

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **«Розроблення та дослідження ресурсозберігаючої системи керування процесом сушки молока»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кірілов Є. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С. Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій
_____ О.В. Шефер
“ ___ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кірілову Євгенію Вікторовичу

1. Тема проекту (роботи) «Розроблення та дослідження ресурсозберігаючої системи керування процесом сушки молока»
керівник проекту (роботи) Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент,
затверджена наказом вищого навчального закладу від 09.08.2024 року № 818-ф.а
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи). Вихідними даними є матеріали зібрані під час проходження переддипломної практики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз існуючих систем керування процесом сушки молока та огляд програмно-технічних комплексів. Аналіз сушильної установки як об'єкта керування. Розробка математичної моделі об'єкта керування. Синтез пристроїв для корекції сигналу завдання. Компенсація впливу запізнювання в системі керування. Імітаційне моделювання САК параметрів технологічних процесів. Структурний синтез автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування. Програмно-технічний комплекс реалізації автоматизованої системи. Застосування SCADA - системи Trace Mode для керування процесом сушки молока. Вибір програмованого логічного контролера для керування процесом сушки молока. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
Актуальність теми, мета роботи, об'єкт та предмет дослідження. Функціональна схема технологічного процесу сушки молока. Графіки температур повітря на виході з калорифера. Параметрична схема сушильної установки. Структурна схема сушильної установки, як об'єкта керування. Перехідна функція сушильної установки за різними каналами. Імітаційна модель замкненої САК сушильної установки за різними каналами. АЧХ з ПІД-регулятором. Графіки перехідних процесів у системі з ПІД-регулятором. Функціональна схема САК вологості молока з коригувальним пристроєм і компенсатором запізнення. Графіки перехідних процесів та годограф Найквіста. Функціональна схема системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока.

7. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Вступ. Аналіз існуючих систем керування процесом сушки молока.	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Аналітичний огляд програмно-технічних комплексів для реалізації систем керування тех. процесом. Аналіз сушильної установки як об'єкта керування.	16.10.24	I	25%	Пл. 2, 3
3	Розробка математичної моделі об'єкта керування. Імітаційні моделі САК вологістю сухого молока по каналах керування. Перевірка адекватності моделі.	05.11.24		40%	Пл.4, 5
4	Синтез пристроїв для корекції сигналу завдання. Метод компенсації негативного впливу транспортного запізнювання.	12.11.24		50%	Пл.6
5	Імітаційне моделювання САК технологічних параметрів. Структурний синтез автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока.	19.11.24	II	60%	Пл.7
6	Програмно-технічний комплекс для реалізації автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока.	26.11.24		70 %	Пл. 8
7	Застосування SCADA - системи Trase Mode для керування процесом сушки молока. Вибір програмованого логічного контролера для керування процесом сушки молока.	11.12.24		90 %	Пл. 9
8	Висновки. Оформлення кваліфікаційної роботи.	19.12.24	III	100%	Пл. 10

Магістрант _____ Кірілов Є. В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Галай В. М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ СУШКИ МОЛОКА І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	9
1.1 Аналіз існуючих систем керування процесом сушки молока і молочних продуктів	9
1.2 Аналітичний огляд програмно-технічних комплексів для реалізації систем керування процесом сушки молока і молочних продуктів	14
1.3 Аналіз технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів	25
1.4 Аналіз сушильної установки як об'єкта керування	32
1.4.1 Метод стабілізації вологості сухого молока за непрямим параметром	32
1.4.2 Статистична обробка експериментальних даних вхідних і вихідних параметрів сушильної установки	36
1.4.3 Структурна схема сушильної установки	39
1.5 Висновки за розділом та постановка задач дослідження та розроблення	43
2. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СУШКИ МОЛОКА	44
2.1 Розробка математичної моделі об'єкта керування	44
2.2 Імітаційні моделі САК вологістю сухого молока по каналах керування	52
2.3 Перевірка адекватності моделі	58
2.4 Висновки за розділом	64
3. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШКИ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ SCADA-СИСТЕМИ TRACE MODE	65
3.1 Синтез пристроїв для корекції сигналу завдання	65
3.1.1 Метод корекції сигналу завдання	65

3.1.2 Імітаційне моделювання САК параметрів технологічних процесів сушки молока і молочних продуктів з корекції і без корекції сигналу завдання	69
3.2 Компенсація негативного впливу транспортного запізнювання в системі ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока	71
3.2.1 Метод компенсації негативного впливу транспортного запізнювання	71
3.2.2 Імітаційне моделювання САК параметрів технологічних процесів сушки молока і молочних продуктів з компенсацією і без компенсації негативного впливу транспортного запізнювання	81
3.3 Висновки за розділом	84
4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШКИ МОЛОКА НА БАЗІ ПРОГРАМНО - ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ	85
4.1 Структурний синтез автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока	85
4.1.1 Програмно-технічний комплекс для реалізації автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока	85
4.1.2 Застосування SCADA - системи Trace Mode для керування процесом сушки молока	87
4.1.3 Вибір програмованого логічного контролера для керування процесом сушки молока	90
4.2 Висновки за розділом	93
ВИСНОВКИ	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У результаті деструктивних процесів в економіці України, пов'язаних з прямою агресією Росії проти України, відбулося значне скорочення виробництва продуктів харчування вітчизняними галузями харчової промисловості. Внаслідок цього в країні на 30-40% зріс імпорт продуктів молочної промисловості.

Особливу значимість в умовах ринкових відносин набуває питання забезпечення населення високоякісними продуктами харчування вітчизняного виробництва, зокрема сухими молочними консервами.

Технічний прогрес в молочній промисловості характеризується зростаючою складністю та інтенсифікацією технологічних процесів комплексної переробки сировини тваринного походження, необхідністю системного аналізу всього різноманіття визначальних чинників і зв'язків між ними, цільової функції якості продукції і жорсткими обмеженнями на технологічні режими.

Основними напрямками збільшення обсягів виробництва молочних продуктів є підвищення ефективності використання сировинних ресурсів і впровадження безвідходних та маловідходних технологій переробки сировини тваринного походження в заданий асортимент продуктів харчування зі збалансованими показниками біологічної цінності та якості. У зв'язку з цим скорочення втрат на всіх стадіях виробництва і збільшення обсягів продукції, вироблюваної з одиниці сировини, є одними з головних завдань переробних галузей агропромислового комплексу та досягаються в першу чергу оптимізацією технологічних схем, структур і систем в цілому з раціональним використанням ресурсів сировини, виробничих потужностей і промислових технологій.

Складність вирішення зазначених завдань звичайними методами для підприємств молочної промисловості визначається великими обсягами переробки структурно-складного сировини тваринного походження (молока)

і широким асортиментом продукції, що випускається; початковій невизначеності зовнішнього середовища, обумовленої нерівномірністю надходження сировини, розкидом його властивостей і параметрів, коливаннями попиту на продукцію, а також високою біологічною цінністю сировини і продуктів та обмеженими термінами їх реалізації; необхідністю резервування окремих видів продукції в якості сировини для подальшої переробки.

Сучасна промислова переробка молока являє собою складний комплекс послідовно виконуваних взаємопов'язаних хімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних, біохімічних, біотехнологічних, теплофізичних та інших трудомістких і специфічних технологічних процесів. Ці процеси спрямовані на вироблення молочних продуктів, що містять всі біологічно активні компоненти молока. Виробництво молочних консервів пов'язане із збереженням всіх сухих речовин в молоці після видалення з нього вологи. Тому важливим є дотримання технологічного регламенту, тобто підтримка технологічних параметрів на певному рівні.

У зв'язку з цими обставинами раціональне і рентабельне використання сировини, вироблення високоякісних молочних продуктів можуть бути досягнуті за умови професійного розуміння основних принципів і закономірностей процесів, закладених в технології молока.

Сировина для виробництва сухого молока і молочних продуктів має якісні нестабільні і кількісні характеристики, що вимагає контролю, й керування параметрами технологічного процесу в режимі реального часу.

Дослідженню технологічних процесів харчових виробництв, зокрема процесів сушки молока і молочних продуктів, присвячені роботи вчених [1, 2, 3,4]. Однак проблема підвищення якості та рентабельності сухої молочної продукції, ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока залишається актуальною.

У ринкових відносинах одним із шляхів підвищення ефективності виробництва є випуск високоякісної продукції, зокрема, виробництво сухого

молока і молочних продуктів, що відповідає вимогам світових стандартів. Згідно ДСТУ 4273:2003 сухе молоко має задовольняти наступним фізико-хімічними показниками: масова частка води - не більше 4,0%, масова частка жиру - не менше 25,0%, кислотність - 21 °Т, індекс розчинності сирого осаду - не більше 0,3 см³, чистота - не нижче 2 групи.

Одним з важливих завдань при виробництві сухого молока є керування температурно-вологісним режимом в реальному режимі часу, що істотним чином впливає на продуктивність обладнання, собівартість та якість продукції. У зв'язку з цим, актуальним є контроль якості продукції у реальному режимі часу.

Мета та завдання дослідження. Метою магістерської роботи є підвищення якості керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів на основі розроблення автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування.

Для досягнення поставленої мети у магістерській роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Провести аналіз технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів, що проводиться у розпилювальній сушильній установці, і виявити фактори, які суттєво впливають на якість готової продукції.

2. Розробити математичну модель керування розпилювальною сушильною установкою з урахуванням статичних і динамічних характеристик об'єкта керування.

3. На основі математичної моделі керування розпилювальною сушильною установкою здійснити імітаційне моделювання системи автоматичного керування (САК) параметрами технологічного процесу за каналами керування.

4. Розробити методи, способи і алгоритми ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, що забезпечують високу продуктивність розпилювальної сушильної установки за рахунок

скорочення часу перехідних процесів, в умовах негативного впливу неконтрольованих збурюючих впливів.

5. Розробити автоматизовану систему ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів.

Об'єктом дослідження є процес керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів.

Предметом дослідження є автоматизована система керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз існуючих систем керування процесом сушки молока і молочних продуктів

У сучасних умовах господарювання, що характеризуються структурною перебудовою виробничих підприємств і компаній, зростанням масштабів і складності як самих процесів і технологій виробництва, так систем керування ними, істотно зростають вимоги до підвищення ефективності керування розвитком виробничих техніко-економічних систем різної галузевої спрямованості. Основою підвищення ефективності керування є розробка теоретичних основ, методологічної бази, математичних моделей і методів, що дозволяють формалізувати, алгоритмізувати й автоматизувати процес прийняття управлінських рішень [5]. Можливості формування дослідження різних варіантів розвитку великих виробничих техніко-економічних систем на стадії їх проектування з використанням методів математичного моделювання дозволяє істотно підвищити якість і обґрунтованість управлінських рішень, уникнути впровадження на практиці неефективних (а часто і просто збиткових) варіантів розвитку, отримати значний економічний ефект практично без додаткових вкладень [5].

Поява персональних комп'ютерів і особливо їх використання для керування технологічними процесами призвело революційних змін у структурі систем керування на різних рівнях виробництва. Можливість розмежування обчислювальних ресурсів, залежно від територіальної і функціональної розподіленості об'єктів керування, створили передумови для переходу від централізованих до розподілених систем керування (РСК). Це стало можливим також завдяки подальшому розвитку мережевих технологій розподіленої обробки даних.

Структурні зміни в переробних галузях харчової промисловості висунули нові підходи до виробництва в цілому. Активно опрацьовуються питання, пов'язані з оптимальністю режимів керування і відсутністю втрат при веденні технологічного процесу, збільшенням міжремонтних періодів устаткування, екологічною безпекою виробництва, обґрунтованістю оперативних рішень, а також інші аспекти, що поліпшують економічні параметри виробництва [6]. Основа успішного індустріального підприємства в певній мірі залежать від використання АСК, в тому числі інтегрованого. Це, в свою чергу, викликає вирішення проблем, пов'язаних з вибором технічних, програмних, організаційних засобів, а також шляхів подальшого розвитку таких систем.

З одного боку: - збільшилася роль автоматизованих систем керування; зросла складність і вартість апаратних засобів (сучасні ПК, сервери, мережі, SCADA - системи); збільшилися витрати ресурсів і часу на проектні роботи; зросли вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу; зросли витрати на обслуговування [7].

З іншого боку: - більше 20 років не змінюється інтелектуальний рівень автоматизованих систем керування. У системах керування автоматизуються традиційні та методологічно опрацьовані функції: телеметрії (вимірювальні канали), автоматичного регулювання, захисту та блокувань за параметрами (ТЗ, ТБ), динамічного керування (ДК) і, в кращому випадку - функціонально - групового керування. У функціональному відношенні сьогоденні АСКТП практично збігаються з системами КВПіА 60 - 70 років, у яких досить розвинені методи керування параметрами матеріальних потоків і практично відсутні АСК регламентами та конфігурацією потоків в об'єкті. Внаслідок цього мають місце втрати через недосконалість АСКТП: недотримання регламенту з витікаючими звідси наслідками [6].

Підвищення ефективності виробництва за рахунок АСК є важливою науково - практичною проблемою, вирішення якої стає особливо актуальною в невизначених умовах переходу до ринкових відносин. Сучасне

автоматизоване виробництво являє собою складну динамічну систему, що характеризується великою кількістю змінних параметрів, їх суттєвою взаємозалежністю, наявністю зворотних інформаційних і матеріальних зв'язків, адаптивністю, не лінійністю і не стаціонарністю поведінки. Функціонуючи в невизначених умовах ринкових відносин і дефіциту ресурсів, виробничі системи (ВС) постійно знаходяться під впливом зовнішніх і внутрішніх збурень, що знижують їх ефективність і приводять до нестійкого функціонування.

Об'єктивна складність розв'язання задач аналізу та синтезу ієрархічних багатофункціональних і багатозв'язних динамічних виробничих систем, що функціонують в умовах ринку, зниження їх ефективності при похибках керування, неможливість проводити фізичні експерименти над системою з метою прогнозування розвитку несприятливих ситуацій, негативно формалізуються властивістю окремих елементів системи, у тому числі і людини, як керуючого елемента, визначають необхідність, важливість і значущість проблеми аналізу, синтезу та моделювання функціонування ВС в умовах ринку на основі імітаційного моделювання [7].

В даний час автоматизовані системи керування виробничих процесів розвиваються у двох напрямках: перший - створення АСК технологічних процесів, які, як правило, забезпечують стабілізацію заданих робочих режимів шляхом підтримання постійними або змінюються за заданій програмі параметрів процесу із застосуванням ЕОМ і програмованих логічних контролерів (ПЛК) , другий - створення автоматизованих систем керування підприємством у цілому.

Однією з головних переваг АСКТП є зниження, аж до повного унеможливлення, впливу людського фактору на керований процес, скорочення персоналу, мінімізація витрат сировини, підвищення якості готового продукту, і в кінцевому підсумку суттєве підвищення ефективності виробництва. Основні функції, що виконуються подібними системами, включають в себе контроль і керування, обмін даними, обробку, накопичення

та зберігання інформації, формування сигналів тривоги, побудова графіків і звітів.

Автоматизована система керування технологічними процесами - сукупність апаратно-програмних засобів, що здійснюють контроль і керування виробничими і технологічними процесами. Вони підтримують зворотний зв'язок і активно впливають на хід процесу при відхиленні його від заданих параметрів; забезпечують регулювання та оптимізацію керованого процесу [5].

Застосування автоматизованих систем керування з використанням ЕОМ, математичних моделей і економіко-математичних методів підвищує рівень організації виробництва і оперативності взаємодії персоналу з технологічним обладнанням. У результаті цього з'являється можливість переходу до оптимізованих режимів технологічних процесів, що збільшує продуктивність обладнання, підвищує ефективність використання сировини і матеріалів, а також запобігання аварійним ситуаціям. Якість готової продукції поліпшується, її характеристики стабілізуються [8].

Технічний прогрес у молочній промисловості характеризується зростаючою складністю та інтенсифікацією технологічних процесів комплексної переробки сировини тваринного походження, необхідністю системного аналізу всього різномайття визначальних чинників і зв'язків між ними, багатокomпонентністю цільової функції якості продукції і жорсткими обмеженнями на технологічні режими.

