

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Факультет	Автоматизації та робототехніки
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня програма	«Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: «Автоматизація керування варкою ковбаси в універсальній термокамері»

Розробив	А.З. Степаненко
Керівник к.т.н., доцент	В.М. Левінський
Зав. кафедри АТПіРС д.т.н., професор	В.А. Хобін
<i>«е-версія роботи ідентична оригіналу»</i>	А.З. Степаненко
<i>«е-версію роботи прийнято»</i> Депозитор кафедри АТПіРС	Т.В. Волик

Одеса-2023

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня програма	«Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри АТП і РС
д.т.н., проф. Хобін В.А.**

« 02 » 09 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

1. Студент **Степаненко Андрій Зореславович**
2. Тема кваліфікаційної роботи **«Автоматизація керування варкою ковбаси в універсальній термокамері»**
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Левінський Валерій Михайлович, к.т.н., доцент**
П.п. 2 і 3 затверджені наказом ОНТУ від 22 серпня 2022 року № 475-03.
4. Строк подання студентом випускної дипломної роботи - 05 червня 2023 р.
5. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) технологічної і переддипломної практик, курсових та самостійних робіт, виконаних у відповідності с ІЗ.
6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) :
 1. Розробка концептуальної моделі об'єкту керування
 2. Ідентифікація моделей каналів перетворення вхідних дій об'єкту керування
 3. Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування
 4. Відтворення моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним
 5. Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем
 6. Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури
 7. Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка концептуальної моделі об'єкту керування. Ідентифікація моделей каналів перетворення вхідних дій об'єкту керування. Відтворення моделей у середовищі імітаційного моделювання	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем. Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури. Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		

8. Дата видачі завдання 26 грудня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка концептуальної моделі об'єкту керування. Ідентифікація моделей каналів перетворення вхідних дій об'єкту керування. Відтворення моделей у середовищі імітаційного моделювання	10.04.23 р.	
2	Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем. Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури. Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності	15.05.23 р.	

Студент

Степаненко А.З.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Левінський В.М.

Анотація

Обсяг роботи - 69 стор., кількість розділів - 7, ілюстрацій - 59, таблиць - 10, джерел по переліку посилань - 10.

Об'єкт дослідження або розробки – технологічний процес варіння ковбас в універсальній термокамері.

Мета роботи – розробити систему автоматичного керування процесом варінням ковбас в універсальній термокамері, яка б підтримувала регульовані змінні в регламентних зонах як в сталих, так і в перехідних режимах роботи.

Методи дослідження та інструментарій – при ідентифікації властивостей об'єкту керування використовувалися методи уявного активного та пасивного експерименту з подальшою обробкою їх результатів; моделі об'єкту керування та системи регулювання розроблялися в середовищі Simulink/Matlab; параметричний синтез системи керування проведений методом оптимізації показника якості її функціонування; розробка удосконаленої системи проводилася аналітично із застосуванням апарату передатних функцій.

Отримані результати – отримана система підвищеної динамічної точності, яка підтримує регульовані змінні в регламентних зонах як в сталих, так і в перехідних режимах роботи

Область застосування – система може бути використана при модернізації процесу виробництва ковбас.

Значущість роботи і висновки – розроблена система має переваги у порівнянні із традиційними САР, які використовуються на практиці.

Ключові слова: технологічний процес, об'єкт керування, регулятор, система керування.

Зміст

Перелік умовних позначень	7
Вступ	8
Розділ 1. «Розробка концептуальної моделі об'єкту керування»	9
1.1. Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого обладнанням, мети і умов його ведення	9
1.2. Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення	17
1.3. Розробка структурної схеми концептуальної моделі об'єкту керування	21
Розділ 2 «Ідентифікація моделей каналів перетворення вхідних дій об'єкту керування»	25
2.1. Априорний аналіз статичних і динамічних властивостей об'єкту керування	25
2.2. Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів керування об'єкту регулювання в околиці його робочих режимів	25
2.3. Ідентифікація моделей статички каналів керування об'єкту регулювання	32
Розділ 3. «Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування»	35
3.1. Априорний аналіз вхідних дій	35
3.2. Параметрична ідентифікація моделей ОК по каналу контрольованого збурення, оцінка результатів ідентифікації.	37
Розділ 4. «Відтворення моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним»	41
4.1. Відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним	41

4.2 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту керування і підтвердження її адекватності	42
Розділ 5. «Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем»	45
5.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом	45
5.2 Формалізація вимог до розв'язання задачі регулювання і вибір принципу побудови системи автоматичного регулювання	46
Розділ 6. «Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури»	49
6.1. Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання	49
6.2. Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій	51
6.3. Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОУ	55
6.4 Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях;	56
Розділ 7. «Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності»	60
7.1. Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності	60
7.2. Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (східчастих) вхідних впливів	61
7.3. Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів ОР	63
7.4. Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях	64
7.5. Порівняльний аналіз САР базової структури і підвищеної динамічної точності	65
Висновки	68
Перелік посилань	69

Перелік умовних позначень

ТП – технологічний процес

ЕД - електродвигун

ОК – об'єкт керування

САК – система автоматичного керування

САР – система автоматичного регулювання

ЗНВ – зона незначимих відхилень

ММ – математична модель

ВП – випадковий процес

САР ПДТ – САР підвищеної динамічної точності

Вступ

Одним із етапів технологічного процесу виробництва ковбас є їх варіння в універсальній термокамері, який дозволяє отримати кінцевий продукт з бажаними споживчими характеристиками.

Для створення системи керування цим процесом необхідно розв'язати наступні задачі:

- а) розглянути термокамеру як ОК, отримати її концептуальну модель;
- б) на основі результатів активних та пасивних експериментів розробити математичні моделі ОК;
- в) реалізувати математичні моделі у формі імітаційних моделей, провести їх тестування та підтвердити адекватність;
- г) провести оптимальний параметричний синтез САК базової структури з типовими алгоритмами регулювання;
- д) провести структурний і оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності;
- е) провести аналіз чутливості САК до варіацій параметрів об'єкту керування;
- є) провести аналіз якості регулювання розроблених варіантів САК за прямими та інтегральними показниками якості в перехідних та встановлених режимах роботи.

РОЗДІЛ 1. «РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ»

1.1. Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого обладнанням, мети і умов його ведення

Ковбасні вироби — це продукти, виготовлені з м'ясного фаршу з сіллю і спеціями, в оболонці або без неї і піддані термічній обробці або ферментації. Вони займають велику питому вагу в споживанні населенням і відносяться до числа найпоширеніших видів м'ясопродуктів.

Виробництво ковбас ґрунтується на різних хімічних, біотехнологічних, мікробіологічних, фізичних і теплових способах дії на початкову сировину. Залежно від виду сировини, характеру і особливостей технологічної обробки, специфічних зовнішніх властивостей продукту і його структури ковбаси ділять на варені, фаршировані, сосиски і сардельки, хліба м'ясні, ліверні, кров'яні, сальтисон, холодці, паштети, напівкопчені, варено-копчені, сирокоччені. Технологічний процес виготовлення більшості ковбасних виробів має багато загального. В той же час технологія кожного типу має свої специфічні особливості.

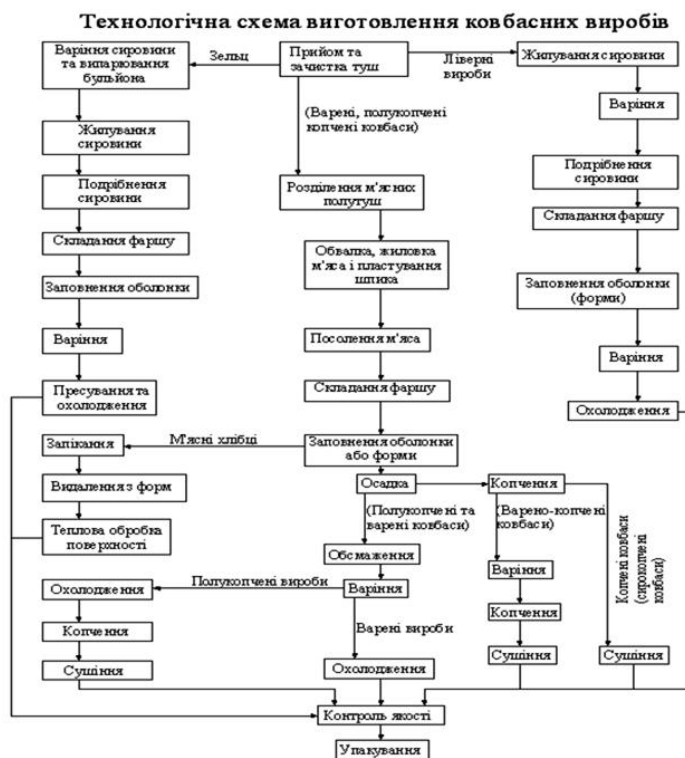


Рис. 1.1 – Структурна схема виготовлення ковбасних виробів

1.1.1. Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків

Термічна обробка варених ковбас проводиться в стаціонарних термокамерах з контролем і регулюванням температури та вологості.

Осідання

Після формування фаршу проводять осідання ковбасних виробів в камерах при температурі 0-2°C і відносній вологості повітря 80-85%. Згідно інструкції встановлені наступні терміни осідання: для варених ковбас 2-4 год. (залежно від діаметру батона), для напівкопчених - 4-6 год. для копчених - до 7 діб. Під час осідання фарш ущільнюється, поверхня батонів (кишкової оболонки) підсихає. Селітра переходить в нітрит і продовжується взаємодія нітриту з білками м'яса. Крім того, відбувається так звана ферментація сировини; до кінця осідання фарш стає більш щільним і монолітним.

Якщо осідання короткочасне, то рекомендується в осадочній камері підтримувати циркуляцію повітря за допомогою охолоджувачів, щоб підсушити оболонку. Якщо проводять тривале осідання (наприклад, сирокоччених ковбас), то циркуляція повітря повинна бути природною, тому що зайве висихання поверхневого шару ковбасного батона негативно позначиться на подальших процесах копчення і сушки (нерівномірність копчення і сушки).

Сушіння

Сушінню піддають сирокоччені, варено-копчені і напівкопчені ковбаси. Мета сушки - знизити вологість продукту і збільшити відносний вміст куховарської солі в ковбасних виробках. До кінця сушки, крім того, відносно збільшується і вміст в них коптильних речовин. В результаті створюються умови для більш тривалого зберігання ковбасних виробів. При вологості білкових продуктів менше 20-25% припиняється зростання більшості мікроорганізмів, а при 15%- ній вологості - зростання цвілі. В поєднанні з

наявністю коптільних речовин, що володіють антисептичними діями, ковбаси і особливо сирокочені добре зберігаються до одного року.

Сушку проводять в сушильних камерах з визначеним режимом - температура 12°C , відносна вологість повітря 75%. Тривалість сушки залежить від виду виробів.

При сушці ковбаси навішують на багатоярусні вішала. Це дозволяє збільшити коефіцієнт використання виробничої площі. Якщо температура повітря в сушарці вище 12°C , то на поверхні ковбас починає розвиватися цвіль. Якщо температура нижче, то збільшується тривалість сушки. Відносна вологість повітря більше 75% сприяє розвитку цвілі, а при відносній вологості менше 75% швидкість випаровування вологи з поверхні зростає, може утворитися поверхневий шар (гартування), який перешкоджатиме подальшому випаровуванню вологи, що пересохнув, в результаті тривалість сушки збільшиться.

Варіння

Під час здійснення варіння, попередньо обсмажені вироби варять парою у паро-варильних камерах залежно від виду і діаметру оболонок протягом таких інтервалів часу, а саме: ковбаси варені - 50-150 хвилин до досягнення у центрі батона температури $70-72^{\circ}\text{C}$, сосиски, сардельки, шпікачки і ковбаски - 30-50 хвилин до досягнення у центрі батончика температури $70-72^{\circ}\text{C}$.

Термічна обробка ковбасних виробів в універсальних термокамерах проводиться згідно заданої програми (Табл. 1.1). Підсушування проводять за температури $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ й відносній вологості 10-20% протягом 10-25 хвилин, а потім, не змінюючи вологості, температуру підвищують до $78-86^{\circ}\text{C}$ і обсмажують до досягнення температури в центрі батону $40-50^{\circ}\text{C}$. Безпосередньо після обсмаження батони варять парою та циркулюючим гарячим повітрям за температури $75-85^{\circ}\text{C}$ (для білкової оболонки $73-76^{\circ}\text{C}$) і відносній вологості 95% до досягнення температури в центрі батону 72°C .

Закінчення етапу або перехід до іншого етапу технологічного процесу може здійснюватися залежно від: досягнення необхідної температури серцевини батона або по закінченню заданого часу.

При підводі гріючої пари з максимальною постійною температурою температура в камері і на поверхні батона ковбаси зростає швидко, а температура в середині батона зростає значно повільніше. Закінчення процесу варіння визначають по термометру, який вводять в центр батона.

Табл. 1.1 – Приклад програми термічної обробки ковбасних варених виробів в штучній оболонці в універсальній термокамері

Крок	Процес	T_k в камері, °C	T_b в батоні, °C	Вологість в камері, %	Час кроку, хв.
1	Сушка	50	35	20	15
2	Обсмаження	80	50	40	15
3	Варка	76	71	95	45
4	Охолодження	-	-	-	10

Але такий спосіб варіння можливий лише для сосисок та ковбас малого діаметру. При обробці ковбас великого діаметру час варіння може сягати кількох годин і тому в верхніх шарах батона ковбаси доточно коагулює білок, виділяється сок і може статися розрив оболонки.

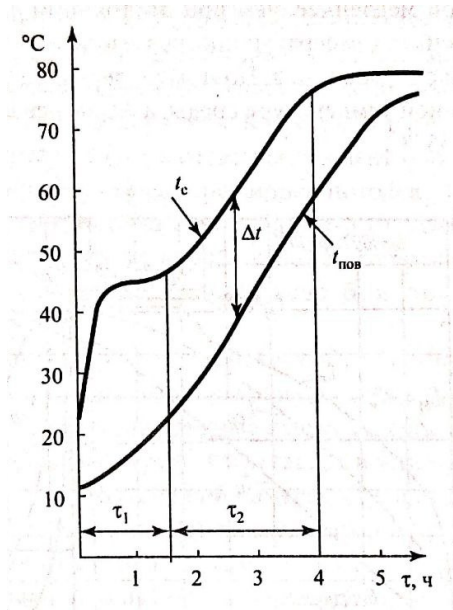


Рис. 1.2 Термограма варіння ковбас

Тому в сучасних термокамерах процес варіння ковбаси здійснюють в два етапи. На першому етапі τ_1 прогрів проводять при постійній температурі теплоносія, а при досягненні температури 35°C переходять на Δt -нагрів (рис. 1.2). При цьому температуру в камері t_c регулюють так, щоб між нею і температурою в середині батона спостерігався перепад не більше $\Delta t=20-25^{\circ}\text{C}$ і швидкість нагріву $1,0-1,3^{\circ}\text{C}/\text{хвилину}$

Охолодження

При охолодженні ковбас водою вдається уникнути зморшкватості; поверхня батонів одночасно очищається від жиру, залишків бульйону і забруднень.

Охолоджують ковбаси в основному під душем водою температурою $10-15^{\circ}\text{C}$. Охолодження ведуть до тих пір, поки температура в товщі батона буде понижена до $30-35^{\circ}\text{C}$. Тривалість охолодження $10-30$ хвилин залежно від діаметру батона.

Після охолодження водою ковбасні вироби на цих же рамах по підвісних шляхах спрямовують в камери охолодження, де підтримують температуру повітря біля $4-6^{\circ}\text{C}$ і відносну вологість повітря близько 85% . Тривалість охолодження в камерах $4-8$ годин. Варені ковбасні вироби потім спрямовують в камери зберігання, а звідти в реалізацію.

1.1.2. Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Термокамера - це герметичною шафа з теплоізоляцією, що складається з: підлоги, виконаної з нержавіючої сталі з розташованими на ньому напрямними для розміщення візків з продуктом; бічних стінок; дверей з двома замками; задньої стінки, у верхній частині якої вмонтовані трубопроводи подачі димових газів, води і вихлопу відпрацьованого диму; склепіння, що має в місці стику з бічними стінками газорозподільні канали; вентиляторний вузол, розташований в центрі склепіння; трубопровід диму з соплом і форсунки тонкого розпилення води в зоні максимального розрідження вентилятора (рис. 1.3).

Загальний вигляд		Технічні характеристики			
		PSS SCH - S (Универсальная термокамера - ПАРОВАЯ)			
		SCH 1 S	SCH 2 S	SCH 3 S	SCH 4 S
Производ- ительность кг/8ч	600 -	1 200 -	1 800 -	2 400 -	
Расход размель- ченного вещества	800 1 600 2 400 3 200				
Общая мощность	0,003-0,005 (м³ч⁻¹/Тележка)				
Мощность обменника	5 кВт	7,5 кВт	10 кВт	12,5 кВт	
Расход сочного пара (p=0,4-0,6 Мпа)	40 кВт	85 кВт	130 кВт	2 x 85 кВт	
	75 кг/ч	160 кг/ч	245 кг/ч	2 x 160 кг/ч	

Рис. 1.3 Загальний вигляд та технічні характеристики парової термокамери

У порожнині зводу розташований калорифер для створення всередині камери необхідного температурного режиму за рахунок подачі в нього гріючої пари $P=0,4-0,8$ МПа. Режим вологості, необхідний для термообробки продукції, створюється за рахунок подачі в камеру пари низького тиску $0,05-0,15$ Мпа (рис. 1.4).

