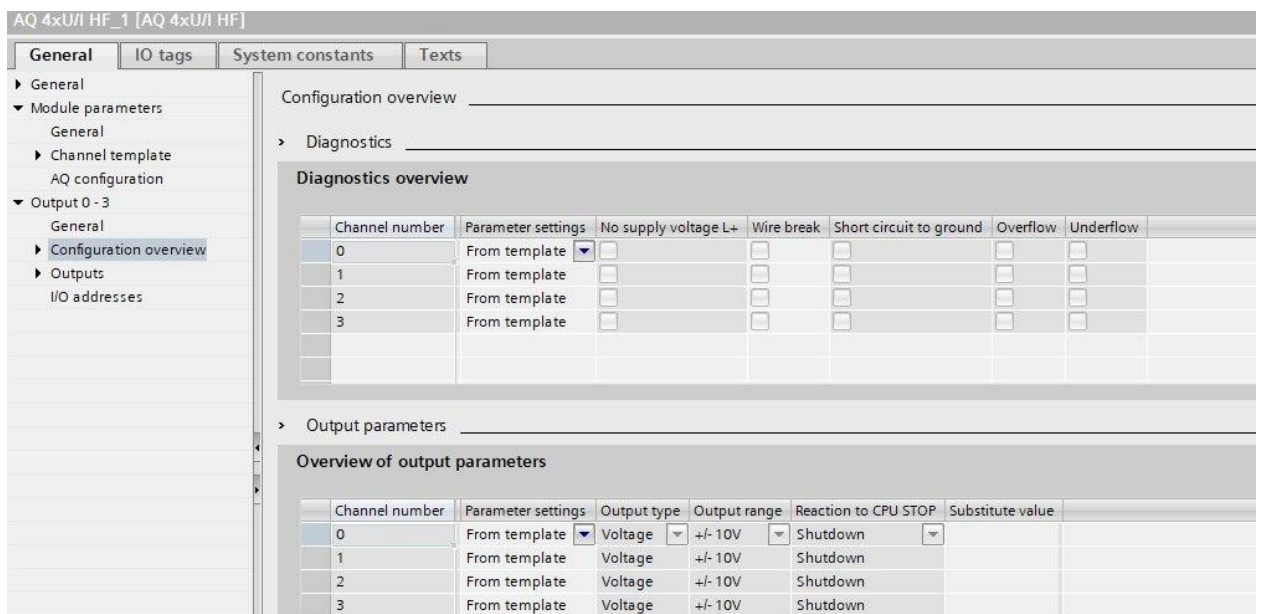


Рис.6.7– вибір типу сигналу для аналогового вихідного модулю

## 6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

Алгоритми логічного керування які були розроблені в розділі 4 реалізовані в програмах ( функціональних блоках ) «fbproc» та «AutoRun». «fbproc» провидить опиту стану типового обладнання (електроприводів, клапанів і т.і), в якій використовуються типові блоки «TIA portal open\_library\_V15» Фрагменти програми «fbproc» наведені на рисунку 6.8.

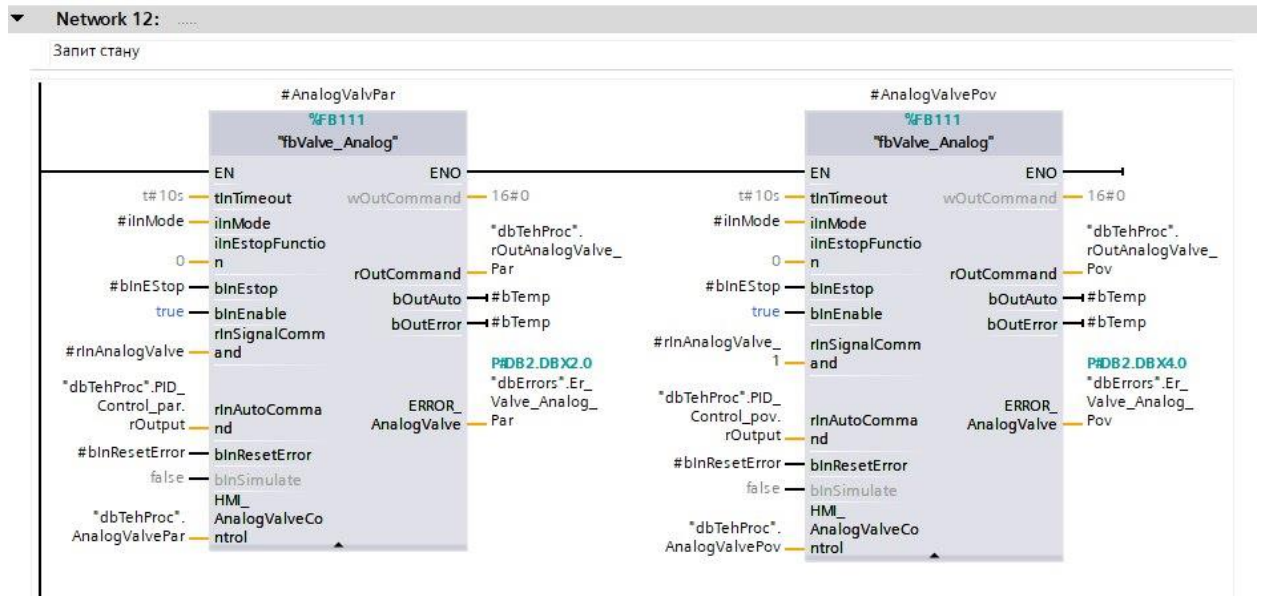


Рис.6.8– Фрагмент програми «fbproc», опиту стану аналогових клапанів

Аналогічно проводиться опит стану регулюючих клапанів. За результатом опиту станів формуються змінні bOutAuto та bOutError які будуть використані при роботі програми «AutoRun» (рис 6.9)