Основними напрямками збільшення обсягів виробництва молочних продуктів є підвищення ефективності використання сировинних ресурсів і впровадження безвідходних та маловідходних технологій переробки сировини тваринного походження в заданий асортимент продуктів харчування зі збалансованими показниками біологічної цінності та якості. У зв'язку з цим скорочення втрат на всіх стадіях виробництва і збільшення обсягів продукції, що виробляється з одиниці сировини, є одними з головних завдань переробних галузей агропромислового комплексу. Це досягаються, в

першу чергу, оптимізацією технологічних схем, структур і систем в цілому з раціональним використанням ресурсів сировини, виробничих потужностей і промислових технологій.

Складність вирішення зазначених завдань звичайними методами для підприємств молочної промисловості визначається великими обсягами переробки структурно-складної сировини тваринного походження (молока) і широким асортиментом продукції, що випускається; початковою невизначеністю зовнішнього середовища, обумовленого нерівномірністю надходження сировини, розкидом його властивостей і параметрів, коливаннями попиту на продукцію, а також високою біологічною цінністю сировини і продуктів та обмеженими термінами їх реалізації; необхідністю резервування окремих видів продукції в якості сировини для подальшої переробки.

Перераховані особливості викликають необхідність своєчасної структурної перебудови технологічної системи підприємства з раціональним зміною рецептур, асортименту, сировинних запасів і матеріальних потоків в залежності від ситуації, що створилася і прийнятих обмежень, а також оптимізації та автоматизації технологічних процесів на базі ЕОМ і мікропроцесорної техніки з безперервним контролем і керуванням якістю продукції на всіх технологічних етапах.

Розв'язання проблеми збільшення виробництва молочних продуктів пов'язано не тільки з покращенням існуючої технології, але і, головним чином, з розробкою принципово нових методів переробки сировини, що забезпечують найбільш повне їх використання, зменшення втрат, підвищення виходу і якості готової продукції, розширення їх асортименту, зниження витрати енергоресурсів в технологічних процесах. Ці обставини вимагають створення нових методів вимірювання та приладів для автоматичного контролю і регулювання параметрів технологічних операцій, технічних засобів автоматизації для підтримки оптимальних режимів роботи

обладнання і централізованого автоматизованого керування виробничими процесами.

Застосування автоматизованих систем керування технологічними процесами виробництва сухих молочних продуктів є одним з основних шляхів технічного прогресу в молочноконсервної промисловості.

АСКТП дозволяють збільшувати продуктивність праці персоналу, а також підвищувати продуктивність технологічного обладнання, забезпечувати вироблення продуктів заданої якості і можливість впровадження нових високо інтенсивних процесів, підвищувати техніко-економічні показники виробництва.

Для АСК процесів виробництва молочних консервів є необхідні передумови: безперервність або потоковість, комплексна механізація, серійне виробництво приладів та технічних засобів автоматизації, наявність спеціалізованих проектних і монтажних-налагоджувальних організацій. В сучасних умовах в промисловості здійснюється перехід від автоматизації окремих операцій до автоматизації усього технологічного циклу. Витрати на автоматизацію, що досягають в середньому 10-25% вартості технологічного обладнання, швидко окупаються.

1.2 Аналітичний огляд програмно-технічних комплексів для реалізації систем керування процесом сушки молока і молочних продуктів

Керування технологічними процесами виробництва молочних продуктів здійснюється системами, що представляють собою сукупність керованого об'єкта, комплексу технічних засобів, оперативного обслуговуючого персоналу і загальносистемної документації програмного, інформаційного і організаційного забезпечення.

Комплекс технічних засобів (КТЗ) повинен забезпечувати отримання інформації (сигналів) про значення параметрів технологічних процесів і про

стан технологічних об'єктів, формування і передачу сигналів в системі керування, передачу інформації оперативному персоналу, локальне регулювання та керування окремими операціями процесів, виконання обчислювальних операцій, керування виконавчими пристроями, передачу інформації в суміжні або вищестоящі системи керування.

У залежності від призначення і цілей функціонування, а також від заданого рівня і обсягу автоматизації в систему керування може входити як весь комплекс технічних засобів, так і окремі його складові.

Залежно від ступеня участі людини в процесах керування розрізняють автоматизовані та автоматичні системи керування.

В автоматизованих системах керування не всі функції контролю і керування з технічних чи економічних причин здійснюються комплексом технічних засобів керування. Частина функцій виконується оперативним персоналом. В автоматичних системах усі функції контролю і керування виконуються технічно засобами. Оперативний персонал здійснює лише операції пуску (включення) автоматичної системи в роботу та контроль її справності.

Розрізняють інформаційні та інформаційно-керуючі системи керування. В інформаційній системі керування процесом здійснюється в основному оперативним персоналом, в інформаційно-керуючій більшість функцій керування виконуються технічними засобами.

Залежно від характеру централізації керування, системи контролю і керування технологічними процесами можуть бути локальними централізованими. Локальні системи забезпечують керування окремими агрегатами або установками. Як правило, комплекс технічних засобів та елементи дистанційного керування локальної системи монтують на щиті в безпосередній близькості від об'єкта керування.

Залежно від обсягу автоматизації локальна система може забезпечити вимір і стабілізацію технічних параметрів, сигналізацію про відхилення

параметрів від заданих значень, керування процесом по твердою логічною або тимчасовою програмою.

Централізовані автоматизовані системи контролю, або так звані щитові системи, забезпечують керування роботою групи технологічного обладнання або технологічним процесом виробництва в цілому.

У такій системі контроль і автоматичне регулювання параметрів процесу здійснюється за допомогою централізованих технічних засобів (окремих приладів і регуляторів), встановлених на щитах, складених в центральному пункті керування. Особливістю таких систем є те, що автоматичні керуючі дії технічних засобів запрограмовані по жорсткій тимчасовій або логічній програмі зі зв'язками між суміжними об'єктами керування.

Для складних технологічних процесів з великим обсягом інформації, що надходить застосування централізованих систем контролю і керування не у всіх випадках є оптимальним рішенням задачі якісного керування технологічним процесом.

Наявність великої кількості вимірювальних і регулюючих приладів на центральному пункті керування утрудняє роботу оператора, а його реакція на інформацію, що надходить від технічних засобів, найчастіше не є оптимальною.

Подальшим розвитком централізованих систем контролю і керування є автоматизовані системи керування технологічними процесами виробництва (АСКТП). Останні забезпечують автоматизований збір і обробку інформації, необхідні для оптимізації керування з деяким критерієм, що характеризує якість керування.

Автоматизовані системи керування технологічними процесами, на відміну від розглянутих вище, являють собою якісно новий вид керування, що дозволяє перейти від так званої циклової автоматики, що забезпечує виконання чисто повторних дій, і автоматичної стабілізації режимів до використання технічних засобів і схем, що створюють умови для оптимізації як керування, так і технологічних режимів роботи.

Реалізація інформаційних і керуючих функцій АСКТП для складних технологічних процесів та виробництв з великим обсягом інформації може бути здійснений шляхом застосування керуючих обчислювальних машин і комплексу технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем (КТЗ ЛІКС).

Автоматизовані системи керування технологічними процесами можуть функціонувати в наступних режимах:

- в інформаційно-рекомендованому, при якому засоби обчислювальної техніки виробляють і видають оперативному персоналу рекомендації по раціональному керуванню процесом;
- в комбінованому, при якому засоби обчислювальної техніки автоматично змінюють уставки і параметри настройки систем регулювання;
- в режимі прямого керування, при якому засоби обчислювальної техніки забезпечують безпосереднє керування виконавчими механізмами.

Сукупність завдань керування в АСК технологічним комплексом можна розбити на 4 рівні.

До першого (нижнього) рівня відносяться завдання стабілізації окремих технологічних параметрів всередині ланок комплексу:

- стабілізація температури на виході з сушильної вежі;
- стабілізація витрати згущеного молока, що подається в розпилювальну форсунку сушильної вежі;
- стабілізація витрати гарячого повітря, що надходить в сушильну вежу.

До другого рівня відносяться задачі оптимізації технологічних процесів в окремих ланках технологічного комплексу:

- забезпечення необхідної вологості сухого молока при максимальній продуктивності сушильної вежі в результаті оптимального керування температурою повітря на виході з сушильної вежі;
- мінімізація втрат продукту на виході при заданих обмеженнях.

Завданням третього рівня є оптимізація взаємозв'язків технологічних режимів різних ланок комплексу, узгодження вхідних і вихідних параметрів. Для розглянутого комплексу оптимізації підлягає:

– рівень молока в проміжному резервуарі між вакуум-апаратом і сушильним агрегатом, так як зміна витрати згущеного продукту пов'язане зі зміною продуктивності установок згущення і сушіння.

На найвищому рівні керування необхідно використовувати моделі комплексу як об'єкта з розподіленими параметрами. Особливе значення має точність моделювання процесів, що протікають в сушильній вежі, так як саме тут формується в основному якість готового продукту. Тому моделям цієї ланки має бути приділена особлива увага.

На підставі вищевикладеного актуальними та економічно доцільними представляються саме комплексні завдання ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, що поєднують розробку моделі керування вологістю сухого молока і молочних продуктів та раціональну систему керування розпилувальною сушильною вежею.

Попередній розрахунок і проектування системи керування включають безліч етапів. Постановка завдання та ідентифікація об'єкта - тільки перший з них. Одночасно або майже одночасно вирішуються проблеми її реалізації.

У самій системі можна розрізнити дві тісно переплетені структури - функціонально-алгоритмічну та апаратну (технічну). У міру уточнення властивостей об'єкта шляхом його дослідження та імітаційного моделювання повинне проводитися обстеження об'єкта для розробки цих структур. Частина даних отриманих при цьому обстеженні, виявляється необхідною і для ідентифікації об'єкта. При цьому таке обстеження може дати результати, радикально впливають на обсяг робіт з ідентифікації як у бік їхнього збільшення, так і скорочення.

Серед функцій системи слід розрізняти обов'язкові, відмова по яких тягне зупинку об'єкта або навіть аварійну ситуацію, і факультативні, такі, як оптимізація, облік готової продукції і т. п. (обов'язкові функції, що можуть

здійснюватися не в реальному, «об'єктному» часу, а із запізненням, з апаратурною точки зору відносяться до факультативним).

Надійність технічних засобів постійно зростає, і досягла такого рівня, що часто моральне старіння апаратури виникає набагато раніше першої відмови внаслідок її фізичного старіння. Основними причинами збоїв і відмов стали несправності рознімних з'єднань, контактних груп, окислення і руйнування пайок, пошкодження і перешкоди в лініях зв'язку. Виразно зростає роль випадкових збоїв і «зависань» комп'ютерів при їх повній справності.

У цих умовах стає доцільним використання ієрархічних (багаторівневих) функціонально - алгоритмічних і апаратурних структур при наявності в системі обов'язкових і факультативних функцій. Більш прості обов'язкові функції зосереджуються в локальних пристроях, розташованих можливо ближче до об'єкта (або на самому об'єкті) і мають мінімальний обсяг обладнання. Функції, пов'язані з обробкою великих інформаційних потоків та їх узагальненням, як правило, носять факультативний характер, і вони передаються апаратурі більш високого рівня з великим обсягом обладнання (наприклад, керуючим міні-ЕОМ, а іноді і ЕОМ великої потужності типу робочих станцій і потужних серверів). Такий поділ функцій у більшості випадків не викликає особливих труднощів з точки зору інформаційної структури системи. Однак розробник системи повинен враховувати, що співробітники, відповідальні за програмно-алгоритмічне забезпечення, воліють максимальне число функцій виконувати за допомогою одного центрального комп'ютера, що спрощує для них розробку, але для організації зайвих каналів зв'язку з центральним комп'ютером може знадобитися більше обладнання, ніж весь обсяг апаратури локального пристрою, що виконує дані функції.

Стрімкий розвиток отримали мережеві пристрої - повторювачі, концентратори, комутатори і відкриті промислові мережі, що зв'язують всі

рівні ієрархії РСК. Великий вплив на засоби передачі інформації надають глобальні мережі Internet.

Розвиток систем безпосереднього цифрового керування процесами висуває вимоги надійності, точності та швидкодії. Широке поширення отримують системи резервування апаратних і програмних властивостей, високоточні датчики і перетворювачі вимірюваних параметрів процесу, швидкодіючі процесори і співпроцесори для обробки та передачі сигналів.

Подальший розвиток отримали АСК підприємством для вирішення економічних і технологічних завдань. В останні роки намітилася інтеграція АСКТП і АСКП на базі сервера БД РВ, що є ядром інтегрованої системи керування.

Незалежно від характеристик об'єкта керування, будь то окремі агрегати або багатопрофільні виробництва, структура розподіленої системи керування передбачає наявність рівня первинних засобів автоматизації (інтелектуальних датчиків) і виконавчих пристроїв - так званий нульовий або польовий рівень, рівня пристроїв зв'язку з об'єктом (перетворювачів аналогових і дискретних сигналів вводу - виводу) - перший рівень АСКТП, контролерного рівня - третій рівень і бізнес - рівня - четвертий рівень АСКТП.

Для передачі вимірювальної та командної інформації на нижньому рівні використовуються HART-протокол, AS-інтерфейс, RS232, RS485. Багато інтелектуальні датчики і виконавчі механізми для передачі і прийому інформації в цифровому вигляді використовують польову шину, що представляє, як правило, двохпровідні лінію зв'язку (вита пара, оптоволокно) з одночасною передачею по шині живлення й інформаційного сигналу. До числа таких промислових мереж, що об'єднують датчики, виконавчі механізми, контролери і робочі станції відносяться Profibus DP, Profibus PA та інші. На верхньому рівні використовуються мережі Ethernet, ArcNet та інші.

Програмно-технічний комплекси (ПТК) призначені для формування інформації, її обробки, зберігання та керування об'єктами за допомогою

мікропроцесорних засобів в комплекті з міжмережевими структурами, програмним забезпеченням та сервісними засобами для експлуатації, перевірки, контролю роботи, налагодження та обслуговування та ін.

Останнім часом ринок засобів автоматизації істотно розширився. Сформувався сімейство виробів, реалізованих на комп'ютерах і платах введення / виводу, масове поширення в харчовій промисловості отримали РС-сумісні контролери, польові мережі, інтелектуальні датчики, що підключаються до польової мережі, в мережах верхнього рівня використовується Ethernet (інформаційна мережа).

Однак, незважаючи на різноманітність пропозицій використання існуючих засобів для формування АСУТП, має місце ряд проблем:

- традиційні багатоканальні контролери вимагають великих витрат на придбання супутнього обладнання (шаф, кабелів, пультів місцевого керування) та виконання проектних і монтажних розрахунків;
- при модернізації існуючих систем керування (СК) немає місця для розміщення шаф контролерів в заповнених обладнанням лінійних і щитових приміщеннях;
- розосереджені системи керування (РСК), побудовані на «мережевих» мікропроцесорних датчиках і індивідуальних контролерах, виявляються дороги і недостатньо надійні для автоматизації великих, територіально зосереджених промислових об'єктів. Їх «вузьким місцем» стають нерезервованих низькошвидкісна польова мережа, витрати на мікропроцесорні пристрої і ін.

Для вирішення зазначених проблем потрібно компроміс між розподільності, надійністю і вартістю ПТК. Забезпечення якісних характеристик ПТК (надійність, функціональність, зручність в експлуатації і т.п.) повинне супроводжуватися мінімізацією сукупної вартості впровадження АСКТП. При цьому мінімізація сумарної вартості впровадження ПТК при постійних якісних характеристиках забезпечує її довговічність (ремонт та обслуговування за час життя виробу).

Для досягнення необхідного співвідношення вартість - якість ПТК повинен складатися з мікропроцесорних програмованих логічних контролерів (ПЛК) оптимальної інформаційної потужності, стандартних ПК, мережевого обладнання, ОС, програмного комплексу, зручного при експлуатації, розробці та тестуванні завдань АСКТП.

Як відомо, промислові комп'ютери (ПК) дозволяють зосередити функції керування і візуалізації в одному місці, використовуючи вбудовуванні системи - плати ПЗО, пам'яті, комутаційні модулі та інше, а SCADA-системи, що вимагають великих обсягів пам'яті і недоступні програмованим логічним контролерам (ПЛК), легко реалізуються на промислових комп'ютерах. Промислові контролери, що випускаються рядом фірм, задовольняють найжорсткішим умовам експлуатації - зі ступенем захисту лицьовій панелі IP65, діапазон робочих температур від 0 до 50 °С. Стандартні операційні системи (ОС) дозволяють використовувати інструментальні засоби розробки прикладного програмного забезпечення (ПО) різних фірм. Наявність комунікаційних портів вводу-виводу, механізму взаємодії OPC (OLE for Process Control), визнаного в якості стандартного механізму взаємодії програмного забезпечення АСКТП, заснованого на об'єктній моделі COM / DCOM фірми Microsoft, підтримки Internet і бездротових телекомунікацій, дозволяють промислового комп'ютера взаємодіяти з будь-яким устаткуванням - від ПЛК до будь-яких робочих станцій.