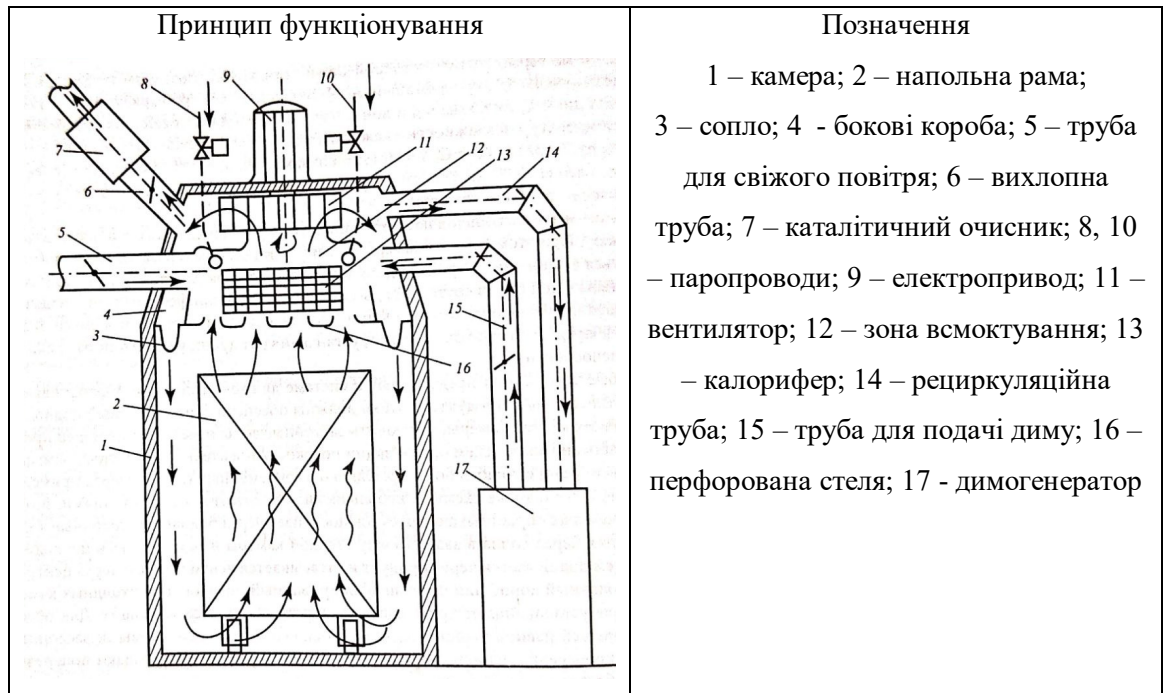


Рис. 1.4 Принцип функціонування термокамери

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

Мета ведення процесу - отримання заданих продуктів із заданими властивостями (показниками якості). При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдане тільки тоді, тобто технологічний процес має сенс реалізовувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу:

- кількість виробленого в одиницю часу продукту не повинно бути менше встановленої межі;
- втрати сировини і продукту не повинні перевищувати нормативних значень;
- питомі витрати енергії не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-допустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину і природне середовище не повинно перевищувати нормативних значень;

- порушення режимів ведення технологічного процесу і роботи обладнання, що призводять до аварійних ситуацій, повинні бути досить рідкими подіями і повинні бути передбачені заходи для запобігання переростання аварійних ситуацій в аварію.

Технологічний процес варіння ковбаси доцільно реалізовувати, якщо забезпечуються:

- напруга мережі $380 \text{ В} \pm 10\%$;
- тиск гріючої пари $6 \pm 0,2$ бар;
- тиск води $1 \pm 0,2$ бар.

Технологічний процес варіння ковбаси в термокамері є періодичним.

1.1.4. Параметризація схеми технологічного процесу й загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Технологічна схема є графічним відображенням руху і перетворення матеріальних та енергетичних потоків (рис. 1.5). Кожен потік і процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних і біологічних властивостей характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості та умови перетворення потоків. Їх нанесення на схему технологічного процесу і є її параметризацією.

1. Параметри продукту на вході:

W_c^{BX} – початкова маса сировини; T_c^{BX} – початкова температура сировини;
 M_c^{BX} – початкова вологість сировини.

2. Параметри, що характеризують пару:

1) Пар для обігріву : $F_{п1}$ – витрати пари, на одиницю продукції (u_1 – положення РО, що регулює подачу пари); $P_{п1}$ – тиск пари; $T_{п1}$ – температура пари.

2) Пар для зволоження: $F_{п2}$ – витрати пари, на одиницю продукції; $P_{п2}$ – тиск пари; $T_{п2}$ – температура пари.

До вхідних можна віднести також параметри, що характеризують повітря, так як повітря змішується з паром в змішувальній камері і потім дана суміш

подається в робочу камеру: $F_{\text{пов}}$ – витрати повітря; $P_{\text{пов}}$ – тиск повітря; $M_{\text{пов}}$ – вологість повітря; $S_{\text{пов}}$ – швидкість подачі повітря; $T_{\text{пов}}$ – температура повітря.

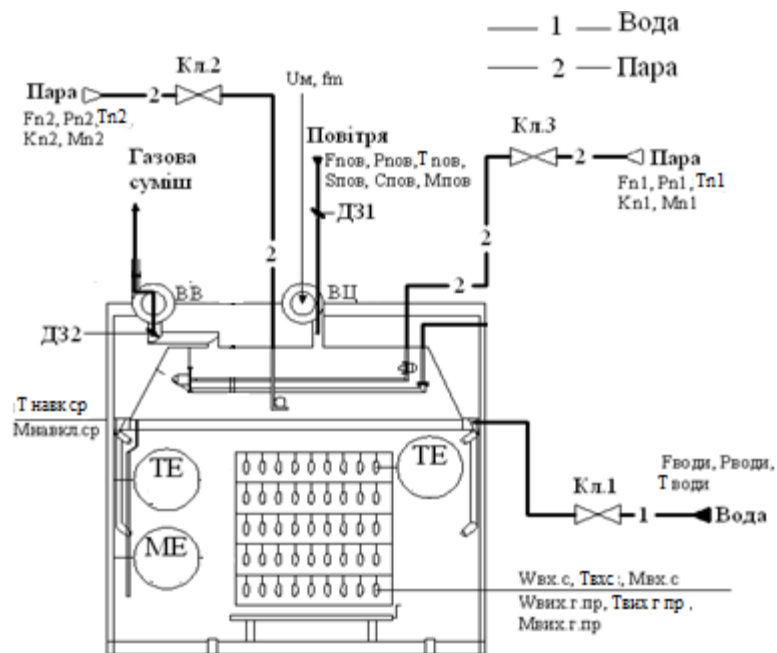


Рис.1.5 - Параметризована схема ТП варіння ковбаси в універсальній термокамері

3. Параметри, що характеризують воду:

$F_{\text{води}}$ – витрати води; $P_{\text{води}}$ – тиск води ; $T_{\text{води}}$ – температура води.

4. Параметри, що характеризують готовий продукт:

$W_{\text{г.пр}}^{\text{вих}}$ – маса готового продукту; $T_{\text{г.пр}}^{\text{вих}}$ – температура готового продукту; $M_{\text{г.пр}}^{\text{вих}}$ – кінцева вологість готового продукту.

5. Параметри, що характеризують термокамеру:

U , I , $\cos\phi$ електричні параметри електроприводів вентиляторів і дросельних заслінок. K – герметичність камери ; Z – засміченість форсунки ; Z_2 – засміченість колектора пара низького тиску ; Z_3 – налипання жиру на стінки витяжної системи та інші параметри, що характеризують роботу камери.

1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення

1.2.1. Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату

Основу нормативів складають три основні регламенти:

Технологічний регламент - визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. У нашому випадку такими параметрами є T_6 – температура в геометричному центрі батону; T_k – температура в термокамері; $\Delta T = T_k - T_6$ – різниця температур; M – вологість в термокамері.

Експлуатаційна регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного обладнання. Для технологічного процесу варіння ковбаси до таких параметрів відносяться: $\Delta P_{\text{ППС}}$ – різниця тисків пароповітряної суміші на вході в термокамеру і на виході із термокамери, I – струм навантаження електроприводів вентиляторів.

Техніко-економічний та екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу та його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести: $F_{\text{рвс}}$ – показник використання енергії на одиницю продукції; F_n – кількість високоякісної продукції.

1.2.2. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, які викликаються зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному управлінні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски. Залежно від наслідків, можна виділити два характерних типи таких порушень:

а) технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідується з плином часу, наприклад, за рахунок управління процесом;

б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його поновлення часто необхідна підготовка обладнання до повторного запуску (видалення сировини з машин, чистка робочих органів, їх заміна і т.д.).

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято поділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі і короткочасні відхилення.

Тривало допустимі відхилення визначають зону незначущих для даного процесу відхилень (ЗНВ) розглянутого параметра. У середині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять з ЗНВ, можна не усувати.

Короткочасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНО та призводять до зниження ефективності процесу, тому вони допустимі лише обмежений час, який задається і входить до регламенту. Вихід параметрів за зону короткочасно допустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, які можуть призвести до аварії.

При перевищенні значення різниці температур в термокамері та всередині батона від свого регламенту відбувається репання оболонки батона, тобто продукція втрачає споживчу якість. У випадку, коли значення температури в середині батона нижче від мінімально – припустимої, то є ймовірність того, що не всі мікроорганізми будуть знищені, продукт швидко псуватиметься и буде шкідливим для споживача.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.2.

Таблиця 1.2 Таблиця регламентів

Назва параметрів	Ум. позн.	Од. вимір.	Номін. значення параметра	Можливі відхилення від номіналу		
				Довгостр.	Короткочасні	
				Значення	Значення	Час
Температура в центрі батона	T_6	$^{\circ}\text{C}$	по програмі	± 1	± 2	60хв
Різниця температур в термокамері і в центрі батона	ΔT	$^{\circ}\text{C}$	< 25	± 1	± 2	60хв

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

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути згруповані за деякими ознаками.

Сировинні – характеризують властивості продукту, який іде на переробку. До них віднесемо: W_c^{BX} – початкова маса сировини; T_c^{BX} – початкова температура сировини; M_c^{BX} – початкова вологість сировини.

Енергетичні – характеризують енергію, яка підводиться до технологічного обладнання ззовні. До них віднесемо: $F_{п1}$ – витрати пари для обігріву; $P_{п1}$ – тиск пари; $T_{п1}$ – температура пари; $K_{п1}$ – коефіцієнт тепловіддачі пари; $F_{п2}$ – витрати пари для зволоження; $P_{п2}$ – тиск пари; $T_{п2}$ – температура пари; $K_{п2}$ – коефіцієнт тепловіддачі пара; $F_{води}$ – витрати води; $P_{води}$ – тиск води; $\theta_{води}$ – температура води; $F_{пов}$ – витрат и повітря; $M_{пов}$ – вологість повітря; $C_{пов}$ – питома теплоємність волого повітря; $P_{пов}$ – тиск повітря; U_m – напруга мережі; f_m – частота мережі; $T_{навк. ср.}$ – температура навколишнього середовища.

Механічні – параметри технологічного обладнання, які характеризують стан його робочих органів. До них віднесемо: K – герметичність камери; Z – засміченість форсунок; Z_2 – засміченість колектора пара низького тиску; Z_3 – налипання жиру на стінки витяжної системи та інші параметри технологічного обладнання, які характеризують стан його робочих органів.

1.2.4 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і одержання його параметричної схеми.

Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу від параметризованої до параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають цілі функціонування об'єкта моделювання та додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, які регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - вхідними.

Складаємо параметричну схему ТП, виходячи з технологічної схеми, шляхом згрупування розрізаних на цій схемі параметрів в групи, відповідно до регламентів та нормативів (рис. 1.6).

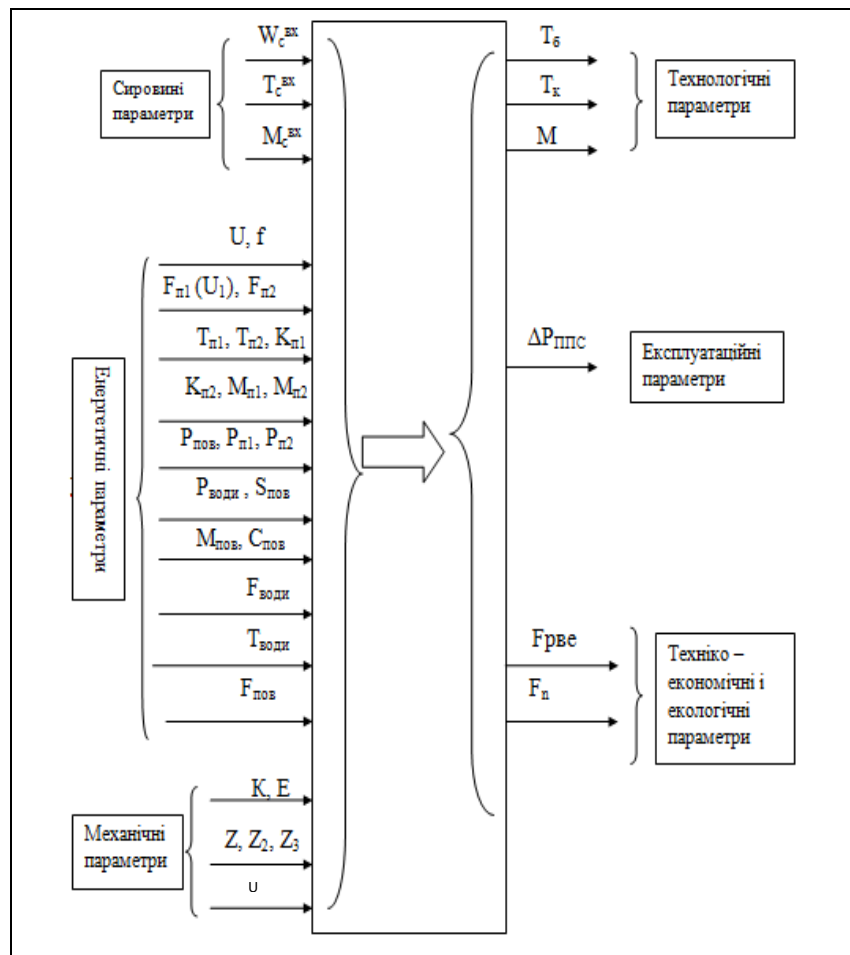


Рис. 1.6 – Параметрична схема ТП варіння ковбаси

1.3. Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування

1.3.1. Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення

регульованих координат

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань по номенклатурі і обсягу продукції та отримання при цьому певного економічного ефекту. Декомпозиція цієї загальної цілі для більш низьких рівнів виробничої ієрархії призводить до наступних цілей:

а) на рівні окремого технологічного процесу - координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;

б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання - виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема - оптимізація роботи окремих одиниць устаткування.

Звідси завдання управління можна поділити на:

а) завдання регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту. Отже, змінні, відповідні технологічним та експлуатаційним параметрам, будуть регульованими змінними об'єкта управління;

б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються завдання оптимізації процесу.

Для процесу варіння ковбаси в якості регульованих та оптимізованих координат доцільно вибрати температуру в термокамері T_k , температуру в центрі батона T_b та різницю цих ΔT .

1.3.2. Вибір управляючих дій об'єкту керування

Необхідною умовою вирішення завдань управління є наявність керуючих впливів, які, повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для завдань регулювання, такими керуючими (регулюючими) впливами, насамперед, є дії, які цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регулюючих органів. Кількість регулюючих впливів має дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу варіння ковбаси до управляючих впливів доцільно віднести положення регулюючого клапану подачі грючої пари U , що змінює її витрати $F_{п1}$.

В якості керуючого впливу об'єкта оптимізації виберемо зміну завдання регулятора температури в термокамері T_k ^{ЗД}.

1.3.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування

Після того, як визначено управляючі дії, всі інші вхідні змінні потрапляють у розряд збурень, тобто таких впливів середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Збурення за їх наслідками можна підрозділити на:

а) координатні, що призводять до зміни змінних в моделі, і параметричні, що призводять до зміни змінних і параметрів моделі;

б) шуми.

Шуми принципово відрізняються від інших збурень тим, що наслідки їх дії компенсувати за рахунок керуючих впливів неможливо через великі інерційності і запізнювання каналу управління.

Контрольовані збурювання – це конкретні фізичні параметри, які мають власну розмірність. Діапазон їх зміни можна визначити, виходячи з технологічних і виробничих інструкцій. В якості контрольованого збурення будемо розглядати зміни тиску грючої пари P_p .

Дію всіх інших вхідних впливів на процес варки ковбаси визначимо як неконтрольовані збурення. Їх формально об'єднують в групи неконтрольованих координатних збурень по числу керуючих впливів і вважають діючими адитивно або управляючим впливом, або керованим змінним.

Параметричні збурення при управлінні ТП, як правило, є неконтрольованими. Спектральний склад збурюючих впливів істотно різний для різних груп збурень. Параметричні збурення є істотно низькочастотними

в порівнянні з координатними. Самими високочастотними збуреннями є шуми.

1.3.4. Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання

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

Для управління варінням ковбаси в термокамері виділений один керуючий вплив - зміна витрат гріючої пари U_1 .