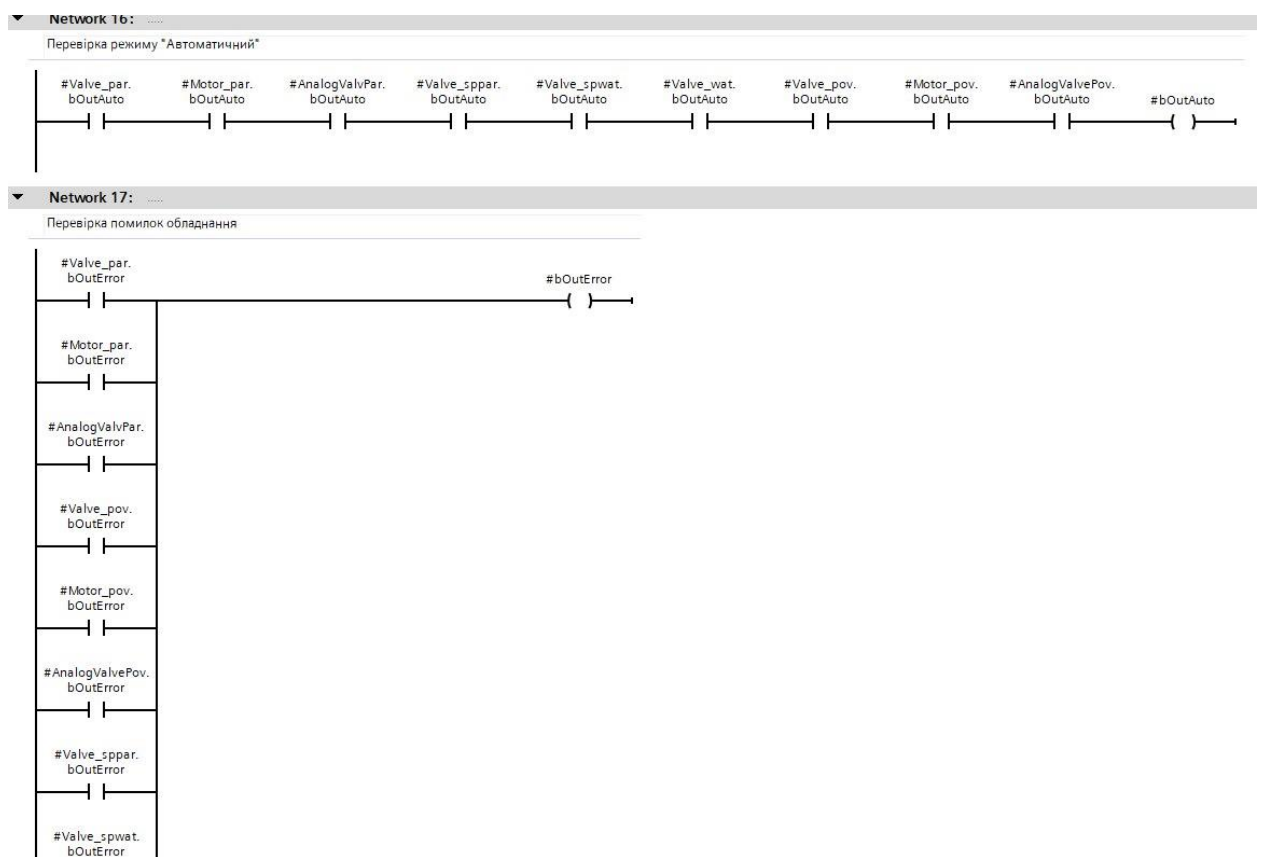


Рис.6.9– фрагмент підпрограми «fbproc», яка перевіряє чи знаходиться обладнання в режимі «автоматичний» та наявність помилки.

Далі розробляємо програму «AutoRun» відповідно до алгоритмів які були представлені в 4 розділі

На рис. 6.10 зображено фрагмент програми де вмикається сигналізація та відкривається клапан подачі пари. По команді «AutoRun» сигнал приходить на «timer2», та через 10 с. надходить на тригер який відкриває клапан.

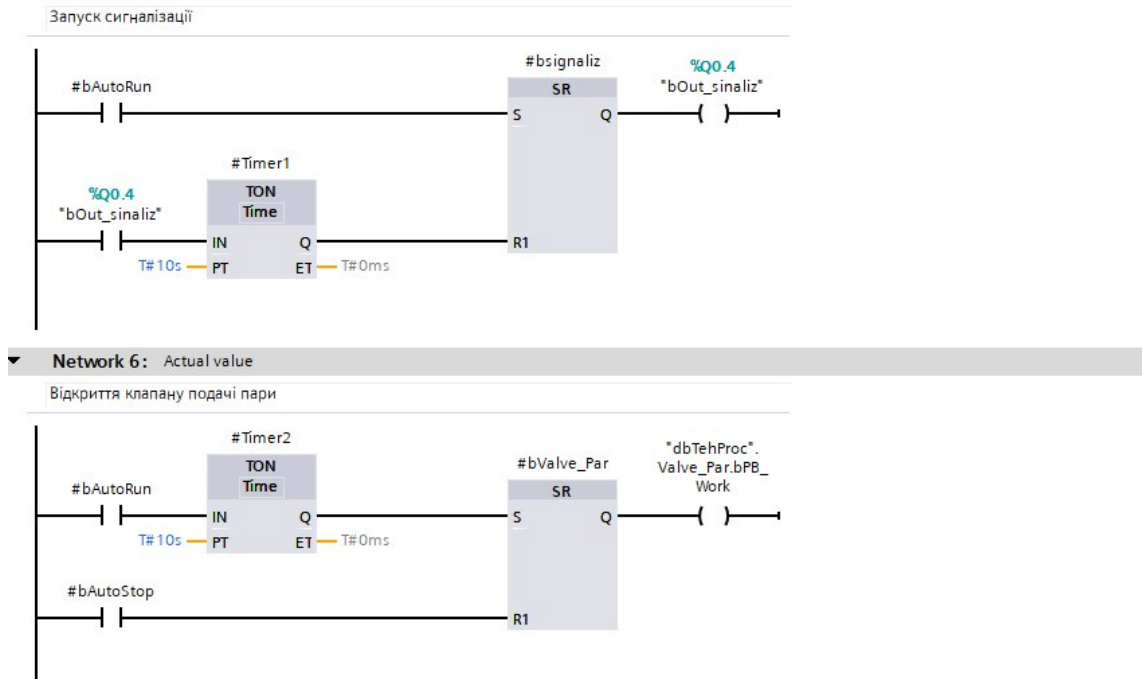


Рис.6.10– Фрагмент програми «AutoRun» з зображенням передпускової сигналізації та відкриття клапану подачі пари

На рис 6.11 підпрограми «AutoRun» розглянуто включення ПІД регулятора контура температури камери та умову відкриття клапану подачі повітря.