У той же час ПЛК по мережним можливостям наближаються до ПК, їх пам'ять Flash memory володіє достатньою місткістю для розміщення невеликих SCADA-систем. Прикладом може служити SCADA-система TRACE MODE, що розміщується у вигляді SoftPLC в пам'яті контролерів "Лагуна", Ломіконт, Теконік і АДЕМ. ПЛК володіють підвищеною надійністю, високою швидкодією, малими габаритами, можливістю "гарячої" заміни модулів (без виключення живлення) та інше. До додаткових можливостей відносяться: наявність сторожового таймера, самодіагностика, режим автоналагоджування параметрів регулятора й інше. Програмування

контролерів здійснюється в залежності від завдання і типу контролера на різних мовах програмування за стандартом IEC 61131-3.

Тому переважніше вибір контролера по відношенню до вибору промислових комп'ютерів [9].

Вибір типу контролера для системи керування, керуючись критерієм ціна/продуктивність, визначається їх особливостями. Це можуть бути моноблочні, модульні або вбудовуванні контролери. Серед основних характеристик - продуктивність, максимальне число каналів вводу-виводу змінних, комунікаційні можливості (наявність необхідних користувачеві портів), надійність, зручність інтерфейсу, ціна, область поширення й інше. При оцінці контролерів немаловажне значення мають окремі його компоненти. Перш за все в процесорному модулі - характеристики процесора, об'єм пам'яті, підтримка ОС, стандарт шини розширення, наявність сторожового таймера, портів, підтримка певних мереж, гальванічна ізоляція, індикація стану, робоча температура, напруга живлення і інше [3,4,10,11].

При аналізі і виборі комунікаційних модулів промислових мереж слід мати на увазі характеристики мереж - швидкість і дальність передачі, число вузлових станцій, наявність живлення по шині, топологія мережі. Слід зазначити, що спостерігається розширення застосовності Internet-технологій, SNMP-протоколу передачі даних, GSM-телемеханіки (на базі стільникового телефону, модему і SIM-карти) [12,13].

До числа модулів спеціального призначення, які можуть знадобитися в проекті, відносяться модулі зв'язку, обчислювальні, логічні та діагностичні модулі, модулі годин реального часу і пам'яті, позиціювання, технічного зору, бар'єрів іскор безпеки та інше.

В залежності від функціональних можливостей, технічних характеристик і конструктивного виконання контролери можна умовно підрозділити на моноблочні або компактні, модульні і РС-контролери (PC-base, PC-сумісні контролери).

Моноблочний контролер являє собою мікропроцесорний пристрій, в єдиному конструктиві якого розташовуються джерело живлення (не обов'язково), центральний процесор (співпроцесори), пам'ять програм і пам'ять змінних (як правило, енергонезалежна), вбудований порт (и) для виходу в мережу, фіксоване число каналів аналогового та (або) дискретного вводу/виводу, вбудований ПД - регулятор з автонастроюванням (не обов'язково), слот розширення для підключення додаткових модулів, РК-дисплей (не обов'язково), індикатори стану контролера.

Модульні контролери складаються з функціональних модулів, встановлених в каркасі (кошику, шасі, Крейти) або монтуються на DIN-рейку. До цих модулів відносяться мікропроцесорний модуль, модуль живлення, комунікаційні модулі і модулі вводу-виводу, а також спеціальні модулі.

PC-base або PC-сумісні контролери складають окремий клас програмованих контролерів, значення і роль яких з розвитком Інтернет - технологій істотно зростає. Дані контролери характеризуються наявністю вбудованої операційної системи (Windows 9x/NT/CE, MS DOS, Linux та інші), використанням стандартних системних шин, можливістю використання стандартного програмного забезпечення (Сі, Паскаль, SCADA-систем Trace Mode та ін, баз банних) , комунікаційних стандартів, наявністю OPC - серверу, PC - сумісних функцій.

PC - base контролери, таким чином можуть використовувати багате програмне забезпечення незалежних виробників, мають більший об'єм пам'яті, ніж традиційні ПЛК, можливості розширення і модернізації, а також кращого діагностування.

Мережевий комплекс контролерів - як клас ПТК є найбільш широко впроваджуються засобом керування ТП у всіх галузях промисловості.

Мінімальний склад ПТК включає ряд контролерів, кілька дисплейних пультів операторів, промислову мережу, що з'єднує контролери та пульти між собою.

Контролери певного мережного комплексу зазвичай містять ряд модифікацій, що відрізняються один від одного потужністю, швидкодією, обсягом пам'яті, можливостями резервування, пристосуванням до різних умов навколишнього середовища, максимальним числом каналів входів/виходів.

Це полегшує використання мережевого комплексу для різноманітних технологічних об'єктів, так як дозволяє досить точно підібрати контролери необхідних характеристик під окремі вузли що автоматизується агрегата і різні функції контролю і керування.

Промислова мережа може мати різну структуру: шину, кільце, зірку; вона часто підрозділяється на сегменти, пов'язані між собою маршрутизаторами. Інформація, передана по мережі, досить специфічна - це ряд як періодичних, так і випадкових в часі коротких повідомлень. До їх передачі висуваються певні вимоги: повідомлення не можуть бути втрачені (повинна бути гарантія їх доставки адресату); для повідомленні вищого пріоритету (наприклад, щодо даних) повинен бути гарантований інтервал часу їх передачі.

Більшість зарубіжних фірм поставляє мережеві комплекси контролерів (порядку сотень входів / виходів): DL205, DL305 фірми Koyo El і Ironies; TSX Micro фірми Schneider Automation; SLS-500 фірми Rockwell Automation; COM1 фірми Omron.

Сучасні розподілені системи керування характеризуються територіальної і функціональної распределенностью систем збору даних і керування. Контроль ходу технологічного процесу і керування низової автоматикою здійснюється оператором з автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора або операторської станції, що складається, як правило, з кольорового графічного дисплея з клавіатурою, встановлених в операторському приміщенні. При необхідності установки АРМ - оператора в цеху використовуються промислові робочі станції з вбудованою клавіатурою або виконаної в пило-, влагозахисному виконанні.

Представлення даних в реальному масштабі часу про хід технологічного процесу, візуалізація процесу у вигляді мнемосхем, складання звітів і графіків, сигналізація відхилень параметрів і інші функції здійснюються за допомогою спеціального програмного забезпечення SCADA - систем. SCADA-система - система диспетчерського керування та збору даних, спеціальне програмне забезпечення, вирішальне завдання вводу-виводу інформації в системі АСКТП, відстеження аварійних і передаварійних ситуацій, обробки та подання на АРМ оператора графічної інформації про процес, підтримки звітів про виконання технологічного процесу.

Зв'язок між контролером, керуючим Мікро МРВ та монітором реального часу диспетчерського рівня АСК може здійснюватися багатьма способами:

- по послідовному інтерфейсу (RS 232/485);
- по мережі Ethernet, Arcnet і ін;
- через польові шини;
- через модем по виділеній або комутованій лініях;
- по радіоканалу.

Сімейство ПЛК, що входить до складу ПТК, повинне включати мікропроцесорні пристрої не менш ніж трьох типів, кожен з яких необхідний для побудови оптимальних конфігурацій АСКТП.

1.3 Аналіз технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів

Для виробництва сухого молока і молочних продуктів важливі два технологічних процеси: випаровування і розпилювальна сушка [14, 15 16].

Випарювання - технологія, використовувана для згущення молока шляхом видалення води. Для згущення молока застосовують багатокорпусні вакуум - випарні установки циркуляційного і плівкового типу. Найбільш перспективними є випарні апарати з падаючої плівкою розчину. З

урахуванням якості продукту випарні апарати даного типу бажані, оскільки вони відрізняються коротким часом витримки і регульованою температурою кипіння, причому зменшуються небажані зміни білків, що впливають на кінцеві функціональні властивості сухого порошку.

Вони характеризуються великою продуктивністю, невеликим часом впливу високих температур на продукт, високою економічністю завдяки використанню тепла вторинної пари.

Випарювання є суттєво важливим процесом для виробництва якісного порошку. Неможливо на більш пізній стадії компенсувати пошкодження сировини, що виникло під час випарювання, а тому дуже важливо при проектуванні випарного апарату врахувати необхідні хімічні, мікробіологічні і функціональні властивості готового сухого порошку.

Концентрат на виході з випарного апарату має температуру 40-45 °C і як правило нагрівається додатково до 60-80 °C незадовго перед розпиленням. Цей попередній нагрів перед розпиленням виконується в цілях покращення економіки сушки, а також для регулювання в'язкості. Регулювання в'язкості необхідна для забезпечення необхідних характеристик порошку. Попередній нагрів являє собою тонкий процес, так як підігрівається вельми згущений продукт, як правило, із загальним вмістом сухої речовини в розмірі 45-50%. У процесі виробництва нестабільні білки з часом прилипають до поверхні нагрівального обладнання.

Технологічні процеси сушки молока і молочних продуктів характеризуються безперервністю, високим інтенсивністю, що наближає ведення процесу до граничних режимним показниками, і підвищеним вимогам до якості готового продукту з жорстким обмеженням його показників.

Для сушки молока і молочних продуктів використовуються розпилювальні, барабанні, вихрові та вібраційні конвективні сушарки.

Поняття розпилювальної сушки визначається як перетворення подається концентрату з рідкої в суху фазу шляхом розпилення його в гарячий

сушильний агент. Тобто, розпорошення - це процес, за допомогою якого згущений і попередньо нагрітий подається концентрат перетворюється на дрібні краплі [14].

Застосовуються дві технології - відцентрове розпилення і сопловий розпорошення. Вибір між ними у великій мірі залежить від вимог до готового продукту і від виду сушарки.

Мета розпилення концентрату - отримання дуже великій поверхні, з якої може здійснюватися випаровування. Чим менше краплі, тим більша щільність, тим краще і швидше відбувається випаровування і тим вище продуктивність сушарки. З точки зору висушування ідеально мати краплі одного і того ж розміру, тому що в тому випадку час висушування однаково для всіх частинок. Однак, з урахуванням насипної щільності порошку, це небажано, так як в цьому випадку вийшов би сухий продукт з низькою насипною щільністю, що в свою чергу підвищило б вартість розфасовки порошку. Щоб відповідати вимогам до сушильному процесу і насипної щільності, розпорошення в першу чергу має забезпечити:

- високий коефіцієнт відношення поверхні до маси, що має в результаті високі показники продуктивності по випарюваній волозі;
- виробництво частинок необхідної форми, розміру і щільності.

При сопловому розпиленні основна функція нагнітальних сопел полягає в перетворенні нагнітальній енергії, що подається насосом високого тиску, в кінетичну енергію. Утворюється тонка плівка концентрату. Стійкість плівки визначається показниками подається концентрату, такими як в'язкість, поверхневий натяг, щільність і кількість на одиницю часу.

Спеціально розроблені високопотужні сопла низького тиску забезпечують розпорошення концентрату при загальному вмісті сухої речовини 48% і 150-200 бар надлишкового тиску, не впливаючи негативно на розчинність порошку. Соплових розпорошення володіє наступними перевагами:

- вироблення порошку з низькою кількістю залученого повітря;

- вироблення порошку з високою насипною щільністю;
- поліпшення сипучості, зокрема для незбираного молока;
- при обробці згущених продуктів спостерігається зменшення тенденції до утворення осаджень в сушильній камері.

При відцентровому розпиленні через відцентрових сил, утворених при обертанні диска, рідина безперервно подається на край диска. Диск обертається зі швидкістю приблизно 15 тис. об / хв. Залежно від продукту, диск розроблений або з прямими, або з вигнутими лопастями. Відцентровий розпилювач володіє наступними перевагами:

- гнучкість пропускної спроможності;
- здатність обробки великих кількостей концентрату;
- здатність обробки дуже в'язких концентратів;
- наявність дисків різної розробки, що забезпечують різні характеристики сухого порошку;
- здатність обробки продуктів, що містять кристали;
- можливість підвищеного вмісту сухих речовин в подаваному концентраті, тобто краща економіка сушіння.

Для традиційних сухих знежиреного та незбираного молока, а також для кристалізованого концентрату сироватки надається перевага відцентрове розпилення, а для сухих порошоків з дуже високою щільністю і для легкосіпких цільного сухого молока слід вибрати високопотужні сопла низького тиску в поєднанні з процесом двоступеневої сушіння.

Принцип розпилювальної сушки полягає в перетворенні концентрату в велику кількість дрібних краплею, піддаються впливу гарячого повітря.

Висушування відбувається, здебільшого, при уповільненні швидкості краплею через зустрічі з гарячим повітрям. Уповільнення здійснюється в межах 1 м від точки розпилення, і через випаровування вологи з концентрату забезпечується основний перепад температури сушильного повітря.

Сушильний процес буває різною компоновки - одноступінчатий або двоступінчатий [14].

Одноступінчатий сушильний процес визначається як розпилювальна сушка, де продукт висушується до остаточного вологовмісту в сушильній камері.

Двоступінчатий сушильний процес можна здійснити при двох різних компоновках обладнання. У першій з них остаточне висушування здійснюється поза сушильної камери в пристрої "VIBRO-FLUIDIZER" (Віброфлюїдаїзер), а в другій - всередині сушильної камери, в стаціонарному киплячому шарі. Переваги двоступінчастого сушильного процесу полягають у наступному:

- більш висока продуктивність на кг сушильного повітря;
 - краща економіка сушіння;
 - кращу якість продукту по розчинності, високій насипній щільності, низькій кількості вільного жиру, низькій кількості залученого повітря.
- Відбувається також менший винос сухого порошку в атмосферу.

Технологічний процес вироблення сухих молочних продуктів складається з таких технологічних операцій: приймання і підготовка сировини, нормалізація, пастеризація, згущення, гомогенізація, сушки, охолодження сухого продукту, упакування і зберігання.