На підставі виконаного аналізу регульованих змінних, керуючих впливів і зовнішніх збурень, була складена структурна (координатна) схема термокамери як об'єкту керування:

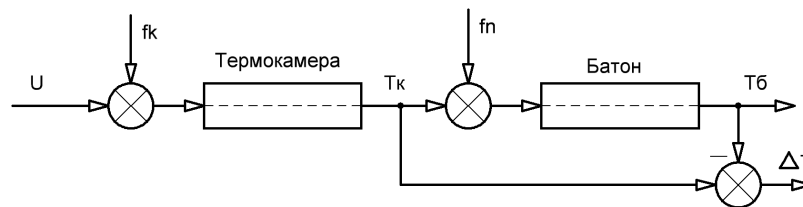


Рис.1.7 - Структурна схема процесу варіння ковбаси в термокамері як об'єкта регулювання

U – положення регулюючого клапану подачі гріючої пари;

T_k – температура в термокамері;

T_6 – температура в батоні;

$\Delta T = T_k - T_6$ – різниця температур;

f_k - вектор контрольованих збурень;

f_n - вектор неконтрольованих збурень.

РОЗДІЛ 2. «ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ КАНАЛІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТНИХ ДІЙ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ»

2.1 Априорний аналіз статичних і динамічних властивостей об'єкту керування

Перед початком експериментів доцільно на основі априорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, оцінити властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації. По суті справи - провести попередню структурну ідентифікацію. Це необхідно, насамперед, для того, щоб спростити і прискорити виявлення настання сталих режимів вихідних змінних.

Для технологічного процесу варки ковбас після нанесення збурюючих дій встановлюються динамічна рівновага регульованих змінних, тому за всіма каналами управління цей ОК має властивість самовирівнювання.

2.1.2. Априорний аналіз і прийняття рішення про допустимість лінеаризації статичних властивостей каналів управління та збурень об'єкту регулювання, виходячи, зокрема, з діапазонів зміни регульованих змінних при роботі САР, для розробки якої ведеться ідентифікація об'єкту

Виходячи з фізичної суті процесів, які протікають в ОК, відомо, що відносно повною мірою математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни регульованих координат. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК. Таке спрощення моделі, з одного боку, приводить до неточності опису процесів, а з іншого боку, дозволить істотно спростити процедуру ідентифікації моделі з використанням інженерних методик.

2.2 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів

2.2.1 Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для

експериментального дослідження з метою отримання необхідної інформації про властивості каналів об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яких доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. З розуміння простоти організації цих змін, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії. Для спрощення обробки результатів доцільно подавати дії по черзі на кожен з каналів окремо, фіксуючи реакції всіх виходів.

2.2.2 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного або уявного експериментів.

План активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $U=0\%$ х.р.о. буде відповідати значення регульованої координати - температура в камері $T_k=20^0\text{C}$ та температура в батоні ковбаси $T_b=20^0\text{C}$.

2. Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналах та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.

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

4. Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму.

Результати активних експериментів при зміні U $0\% \rightarrow 10\%$ х.р.о. наведені на рис. 2.1-2.2.

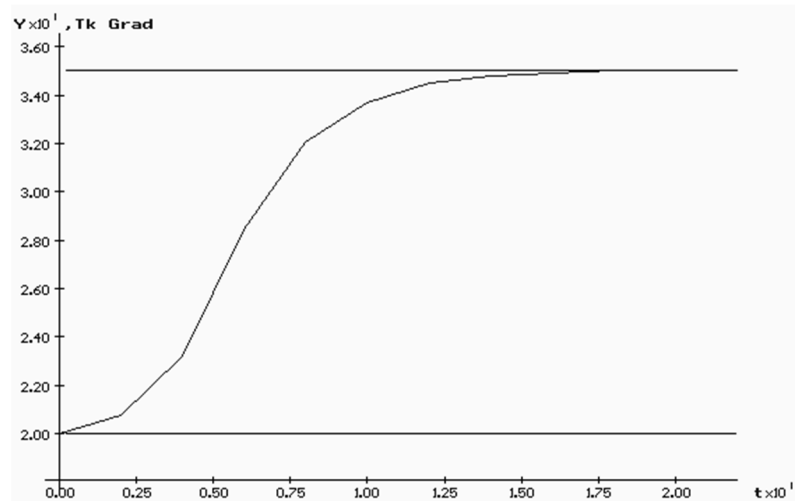


Рис. 2.1 – Результати активного експерименту за каналом U-T_к

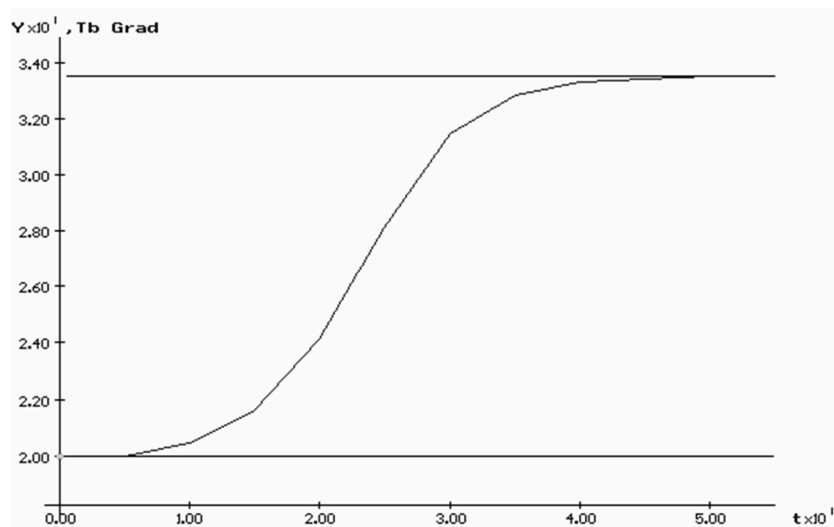


Рис.2.2 – Результати активного експерименту за каналом U-T₆

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

За результатами активних експериментів (рис. 2.1-2.2) моделі каналів управління можуть бути описані передаточними функціями: першого та другого порядку:

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

2.2.4 Вибір методики і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків

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

Для каналу U-T_к:

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_k = \Delta T_k / \Delta U = 35 - 20 / 10 = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{хро}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”. Для їх визначення скористаємося можливостями програми IDENT. Сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0) наведені на рисунках.

Для моделі 1-го порядку

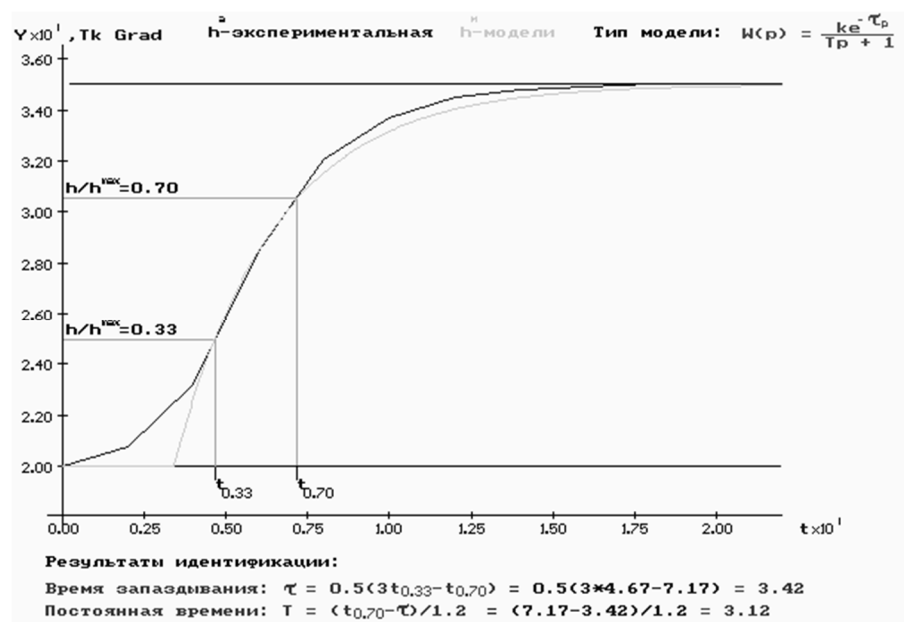


Рис. 2.3 - Параметрична ідентифікація каналу U-T_к

Для моделі 2-го порядку

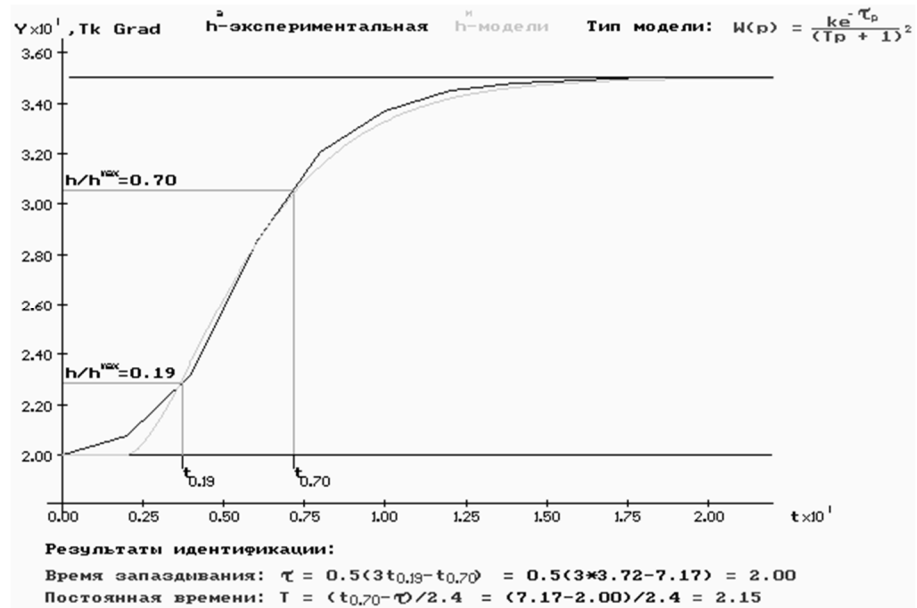


Рис. 2.4 - Параметрична ідентифікація каналу $U-T_k$

Для каналу $U-T_6$:

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \Delta T_6 / \Delta U = 33,5 - 20 / 10 = 1,35 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{хро}$$

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

Для моделі 1-го порядку

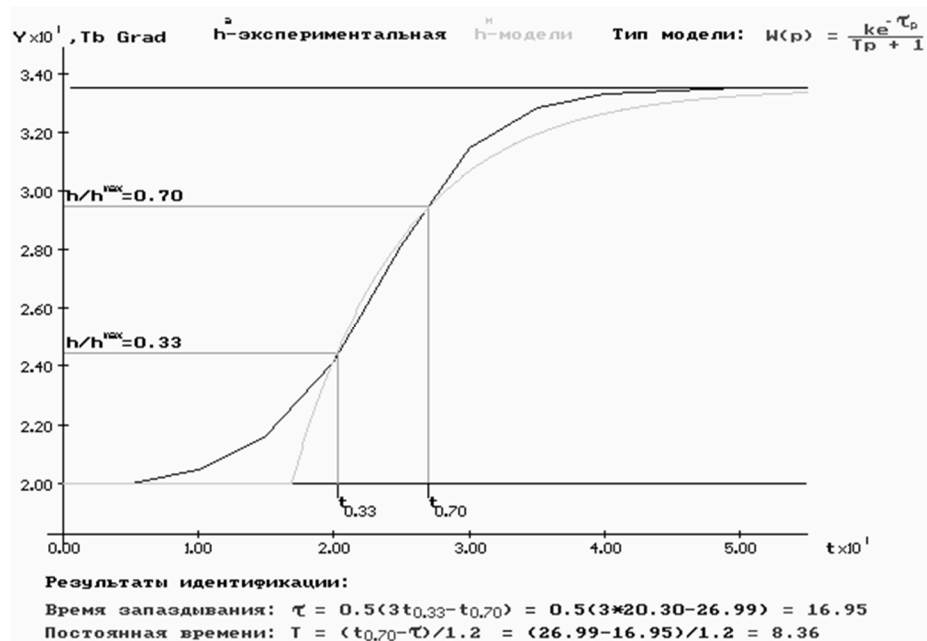


Рис. 2.5 - Параметрична ідентифікація каналу $U-T_6$

Для моделі 2-го порядку

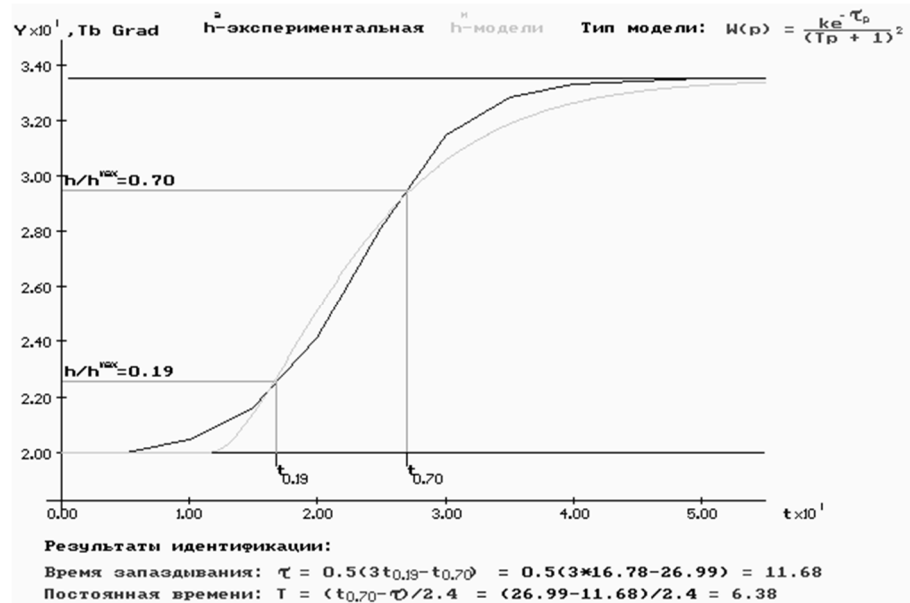


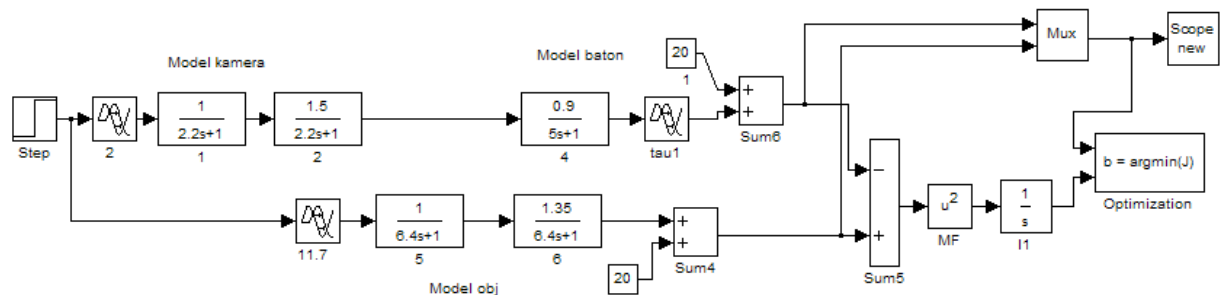
Рис. 2.6 - Параметрична ідентифікація каналу $U-T_6$

Провести ідентифікацію динамічних властивостей батона ковбаси з урахуванням динамічних властивостей терморкамери можна наступним чином.

Оскільки відомий загальний коефіцієнт передачі по каналу $U-T_6$ та коефіцієнт передачі терморкамери, то це дозволяє визначити окремо коефіцієнт передачі батона ковбаси по залежності:

$$K_6 = K_0 / K_K = 1,35 / 1,5 = 0,9$$

Час запізнення τ_6 і постійну часу T_6 в моделі батона 2-го порядку можна визначити, скориставшись оптимізаційною процедурою, схема моделювання якої приведена нижче:



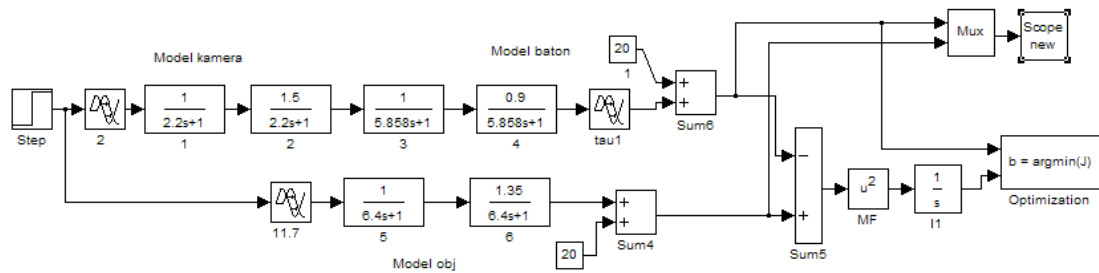
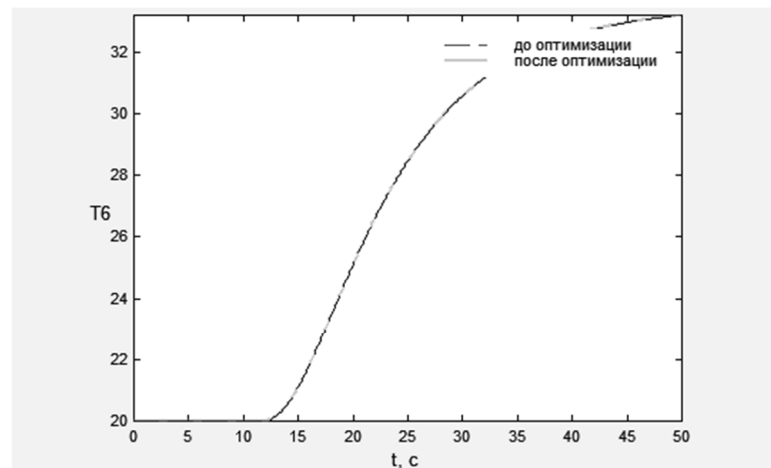
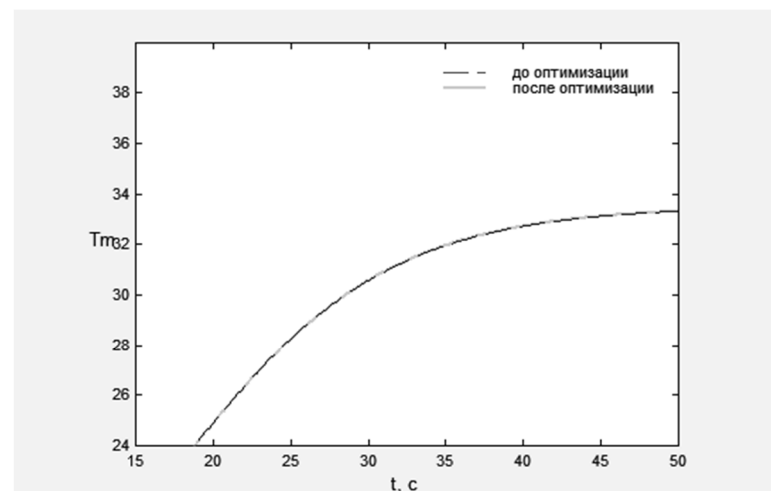


Рис. 2.7 Схеми моделювання по визначенню параметрів батона як ОК



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
tau1	9.1034	5	9.1103	15	до - 0.36256
T1	9.0824	5	9.0782	15	после - 0.3626
					оптимизации.
					Количество шагов процедуры оптимизации:
					максимальное - 100
					фактическое - 33



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
T	5.858	2	5.8622	10	до - 0.48798
tau	6.1268	3	6.1187	11	после - 0.48802
					оптимизации.
					Количество шагов процедуры оптимизации:
					максимальное - 100
					фактическое - 30

Рис. 2.8 Результаты моделювання по визначенню параметрів батона як ОК

Остаточні результати ідентифікації параметрів термокамери і батона як ОК зведені в таблицю.