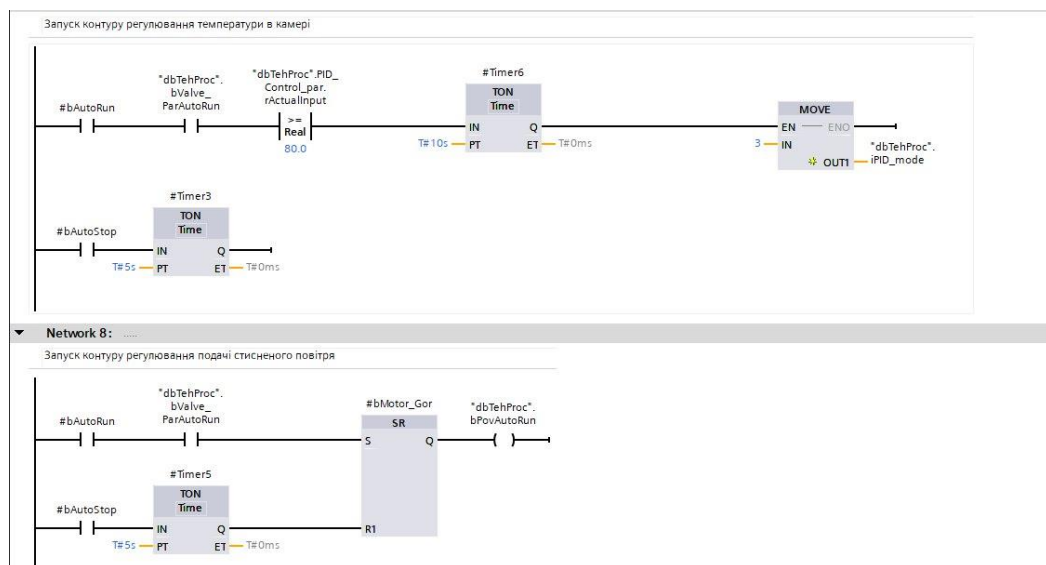


Рис.6.11– умови включення ПІД регулятора та умова відкриття клапану u2

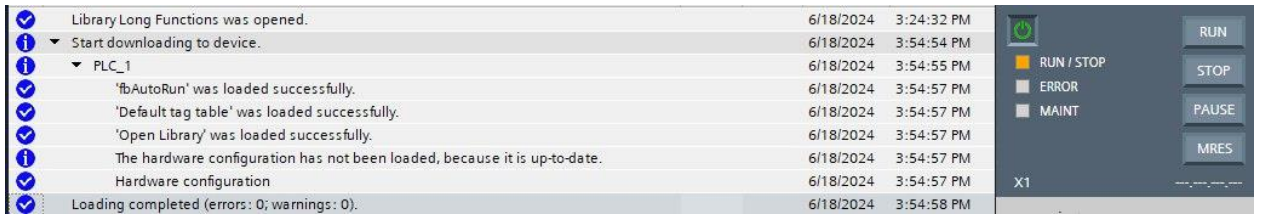


Рис.6.12– Завантаження та перевірка програми «AutoRun»

### 6.3. Розробка програм переміщення робочого органу робота

Модель ОР та алгоритми регулювання були розроблені в розділі 2 та 3. У середовищі «TIAportal» проводимо їх програмну реалізацію.

Розроблено підпрограму «fbSAR», в якій моделі ОР реалізовані із використанням підпрограм (функціональних блоків) типових динамічних ланок із бібліотеки LSIM.

На рис 6.13, 6.14 наведені фрагменти програми «fbSAR».

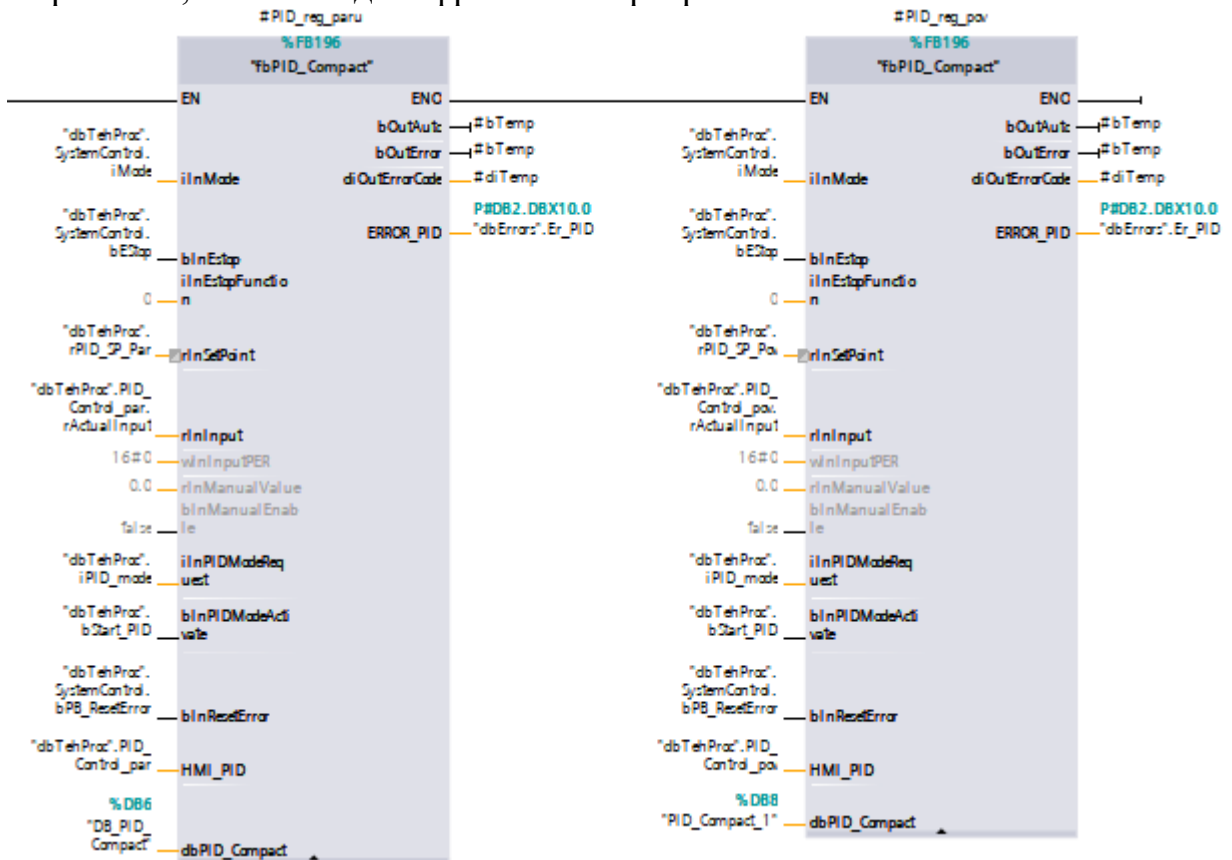


Рис.6.13 – блок ПІД регулятор «fbPID\_Compact»

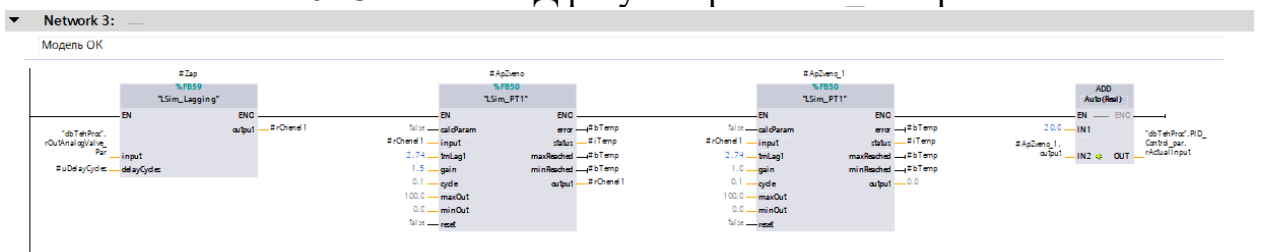


Рис.6.14 – Модель ОК з використанням ланок запізнення та аперіодичних

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

### **7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога**

Робоче місце оператора-технолога процесу кондиціонування повітря повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

1. Контролювати значення технологічних параметрів процесу стерилізації консервів і задавати режими роботи обладнання.
2. Контролювати стан обладнання процесу стерилізації консервів (увімкнений, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.
3. Керувати запуском і зупинкою обладнання в ручному та автоматичному режимах керування.
4. Керувати окремим обладнанням в ручному режимі.
5. Контролювати виникнення порушень в роботі обладнання і оперативно реагувати на них.

Виходячи із викладеного раніше, в проєкті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

- 1) Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу кондиціонування повітря дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, міняти режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.
- 2) Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни температури та тиску в камері автоклаву протягом усього процесу.
- 3) Технічні повідомлення, Буфер повідомлень. Архів повідомлень. Екрани, призначені для відображення діагностичних повідомлень різних класів.
- 4) Адміністрування. Екран допомоги для нових недосвідчених користувачів та для налаштування.