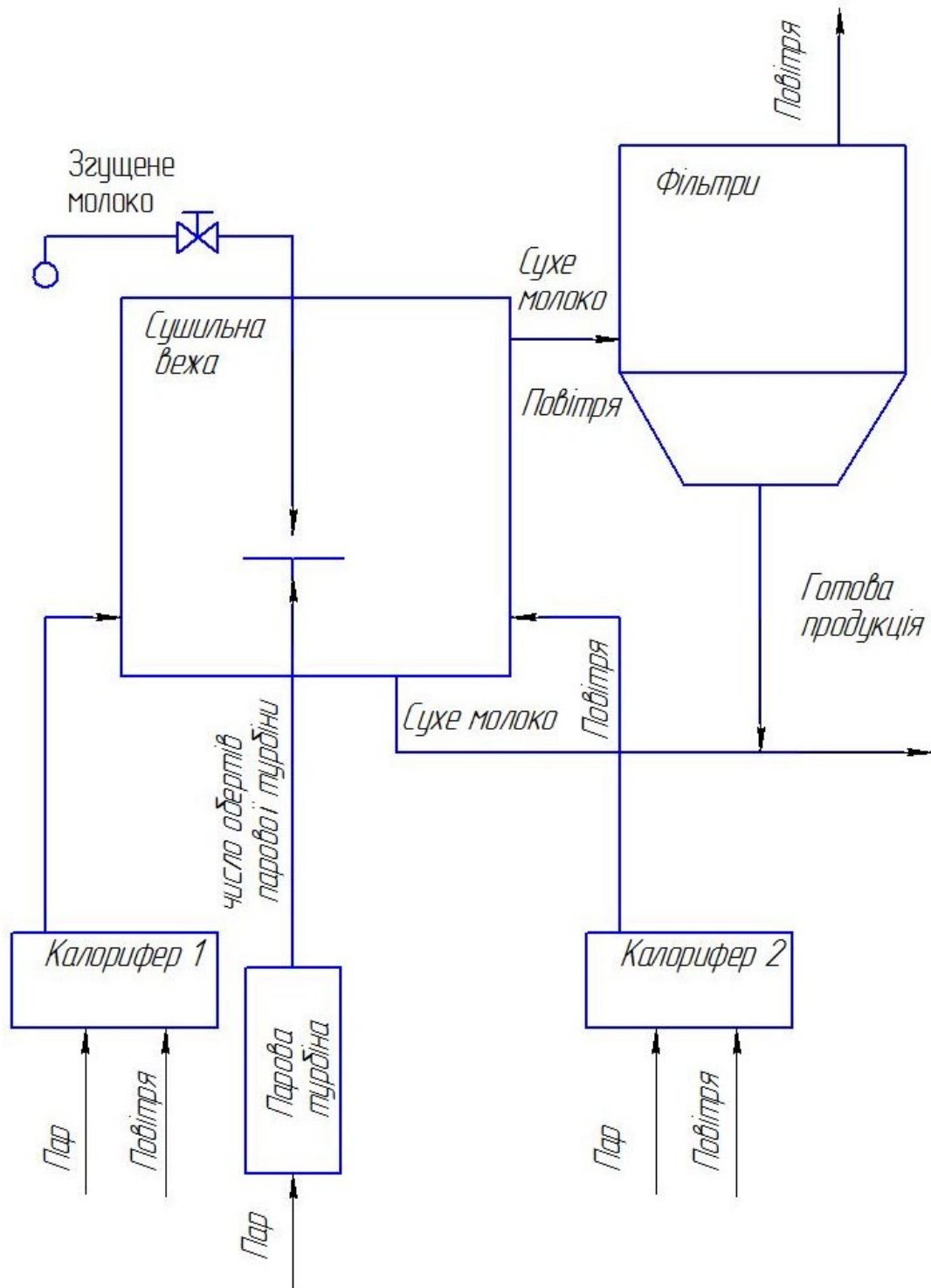


Рисунок 1.1 - Функціональна схема технологічного процесу сушки
молока

Для вироблення сухих молочних продуктів застосовують молоко не нижче II сорту і кислотністю не більше 20°T , вершки з масовою часткою жиру не більше 40% і кислотністю не більше 26°T , знежирене молоко і пахту

кислотністю не більше 20°Т. Здійснюють підготовку молока (очищення, охолодження і т.п). Нормалізацію молока проводять, додаючи в нього вершки, знежирене молоко або пахту. У нормалізованій молочної суміші співвідношення жиру і СЗМЗ (сухого знежиреного молочного залишку) має бути такою ж, як і в готовому продукті. Молоко пастеризують при температурі 95 °С без витримки, фільтрують і направляють у вакуум-випарну установку на згущення.

Тривалість згущення в плівкових вакуум-випарних установках становить 3-4 хв. до масової частки сухих речовин 46%, відповідно вологість згущеного молока становить 54%.

Після згущення молочні продукти гомогенізують, фільтрують і направляють у проміжний бак для подальшого сушки.

На ПАТ «Хорольський МКК ДП» процес сушки молока здійснюється на розпилювальної сушильної установки "Нема-500". При розпилювальної сушки продукт розпорошується і висушується в атмосфері гарячого повітря. Зневоднення продукту відбувається в результаті випаровування вологи з поверхні найдрібніших крапель молока. Розпилювальна сушка дозволяє одержати високу якість продукту поряд з порівняно невеликими енерговитратами.

Перед початком сушки включається головний вентилятор, який "засмоктує" повітря через масляні фільтри в калорифери 1 і 2. У калориферах очищене повітря нагрівається до температури 165-180 °С і надходить через дві щілини в сушильну вежу, яка знаходиться під невеликим розрідженням. У цей час насос падає згущене молоко на диск розпилювального паротурбінного приводу розпилювальної сушарки, який обертається зі швидкістю 7,85-8,15 тис. обертів на хвилину. Дискові розпилювачі більш універсальні у застосуванні в порівнянні з форсункових і дозволяють отримати рівномірний розпорошення навіть при змінній витраті згущеного молока. При подачі згущеного молока на дискові розпилювачі не потрібно створення високих тисків. Згущений продукт подається в отвір у центрі диска, яке сполучається

з шістьма радіальними каналами. Рідина, що виходить по окружності диска розпорошується під дією відцентрових сил (окружна швидкість - 100 м / с). Для отримання великих швидкостей обертання використовується парова турбіна. При падінні тиску пари, що надходить в турбінний привід розпилового диска, передбачене автоматичне відключення подачі пари в калорифери і насоса, що подає згущене молоко в сушильну камеру.

Висока швидкість сушки обумовлена великою сумарною поверхнею крапель молока, складовою при величині крапель 30-80 мкм близько 100-150 м² на 1 л молока. При швидкому випаровуванні вологи температура повітря в зоні розпилення знижується до 75 - 95 °С, тому молочний продукт не піддається сильному тепловому впливу, що сприяє збереженню біологічно активних речовин у сухому продукті.

Великі частинки сухого молока вигляді порошку падають на дно вежі, звідки прибиральним механізмом (скребками) через щілину надходять на шнековий транспортер, далі на сито. Більш дрібні частинки несуться потоком повітря і уловлюються матерчатими фільтрами. Сухе молоко з фільтрів струшується в бункер, далі на сито з розміром осередків 2 x 2 мм.

Просіяне молоко в системі пневмотранспорту охолоджують до температури 15-20 °С. Охолоджені сухі молочні продукти упаковують і зберігають до відвантаження споживачеві. Термін зберігання сухого незбираного молока при температурі 1-10 °С становить не більше 10 місяців при вологості продукту не більше 4% для герметично упакованих.

Найкраща якість готової продукції досягається на розпилювальних сушарках. Розчинність сухого молока становить 96-98%. Продуктивність по випаруваної волозі розпилювальних сушарок "Нема-500" 1000 кг на годину і більше.

До недоліків розпилювальних сушарок відносяться велика вартість обладнання, високі витрати енергії і великі габарити (висота - 5,5 м, діаметр - 5,5 м).

1.4 Аналіз сушильної установки як об'єкта керування

1.4.1 Метод стабілізації вологості сухого молока за непрямим параметру

Аналіз технологічної системи як об'єкта керування дозволив сформувати систему критеріїв, які комплексно характеризують ефективність технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів.

Результати обстежень об'єкта керування - сушильної установки "Нема-500", а також аналіз літературних даних [4,17-24] показують, найбільш значущим критерієм ефективності технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів є вологість сухого молока і молочних продуктів як основний показник якості готового продукту.

Для керування процесом сушки в розпилювальних сушильних установках можливі дві схеми автоматичного регулювання: по прямому параметру - вологості сухого продукту, що виходить із сушильної вежі і за непрямим параметру - залежно вологості готового продукту від температури вихідного з вежі сушильного агента (гарячого повітря).

В даний час існують прилади для вимірювання вологості в реальному режимі часу. Однак дані прилади володіють невисокою надійністю і включення їх в контур регулювання може призвести до непередбачуваних наслідків, тому для керування процесом використовують непрямий параметр - температуру повітря на виході з сушильної вежі.

У роботах [20,25] показано, що вологість сухого молока і температура вихідного повітря взаємопов'язані. Коефіцієнт кореляції між цими величинами зростає при постійних вхідних параметрах гарячого повітря (витрата $Q_{1В}$ вологовміст $\varphi_{1В}$, температура t). При постійних вхідних

параметрах продукту (витрата $Q_{1п}$, вологість $W_{1п}$ температура $t_{1п}$) цей коефіцієнт близький до 1.

Рівняння зв'язку між параметрами $W_{2п}$ і $t_{2п}$ має вид :

$$W_{2п} = A - B t_{2в}, \quad (1.4.1)$$

де $W_{2п}$ - вологість продукту, %; $t_{2в}$ – температура відхідного повітря, °С.

Тому для автоматичного керування процесом сушки використовують непрямий параметр - температуру повітря, що виходить із сушильної вежі. Масова частка вологи в сухому молоці і температура відпрацьованого повітря взаємопов'язані :

$$W_2 = A - B t_2, \quad (1.4.2)$$

де W_2 - масова частка вологи в сухому молоці, %; t_2 -температура відпрацьованого повітря, °С; A і B - коефіцієнти регресії.

При сушінні незбираного молока в сушильній установці «Нема - 500» при температурі відпрацьованого повітря 60-75 °С ця залежність має вигляд [20]:

$$W_2 = 16,5 - 0,2 t_2 \quad (1.4.3)$$

Для парових калориферів задана температура $t_{1в}$ гарячого повітря досягається зміною тиску пари, що гріє p_k .

Статичні і динамічні характеристики розглянутих об'єктів регулювання стосовно до широко використовуваним сушильним установкам «Нема-500» наведені нижче.

Статична характеристика сушильної вежі по каналу $Q_{1н} \rightarrow t_{2н}$

$$t_{2в} = t_{oc} - K_{пс} Q_{1н}, \quad (1.4.4)$$

де $t_{2в}$ - температура відхідного повітря, °С; $K_{пс}$ -коефіцієнт передачі об'єкта, $K_{пс}$ -ч/кг ($K_{пс} = 0,0255$); $Q_{1н}$ - витрата згущеного молока, кг / год; t_{oc} - постійна величина, °С ($t_{oc} = 90$).

Статична характеристика калорифера по каналу $p_k \rightarrow t_{1в}$:

$$t_{1в} = t_{0к} + K_{нк} p_k \quad (1.4.5)$$

де $t_{1В}$ - температура гарячого повітря, °С; $K_{пк}$ - коефіцієнт підсилення об'єкта ($K_{пк} = 34$); p_k - тиск пари, що гріє, МПа; $t_{0к}$ - постійна величина, °С ($t_{0к} = 126,5$).

Вологість одержуваного продукту повинна підтримуватися постійною з точністю до $\pm 0,5\%$ вологи, що відповідає зміні температури повітря в межах $\pm 2,5^\circ\text{C}$. При цьому температура вхідного гарячого повітря повинна підтримуватися з точністю $\pm 4,8^\circ\text{C}$, а коливання вологості згущеного молока не повинні перевищувати $\pm 2\%$ вологи.

Практично вологість згущеного молока може змінюватися в більш широкі межі, тому при синтезі систем автоматичного регулювання температур вхідного і вихідного повітря слід прийняти менші похибки регульованих величин, відповідно $\Delta t_{1В} = \pm 3^\circ\text{C}$ та $\Delta t_{2В} = \pm 2^\circ\text{C}$.

Вираження (1.4.2) і (1.4.3) застосовні для діапазонів $Q_{1н} = 450-4150$ кг випаруваної вологи в годину і $p_k = 0,32 + 1,18$ МПа.

На діючому підприємстві ПАТ «Хорольський МКК ДП» витрата згущеного молока становить 990 - 1000 кг на годину, тиск гріючої пари на калорифер - 1,0 - 1,05 МПа, що дозволяє використовувати залежності (1.4.3) - (1.4.5) в даній роботі. (760 мм рт. ст. = 101325 Па)

У процесі досліджень виявлено фактори, які впливають на основний показник якості готової продукції - вологість сухого молока. Показано, що керування сушильної установкою, що складається з калорифера для підігріву повітря до 160-180 ° С і сушильної вежі, на об'єкті керування доцільно здійснювати за непрямим параметру - температурі повітря на виході сушильної вежі, як найбільш доступному параметру для контролю.

Системою автоматичного керування (САК) температура повітря на виході сушильної вежі повинна підтримуватися в межах 65-70 °С, тоді вологість готового продукту становитиме 3-3,2%.

При виробництві сухих молочних продуктів в розпилювальній сушильної установці необхідно забезпечити задану вологість готового продукту і продуктивність установки [20]. Задана продуктивність установки

зазвичай досягається регулюванням температури гарячого повітря, що надходить з калорифера. Підвищення температури повітря, що входить в сушильну камеру, обмежена небезпекою самозаймання сухого молока, зниження температури веде до збільшення витрати теплоносія на 1 тону випареної вологи. Зменшення витрати повітря також обмежена небезпекою самозаймання сухого молока, а підвищення витрати веде до збільшення втрат продукту.

Регулювання температури повітря на виході з сушильної вежі зміною витрати згущеного молока викликає необхідність автоматичного узгодження продуктивностей установок згущення і сушки. Зміна витрати згущеного молока, що подається на розпилювальну сушку, можна компенсувати шляхом регулювання температури повітря на вході в сушильну вежу - зміною тиску пари, що гріє. Для автоматичного узгодження продуктивностей установок згущення і сушки на ПАТ «Хорольський МКК ДП» застосовується схема, в якій використаний проміжний резервуар для зберігання згущеного молока, встановлений між апаратами згущення і сушки.

У цьому випадку зміна витрати згущеного молока, що подається з резервуара на розпилювальну сушку, не позначається на роботі установки для згущення молока. Про узгодженості продуктивностей установок згущення і сушки судять по зміні рівня молока в проміжному резервуарі. Якщо рівень молока не змінюється, то продуктивності узгоджені, якщо - знижується, то продуктивність установки для сушки більше, ніж продуктивність для згущення, і навпаки. Оператори за рівнем молока в проміжному резервуарі впливають документів як на продуктивність установки для згущення, так і на продуктивність установки для сушки.

Оцінка ефективності регулювання продуктивності сушарки зміною температури повітря на вході в сушильну вежу була проведена при одно-і двоступеневою сушінні згущеного молока [26-28]. Встановлено, що чим вища температура повітря на вході в сушильну камеру, тим нижче питома витрата теплоти у всьому діапазоні зміни масової частки вологи в кінцевому

продукті. Сушку молока до масової частки вологи 8 - 10% економічніше вести в розпилювальній сушарці, а до сушку продукту до масової частки вологи 4% - в віброконвективній сушарці.

У процесі розпилювальної сушки можлива зміна масової частки вологи в продукті на виході установки. Для усунення цих змін застосовується комплект приладів та пристроїв для стабілізації температури відпрацював теплоносія. Регулювання здійснюється шляхом зміни витрати продукту [3].

Режим роботи об'єкта регулювання визначається внутрішніми процесами, на характер яких впливають зовнішні впливи. В системі автоматичного керування частину зовнішніх впливів дає їй інформацію про завдання регулювання (корисні чи регулюючі впливи). Вони або виробляються регулятором, або задаються оператором.

1.4.2 Статистична обробка експериментальних даних вхідних і вихідних параметрів сушильної установки

На ПАТ «Хорольський МКК ДП» молочноконсервний комбінат" експериментальним шляхом отримані дані вхідних і вихідних параметрів процесів сушки молока і молочних продуктів в сушильній установці "Нема-500". Показання параметрів технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів реєструвалися через 3 хв. протягом 2,5 годин. Всього отримано 15 реалізацій.

Проведена статистична обробка експериментальних досліджень сушильної установки "Нема-500". Розраховані математичне сподівання, дисперсія, коефіцієнти кореляції, побудовані графіки вхідних і вихідних параметрів сушильної вежі (Рисунок. 1.4.1 - 1.4.6).