Табл. 2.1 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

Канал ОК	Передатна функція 1-го порядку	Передатна функція 2-го порядку
U-Т _к	$W_{U-T_k}^o(p) = \frac{1,5 * e^{-3,4*p}}{3,1 * p + 1}$	$W_{U-T_k}^o(p) = \frac{1,5 * e^{-2*p}}{(2,2 * p + 1)^2}$
U- Т _б	$W_{U-T_b}^o(p) = \frac{0,9 * e^{-17*p}}{8,4 * p + 1}$	$W_{U-T_b}^o(p) = \frac{1,35 * e^{-11,7*p}}{(6,4 * p + 1)^2}$
камера - батон	$W_{T_k-T_b}^o(p) = \frac{0,9 * e^{-9,1*p}}{9,1 * p + 1}$	$W_b^o(p) = \frac{0,9 * e^{-6,1*p}}{(5,8 * p + 1)^2}$

2.3. Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями

2.3.1 Вибір і опис доцільного методу експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відображають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (змінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після закінчення всіх перехідних процесів цих змінних.

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

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

У теорії експерименту змінні x називають факторами, а їх функцію y – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для

ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатфакторним.

Для отримання статичних характеристик ОК застосуємо активний однофакторний експеримент, змінюючи керуючу дію U в діапазоні 0-100% хро.

Результати експерименту для визначення статичних характеристик ОК зведено в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Результати експерименту
для визначення статичної характеристики ОК

№ пп	$U, \% \text{х.р.о.}$	$T_k, ^\circ\text{C}$	$T_6, ^\circ\text{C}$
1	20	50	47
2	30	65	60,5
3	40	80	74
4	50	95	87,5
5	60	110	101
6	70	125	114,5
7	80	140	128

2.3.2 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, ітераційний підбір структури моделі з її параметричною ідентифікацією, порівняльний аналіз моделей різної структури за статистичними критеріями, прийняття рішення з вибору моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\bar{x})$. Для досліджуваного ОК статичні характеристики по каналу керування можуть бути описані лінійними залежностями виду:

$$T_k = p_2 + p_1 \cdot U,$$

$$T_6 = p_2 + p_1 \cdot U.$$

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК (тобто визначення числових значень p_1 і p_2) доцільно використовувати метод найменших квадратів, який реалізований в програмі Curve Fitting Tool.

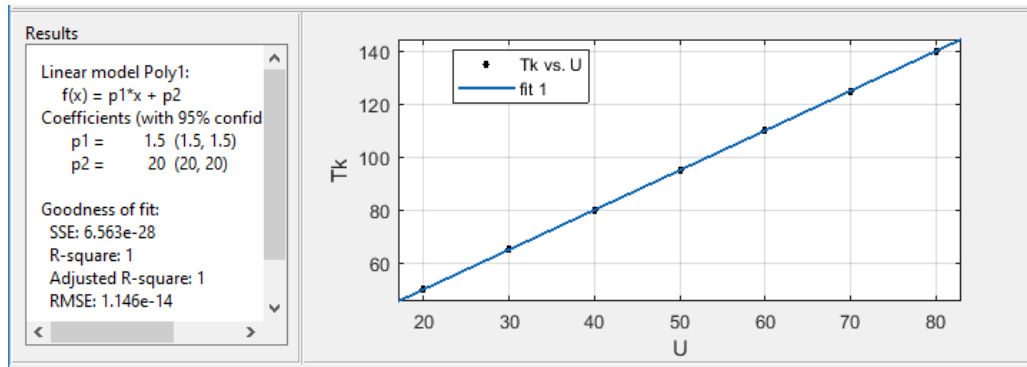


Рис.2.9 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК по каналу $U - T_k$

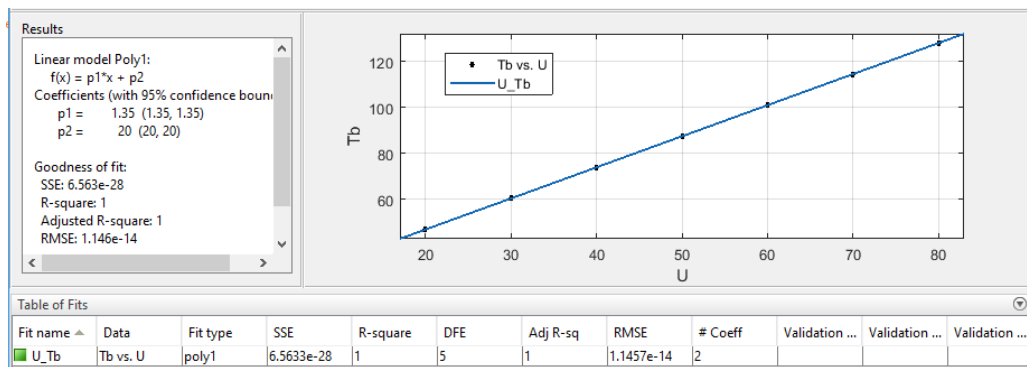


Рис.2.10 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК по каналу $U - T_6$

Необхідні дані для роботи програми вводяться з табл. 2.2. В результаті отримуємо наступні вирази для статичних характеристик ОК:

$$T_k = p_2 + p_1 \cdot U = 20 + 1,5 U$$

$$T_6 = p_2 + p_1 \cdot U = 20 + 1,35 U$$

РОЗДІЛ 3 «ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ВХІДНИХ ДІЙ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ»

3.1 Априорний аналіз вхідних впливів

3.1.1 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та частотних властивостей вхідних дій і їх наслідків.

Неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція регульованої змінної на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій, наприклад, 10...15 %х.р.о. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або $(10...15) y_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

Контрольовані збурювання – це конкретні фізичні параметри, які мають власну розмірність. Діапазон їх зміни можна визначити, виходячи з технологічних і виробничих інструкцій.

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

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^n(t) + \tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^w(t),$$

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

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

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

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

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^n(t)$ є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати.

Складова $\tilde{f}^w(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^w(t)$ в САК

повинні бути відфільтровані. Визначивши властивості $\tilde{f}^u(t)$, можна підібрати параметри фільтрів низької частоти, які не «пропустять» шуми на вхід регулятора.

Вплив складової $\tilde{f}^c(t)$ на регульовану змінну повністю не компенсується регулятором САР і якраз зменшення цього впливу і визначає ефективність алгоритмів, які реалізує система регулювання.

Модель контрольованого збурення за аналогією з моделлю неконтрольованих збурень може бути представлена чотирма складовими, які будуть прикладені до входу каналу контрольованих збурень.

3.1.2 Аналіз можливостей ідентифікації моделей координатних збурень і вибір загальної структури моделей

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованих складових. У таких умовах в якості моделі $\bar{f}(t)$ приймають модель ступінчастої дії,

$$\bar{f}(t) = \begin{cases} a_{f_n} = \Delta f_n, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}, \text{ прикладеного до входу ОК.}$$

Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Наближена ідентифікація Δf_n для ступінчастого збурення може бути проведена у такий спосіб:

1. Визначають (приблизно) середнє значення управляючої дії $u(t) = \bar{u}(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.

2. Задають значення $\Delta f_n = 0,2u(t)$.

Квазідетермінована складова $\tilde{f}^n(t)$ може мати, наприклад, гармонійний характер, що відбиває вплив на регульовану змінну $y(t)$ періодично працюючого обладнання. Модель $\tilde{f}^n(t)$ знаходять при цьому безпосередньо із графіків $y(t)$, отриманих при проведенні пасивного експерименту.

Для відтворення моделей $\tilde{f}^c(t)$ або $\tilde{f}^u(t)$ досить часто використовують метод формуючого фільтру. Його можна подати у вигляді такої структурної схеми моделювання

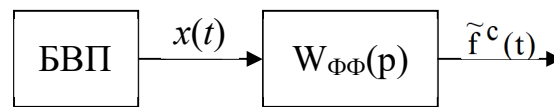


Рис. 3.1 – Базова модель випадкового процесу

де БВП - генератор базового випадкового процесу („білого шуму”);

$W_{\Phi\Phi}(p)$ – передаточна функція формуючого фільтра.

В подальшому для термокамери як ОК розглядаються зовнішні впливи контрольованого збурення $f_{1K}(t) = \bar{f}_{1K}(t) + \tilde{f}_{1K}^c(t)$, який відображає вплив на температуру камери $T_K(t)$ змін тиску гріючої пари.

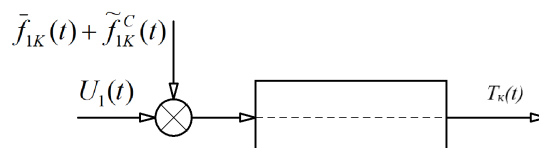


Рис. 3.2 – Структурна схема прикладання координатних збурень для термокамери

Оскільки зміни тиску приводять до зміни витрат гріючої пари, то контрольоване збурення $f_{1K}(t)$ по суті приведено до керуючої дії $U(t)$.

3.2. Параметрична ідентифікація моделі ОК по каналу контрольованого збурення, оцінка результатів ідентифікації.

Модель ОК по каналу контрольованого збурення для даного конкретного випадку співпадає з моделлю керуючого впливу $U(t)$ на регульовану змінну $T_K(t)$. Передатна функція моделі була визначена раніше в ході активного експерименту $W_{U-T_K}^o(p) = \frac{1,5 * e^{-3,4 * p}}{3,1 * p + 1}$

Отримаємо параметри цієї моделі повторно засобами пасивного експерименту. При його проведенні керуючий вплив не змінюють $U(t) = \text{const}$.

Фіксують лише зміни у часі контрольованого збурення $f_k(t)$ та реакцію на ці зміни регульованої координати $T_z(t)$. Оскільки реальних даних з виробництва в нашому розпорядженні немає, то скористаємося засобами імітаційного моделювання. Для цього сформуємо файл вхідного впливу $f_k(t)$ на ОК і файл реакції на нього регульованої змінної $T_z(t)$ за наступною схемою моделювання:

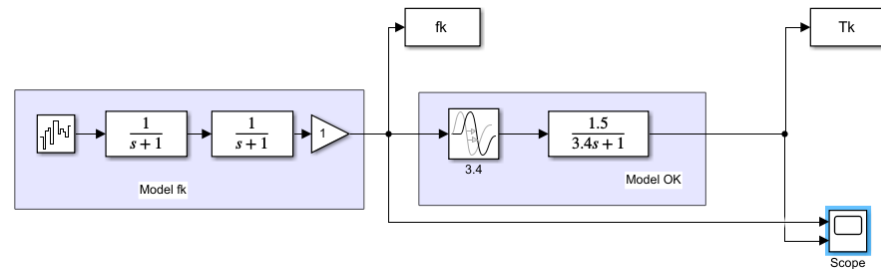


Рис. 3.3 – Схема моделювання для формування файлів пасивного експерименту

Вибір параметрів формуючого фільтру $W_o^{fk-T}(p) = \frac{1}{(1s+1)^2}$: $T=1.0$ забезпечує більш високочастотний склад $f_k(t)$ у порівнянні з $T_z(t)$, що відповідає змінам тиску пари, а $k=1$ забезпечує інтенсивність коливань $T_k(t)$ з незначними порушенням регламентної зони $\pm 0,5$ °C.

Далі ці файли експортуються до програми System Identification.

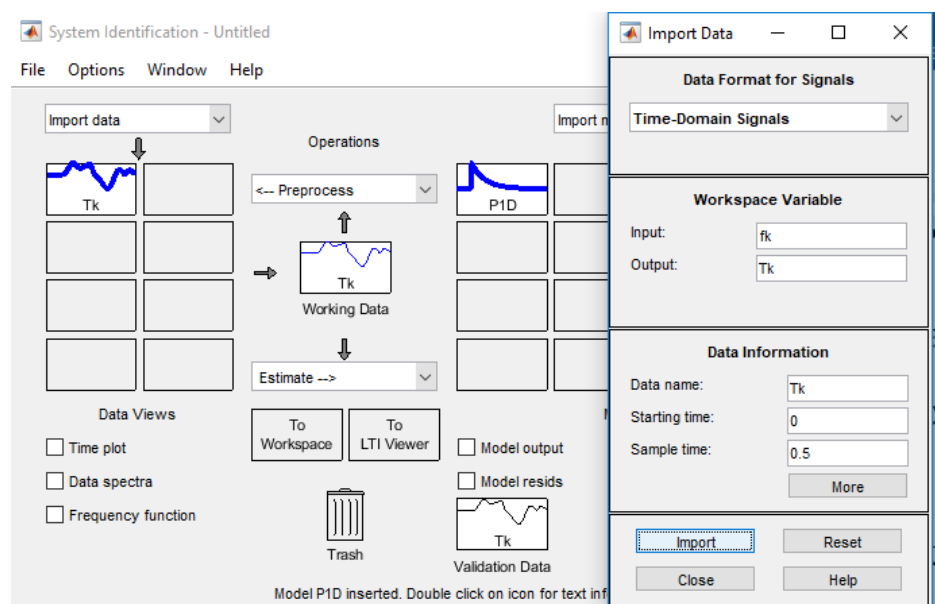


Рис. 3.4 – Вигляд вікна програми System Identification

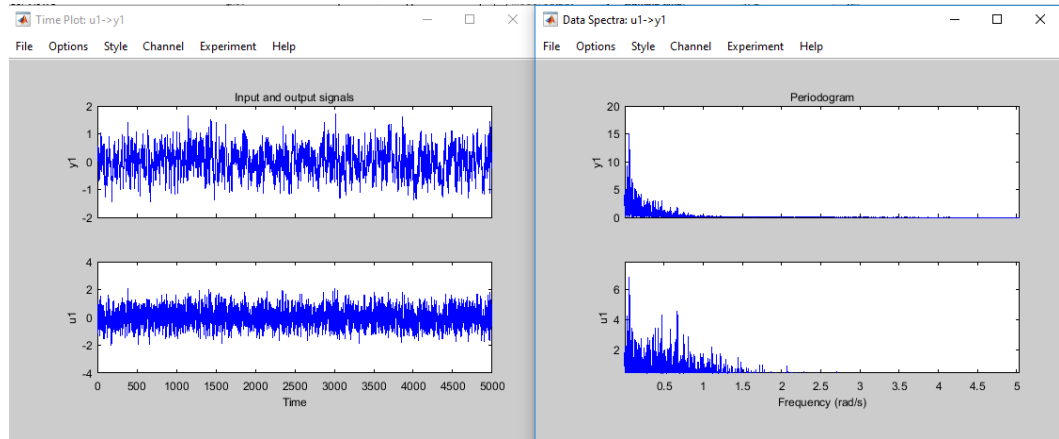
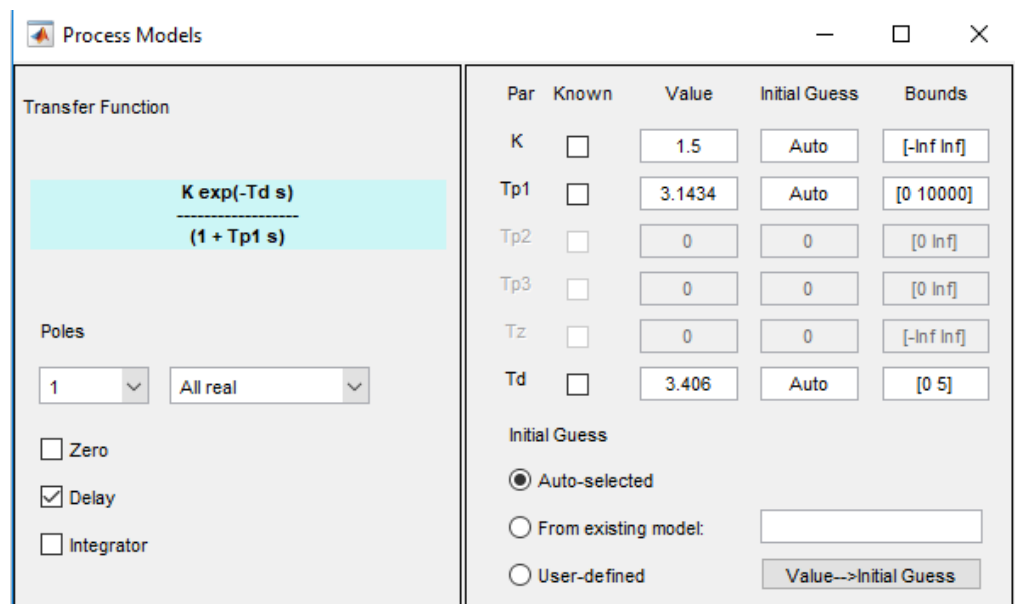


Рис. 3.5 – Реалізації у часі змінних $f_k(t)$, $T_k(t)$ та їх спектральні щільності

Для аналізу якості ідентифікації обрана модель каналу ОК 1-го порядку. Результати ідентифікації наведені на рис. 3.6. Слід відзначити, що параметри моделі з достатньою для інженерних розрахунків точністю (1,3%) співпадають з параметрами моделі, які були отримані за результатами активного експерименту.