### **7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога**

#### **7.2.1. Шаблон екранів.**

Шаблон екранів створюється в окремому підрозділі графічного редактора екранів TIA Portal V15.1. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону (рис 7.1) будуть присутні на всіх екранах що входять в проєкт.

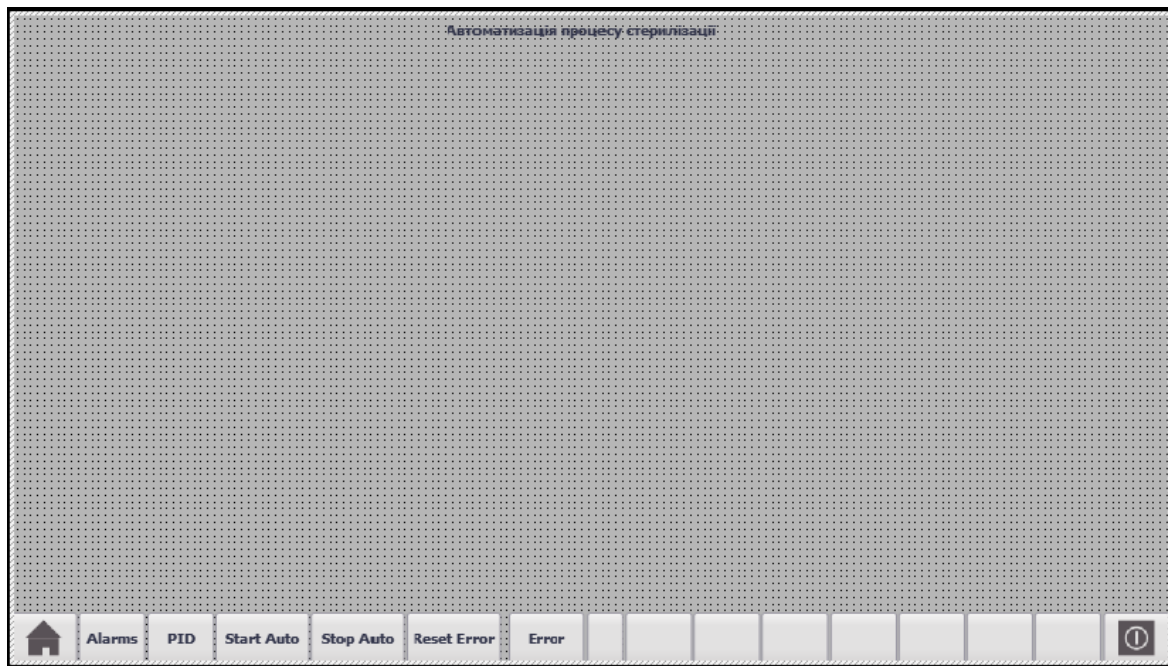


Рис.7.1. – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Заголовок екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи screens ПІА portal V16.1.

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції (рис. 7.2).

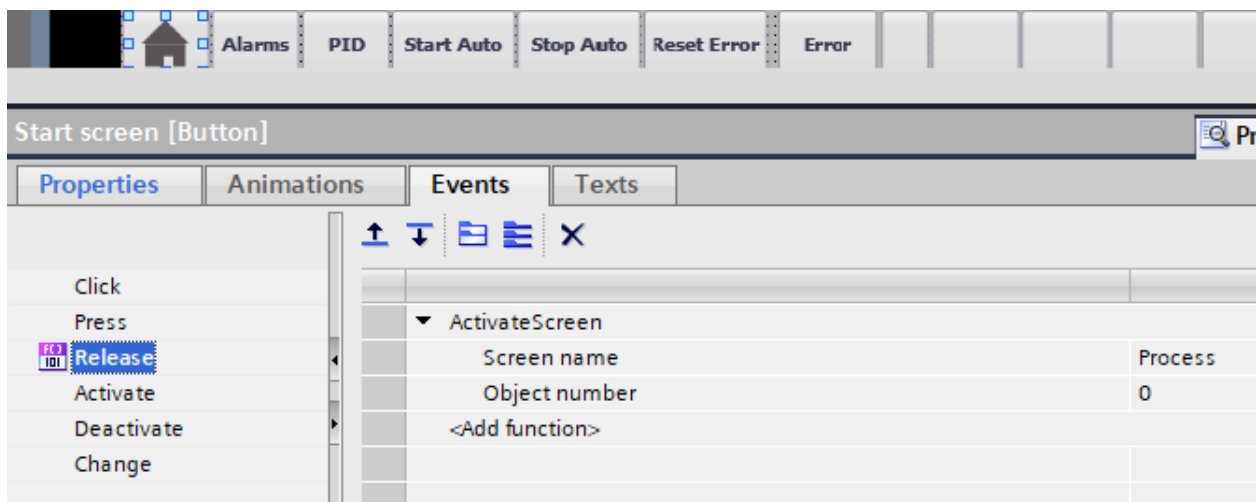


Рис.7.2 – Приклад використання системної функції «ActivateScreen» для перемикавання екранів графічного інтерфейсу

### 7.2.2. Мнемосхема ділянки.

Основне вікно «Мнемосхема процесу» (рис. 7.3) містить схематичне зображення автоклаву з елементами відображення поточних параметрів і управління. Зображення агрегатів процесу кондиціонування повітря створено в графічному редактор SCADA – системи Simatic WinCC з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора.

Встановлені на мнемосхемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням.

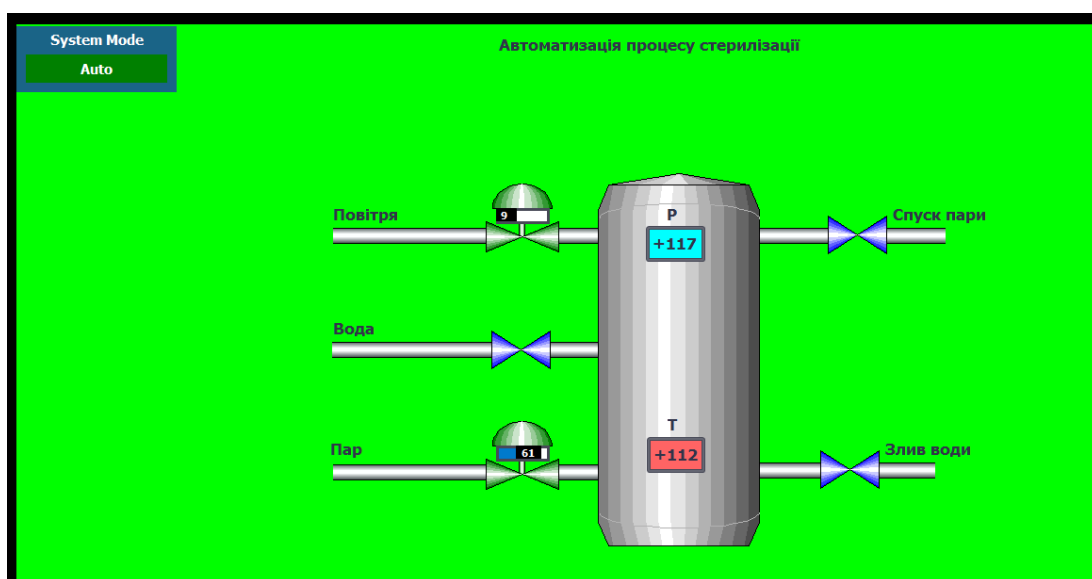


Рис.7.3 – Мнемосхема процесу стерилізації консервів в автоклаві

Завдяки функції Pop-up screen ми можемо відкривати додаткове меню та керувати обладнанням (рис. 7.4).