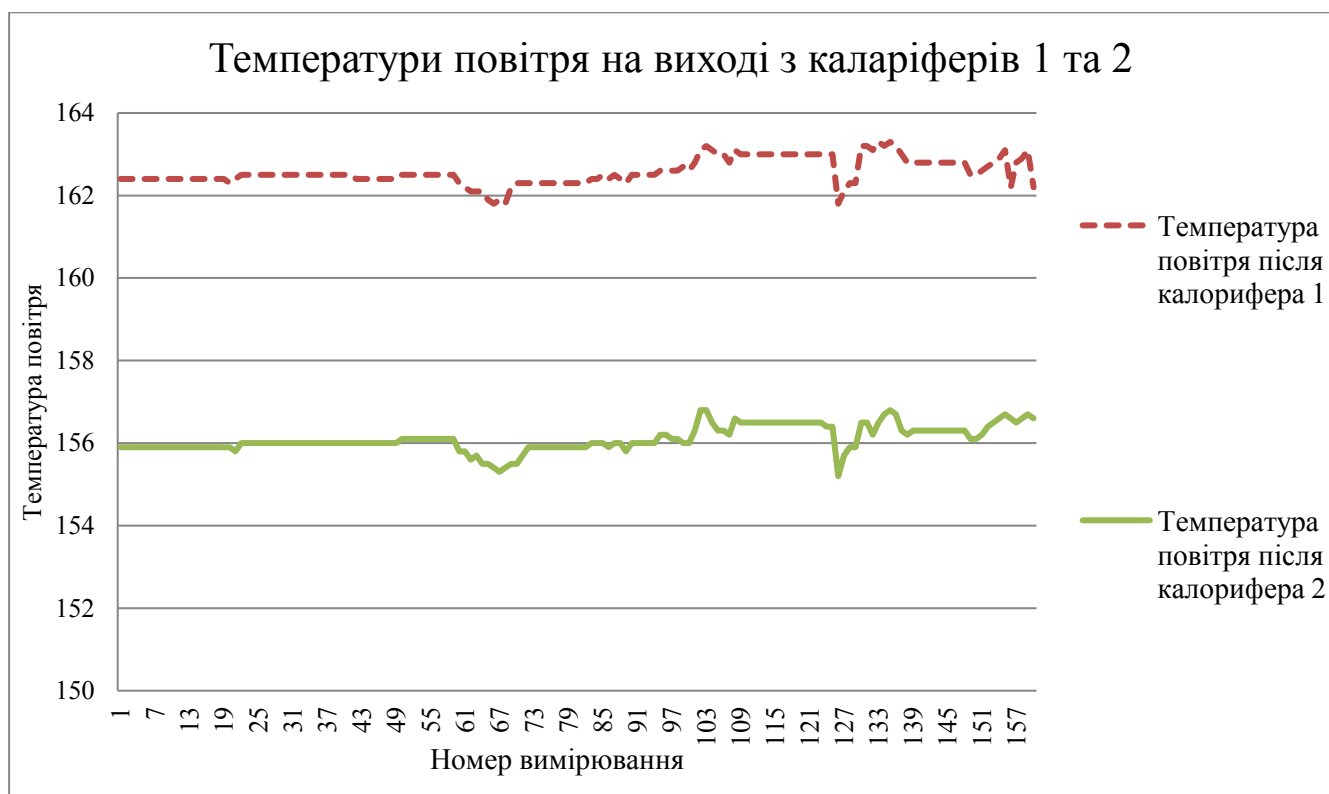


Рисунок 1.4.1 - Графіки температур повітря на виході з калориферів 1 та 2

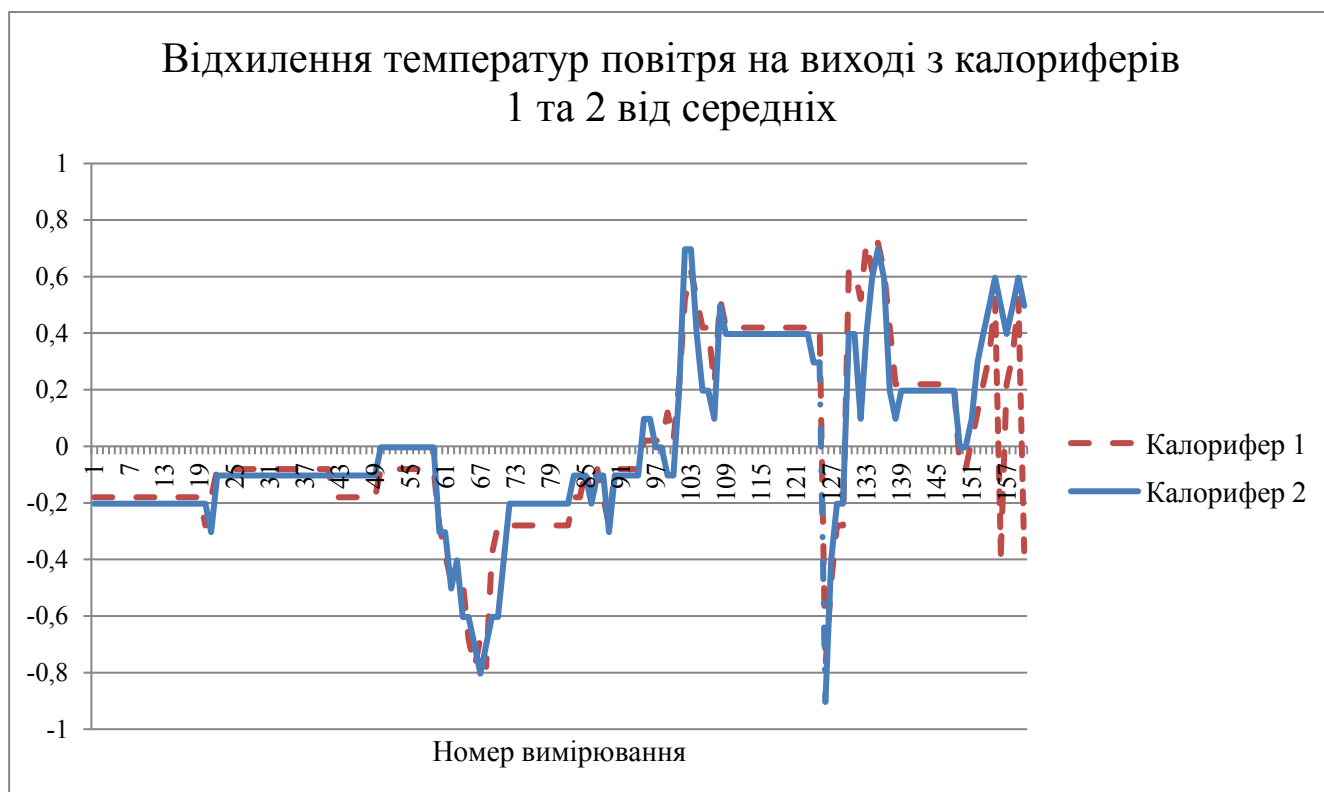


Рисунок 1.4.2 - Графіки відхилень температур повітря на виході з калориферів 1 та 2 від середніх

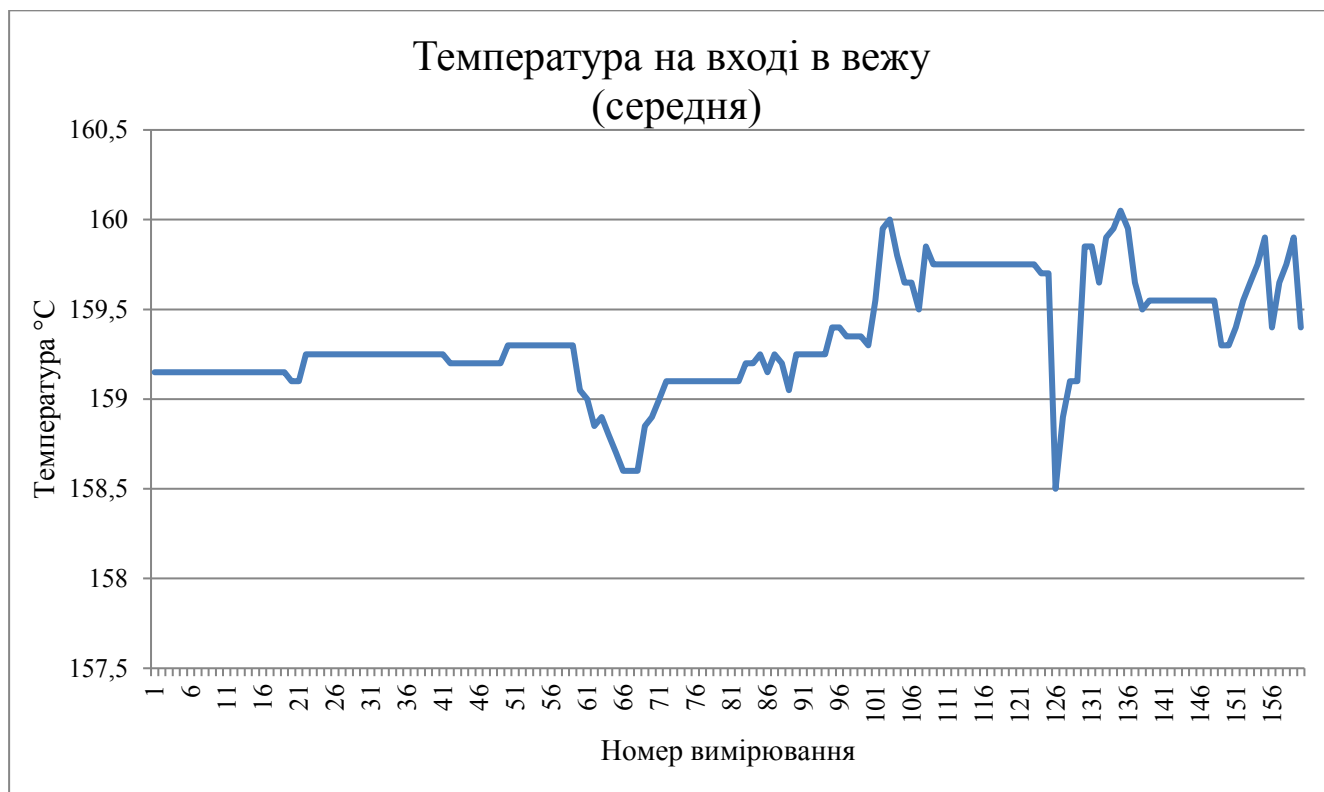


Рисунок 1.4.3 - Графік середньої температури повітря на вході в сушильну вежу



Рисунок 1.4.4 - Графік відхилень середньої температури повітря на вході в сушильну вежу від математичного очікування

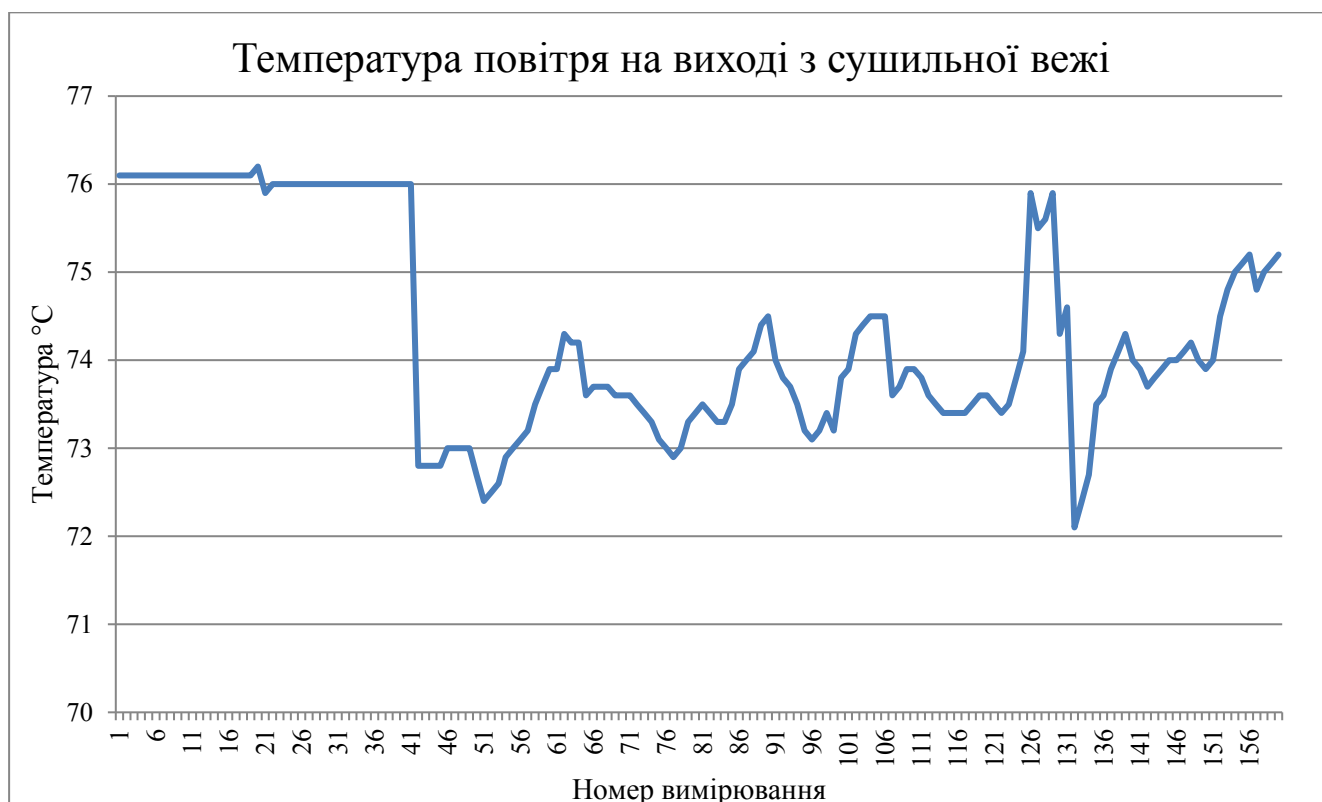


Рисунок 1.4.5 - Графік температури повітря на виході з сушильної вежі



Рисунок 1.4.6 - Графік відхилення температури повітря на виході сушильної вежі від математичного очікування

1.4.3 Структурна схема сушильної установки

На рисунку 1.4.7 наведені основні вхідні і вихідні параметри і впливи сушильної установки, що складається із сушильної вежі і двох калориферів.

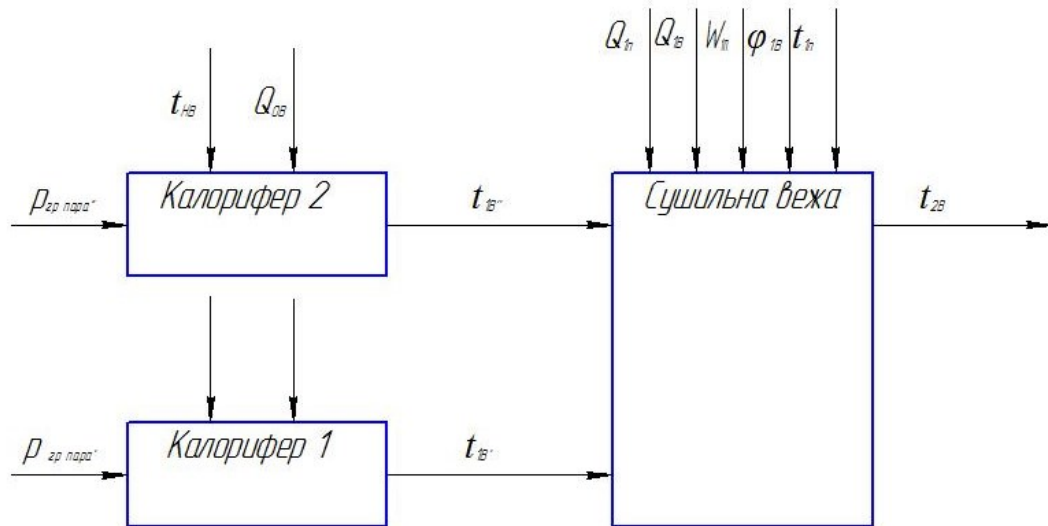


Рисунок. 1.4.7 Параметрична схема сушильної установки

Вхідними параметрами для калориферів є:

- тиск гріючої пари на вході в калорифери 1 і 2 - $p_{гр\ пара}'$ і $p_{гр\ пара}''$.

Вихідними параметрами для калориферів є:

- температура гарячого повітря на виході з калорифера 1 (вході в сушильну вежу) – $t_{г1}'$
- температура гарячого повітря на виході з калорифера 2 (температура гарячого повітря на вході в сушильну вежу) – $t_{г1}''$

Збурювальним параметрами для калориферів є:

- температура навколишнього (зовнішнього) повітря $t_{нв}$;
- витрата навколишнього повітря – $Q_{об}$.

Вхідними параметрами для сушильної вежі є:

- температура, витрата, вологість гарячого повітря на вході в сушильну вежу - $t_{г1}'$, $t_{г1}''$, $Q_{г1}$, $\varphi_{г1}$;
- температура, витрата, вологість згущеного молока на вході в сушильну вежу – $t_{п1}$, $Q_{п1}$, $\varphi_{п1}$;

– тиск пари на парову турбіну - $p_{\text{пара на турбину}}$;

Вихідним параметром для сушильної вежі є:

– температура повітря на виході з сушильної вежі – $t_{2В}$.