На рис. 3.6 представлені графіки реалізацій у часі моделей та експериментальних даних.



3.6. - Результати параметричної ідентифікації каналу контрольованих збурень

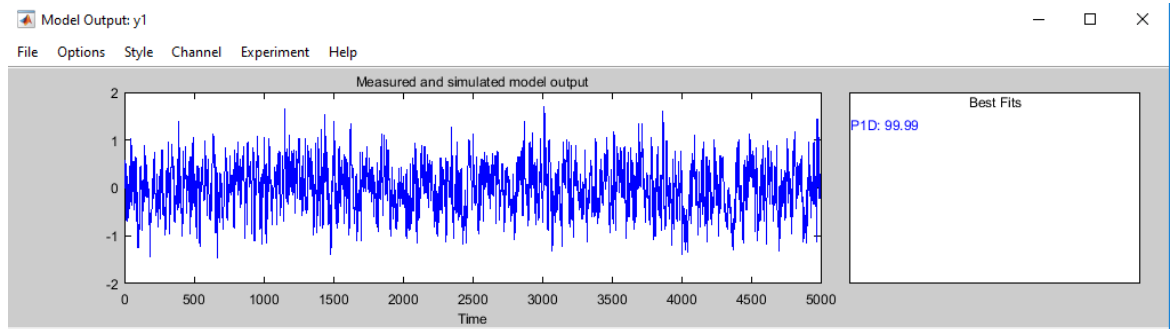


Рис. 3.7 – Графіки реалізацій у часі моделей та експериментальних даних

З порівняння цих графіків видно, що вони практично співпадають між собою. Це дає змогу зробити висновок, що параметрична ідентифікація каналу контрольованого збурення моделлю 1-го порядку проведена коректно.

РОЗДІЛ 4. «ВІДТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЇХ ВІДПОВІДНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ ДАНИМ»

4.1 Відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

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

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналу «U- T_к» ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

При моделюванні вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат з експериментальними даними. Для цього експериментальні дані попередньо готують в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up Table. Схеми моделювання каналів управління ОК наведені на рис. 4.1, 4.3. Результати моделювання наведені на рис. 4.2, 4.4.

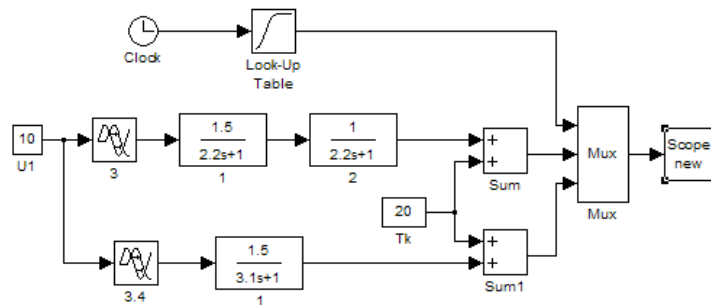


Рис. 4.1 – Схема моделювання каналу U- T_к

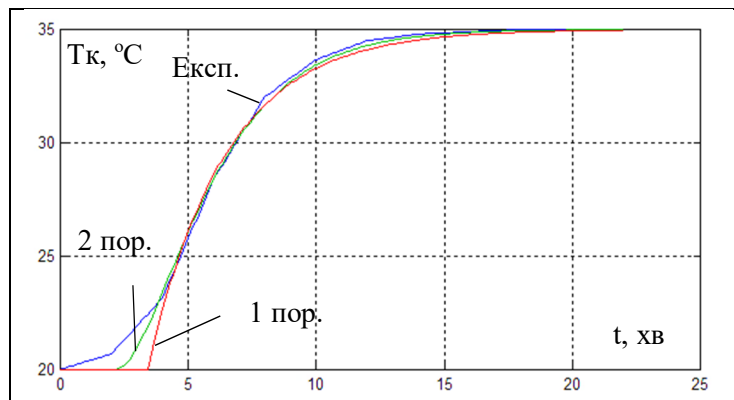
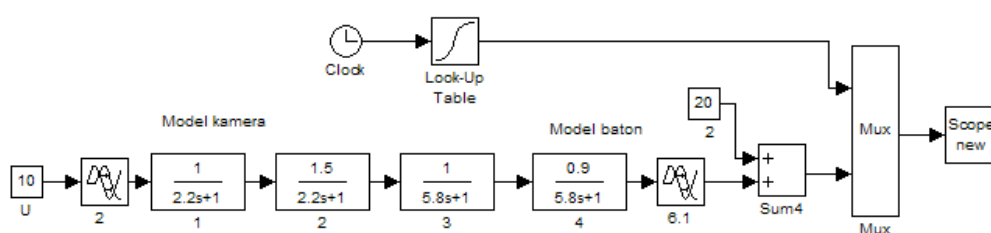
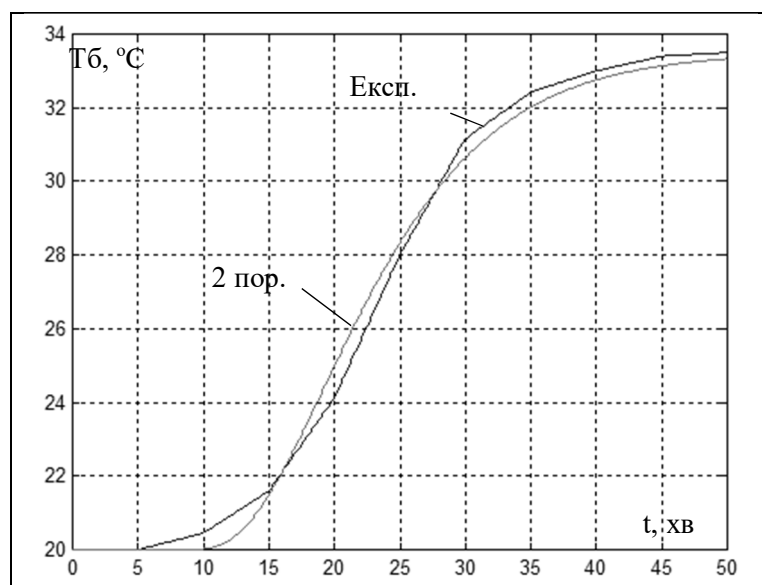


Рис. 4.2 – Результати моделювання ОК по каналу «U- T_к

Рис. 4.3 – Схема моделювання каналу U- T₆Рис. 4.4 – Результати моделювання ОК по каналу «U- T₆

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

4.2 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту керування і підтвердження її адекватності

4.2.1. Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 4.5.

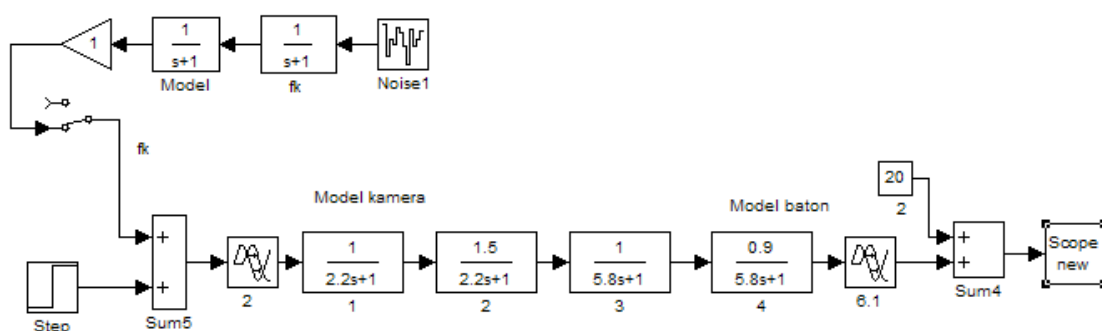


Рис. 4.5 – Схема моделювання повної моделі ОК

4.2.2 Проведення з моделлю об'єкта машинних експериментів, аналогічних тим натурним, при яких здійснювався збір інформації про властивості об'єкту, порівняння результатів цих експериментів, прийняття висновку про відповідність моделі експериментальним даним.

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту при одночасній зміні керуючої дії U детермінованого характеру наведені на рис. 4.6.

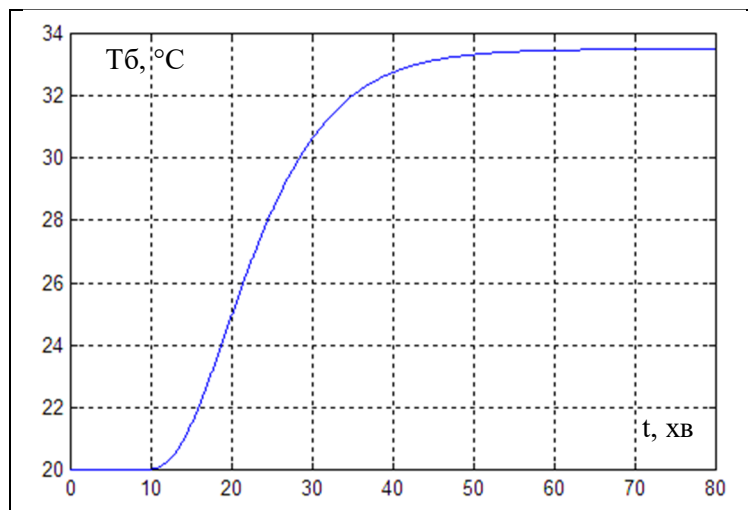


Рис. 4.6 – Результати експерименту при зміні керуючої дії U детермінованого характеру 10%х.р.о.

Якщо до керуючої дії додаються ще й збурення $f_k(t)$, то загальний результат приведений на рис. 4.7.

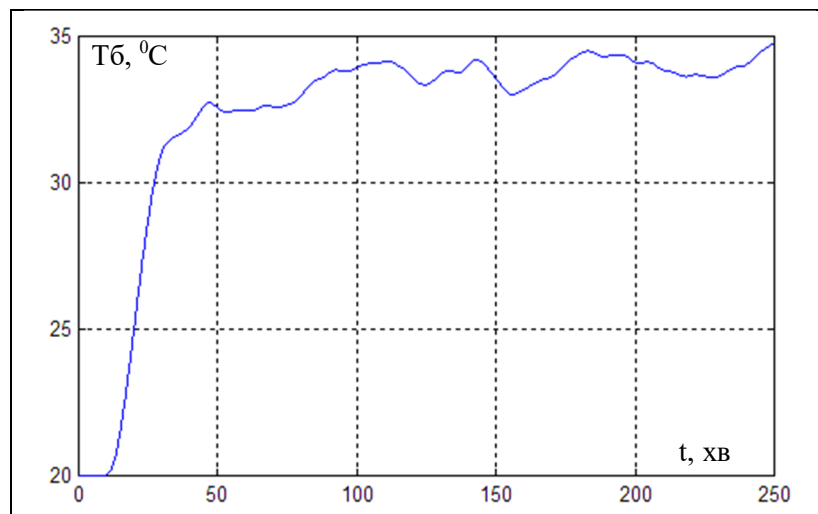


Рис.4.7 – Результати експерименту в умовах дії керуючого впливу та стохастичних збурень

Висновки за 1-ю частиною роботи:

У ході виконання частини 1 було встановлено, що якісна реалізація технологічного процесу варки ковбаси залежить від точності підтримки режимного параметру: температури в термокамері та швидкості її зміни у часі.

Термокамера як об'єкт керування має статичні властивості. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку. Статистичними методами була отримана модель стохастичної складової контрольованих збурень.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB і підтвердило їх адекватність експериментальним даним.

Надалі отримані в 1-й частині моделі будуть використовуватися для синтезу і аналізу САК технологічним процесом варіння ковбаси.

РОЗДІЛ 5. «ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ, ВИМОГ ДО ЇХ РОЗВ'ЯЗКУ І ВИБІР ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ»

5.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом

5.1.1 Декомпозиція загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання приватних завдань.

Загальним завданням керування є керування матеріальними і енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити приватні задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкта керування (температури в батоні T_6) на їх заданому значенні ($T_6^{здн}$) - задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завдання - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечення включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

5.1.2 Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з приватних задач керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із задач керування.

Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу варки ковбаси необхідно регулювати температуру T_6 в батоні відносно заданого значення, яке змінюється по програмі у часі.

Для задачі адаптації необхідна автоматизація пристосування системи керування до змінних властивостей об'єкта керування. Це завдання можна вирішити, змінюючи настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації необхідно автоматизувати пошук оптимального проходження процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити

продуктивність обладнання. Для процесу варіння ковбаси цю задачу можна вирішити, змінюючи завдання системі регулювання температури в термокамері.

5.2 Формалізація вимог до вирішення задач регулювання і вибір принципу побудови системи автоматичного регулювання

5.2.1 Формалізація вимог до гранично-допустимим статичним і динамічним відхиленням регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних.

Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу варки ковбаси температура в термокамері T_k повинна змінюватися по програмі у часі від температури в цеху (наприклад, 20°C) і до такої температури, яка забезпечить досягнення температури в центрі контрольного батона ковбаси $T_6=72^{\circ}\text{C}$. При цьому різниця температури в камері і в центрі батона ковбаси $\Delta T=T_k-T_6$ на протязі варки не повинна перевищити позначку в 25°C . Остання вимога забезпечується підбором швидкості зростання температури в камері, яка складає в середньому $0,9 \dots 1,3^{\circ}\text{C/хв}$ в залежності від діаметру батона.

Точність підтримання температури в центрі батона $T_6 \pm 1^{\circ}\text{C}$. За цим параметром допустимі короткочасні відхилення до $\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 60 хв. Регламентна зона за цим параметром приведена на рис. 5.1.

Таблиця 5.1 Таблиця регламентів

Назва параметрів	Ум. позн.	Од. вимір.	Номін. значення параметра	Можливі відхилення від номіналу		
				Довгостр. Значення	Тимчасові	
					Значення	Час
Температура в батоні	T_6	$^{\circ}\text{C}$	по програмі	± 1	± 2	60хв
Різниця температур в термокамері і в центрі батона	ΔT	$^{\circ}\text{C}$	< 25	± 1	± 2	60хв

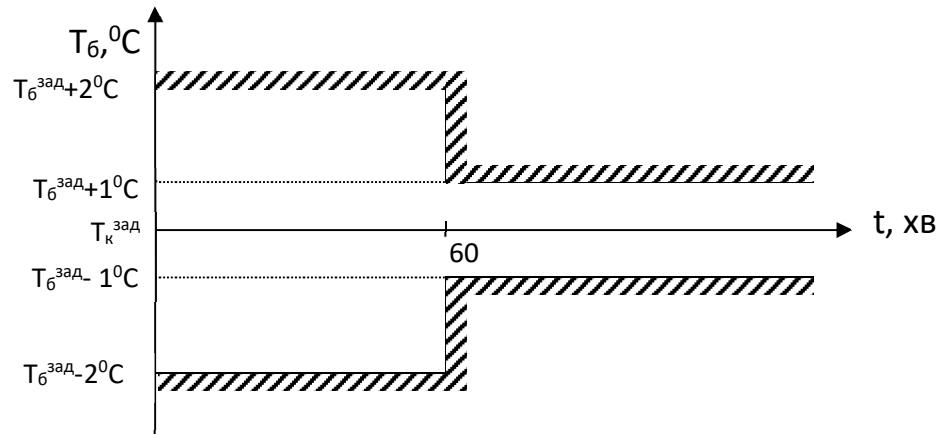


Рис. 5.1 – Регламентна зона для температури в бетоні

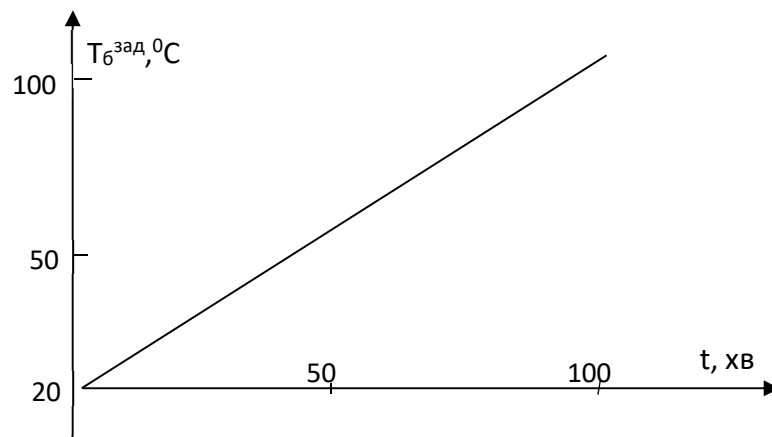


Рис. 5.2 – Приклад зміни у часі заданої температури в бетоні

5.2.2 Формалізація інтегральних вимог до перехідних і динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегрального критерію оптимальності САР.