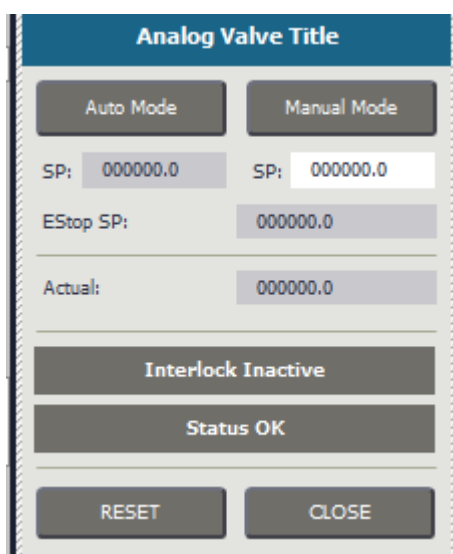


Рис 7.4 – Меню перемикання режиму роботи

### 7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни температури повітря. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCC. На малюнку 7.5 представлений вікно реєстрації температури та тиску, а на малюнку 7.6 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

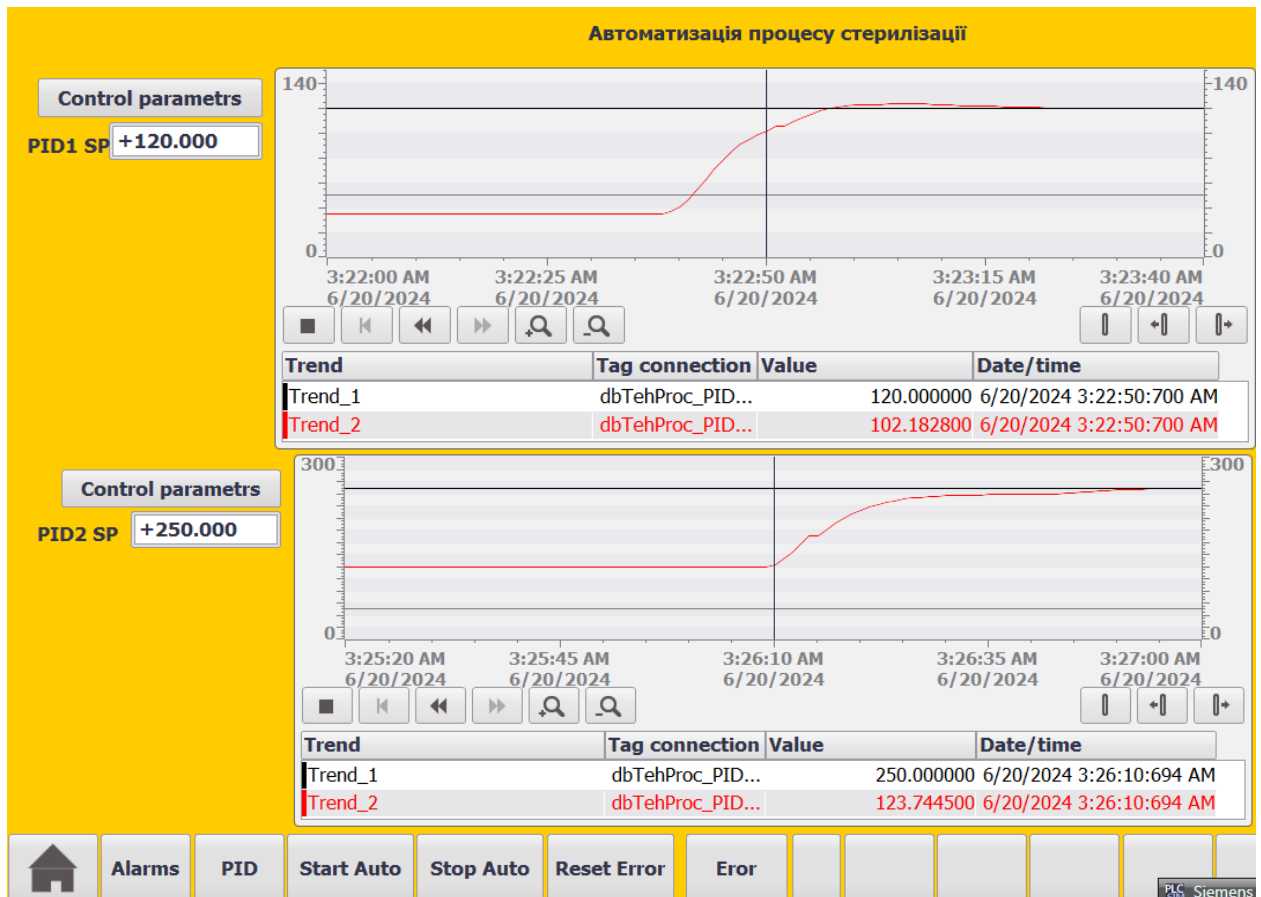


Рис. 7.5 – Відображення перехідних процесів по каналу температури та тиску на екрані оператора.

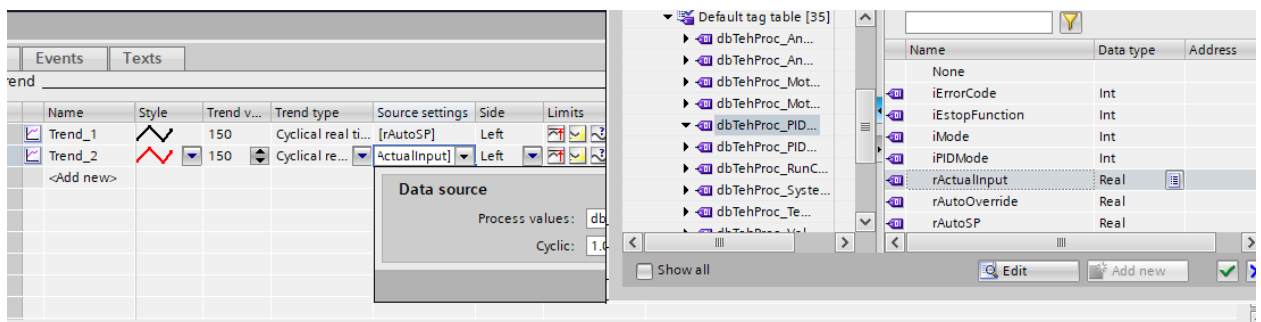


Рис.7.6 – Фрагмент налаштування елемента «Trend View».

### 7.2.4. Діагностичні повідомлення.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події що, виникають з обладнанням під час стерилізації в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCC. Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечних робочих станах заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на рис. 7.7 та їх налаштування на рис. 7.8.