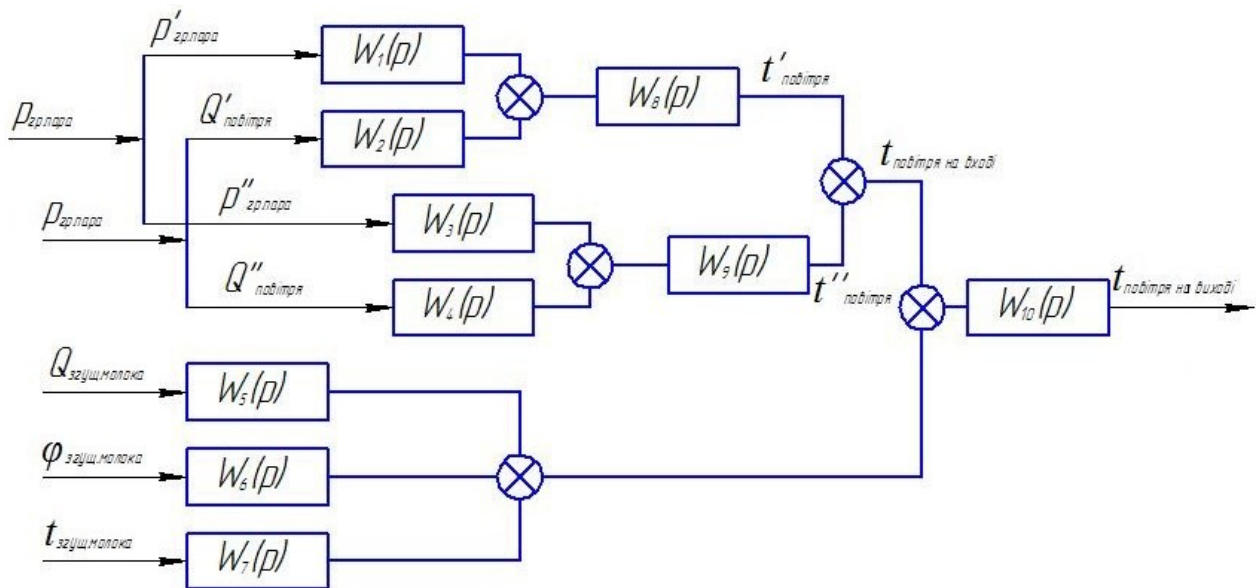


Рисунок 1.4.8 - Структурна схема сушильної установки як об'єкта керування

За результатами обстеження об'єкта керування побудована структурна схема сушильної установки, що дозволяє досліджувати динамічні характеристики об'єкта по каналах керувань і збурень (рисунок. 1.4.8).

На даному об'єкті керування виділимо керуючі впливи. Керуючими впливами можуть служити витрата згущеного молока, температура і витрата гарячого повітря. На ПАТ «Хорольський МКК ДП» проведені експериментальні дослідження керуючим впливом розглянутого об'єкта регулювання вибрана температура повітря на вході в сушильну вежу.

Інші параметри можна вважати збурюючими. Причому природа збурюючих впливів носить випадковий характер, тобто на об'єкт керування інтенсивно впливають неконтрольовані збурення, причому вони адитивні.

Тому в даному випадку доцільно все неконтрольовані збурення адитивно замінити одним еквівалентним вектором збурюючих впливів (рисунок. 1.4.9)

Аналіз об'єкта керування показав, що для підтримки вологості сухого молока і молочних продуктів в межах 3-3,2%, достатньо підтримувати температуру на виході з сушильної вежі на рівні 65-75 ° С, також необхідно, щоб вологість згущеного молока, що надходить в сушильну установку, перебувала в межах 58-52% вологи (42-48% по концентрації сухих речовин), а число обертів розпилового диска становила 8 тис. на хвилину. Даний діапазон температур дозволить підтримувати система автоматичного керування вологості готового продукту, в якій застосовується цифровий регулятор на базі мікропроцесорного контролера.

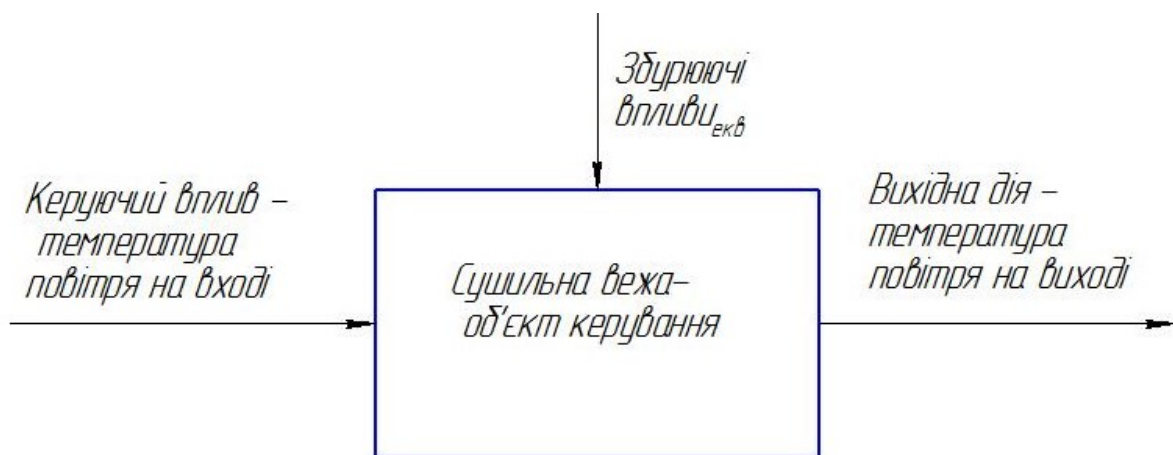


Рисунок 1.4.9 - Еквівалентна параметрична схема сушильної вежі

Аналіз роботи сушильної установки показав, що забезпечити статичне навантаження сушильної вежі досить проблематично, так як сировина, що надходить (згущене молоко) в сушильну вежу неоднорідне за кількістю та якістю (різної вологості і температури), а отже, в системі періодично виникають перехідні процеси (Рисунок. 1.4.10).

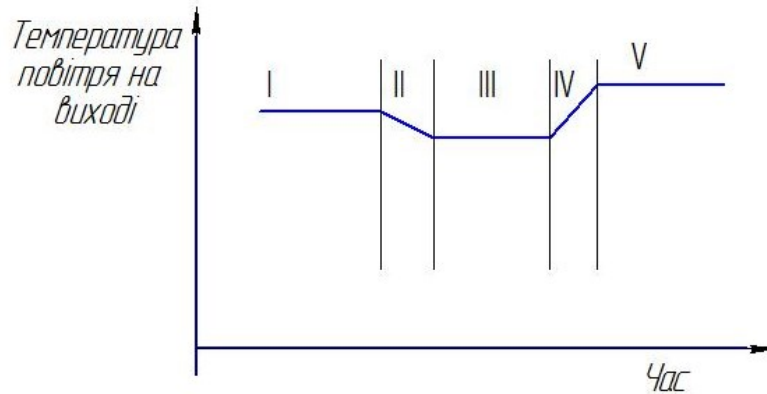


Рисунок 1.4.10 - Характерні ділянки технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів

Розглянемо характерні ділянки технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів:

- ділянка I - стаціонарний режим;
- ділянка II - підвищення вологості сухого продукту, що спричинило за собою зниження температури повітря на виході з сушильної вежі, і, як наслідок, зниження якості готової продукції і ринкової ціни на неї;
- ділянка III - стаціонарний режим;
- ділянка IV - зниження вологості сухого продукту, що спричинило за собою підвищення температури повітря на виході з сушильної вежі, і, як наслідок, втрати з - за вигорання готової продукції;
- ділянка V - стаціонарний режим.

1.5 Висновки за розділом та постановка задач дослідження та розроблення

На підставі проведеного аналізу сформульовані наступні задачі магістерської роботи:

1. Здійснити аналіз технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів, що здійснюється в розпилювальній сушильній установці, і виявити фактори, які суттєво впливають на якість готової продукції.

2. Розробити математичну модель керування розпилювальною сушильною установкою з урахуванням статичних і динамічних характеристик об'єкта.

3. На базі математичної моделі керування розпилювальною сушильною установкою провести імітаційне моделювання систем автоматичного керування (САК) параметрів технологічного процесу по каналах керування.

4. Розробити методи, способи і алгоритми ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, що забезпечують високу продуктивність розпилювальної сушильної установки за рахунок скорочення часу перехідних процесів, в умовах негативного впливу неконтрольованих збурюючих впливів.

5. Розробити автоматизовану систему ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів.

6. Оцінити економічну ефективність розробленої автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів.

1. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ МОЛОКА

2.1 Розробка математичної моделі об'єкта керування

За допомогою засобів обчислювальної техніки можна створювати моделі найрізноманітніших систем, опис яких може бути не пов'язаним з алгебраїчними або диференціальними рівняннями і зводиться до машинної імітації їх функціонування в алгоритмічній формі.

У цьому випадку має місце імітаційне моделювання, що полягає у відтворенні на ЕОМ поведінки керованої виробничої системи, складних технологічних комплексів і процесів, що не піддаються прямому експериментальному дослідженню або аналітичному рішенню. Для складання імітаційних моделей поряд з універсальними мовами програмування застосовують спеціалізовані алгоритмічні мови для ситуаційного опису об'єктів і алгоритмів моделювання.

При розробці автоматизованої системи керування процесом сушки молока і молочних продуктів в розпилювальних сушильних установках необхідно забезпечити задану вологість продукту і продуктивність установки. При автоматизованому керуванні сушильної установкою можна виділити два основних регульованих параметра: вологість готового продукту на виході з сушильної вежі і температуру гарячого повітря на виході з калорифера.

У процесі виробництва сухих молочних продуктів значення параметрів технологічного процесу можуть змінюватися, викликаючи відхилення від нормального режиму (регламенту). Підтримання параметрів технологічного процесу в діапазоні заданих значень виконує система автоматичного керування (САК). У нашому випадку об'єктом керування є сушильна

установка, яка складається з сушильної вежі і калорифера для підігріву повітря.

Явище висушування вологих продуктів широко поширене в природі й у побуті. Звичайним носієм процесу сушки є повітря. Чим вища температура повітря і його швидкість, тим сушка протікає інтенсивніше.

У молочній промисловості для сушки застосовується чисте повітря. На відміну від випарювання, яке здійснюється під вакуумом, сушка ведеться здебільшого при атмосферному тиску. Волога при сушінні поглинається і вноситься повітрям. Кількість поглиненої повітрям вологи залежить від властивостей повітря і його здатності розчиняти водяні пари.

При конвективній сушці повітря не тільки поглинає і забирає вологу, але і одночасно є джерелом тепла, яке необхідно для того, щоб перетворити воду в пар. Ця двоїста роль повітря в якості вологопоглинача і теплоносія зумовлює побудова математичної моделі об'єкта керування [30, 2].

Для вибору оптимальної структури неоднорідних і нестационарних матеріальних потоків в технологічній системі молочного виробництва слід використовувати комплексну імітаційну модель виробництва, відтворюючи різні альтернативні варіанти на ЕОМ для оцінки їх оптимальності за виходом та якістю готової продукції, раціональністю використання сировини та оптимізації технологічних режимів.

Створення імітаційної моделі виробничої діяльності підприємства з відтворенням різних технологічних ситуацій, що виникають в процесі комплексної переробки сировини в заданий асортимент продукції, базується на таких основних принципах:

- адекватне відображення структури властивостей і особливостей комплексу технологічних процесів з можливістю варіювання параметрів відтворених процесів в досліджуваній області;
- максимальне використання апріорної інформації про об'єкт, що забезпечує можливу на етапі моделювання інформаційну розвантаження

оператора в процесі прийняття рішення з оптимальним розподілом функцій між людиною і машиною;

- гнучкість і самоорганізація моделі з можливістю поновлення, доповнення та ускладнення виконуваних функцій;

- реалізація моделі на ЕОМ за допомогою пакету або системи прикладних програм з багаторівневою, ієрархічною модульною структурою керування сукупністю модулів, кожен з яких здійснює закінчену перетворення інформації [31].

Процес сушки молока і молочних продуктів здійснюється в сушильній установці наступним чином [2].

Очищене свіже повітря з температурою t_0 і вологовмістом d_0 подається вентилятором 1 в калорифер 2, де при постійному вологовмісті підігрівається до температури t_1 і потім знизу надходить в сушильну вежу 3, всередині якої зверху на обертаючий розпилювальний диск 4 падає згущене молоко. Відпрацьоване повітря виходить із сушильної вежі з параметрами t_2 і d_2 .

Складемо рівняння матеріального балансу процесу сушіння:

$$G_H = G_K + U,$$

(2)

.1.1)

де G_H - кількість вологого матеріалу, що подається в сушарку з початковою вологістю W_H (%), кг/с;

G_K - кількість сухого матеріалу, що виходить із сушарки з кінцевою вологістю W_K (%), кг/с;

U - кількість видаленої з матеріалу води, кг/с.

Інше рівняння матеріального балансу можна написати, скориставшись тим, що кількість сухої речовини в матеріалі під час сушіння не змінюється.

$$G_H \left(1 - \frac{W_H}{100}\right) = G_K \left(1 - \frac{W_K}{100}\right). \quad (2)$$

.1.2)

Комбінуючи (2.2.1) і (2.2.2), отримаємо кількість вологи, що видаляється

$$U = G_H \frac{W_H - W_K}{100 - W_K},$$

чи

$$U = G_K \frac{W_H - W_K}{100 - W_H}. \quad (2)$$

.1.3)

Склавши вхідні та вихідні кількості, отримаємо

$$L + Ld_0 \cdot 10^{-3} + G_H = L + Ld_2 \cdot 10^{-3} + G_K, \quad (2.1.4)$$

чи

$$G_H - G_K = L(d_2 - d_0) \cdot 10^{-3}.$$

Звідки з урахуванням (2.1.1) кількість вологи, що видаляється дорівнює

$$U = L \frac{d_2 - d_0}{1000}, \quad (2)$$

.1.5)

а кількість витрачаєного повітря дорівнює

$$L = U \frac{1000}{d_2 - d_0}. \quad (2)$$

.1.6)

Поділивши останнє рівняння на U, отримаємо

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \quad (2)$$

.1.7)

тут $l = \frac{L}{U}$ - питома витрата повітря в сушильній вежі - кількість сухого повітря, що витрачається на видалення з матеріалу 1 кг вологи.

Прийmemo наступні припущення [25]:

1. Сушильну вежу будемо розглядати як об'єкт із зосередженими параметрами.
2. Зміна температури повітря від T_1 на вході в сушильну вежу до T_2 на виході з неї відбувається за лінійним законом.
3. Згущене молоко перетворюється в сухе молоко протягом 1,5-2 секунди.

Складемо модель статичного технологічного процесу сушки молока на основі рівняння теплового балансу, причому можна зневажити втрати тепла в навколишнє середовище через стіни сушильної вежі, так як вони покриті шаром теплозахисної ізоляції [54].

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4,$$

де Q_1 - кількість теплоти, що віддається повітрям у сушильну вежу;

Q_2 - кількість теплоти, що віддається згущеним молоком у сушильну вежу згущеним молоком;

Q_3 - кількість теплоти, що отримується сухим молоком в сушильній вежі;

Q_4 - кількість теплоти, що уносить відпрацьоване повітря.

Причому,

$$Q_1 = L I_1 \quad (2.1.9)$$

$$Q_2 = G_H c_2 T_2 \quad (2.1.10)$$

$$Q_3 = G_K c_3 T_3 \quad (2.1.11)$$

$$Q_4 = L I_2 \quad (2.1.12)$$

де c_2 і c_3 - відповідно питома теплоємність згущеного та сухого молока (Дж/кг);

I_1 і I_2 - відповідно питома ентальпія вхідного і вихідного повітря (Дж/(кг °С));

T_2 і T_3 - відповідно температура вхідного і вихідного повітря.

Основне завдання сушки - видалення вологи з матеріалу, чому передуює попереднє перетворення цієї вологи в пар. На це витрачається значна частина теплоти повітря, що в рівнянні теплового балансу відображення не знайшло. Пара, що утворилася, несе в собі всю кількість теплоти, витраченої на його утворення, поглинається повітрям і теплоємності повітря в цьому процесі не змінюється.

Таким чином, рівняння теплового балансу прийме вид:

$$LI_1 + G_K c_2 T_2 = G_K c_3 T_3 + LI_2 \quad ($$

2.1.13)

Розв'язуючи рівняння (2.2.13) щодо T_3 , отримуємо рівняння статички технологічного процесу сушки молока

$$T_3 = \frac{L(I_2 - I_1)}{G_K c_3} - \frac{G_H c_2}{G_K c_3} \cdot T_2. \quad ($$

2.1.14)

Далі, переймаючись значеннями теплофізичних параметрів і варіюючи ними в допустимих межах (зокрема витрата згущеного молока може змінюватися від 450 до 1150 кг / год.) , можна побудувати сімейство статичних характеристик, що описують різні сталі режими сушильної вежі.