В якості інтегрального критерію застосуємо інтегральний квадратичний критерій, який забезпечує більші штрафи для відхилень регульованої змінної від заданого значення:

$$I = \int_0^T \left(\frac{\Delta T_b(t)}{\Delta T_b \max} \right)^2 dt$$

де T – час моделювання;

$\Delta T_b(t)$ – відхилення температури в бетоні від заданого значення.

5.2.3 Вибір, обґрунтування і представлення у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.

Основу керування становить інформація про цілі керування або про бажаний стан ОК $y^{жс}$, про поточний стан ОК y і про збурення f . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування за збуренням; принцип замкнутого керування за станом ОК або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для САР процесу варки ковбаси, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури. Структурна схема цього принципу керування приведена на рис. 5.3.

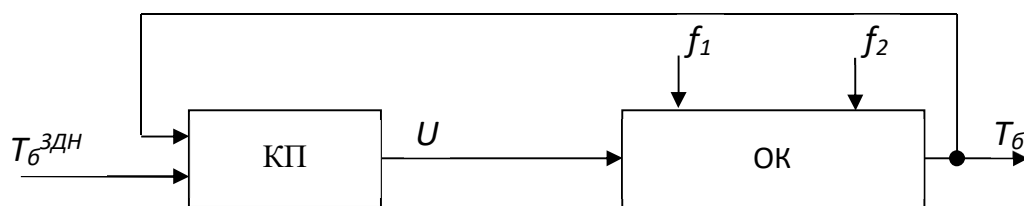


Рис. 5.3 – Структурна схема САР з замкнутим принципом керування

РОЗДІЛ 6. СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ БАЗОВОЇ СТРУКТУРИ

6.1 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання

6.1.1 Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її найпростішої конкретної структури.

Схема САР варки ковбаси в термокамері базової структури приведена на рис. 6.1. На рис. $W_{\text{пер}}(p)$ – передатна функція регулятора температури T_{δ} в батоні; $T_{\delta}^{\text{зад}}$ – задане значення температури в батоні, яке визначається задатчиком; ΔT_{δ} – помилка регулювання; T_{δ} – температура в центрі контрольного батона ковбаси; $\Delta T = T_{\text{к}} - T_{\delta}$ – різниця температур; f_{n1}, f_{n2} – неконтрольовані збурення.

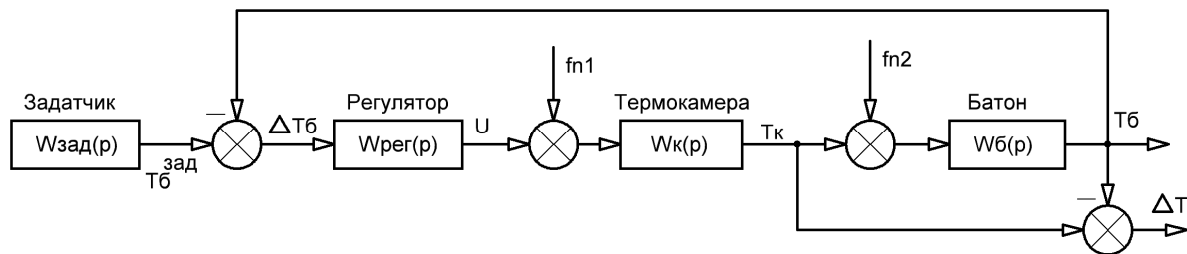


Рис. 6.1 – Схема САР процесу варки ковбаси базової структури

6.1.2 Вибір кількох альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій.

В інженерній практиці при управлінні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо ОК по каналах керування має статичні властивості, то П- і ПД-алгоритми регулювання в складі САР дають помилку статизму. При цьому найчастіше статична точність таких САР неприйнятна. І-складова усуває помилку статизму, але істотно знижує швидкість регулювання. Якщо ОК володіє астатичними властивостями, то в САР з П- і ПД-алгоритмами регулювання помилка статизму усувається астатичною складовою самого ОК. Тому такі регулятори доцільно використовувати в об'єктах, канали яких мають астатичні властивості.

Якщо канали ОК є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складової, тобто ПІ і ПІД.

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

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

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

6.1.3 Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих і стохастичних вхідних впливах.

В результаті виконання 1-ї частини курсової роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних впливів процесу варки ковбаси. Результати ідентифікації зведені в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 -Результати ідентифікації каналів перетворення координатних впливів ОК

Канал ОК	Передатна функція 1-го порядку	Передатна функція 2-го порядку
U-Т _к	$W_{U-Тк}^o(p) = \frac{1,5 * e^{-3,4*p}}{3,1 * p + 1}$	$W_{U-Тк}^o(p) = \frac{1,5 * e^{-2*p}}{(2,2 * p + 1)^2}$
U- Т _б	$W_{U-Тб}^o(p) = \frac{0,9 * e^{-17*p}}{8,4 * p + 1}$	$W_{U-Тб}^o(p) = \frac{1,35 * e^{-11,7*p}}{(6,4 * p + 1)^2}$
камера - батон	$W_{Тк-Тб}^o(p) = \frac{0,9 * e^{-9,1*p}}{9,1 * p + 1}$	$W_{б}^o(p) = \frac{0,9 * e^{-5,3*p}}{(5,8 * p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором приведена на рис. 6.2, а з ПД-регулятором - на рис. 6.3. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 6.5.

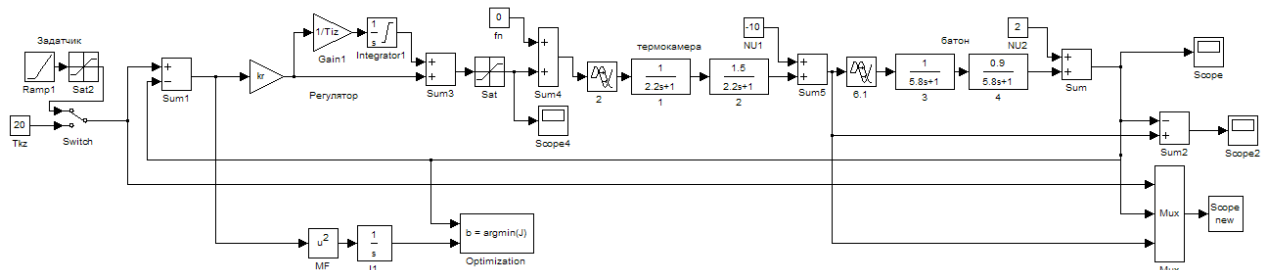


Рис. 6.2 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

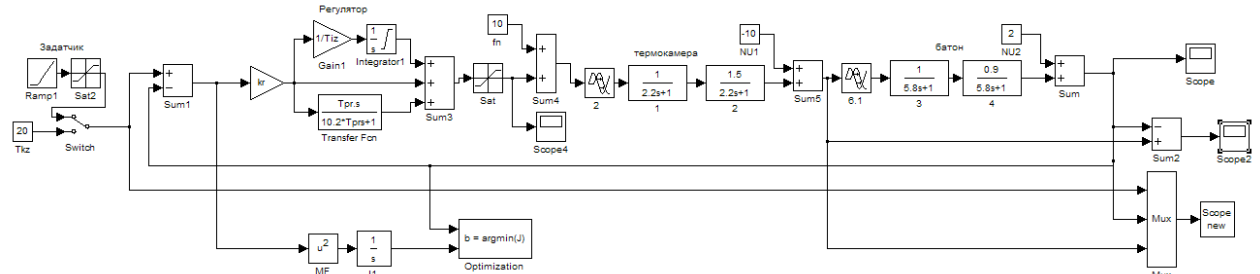


Рис. 6.3 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором

6.2 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання та їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних впливів

6.2.1 Вибір початкових наближень параметрів налаштування алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

Скористаємося методикою Копеловіча А.П. по розрахунку параметрів налаштування регуляторів. Вибираємо коливальний перехідний процес в САР з $R_{II} = 40\%$.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу «U – T₆»:

$$kr = \frac{1,1 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{1,1 \cdot 8,4}{0,9 \cdot 17} = 0,6 \frac{\% \text{хрo}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$Tiz = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 17 = 34 \text{ хв}$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора для каналу «U – T_б»:

$$kr = \frac{1,2 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{1,2 \cdot 8,4}{0,9 \cdot 17} = 0,66 \frac{\% \text{хрo}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{iz} = 1,4 \cdot \tau_o = 1,4 \cdot 17 = 23,8 \text{ хв}$$

$$T_{pr} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 17 = 7,5 \text{ хв}$$

6.2.2 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу варіння ковбаси з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 6.2. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 6.4.

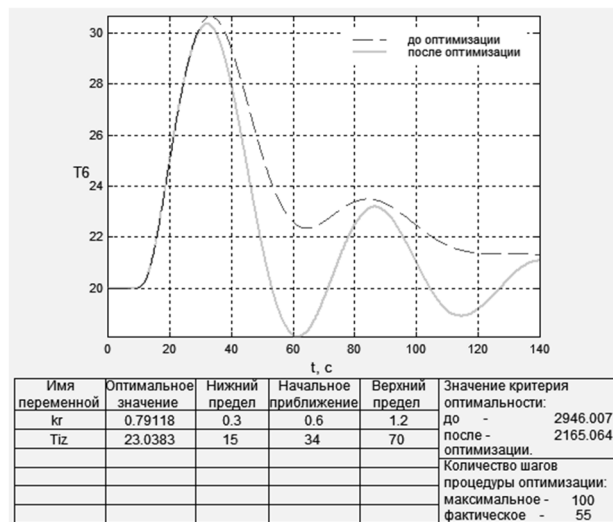


Рис. 6.4 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Найбільш швидко процес варіння ковбаси можна здійснити, якщо стрибкоподібно змінити задане значення регулятора $T_k^{\text{зад}} = 0 \rightarrow 100^{\circ}\text{C}$.

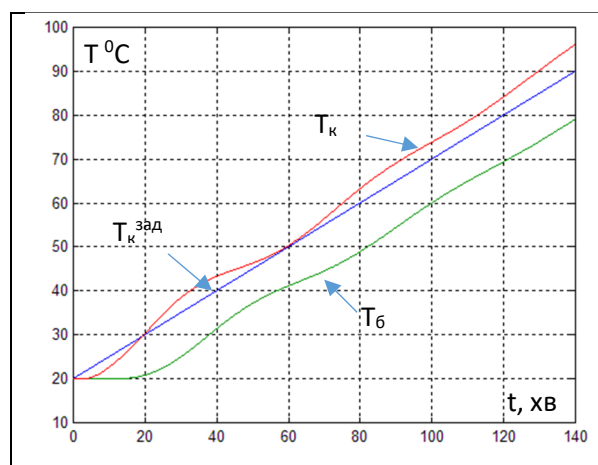


Рис. 6.5 Зміни температур T_k, T_b

при лінійній зміні $T_k^{\text{зад}}$ в САР з ПІ-регулятором

Але при цьому різниця температур $\Delta T = T_k - T_b$ перевищить позначку в $25\text{ }^\circ\text{C}$, що приведе до браку продукції. Щоб цього не сталося, задане значення $T_k^{\text{зад}}$ регулятора температури T_k в термокемері слід змінювати по лінійному закону (рис. 6.5). В такому випадку різниця температур ΔT не виходить за межу в $25\text{ }^\circ\text{C}$. Процес варіння ковбаси припиняють, коли температура T_b досягне значення $72\text{ }^\circ\text{C}$.

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу варіння ковбаси з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 6.3. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 6.6.

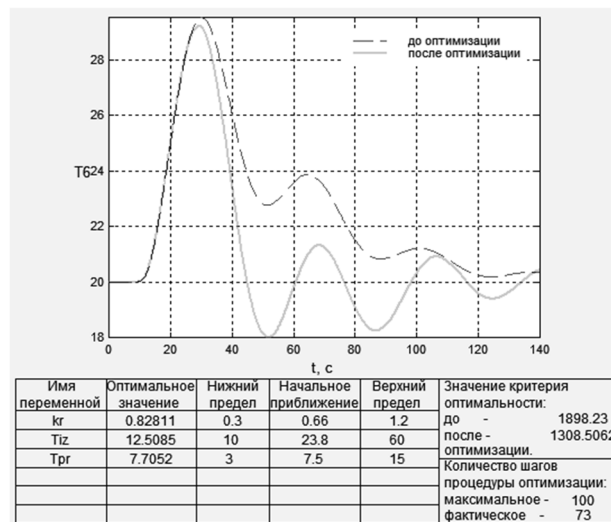


Рис. 6.6 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

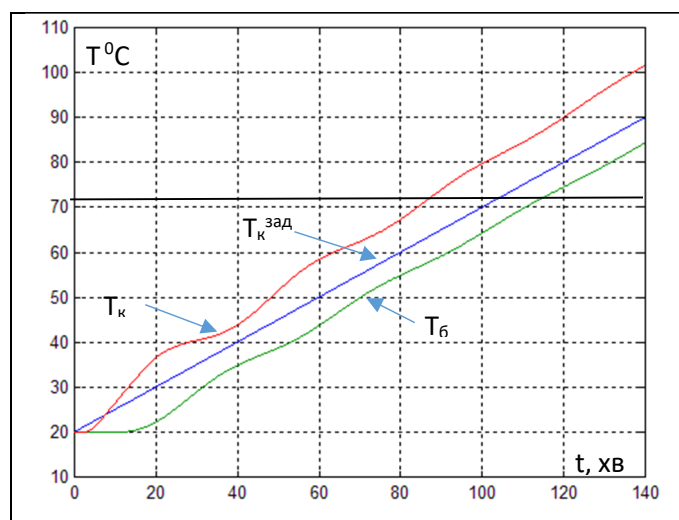


Рис. 6.7 Зміни температур T_k, T_b при лінійній зміні $T_k^{\text{зад}}$ в САР з ПІД-регулятором

6.2.3 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- і ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 6.8.

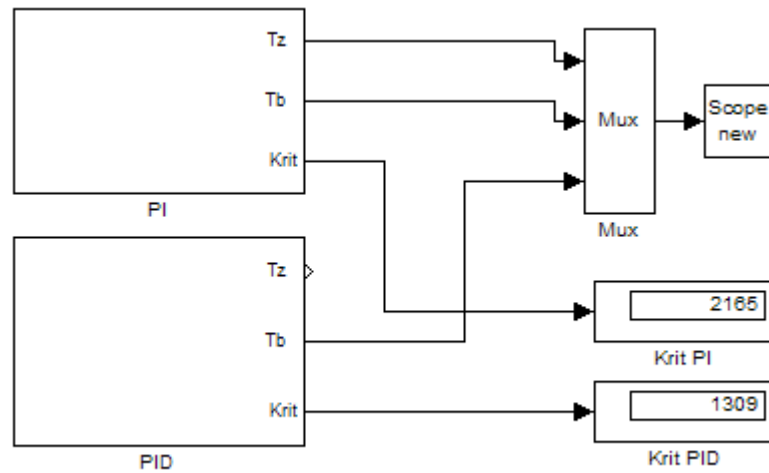


Рис. 6.8 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 6.9 і в таблиці 6.2.

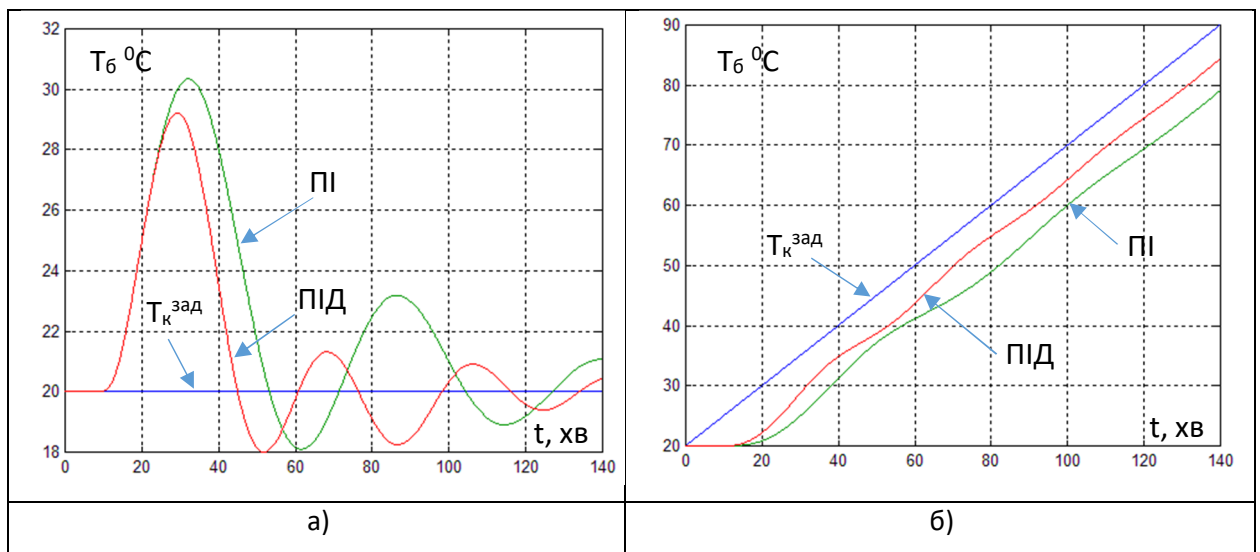


Рис. 6.9 – Результати порівняння варіантів САР за каналом «U- T₆»:

а) – при неконтрольованому збуренні; б) – при зміні завдання

Із рис. 6.9а видно, що в умовах зміни заданого значення $T_k^{\text{зад}}(t)$ перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором виходять за рамки регламентних зон.