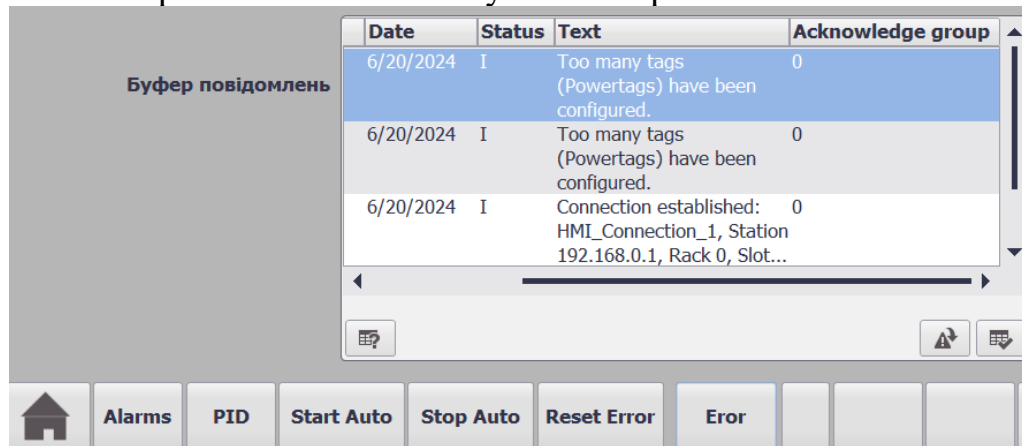


Рис. 7.7 – Фрагмент роботи вікна сповіщень оператора

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge..	Trigger address	HMI acknowl...	HMI a...
1	Discrete_alarm_1	NoHomeFeedback	Errors	ErValveSol	8	%DB2.DBX0.0	<No tag>	0
2	Discrete_alarm_2	NoWorkFeedback	Errors	ErValveSol	9	%DB2.DBX0.1	<No tag>	0
3	Discrete_alarm_3	InvalidFeedback	Errors	ErValveAnalog	8	%DB2.DBX2.0	<No tag>	0
4	Discrete_alarm_4	NoSignalForward	Errors	ErPump	11	%DB2.DBX4.3	<No tag>	0
5	Discrete_alarm_5	NoSignalReverse	Errors	ErPump	12	%DB2.DBX4.4	<No tag>	0
6	Discrete_alarm_6	LowLowAlarm	Errors	ErTemper	8	%DB2.DBX6.0	<No tag>	0
7	Discrete_alarm_7	HighHighAlarm	Errors	ErTemper	9	%DB2.DBX6.1	<No tag>	0
8	Discrete_alarm_8	InputPERInvalid	Errors	ErPID	9	%DB2.DBX8.1	<No tag>	0

Рис 7.8 – Налаштування реєстрації помилок

### 7.3. Конкретизація функцій та структури екранів АРМ наладчика САК

АРМ наладчика САК має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

- налаштовувати контури регулювання (налаштовувати параметри регуляторів, тестувати роботу контурів регулювання);
- задавати значення затримок часу для таймерів, що використовуються в алгоритмах пуску і зупинки;
- задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків;
- задавати граничні значення технологічних параметрів;
- виконувати адміністрування користувачів системи;

- виконувати аналіз системних повідомлень.

Обґрунтовуємо перелік екранів АРМ наладчика САК.

При реалізації АРМ наладчика САК були передбачені наступні екрани:

- Налаштування САК. Екран призначений для налаштування параметрів регуляторів, завдання затримок часу для спрацьовування датчиків та правильної роботи алгоритмів автоматичного пуску та зупинки, завдання граничних значень технологічних параметрів

#### **7.4. Висновок за розділом**

Було розроблено програмне забезпечення АРМ оператора-технолога процесу стерилізації консервів в автоклаві за допомогою середовища ГІА Portal. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій.

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

### **8.1. Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення**

Основних технічних рішень із побудови САК :

- Сформований регламент табл. 1.2;
- Створена апаратно-технологічна схема процесу кондиціонування повітря 4.1;
- Розділ 5, вибір приладів та створення списку параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера (табл. 5.4);
- Проведена параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК;
- Розроблена SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК
- Для розміщення використовуються 2 щита, щит автоматики та силовий щит.

Склад документації технічного забезпечення:

- схема автоматизації;
- принципові електрична схема контролю й керування;
- принципова електрична схема живлення.

### **8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи**

Схеми автоматизації включають технологічну схему, що містить основні технологічні апарати і машини, зображену в спрощеному варіанті і розташовану у верхній частині листа, і засоби автоматизації, що входять до складу систем контролю, регулювання, які наносять на схему за допомогою умовних графічних позначень і ліній зв'язку. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 "Система проектної документації для будівництва.

Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування виконує ПЛК. Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведений на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1, 2 – контроль температури та тиску за місцем;
- 3 – контроль (3) температури в камері автоклаву;
- 4, 5 – керування електроприводами подачі пари та води (4-5);
- 6 – контроль тиску в камері (6);
- 7,8 – керування електроприводами подачі повітря та спуску тиску (8-9);
- 9,10,11 – контроль рівня та керування подачею води;

- 12 – функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК, ПЛК.
- 13 – функція передпускової сигналізації
- 14 – Перевірка закриття кришки
- 15 – Кнопка Пуск/Стоп

У контурах (3, 7, 4, 8) управління виконавчими механізмами аналогової дії. Так як принцип робот двох контурів ідентичний розглянемо лише контур 3. Від термометру з уніфікованим перетворювачем за сигнал струму (0-20мА) подається на вхід АІ ПЛК. Вихідний сигнал АО (0-10V) з ПЛК подається на привід регулюючого клапана 3б.

У контурі 11 управління виконавчими механізмами дискретної дії сигнал за допомогою дискретного виходу DO подається на ПЛК.

Всі сигнали з ПЛК

Креслення ФСА наведено в додатку А

### 8.3. Розробка принципів схем

Були розроблені наступні принципові схеми керування:

- схема підключень дискретних входів (додаток В)
- схема підключень дискретних виходів (додаток Г)
- комбінована схема аналогових входів-виходів (додаток Б)

На принципових електричних схемах показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частині. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань.

На схемі підключень дискретних входів зображені дискретні вхідні сигнали від: електродвигунів, клапанів, датчиків-реле рівня та захисту.

На схемі підключень дискретних виходів зображено підключення пристроїв які потребують керування та зміну свого стану.

На схемі підключень аналогових виходів-виходів зображен комбінований модуль 2АІ-4АО для неперервного керування частотним перетворювачем та 3-х ходовим клапаном з уніфікованим сигналом 0-10В.

### 8.4. Охорона праці

Допуск до самостійної роботи як апаратника стерилізації консервів здійснюється начальником (майстром) цеху після освоєння працюючими безпечними прийомами та методами праці під керівництвом досвідченого наставника. Допуск до самостійної роботи фіксують датою та підписом у журналі реєстрації інструктажу на робочому місці.

Апаратник стерилізації консервів повинен бути забезпечений спецодягом, ЗІЗ відповідно до типових норм безоплатної видачі спецодягу та спецвзуття.

- черевики шкіряні;
- Нарукавники водонепроникні;
- фартух бавовняний;
- Рукавички трикотажні;

Не допускай у дію машини та апарати, влаштування яких не знаєш і робота на яких тобі не доручена.