В даний час добре вивчені динамічні характеристики об'єктів регулювання стосовно поширених сушильних установок "Нема - 500", що включають в себе сушильну вежу і калорифер, по каналах:

– "витрата згущеного молока - температура повітря на виході з сушильної вежі";

– "тиск гріючої пари на вході в калорифер (паровий) - температура повітря на виході з калорифера".

Практично не дослідженими є динамічні характеристики сушильної вежі, як об'єкта регулювання та керування по каналах:

- "витрата повітря на вході в сушильну вежу - температура повітря на виході з сушильної вежі";
- "температура повітря на вході в сушильну вежу - температура повітря на виході з сушильної вежі";
- "вологість згущеного молока - температура повітря на виході";
- "температура згущеного молока - температура повітря на виході".

Тому в магістерській роботі проводилися дослідження на реально діючому об'єкті - сушильній установці "Нема-500" ПАТ «Хорольський МКК ДП». В результаті отримані перехідні характеристики об'єкта керування за різними каналами (Рисунок. 2.1.1-2.1.4), які використовувалися надалі для налаштування параметрів типових регуляторів.

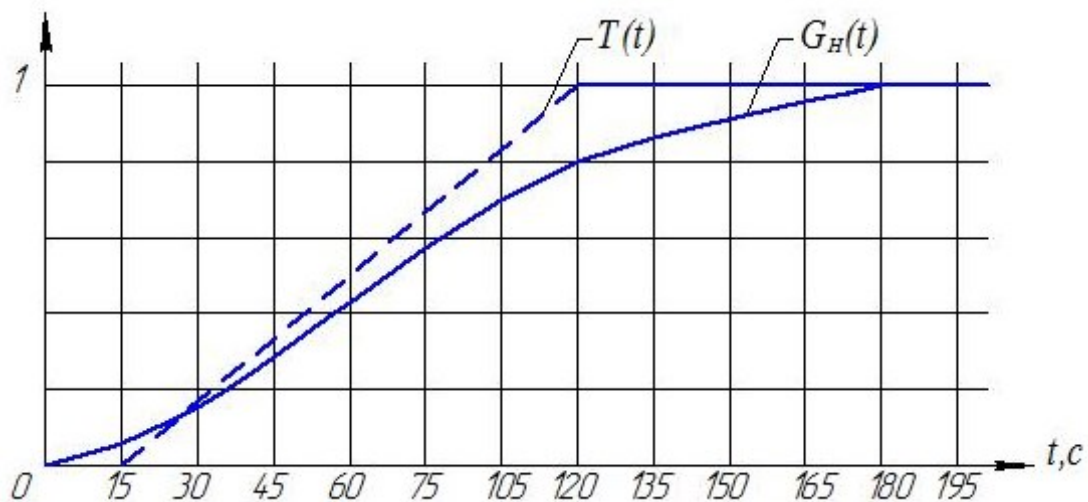


Рисунок 2.1.1 - Перехідна функція сушильної вежі по каналу "витрата згущеного молока - температура повітря на виході з сушильної вежі"

З графіка 2.1.1 видно, що час запізнювання для сушильної вежі по даному каналу $\tau_3 = 15$ с, постійна часу $T = 105$ с.

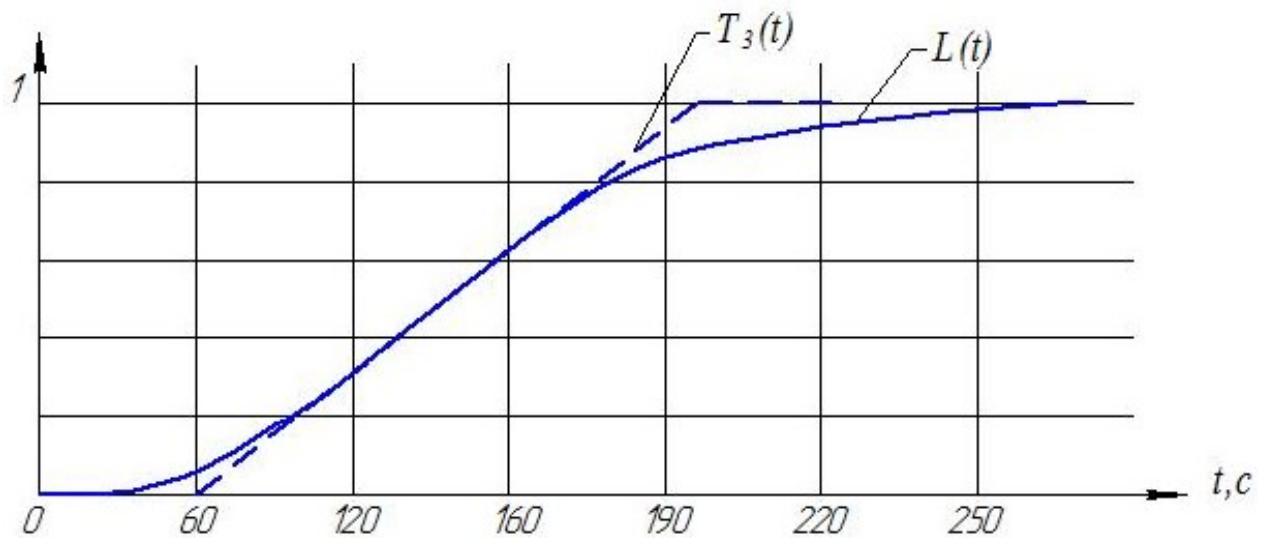


Рисунок 2.1.2 - Перехідна функція сушильної вежі по каналу "витрата повітря на вході в сушильну вежу - температура на виході з сушильної вежі"

З графіка 2.1.2 видно, що час запізнювання для сушильної вежі по даному каналу $\tau_3 = 60$ с, постійна часу $T = 192$ с.

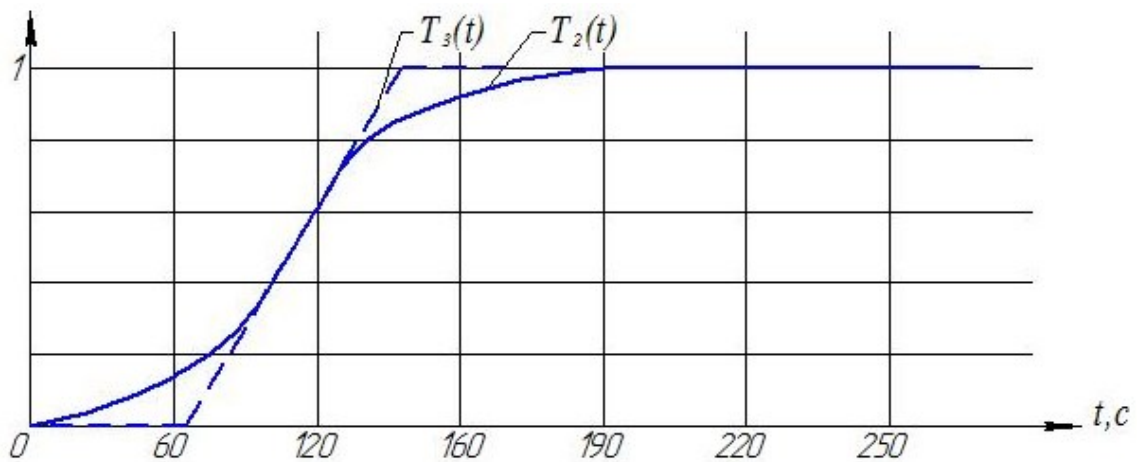


Рисунок 2.1.3 - Перехідна функція сушильної вежі по каналу "температура повітря на вході в сушильну вежу - температура на виході з сушильної вежі"

З графіка 2.1.3 видно, що час запізнювання для сушильної вежі по даному каналу $\tau_3 = 65$ с, постійна часу $T = 90$ с.

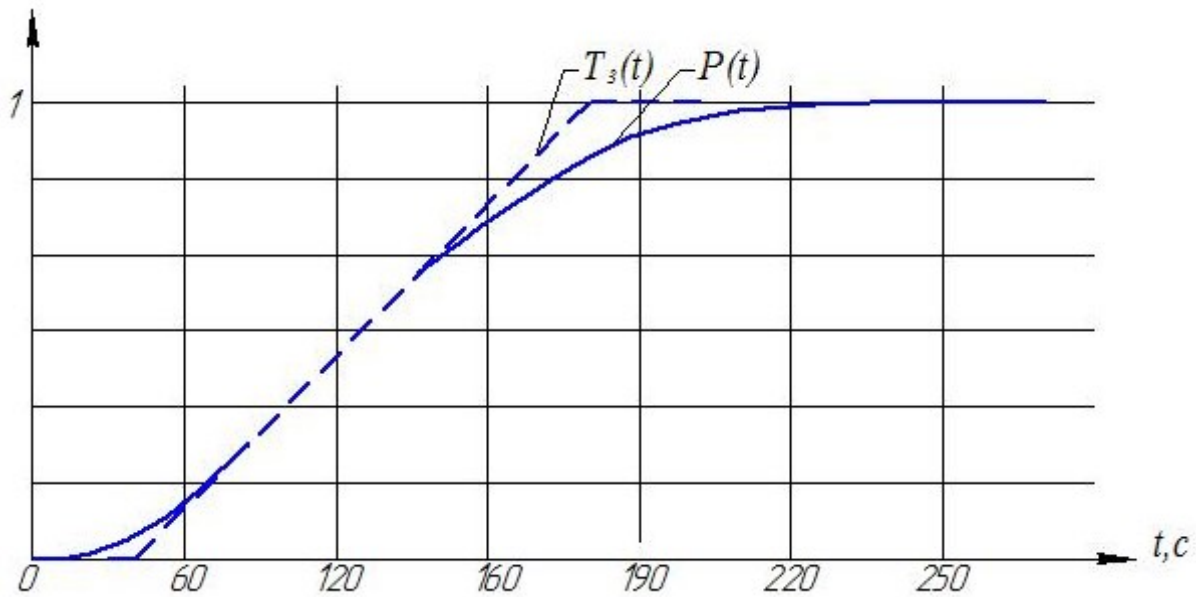


Рисунок 2.1.4 - Перехідна функція калорифера по каналу "тиск гріючої пари на вході в калорифер - температура повітря на виході з калорифера"

З графіка 2.1.4 видно, що час запізнювання для сушильної вежі по даному каналу $\tau_3 = 40$ с, постійна часу $T = 180$ с.

На даному етапі немає практичної можливості проводити дослідження по каналах "вологість згущеного молока - температура повітря на виході" і "температура згущеного молока - температура повітря на виході", так як впливати на параметри вологості і температуру згущеного молока досить складно.

Для розробки динамічної моделі сушильної вежі представимо рівняння теплового балансу у вигляді:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вих}}(t - \tau),$$

(2.1.15)

де $\frac{dQ(t)}{dt} = V\rho c \frac{dT_3(t)}{dt}$ - зміна кількості тепла в об'ємі сушильної вежі, причому:

V - об'єм сушильної вежі, м^3 ;

ρ - щільність суміші всередині сушильної вежі, $\text{кг} / \text{м}^3$;

c - питома теплоємність суміші всередині сушильної вежі, $\text{Дж} / \text{кг}$;

τ - постійна часу транспортного запізнювання, (с).

Розкриваючи праву частину рівняння, отримаємо диференціальне рівняння першого порядку

$$Vpc \frac{dT_3(t)}{dt} + G_K c_3 T_3(t) = L(I_1 - I_2) + G_H c_2 T_2(t - \tau).$$

(

2.1.16)

Позначивши Vpc через k_1 , $G_K c_3 - k_2$, $G_H c_2 - k_3$, $L(I_1 - I_2) - k_0$, подамо рівняння (2.1.17) таким чином:

$$k_1 \frac{dT_3(t)}{dt} + k_2 T_3(t) = k_0 + k_3 T_2(t - \tau).$$

(2.1.17)

Рівняння (2.1.17) являє собою динамічну модель сушильної вежі.

Приведемо рівняння (2.1.17) до стандартного виду, для чого скористаємося наступними позначеннями:

$$T = k_1/k_2; K_{об} = k_3/k_2;$$

(2.1.18)

$$y(t) = T_3(t) - k_0/k_2; u(t - \tau) = T_2(t - \tau).$$

(2.1.19)

З урахуванням позначень (2.1.18) і (2.1.19) рівняння об'єкта (2.1.17) приймає вид

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_{об} u(t - \tau).$$

(2.1.20)

На підставі рівняння (2.1.20), яке встановлює взаємозв'язок між вхідним $u(t)$ і вихідним $y(t)$ сигналами об'єкта, отримаємо передавальну функцію об'єкта (сушильної вежі) по каналу керування

$$W_{об}(s) = K_{об} \frac{e^{-\tau s}}{1+Ts}.$$

(2.1.21)

2.2 Імітаційні моделі САК вологістю сухого молока по каналах керування

З використанням математичної моделі об'єкта розраховані параметри настроювання типових регуляторів і проведені дослідження імітаційних моделей системи контролю і керування процесом сушки молока з використанням SCADA-системи Trace Mode.

Імітаційна модель сушильної установки у складі сушильної вежі і калорифера розроблена в SCADA-системі TRACE MODE.

Для побудови імітаційної моделі використані наступні ланки:

1. ланка PID (PID)
2. модель об'єкта (OBJ)
3. запізнювання (LTN)
4. (CALC) - обчислення налаштувань ПІД-регулятора за параметрами об'єкта
5. додавання (+2)
6. віднімання (-)
7. Sfloat - блок для відображення отриманої інформації, який дозволяє переглядати значення трьох аналогових змінних у вигляді тренду. Глибина відображення становить 24 такту. Входи IN1, IN2 і IN3 призначені для введення контрольованих значень. Вхід MIN задає мінімальну межу відображуваного діапазону, а MAX-максимальну.

Для налагодження ПІД-регулятора, тобто розрахунків його коефіцієнтів, використаний блок CALC.

Цей блок розраховує коефіцієнти ПІД-регулятора на основі динамічних характеристик об'єктів регулювання, як аперіодичної ланки першого порядку з запізненням.

Розрахуємо налагодження регулятора для сушильної вежі і побудуємо імітаційні моделі за наступними каналами:

1. Витрата згущеного молока - температура повітря на виході.

Для цього в блок CALC підставляємо такі значення:

$$K_m = 0,065$$

$$N_m = 3$$

$$T_m = 21$$

$$Reg = 0,$$

де K_m - коефіцієнт підсилення моделі об'єкта; T_m - постійна часу моделі об'єкта; N_m - час запізнювання моделі об'єкта; Reg - вибір типу регулятора. Коефіцієнт масштабування для T_m і N_m дорівнює 5. Так як для регулювання вибраний ПІ-регулятор, то $Reg = 0$.

Результати обчислення блоку CALC такі:

$$K_p = 56,8; K_i = 4,6$$

Однак на практиці обчислювальний блок CALC дає лише наближені значення, тому оптимальні налаштування регулятора виглядають наступним чином:

$$K_p = 22; K_i = 1$$

У блок OBJ підставляємо ті ж значення, що і в блок CALC. Отримано:

$$K = 0,065; T = 21; N = 3.$$

Імітаційна модель замкненої СК з об'єктом регулювання по каналу "витрата згущеного молока - температура повітря на виході з сушильної вежі" показана на рисунку 2.2.1.