САР з ПІД-регулятором похибка відтворення менша, ніж САР з ПІ-регулятором (рис. 6.9б).

Таблиця 6.2 - Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		
	$\Delta T_6^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}$, хв	Критерій
ПІ	10,5	92	2165
ПІД	9	43	1309

6.3 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

6.3.1 Вибір параметрів ОК, по яким доцільно оцінити грубість САР до варіацій їх значень і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

В процесі роботи за рахунок деградації параметрів термокамери може змінюватися час запізнювання в каналах ОК до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- і ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 6.2, 6.3.

6.3.2 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 6.10, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 6.11. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубими, оскільки в умовах варіації параметрів ОК до $\pm 20\%$ перехідні процеси в САР сходяться до заданих значень.

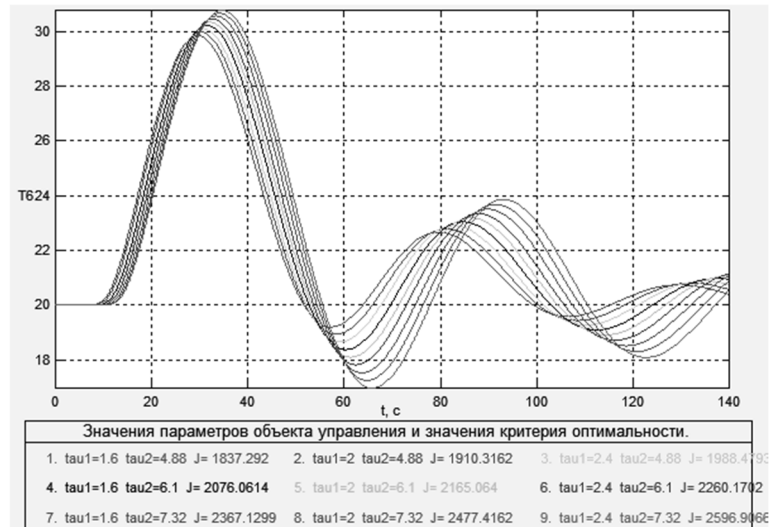


Рис. 6.10 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором

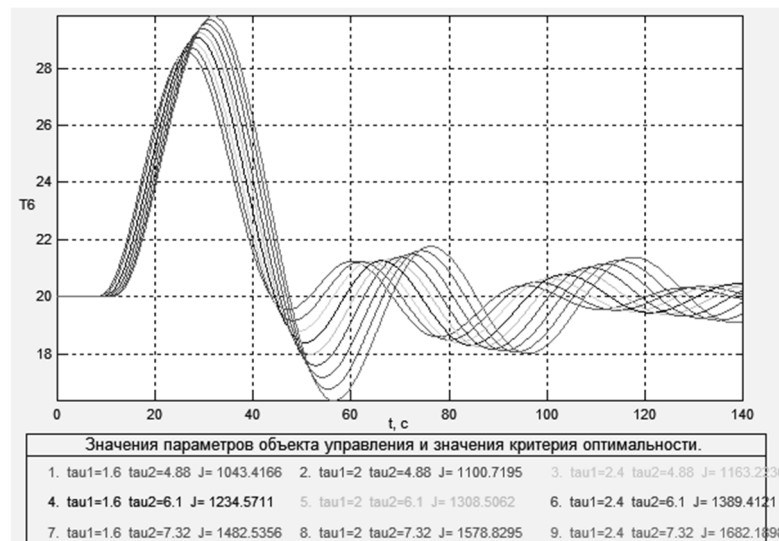


Рис. 6.11 - Аналіз на грубість САР з ПД-регулятором

6.3.3 Вибір з розглянутих поєднань параметрів ОК найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найгіршим" для керування є більший на 20% час запізнювання ОК, а "найкращим" - найменший.

6.4. Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах

6.4.1. Для оцінки якості функціонування САР в сталому режимі необхідно в моделі ОК підключити контрольовані $f_k(t)$ збурення випадкового характеру (див. рис. 6.13).

Проведемо моделювання САР по каналу «U- T₆» для сприятливих,

номінальних і несприятливих параметрах ОК. Схема моделювання САР з ПІД-регулятором приведена на рис. 6.12, а результати моделювання - на рис. 6.14.

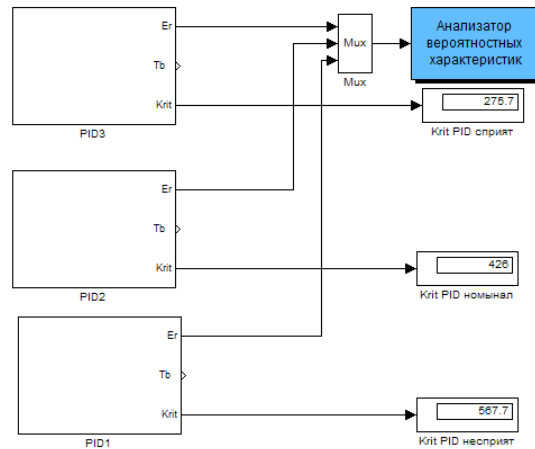


Рис. 6.12 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості в сталих режимах

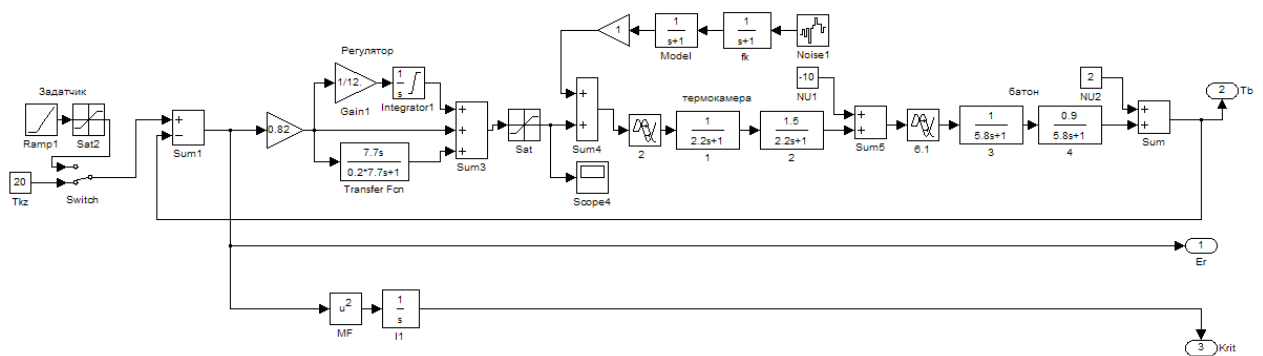


Рис. 6.13 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором при дії контрольованих збурень $f_k(t)$

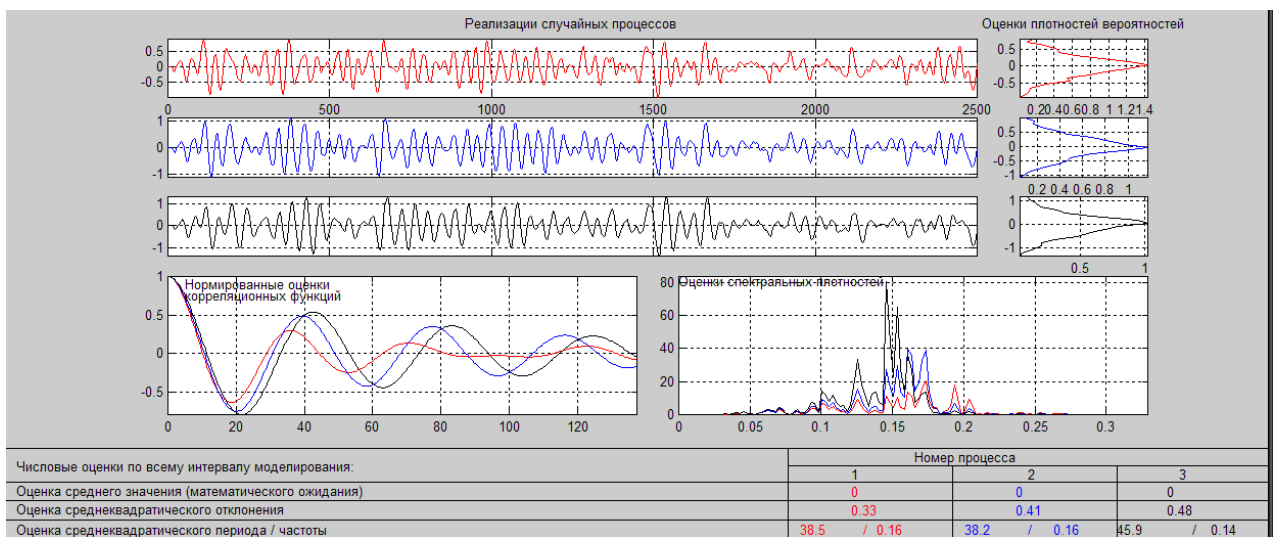


Рис. 6.14 - Результаты моделювання САР з ПІД-регулятором по каналу «U-T₀» в сталих режимах

6.4.2 Порівняльний аналіз сталих процесів для поєднань параметрів ОК, відповідних сприятливим, номінальним і несприятливим властивостями ОК за інтегральним показником і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Порівняння результатів моделювання проведемо по математичному очікуванню, середньоквадратичному відхиленню, середньоквадратичному періоду і інтегральному критерію.

Таблиця 6.3 - Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах по каналу «U-T₆»

Показник якості	Значення параметрів ОК		
	кращі	номінальні	гірші
Математичне очікування	0	0	0
середньоквадратичне відхилення	0,33	0,41	0,48
середньоквадратичний період	38,5	38,2	45,9
інтегральний критерій	276	426	568

При несприятливих параметрах ОК (час запізнення більший на 20% від номінального) оцінка середньоквадратичного відхилення зростає у порівнянні з сприятливими та номінальними параметрами.

6.5 Висновки по розділу

В даному розділі курсової роботи була побудована САР найпростішої структури за принципом замкнутого керування. В процесі розробки САР в якості альтернативних регуляторів використовувались ПІ і ПІД-регуляторами, так як вони дають найкращі прямі і інтегральні показники якості і в достатній мірі забезпечують працездатність системи.

Для забезпечення регламенту – різниці температури в камері і в центрі контрольного батона на рівні 25⁰С задане значення температури в камері слід змінювати по лінійному закону.

При порівнянні прямих, інтегральних та статистичних показників якості

можемо зробити висновок, що САР з ПД-регулятором дає їх кращі значення.

При перевірці САР на грубість було виявилось, що САР з П- і ПД-регулятором грубі до варіації параметрів ОК. При збільшенні запізнення в ОК показники якості функціонування САР погіршуються.

В САР з П- і ПД-регулятором є похибка відтворення зміни заданного значення.

РОЗДІЛ 7. СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

7.1 Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності

7.1.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання, що знижують динамічну точність і вибір способів її підвищення за рахунок введення в структуру САР додаткових зв'язків, що забезпечують, наприклад, її інваріантність, автономність, компенсацію запізнювання і т. д.

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення τ_0 / T_0 , взаємний вплив каналів в багатомірній САР).

В нашому випадку причиною недостатньої динамічної точності є дія неконтрольованих збурень і оскільки в ОК є можливість виділити проміжну точку виміру температури в термокамері, то для підвищення динамічної точності доцільно побудувати САР каскадної структури.

7.1.2 Розробка на основі обраних способів підвищення динамічної точності САР її структурної схеми і формулювання (в аналітичній формі) умов, що забезпечують необхідні властивості САР.

Розглянемо структурну схему каскадної САР (рис. 7.1), яка містить проміжний регулятор температури в термокамері T_k та головний регулятор температури в батоні T_b , що задає задане значення $T_k^{\text{зад}}$ для допоміжного регулятора.

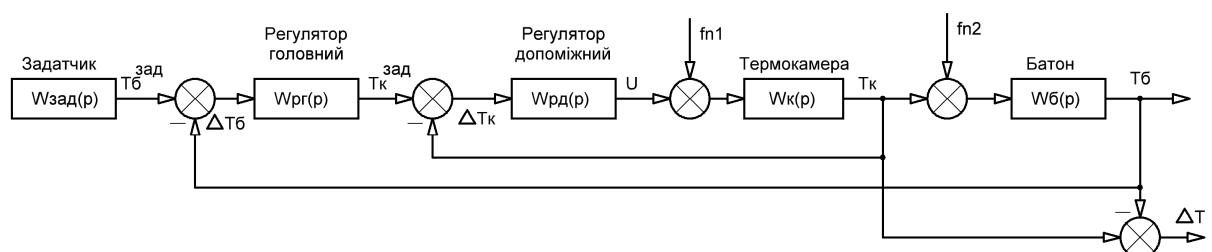


Рис. 7.1 – Структурна схема каскадної САР

7.1.3 Розрахунок початкових наближень параметрів регуляторів каскадної САР.

У якості допоміжного регулятора оберемо ПІ-регулятор. Скористаємося методикою Копеловіча А.П. по розрахунку параметрів налаштування цього регулятора. Вибираємо коливальний перехідний процес в САР з $R_{\pi} = 40\%$. Передатна функція ОК по каналу U-Т_к:

$$W_{U-T_k}^o(p) = \frac{1,5 * e^{-3,4*p}}{3,1 * p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу U – Т_к:

$$kr = \frac{1,1 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{1,1 \cdot 3,1}{1,5 \cdot 3,4} = 0,67 \frac{\% \text{хро}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{iz} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ хв}$$

Передатна функція ОК по каналу Т_к - Т_б:

$$W_{T_k-T_b}^o(p) = \frac{0,9 * e^{-9,1*p}}{9,1 * p + 1}$$

Визначимо наближені параметри еквівалентного ОК для головного регулятора. Оскільки допоміжний регулятор є пропорційно-інтегральним, то внутрішній контур САР за каналом завдання буде астатичним. А значить його коефіцієнт передачі дорівнює 1, тобто

$$k_{oe} \approx 1 * k_b = 1 * 0,9 = 0,9$$

Час запізнення еквівалентного ОК:

$$\tau_{oe} \approx \tau_{ok} + \tau_b = 3,4 + 9,1 = 12,5 \text{ хв}$$

Постійна часу еквівалентного ОК:

$$T_{oe} \approx 0,5 * T_{ok} + T_b = 0,5 * 3,1 + 9,1 = 10,7 \text{ хв}$$

В якості головного регулятора обираємо ПІД-регулятор. Розрахунок параметрів ПІД-регулятора для каналу «Т_к – Т_б»:

$$kr = \frac{1,2 \cdot T_{oe}}{k_{oe} \cdot \tau_{oe}} = \frac{1,2 \cdot 10,7}{0,9 \cdot 12,5} = 1,14$$

$$T_{iz} = 1,4 \cdot \tau_{oe} = 1,4 \cdot 12,5 = 17,5 \text{ хв}$$

$$T_{pr} = 0,5 \cdot \tau_{oe} = 0,5 \cdot 12,5 = 6,3 \text{ хв}$$

7.2. Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного

моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.

Оптимальний параметричний синтез САР каскадної структури доцільно проводити у два етапи. На першому етапі доцільно окремо прооптимізувати параметри допоміжного регулятора. Схема моделювання, що відповідає цьому етапу оптимального параметричного синтезу каскадної САР, наведена на рис. 7.2, а результати оптимізації – на рис. 7.3. На другому етапі доцільно прооптимізувати параметри головного регулятора. Схема моделювання, що відповідає цьому етапу оптимального параметричного синтезу каскадної САР, наведена на рис. 7.4, а відповідні результати оптимізації – на рис. 7.5.