У разі виявлення несправності обладнання, інвентарю, інструменту, а також при травмуванні працівників припинити роботу та повідомити про це начальника цеху

При роботі зі стерилізації консервів можлива дія небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- рухомі та обертові частини обладнання (приводи, електротельфер);
- руйнуючі конструкції, автоклави, стерилізатори, що працюють під тиском;
- Підвищений рівень шуму та вібрації;
- Небезпека ураження електрострумом;
- Підвищена температура поверхні обладнання;
- Підвищена вологість повітря робочої зони.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Правильно надіти чистий, справний спецодяг, спецвзуття, що належить за нормами. Спецодяг не повинен мати кінців, що розвиваються, рукави і воріт повинні бути зав'язані.

Заправити волосся під головний убір.

Підготувати робочий інвентар, оглянути робоче місце та перевірити незагроможденість проходів.

Перевірити достатність освітлення робочої зони, наявність та справність підніжних дерев'яних ґрат, переконатися в її стійкості.

Перевірити:

- Наявність і справність КВП (манометрів, термометрів, запобіжного клапана);
- Стан запірної арматури та ущільнювальної прокладки;
- справність барашкових гайок та болтів, що кріплять кришку автоклава, кінцевого вимикача, що обмежує хід гвинта на автоклавах, що мають механізм відкривання кришок;
- справність завантажувальних кошиків, відсутність у них і в самому автоклаві сторонніх предметів, конденсату;
- Наявність і міцність кріплення огорож площадок, сходів і перехідних містків, а також противаги автоклава;
- Наявність і цілісність заземлення.

Перевірити роботу на холостому ході:

електротельфера та пускового пристрою;

- справність троса.

Не приступати до роботи на погано відрегульованій або несправній машині, повідомити про це майстра.

Вимоги безпеки під час роботи

- бути уважним, не відволікатися сторонніми справами, розмовами.
- Пуск обладнання проводити сухими руками та в точній відповідності до інструкції з експлуатації.
- Завантажувати та вивантажувати кошики без ривків та без ударів об автоклав.
- Вантаж, який піднімає електротельфер, не повинен перевищувати його вантажопідйомність і не повинен розташовуватися далеко від вертикалі підйому. Змінювати напрямок руху електротельфера дозволяється тільки після його повної зупинки.

Опускаючи завантажений кошик в автоклав проводити центрування, тримаючись за верхню частину кошика.

- Не стояти під піднятими кошиками та не залишати їх на вазі без нагляду.
- гачок непрацюючого тельфера піднімати на максимальну висоту.
- Чи не класти руки на край завантажувальної горловини.
- Барашкові гайки загортати призначеними для цього інструментами.
- Не класти на кришку автоклава та на їхні борти будь-які предмети.
- Не перевищувати тиску, вказаного на манометрі червоною межею. Манометр перевіряти не рідше одного разу на зміну-посадкою на нуль.
- Не торкатися не захищеними руками гарячих поверхонь обладнання та кошиків під час їх розвантаження. Працювати слід у рукавицях.
- Для спуску конденсату, пара з автоклава (стерилізатора) застосовувати пристрій, що виключає можливість опіків.

При відкритті автоклава (стерилізатора) дотримуватись наступної послідовності;

- закрити паровий вентиль;
- відкрити каналізаційний вентиль та продувний кран;
- переконатися по манометру, що у автоклаві немає тиску;
- послабити барашкові гайки, після чого проводити їхнє скидання по діагоналі (протилежні один одному), останньою скидається гайка, розташована проти противаги.

Не залишати без спостереження автоклав під тиском, а також не ремонтувати і не регулювати апаратуру.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При виявленні неполадок у роботі обладнання (сторонній шум, гудіння, вібрація, відчуття електроструму при дотику до нетоковедучих металевих частин, іскріння) вжити заходів щодо зупинки обладнання, відключивши подачу електроенергії, повідомити про це начальнику цеху (майстру).

Устаткування має бути зупинено:

- Підвищення тиску вище дозволеного;
- Несправності запобіжного клапана;
- Виявлення в основних елементах судини тріщин, випучин, значного потонання стінок, перепусток або потіння в зварювальних швах, течі в болтових з'єднаннях, розриву прокладок;

-при виникненні пожежі, що безпосередньо загрожує устаткуванню, що знаходиться під тиском;

-Несправності манометра;

-несправності та не повній кількості кріпильних деталей на фланцях та кришках;

-несправної трубопровідної арматури;

-будь-який несправності запобіжних пристроїв.

Про кожну аварійну ситуацію необхідно повідомляти начальника цеху та не допускати до роботи до усунення несправностей.

Вимоги безпеки після закінчення робіт

Вимкнути подачу пари в автоклав (стерилізатор) та на магістралі.

Підняти гаки непрацюючого електротельфера на максимальну висоту.

Промивання та очищення автоклаву всередині дозволяється при температурі повітря не вище 40°C та за наявності чергового біля автоклаву. Штурвал зафіксувати замком та вивісити плакат «Не вмикати. Працюють люди»

Обійти свою ділянку, перевірити чистоту та порядок.

Упорядкувати засоби захисту і спецодяг повісити в окрему шафку.

Вимити обличчя, руки теплою водою з милом, прийняти душ.

## 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 та тиску зазначені в таблиці 9.1.

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 S-1500 PM 1507	1	9600	9600
2	SIMATIC S7-1500, CPU 313C-2DP	1	50300	50300
3	SIMATIC S7-1500, SM 1531	1	22400	22400
4	SIMATIC S7-1500, SM 1532	1	36493	36493
5	SIMATIC S7-1500, SM 1523	1	28776	28776
6	Датчик тиску SITRANS P Compact	1	13600	13600
7	Датчик температури QAE26.95	1	4432	4432
8	Електричні проведення	100	60	6000
9	Комп'ютер для SCADA	1	5000	5000
Всього				181601

Стартові інвестиції в нову техніку розраховуються за формулою:

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

$C_{\text{м}}$  – 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:

$$I_{\text{перв}} = 1,165 * 181601 = 211\,565 \text{ (грн)}$$

Річна амортизація розраховується лінійним методом на 5 років

$$РА = IC/5 = 211\,564/5 = 42\,313 \text{ грн}$$

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 (кабачкової ікри)	банок	91 851
2	Вартість 1 банки консерви	грн	60
3	Собівартість 1 банки	грн	48
3	Кількість браку до модернізації	%	8
4	Кількість браку після модернізації	%	2

Розрахуємо кількість готової продукції після модернізації  
 $ОВ_{\text{м}} = ОВ_{\text{г0}} + (ОВ_{\text{г}} * \Delta бр) = 91\,851 + (91\,851 * 0,06) = 97362 \text{ б.}$

Визначимо грошовий об'єм реалізованої продукції

$$OP1 = OВг * Цед.прд. = 91851 * 60 = 5\,511\,060 \text{ грн}$$

$$OP2 = M * Цед.прд. = 97362 * 60 = 5\,841\,723 \text{ грн}$$

Собівартість продукції до впровадження САР, за даними підприємства, складає:  $Сп1 = 4\,408\,848$  грн. Після впровадження САР собівартість продукції збільшиться та розраховується за формулою:

$$Сп2 = OВм * СБ$$

Де СБ – собівартість 1 консерви від заводу виробника

$$Сп2 = 97362 * 48 = 4\,673\,376 \text{ грн}$$

Визначимо прибуток до і після впровадження САР

$$П1 = OP1 - Сп1$$

$$П1 = 5\,511\,060 - 4\,408\,848 = 1\,102\,212 \text{ грн}$$

$$П2 = OP2 - Сп2$$

$$П2 = 5\,841\,720 - 4\,673\,376 = 1\,168\,347 \text{ грн.}$$

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

Визначимо приріст прибутку, отриманий після впровадження САР

$$\Delta П = П2 - П1$$

$$\Delta П = 1\,168\,344 - 1\,102\,212 = 66\,135 \text{ грн.}$$

Розрахунок зміни основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування і інвестиційної привабливості

Рентабельність = Прибуток / Собівартість \* 100%;

Таблиця 9.3 – Економічні показники

Показники	До автоматизації	Після автоматизації	Відхилення
1.Реалізована продукція, грн.	5 511 060	5 841 723	330 663
2.Повна собівартість, грн.	4 408 848	4 673 376	264 528
3.Прибуток від реалізації, грн.	1 102 212	1 168 347	66 135
Податок	198 398	210 302	11 904
Чистий прибуток	903 814	958 045	54 231
Чистий грошовий потік	946 127	1 000 358	54231
Рентабельність, %	25	25	25

Приріст чистого прибутку розраховується за формулою:

$$\Delta ЧП = П - (П * H_n)$$

$H_n$  - податок на прибуток (18%)

$$\Delta ЧП1 = (1\ 102\ 212 - 198\ 398) = 903\ 814 \text{ грн.}$$

$$\Delta ЧП2 = (1\ 168\ 344 - 210\ 302) = 958\ 045 \text{ грн.}$$

Чистий грошовий потік розраховується за формулою:  $ЧГП = \Delta ЧП + РА$

$$ЧГП1 = 903\ 814 + 42\ 313 = 946\ 127 \text{ грн.}$$

$$ЧГП2 = 958\ 040 + 42\ 313 = 1\ 000\ 358 \text{ грн.}$$

Один з найбільш використовуваних показників привабливості інвестиційного проекту є строк окупності інвестицій.

$$COI = \frac{ИС}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i}\right)_{cp}}$$

де:  $-\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i}$   $cp$  – середня сума чистого грошового потоку за період часу прийнятий у розрахунках (місяць, квартал, рік) –  $1\ 000\ 358/5 = 200\ 071$  грн.  
 $COI = 211\ 565 / 200\ 071 = 1$  рік.

#### 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 1 000 358 грн., а термін окупності всього рік.

## Загальні висновки

Технологічний процес стерилізації є одним з ключових процесів виробництва консервів. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес стерилізації консервів 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 стерилізації консервів 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 температурного режиму та підтримування тиску, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Для вирішення задачі регулювання була проведена ідентифікація моделі процесу стерилізації консервів, 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 камері автоклаву 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.

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми отримали систему, показники якості якої, з більшою високою динамічною точністю в порівнянні із САР базової структури, а головне, більш грубою. Це означає підвищення працездатності й надійності системи.

Як уже було вище сказано, більшою 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.

В ході розробки алгоритмів логічного керування для стерилізації консервів в автоклаві було складено регламент функціонування та алгоритм автоматичного керування циклом роботи автоклаву, розроблена функціональна логічна схема.

Для вирішення задач вибору технічних засобів контролю та впливу на технологічний процес було проаналізовано середовище, з якими контактуватимуть засоби автоматизації та обслуговуючий персонал. На основі цього аналізу проведено вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом стерилізації консервів в автоклаві. Важливо зазначити, що класи точності вимірюючих пристроїв та їх діапазони відповідають виробничим умовам а, отже, оператор буде отримувати достовірну інформацію про реалізацію процесу. Не менш важливим є ступінь захисту технічних засобів від температури адже сам процес проходить під високими температурами. Висока якість керування процесом також досягається використанням уніфікованих сигналів (переважно 4...20 мА).

В рамках розробки комп'ютерно-контролерної мережі було визначено перелік сигналів, які слід вводити до інтелектуального ядра системи керування, та виводити з нього. У відповідності до складеного переліку сигналів було обрано технічні засоби для побудови двох варіантів інтелектуального ядра системи керування: на базі контролера фірми Siemens сімейства S7-1500. Були здобуті навички конфігурування та програмування контролера SIMATIC S7-1500 фірми Siemens у середовищі Tia Portal. Була реалізована система регулювання тиску та температури в апараті. При виконанні цього розділу були здобуті навички у створенні та удосконаленні блоку ПІД регулятора.

У розділі розробка програм, що реалізує алгоритм логічної роботи процесу стерилізації в автоклаві, був реалізований алгоритм роботи установки. Тестування даного алгоритму показало, що програма працює коректно. В рамках розробки програмного інтерфейсу взаємодії системи керування з обслуговуючим персоналом в середовищі SCADA - системи WinCC розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладача САК процесу стерилізації консервів. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САУ. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми. Розглянуто приклад інтеграції з мережею контролерів SIMATIC S7-1500.

Для підготовки системи до технічної реалізації дипломної роботи було розроблено ескізну проектну документацію на систему автоматичного керування процесом стерилізації, що модернізується, а саме схему автоматизації, схеми підключення до дискретних та аналогових модулів ПЛК. Також було опрацьовано питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при експлуатації та обслуговуванні модернізованої системи керування.

## Літературні Джерела

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання / За ред. В.А. Хобіна - Одеса: ОНТУ, 2024 р. – 47 с.
2. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Ідентифікації та моделюванню технологічних об'єктів» - Одеса 2016. - 96 с.
3. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» частина 1 - Одеса 2020. - 110 с.
4. Хобін В.А. - Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» частина 2 - Одеса 2014. - 73 с.
5. SIMATIC HMI. WinCC flexible 2005. Руководство пользователя 6AV6691-1AB01-0AB0. Редакция 06. - Siemens AG, 2005. – 394 с.
7. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
8. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
9. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС). Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.
10. Національний стандарт України «Автоматизація технологічних процесів. зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах» ДСТУ Б А.2.4-16:2008. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/11-dstu-b-a.2.4-16-2008.pdf>
11. Трегуб В.Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств: Учебник/ В.Г.Трегуб, А.П.Ладанюк, Л.Я. Плужников – М.: Агропомиздат, 1991. – 352с.
12. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/А.И. Емельянов, О.В. Капник. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с.
13. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/А.И. Емельянов, О.В. Капник. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с.
14. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.1)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 86 с.
15. SIEMENS. SIMATIC. Компоненты для комплексной автоматизации. Каталог ST 70. 2010 г. Часть 1
16. Каталог продукції компанії Belimo – URL: [https://ecat.belimo.com/ua/uk\\_UA/index.html](https://ecat.belimo.com/ua/uk_UA/index.html)
17. Технічні характеристики промислових автоклавів – URL: <https://pratsmelamash.prom.ua/ua/p720886893-avtoklav-vertikalnyj-kav.html>
18. Офіційний сайт Одеського консервного заводу – URL: <https://okz.od.ua/uk/about/>