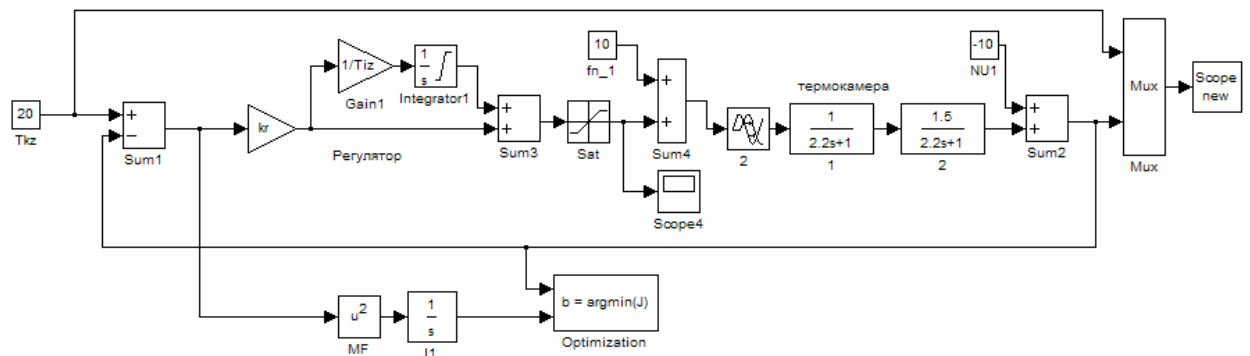


Рис. 7.2. – Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу допоміжного регулятора САР ПДТ

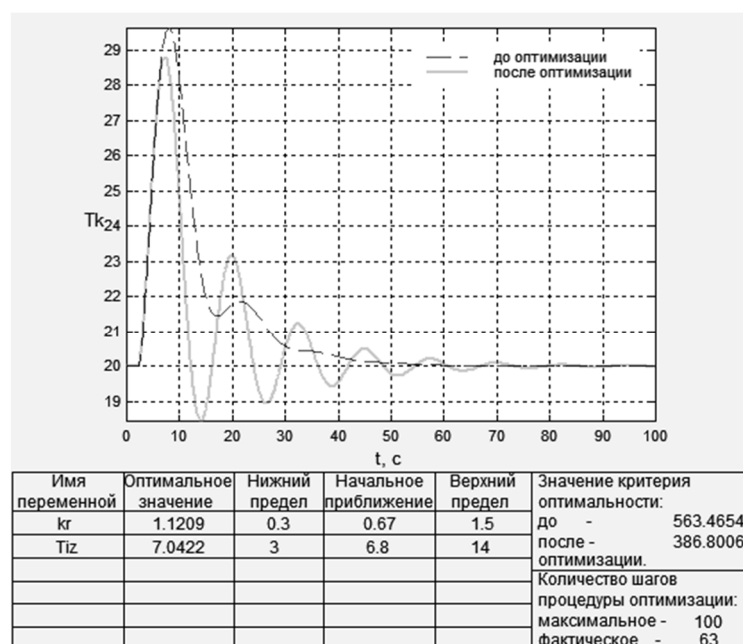


Рис. 7.3. - Результати оптимізації параметрів допоміжного регулятора
САР ПДТ

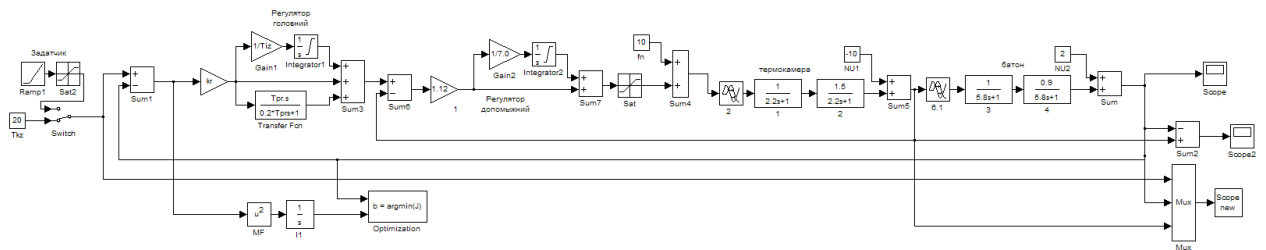


Рис. 7.4. – Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу
головного регулятора САР ПДТ

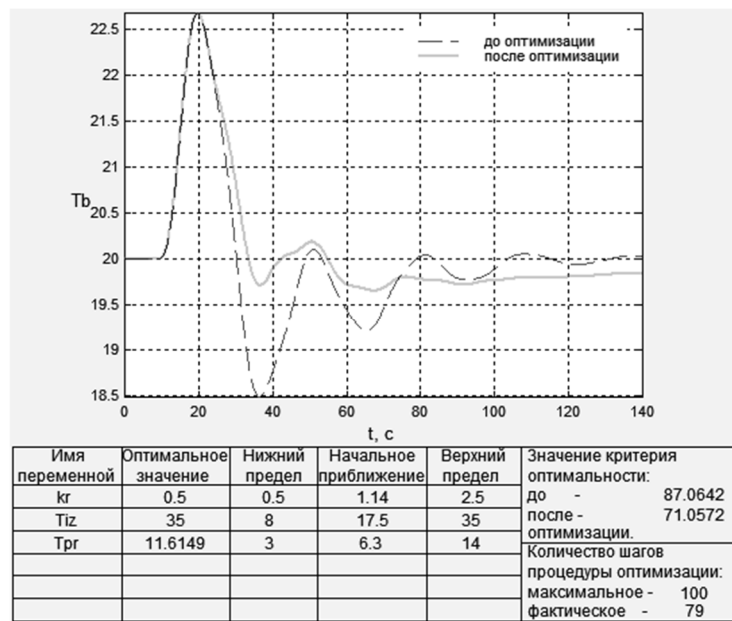


Рис. 7.5. - Результати оптимізації параметрів головного регулятора
САР ПДТ

7.3. Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання

7.3.1 Вибір параметрів ОК, по який доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

Як і у випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часу запізнювання каналах ОК $\pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на grubість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 7.6, 7.7.

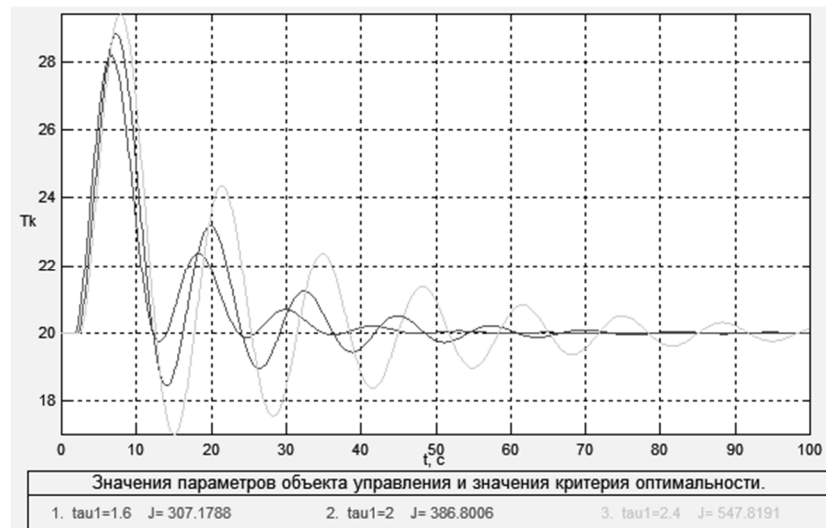


Рис. 7.6 – Аналіз САР ПДТ з допоміжним регулятором на grubість в умовах варіації параметрів ОК

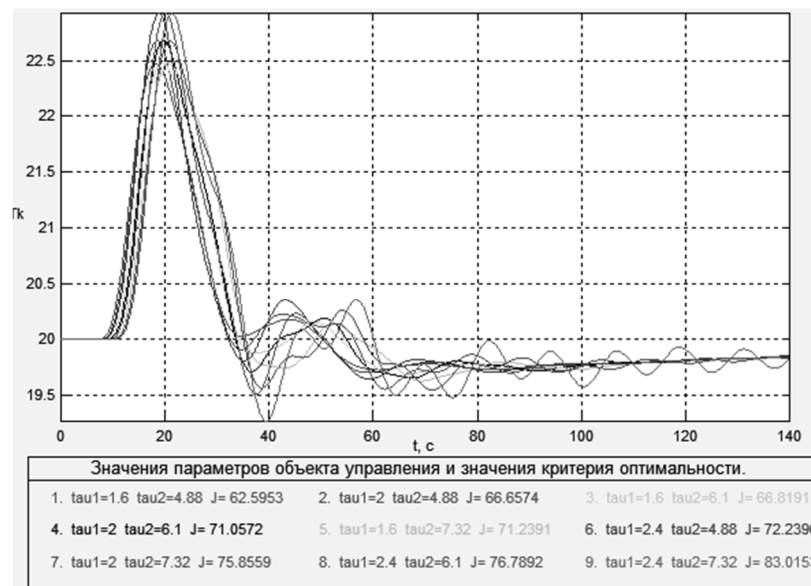


Рис. 7.7 – Аналіз САР ПДТ з головним регулятором на grubість в умовах варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки на grubість, в умовах варіації параметрів ОК САР ПДТ дає східні перехідні процеси, а значить, САР є грубою.

7.4. Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах

7.4.1. Вплив контрольованих збурень на показники якості функціонування

САР в сталих режимах

Проведемо моделювання САР ПДТ та САР базової структури з ПДД - регулятором в сталих режимах при дії контрольованих збурень $f_k(t)$.

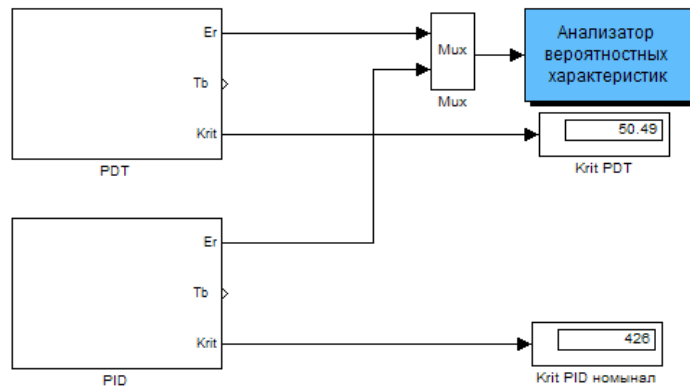


Рис. 7.8. - Схема моделювання САР ПДТ та САР базової структури з ПДД-регулятором в сталих режимах при дії контрольованих збурень $f_k(t)$

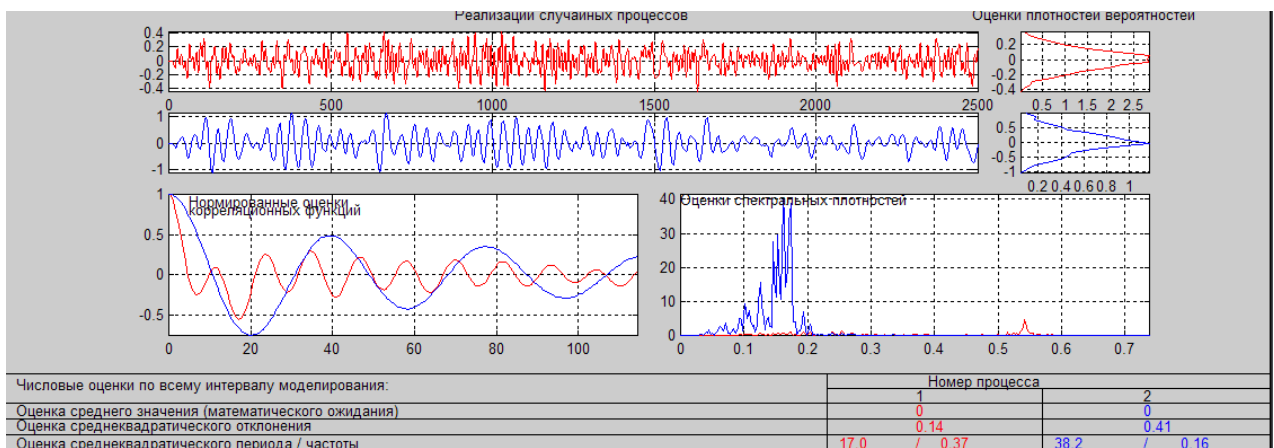


Рис. 7.9. - Результаты моделювання САР ПДТ та САР базової структури з ПДД-регулятором в сталих режимах при дії контрольованих збурень $f_k(t)$

7.5 Порівняльний аналіз САР базової структури і підвищеної динамічної точності

7.5.1 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрически оптимальних САР по величинам критеріїв і показників, на які встановлено гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведена на рис. 7.10.

Результати моделювання наведені на рис. 7.11 та в таблиці 7.1.

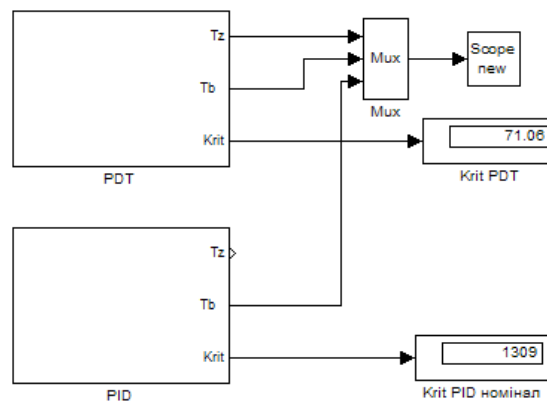


Рис. 7.10 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

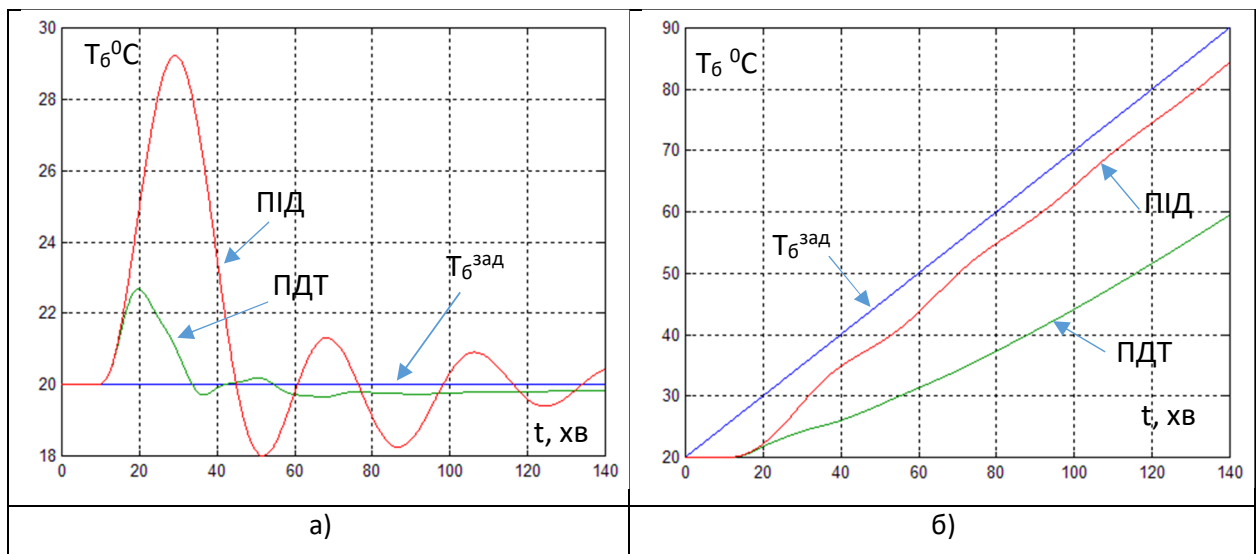


Рис. 7.11 – Перехідні процеси в САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності за каналом «U- T_6 »:

а) – при неконтрольованому збуренні; б) – при зміні завдання

Таблиця 7.1 - Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Структура САР	Показники		
	$\Delta T_6^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}$, хв	Критерій
Базова	9	43	1309
Підвищеної динамічної точності	2,5	25	71

7.5.2 Порівняльний аналіз сталих процесів в параметрично оптимальних САР в сталих режимах

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності в сталих режимах поєднаємо в одній таблиці дані з рис. 7.14 і 7.6

Таблиця 7.2 - Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в сталих режимах

Показник якості	Структура САР	
	Базова	Підвищеної динамічної точності
математичне очікування	0	0
середньоквадратичне відхилення	0,41	0,14
середньоквадратичний період	38	17
інтегральний критерій	426	50

7.5.3 Порівняльний аналіз грубості параметрично оптимальних САР

Як показують результати досліджень, САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності грубі до змін параметрів ОК.

Висновки по розділу:

За рахунок кращої компенсації впливу контрольованого збурення САР ПДТ має більшу динамічну точність, ніж САР базової структури як у перехідних, так і у сталих режимах роботи. Але при зміні заданого значення САР базової структури має меншу помилку відтворення, ніж САР ПДТ.

Загальні висновки:

У ході виконання кваліфікаційної роботи було встановлено, що якісна реалізація технологічного процесу варіння ковбаси залежить від точності підтримки температури в контрольному батоні ковбаси та різниці температур в камері і контрольному батоні.

Термокамера як об'єкт керування має статичні властивості по каналам керування. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку. Статистичними методами була отримана модель стохастичної складової контрольованих збурень.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB.

Була побудована САР базової структури за принципом замкнутого керування. В процесі розробки САР в якості альтернативних регуляторів використовувались ПІ і ПІД-регулятори.

При порівнянні прямих, інтегральних та статистичних показників якості можемо зробити висновок, що САР з ПІД-регулятором дає їх кращі значення, але обидва алгоритми допускають похибку відтворення заданого значення.

При перевірці САР на грубість виявилось, що САР з ПІ- і ПІД-регулятором грубі до варіації параметрів ОК.

За рахунок побудови САР ПДТ каскадної структури, вдалося підвищити динамічну точність системи як у перехідних, так і у сталих режимах роботи. САР ПДТ є грубою до варіації параметрів ОК. Але при зміні заданого значення САР базової структури має меншу помилку відтворення, ніж САР ПДТ.

Список літератури

1. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – С.Пб: Гиорд, 2010. – 736 с.
2. Хорст Брауэр Технологія виготовлення варених ковбас. К. Техніка. 2002. 104 с.
3. Теорія автоматичного управління : конспект лекцій : у 2 ч. Ч. 1 «Аналіз лінійних систем автоматичного управління» / укладач Г. М. Худолей. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 179 с..
4. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
- 5 Баранов Г.Л., Макаров А.В. Структурне моделювання складних динамічних систем. - К.: Наук. думка, 1986. - 272 с.
6. Ладанюк, А. П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навч. посіб. / А. П. Ладанюк, К. С. Архангельська , Л. О. Власенко — К.: НУХТ, 2014. — 274 с.
7. Коваль А.В. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів: навч. посібник / А.В. Коваль. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 133 с.
8. Дубовой, В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
9. Конспект лекцій з курсу дисципліни "Теорія автоматичного керування" (частина I) - Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса - 2012 р.
10. Конспект лекцій з курсу дисципліни "Теорія автоматичного керування" (частина II) - Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса - 2012 р.