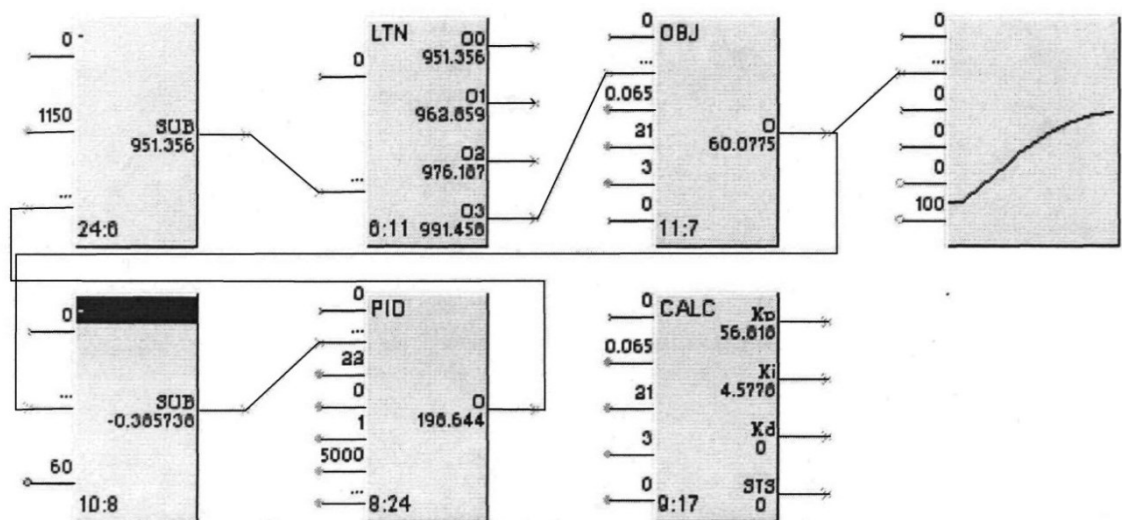


Рисунок 2.2.1 - Імітаційна модель замкненої СК сушильної вежі по каналу "Витрата згущеного молока - температура повітря на виході"

2. Витрата гарячого повітря - температура повітря на виході. У блок CALC підставляємо такі значення:

$$K_m = 0,8$$

$$H_m = 6$$

$$T_m = 19,2$$

$$Reg = 0,$$

Коефіцієнт масштабування для T_m і H_m дорівнює 10.

Результати обчислення блоку CALC:

$$K_p = 1,5$$

$$K_i = 0,09$$

Імітаційна модель замкненої СК показана на малюнку 2.2.2.

3. Температура гарячого повітря - температура повітря на виході.

У блок CALC підставляємо такі значення:

$$K_m = 0,2$$

$$H_m = 13$$

Коефіцієнт масштабування для T_m і H_m дорівнює 5.

Результати обчислення блоку CALC:

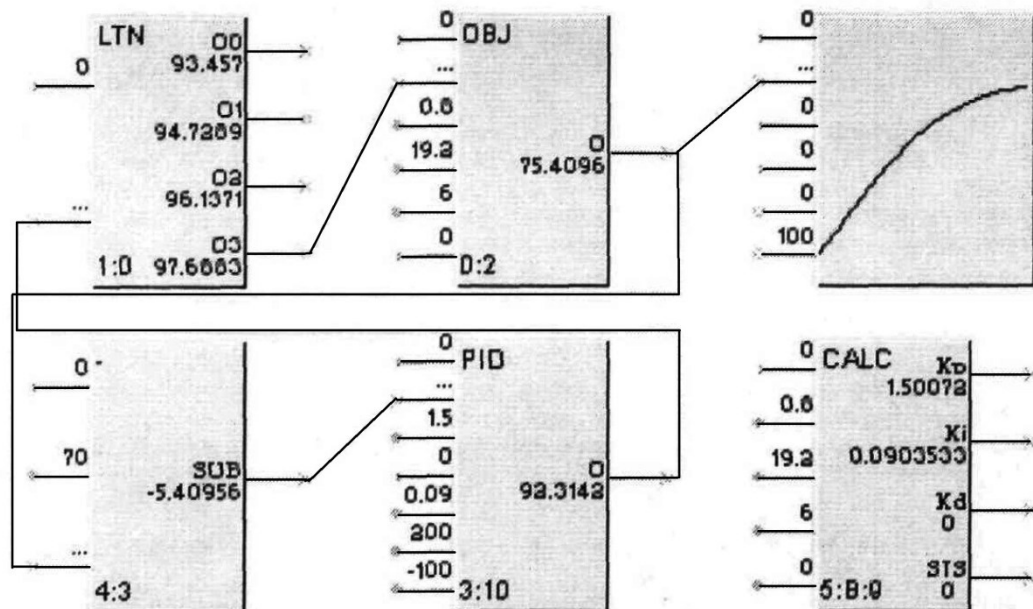


Рисунок 2.2.2 - Імітаційна модель замкненої СК сушильної вежі по каналу "Витрата гарячого повітря на вході в сушильну вежу - температура повітря на виході з сушильної вежі"

$$K_p = 2,51; K_i = 0,129.$$

Враховуючи неточність обчислення, оптимальні налаштування регулятора виглядають наступним чином:

$$K_p = 4; K_i = 0,5.$$

Імітаційна модель замкненої СК об'єкта регулювання по каналу "температура гарячого повітря на вході в сушильну вежу - температура повітря на виході з сушильної вежі" показана на рисунку 2.2.3.

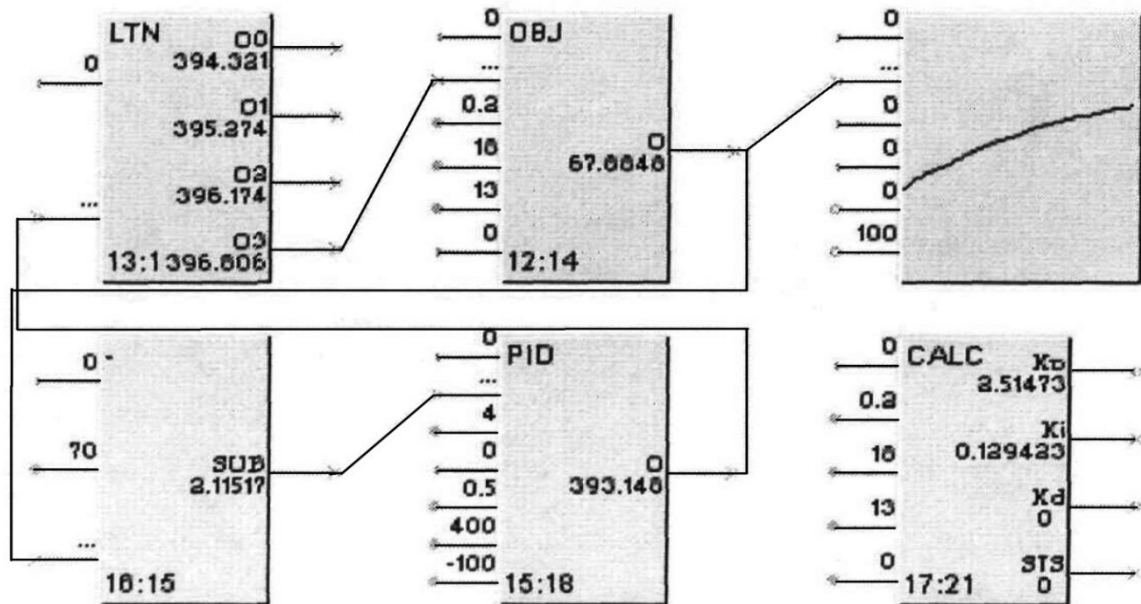


Рисунок 2.2.3 - Імітаційна модель замкненої СК сушильної вежі по каналу "температура гарячого повітря - температура повітря на виході"

Тепер розрахуємо налаштування регулятора для калорифера по каналу "тиск пари, що гріє - температура повітря на виході з калорифера" і побудуємо імітаційну модель.

У блок CALC підставляємо такі значення:

$$K_m = 34$$

$$H_m = 4$$

$$T_m = 18$$

$$Reg = 0,$$

Коефіцієнт масштабування для T_m і H_m дорівнює 10.

Результати обчислення блоку CALC наступні:

$$K_p = 0,055$$

$$K_i = 0,0041$$

В даному випадку розрахунки обчислювального блоку CALC виявилися більш точними. Оптимальні налаштування регулятора виглядають наступним чином:

$$K_p = 0,06$$

$$K_i = 0,004$$

Імітаційна модель замкненої СК об'єкта регулювання (калорифера) по каналу "тиск пари, що гріє - температура повітря на виході з калорифера" показана на рис. 2.2.4.

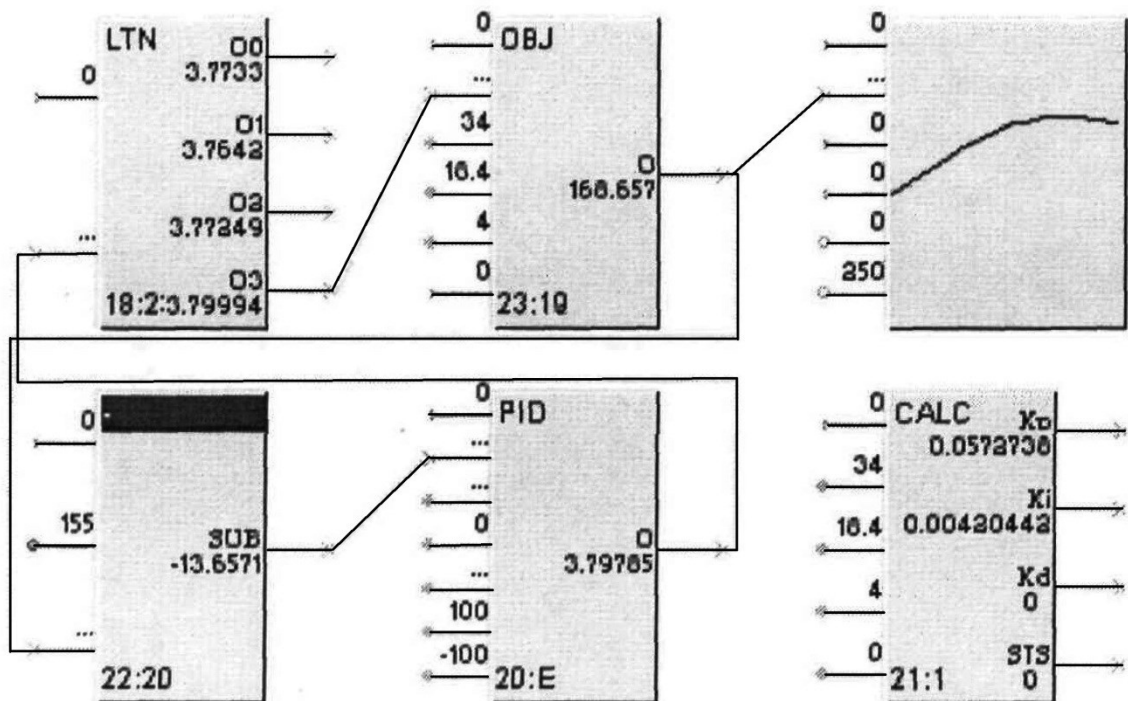


Рисунок 2.2.4 - Імітаційна модель замкненої СУ по каналу "тиск пари, що гріє - температура повітря на виході з калорифера»

Аналізуючи результати отриманих досліджень, приходимо до висновку, що по каналу "витрата згущеного молока - температура на виході з сушильної вежі" час, за який система переходить у стійкий стан – найменший, в порівнянні з трьома іншими каналами. Однак управляти витратою згущеного молока досить проблематично. Тому в даній САК пропонується за керуючий вплив прийняти тиск пари, що гріє в калорифері,

який непрямим чином пов'язаний з температурою повітря на вході в сушильну вежу.

Вид перехідних функцій дає змогу зробити висновок, що сушильна вежа і калорифер, як об'єкти регулювання, являють собою ланки, близькі до аперіодичної ланки другого порядку. З достатньою для практичних завдань точністю дані об'єкти можуть бути апроксимовані ланкою чистого запізнювання і аперіодичною ланкою першого порядку, що видно також з виразу (2.1.1).

Аналіз показує, що передавальна функція системи $W_{y_{зд}y}(s)$ по каналу керування температурою повітря $y(t) = t_{2B}(t)$ на виході з сушильної вежі визначається рівністю

$$W_{y_{зд}}(s) = W_{y_{зд}}(s)W_{\mu y}(s),$$

(

2.2.1)

де $\mu(t) = t_{IB}(t)$, а

$$W_{y_{зд}\mu}(s) = K_1 \frac{e^{-\tau_1 s}}{1+T_1 s}; W_{\mu y}(s) = K_2 \frac{e^{-\tau_2 s}}{1+T_2 s},$$

(2.2.2.)

причому

$$K_1 = 1,25, \tau_1 = 40 \text{ с}, T_1 = 180 \text{ с};$$

(2.2.3)

$$K_2 = 1,34, \tau_2 = 65 \text{ с}, T_2 = 90 \text{ с}.$$

(2.2.4)

Беручи до уваги вирази (2.2.1) - (2.2.4) встановимо, що

$$W_{06}(s) = W_{y_{зд}y}(s) = K_{06} \frac{e^{-\tau s}}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)},$$

(2.2.5)

$$\text{де } K_{06} = K_1 K_2 = 1,675; \tau = \tau_1 + \tau_2 = 105 \text{ с}.$$

(2.2.6)

Вираз (2.2.5) і рівності (2.2.3), (2.2.4), (2.2.6) були використані при розрахунках параметрів налагодження ПІД-регулятора, застосовуваного при керуванні температурою повітря $y(t)$ на виході з сушильної вежі. Параметри налагодження такі:

$$K_p = 1,170; \quad T_{\text{и}} = 199,5 \text{ с}; \quad T_{\text{д}} = 63,50 \text{ с.} \quad (2.2.7)$$

2.3 Перевірка адекватність моделі

Оскільки значення параметрів $K_{\text{об}}$, T_1 , T_2 і τ передавальної функції об'єкта (2.2.3) визначалися експериментально, то при цьому завжди існують певні похибки, які бажано враховувати при розрахунках параметрів настройки регулятора, використовуюваного для керування процесом сушки молока.

Зважаючи на наявність вказаних похибок, значення параметрів об'єкта із заданою довірчою ймовірністю $P_{\text{дв}}$ належать наступним довірчим інтервалам:

$$|K_{\text{об}} - \tilde{K}_{\text{об}}| \leq \Delta K_{\text{об}}; \quad (2.3.1)$$

$$|T_1 - \tilde{T}_1| \leq \Delta T_1; \quad (2.3.2)$$

$$|T_2 - \tilde{T}_2| \leq \Delta T_2; \quad (2.3.3)$$

$$|\tau - \hat{\tau}| \leq \Delta \tau, \quad (2.3.4)$$

де $\Delta K_{об}$, ΔT_1 , ΔT_2 і $\Delta \tau$ - напівширина довірчого інтервалу для параметрів об'єкта $K_{об}$, T_1 , T_2 , і τ , а $\hat{K}_{об}$, \hat{T}_1 , \hat{T}_2 і $\hat{\tau}$ - експериментальні оцінки параметрів, задані рівностями.

$$\hat{K}_{об} = 1,675; \hat{T}_1 = 180 \text{ с}; \hat{T}_2 = 90 \text{ с}; \hat{\tau} = 105 \text{ с}.$$

2.3.5)

Оскільки реальні значення параметрів об'єкту з вірогідністю $P_{дв}$ належать довірчим інтервалам (2.3.1) - (2.3.4), то при використанні для розрахунків параметрів налаштування ПІД-регулятора передавальної функції

$$\hat{W}_{об}(s) = \frac{e^{-\hat{\tau}s}}{(1+\hat{T}_1s)(1+\hat{T}_2s)}.$$

2.3.6)

ліміт на величину відносного демпфірування (1.4.6) може порушуватися. Тому істинні значення параметрів об'єкта $K_{об}$, T_1 , T_2 і завжди відрізняються від отриманих оцінок $\hat{K}_{об}$, \hat{T}_1 , \hat{T}_2 і $\hat{\tau}$.

В роботі [45] показано, що при наявності довірчих інтервалів (2.3.1) - (2.3.4) можна уникнути порушень обмеження при розрахунку параметрів налаштування ПІД-регулятора до розташування домінуючих коренів характеристичного рівняння, якщо замість передавальної функції (2.3.6) використовувати передавальну функцію такого вигляду:

$$\tilde{W}_{об}(s) = \frac{(\hat{K}_{об} + \Delta K_{об})e^{-(\hat{\tau} + \Delta \tau)s}}{[1 + (\hat{T}_1 + \Delta T_1)s][1 + (\hat{T}_2 + \Delta T_2)s]}.$$

2.3.7)

Відзначимо, що в процесі експериментальних досліджень об'єкта було встановлено, що з довірчою ймовірністю $P_{дв} = 0,95$ прийняті наступні значення:

$$\Delta K_{об} / \hat{K}_{об} = 0,012; \quad (2.3.8)$$

$$\Delta T_1 / \hat{T}_1 = 0,008; \quad (2.3.9)$$

$$\Delta T_2 / \hat{T}_2 = 0,0085; \quad (2.3.10)$$

$$\Delta \tau / \hat{\tau} = 0,033. \quad (2.3.11)$$

Скориставшись рівностями (2.3.5) і (2.3.8) - (2.3.11) визначимо напівширину довірчих інтервалів

$$\Delta K_{об} = 0,0201; \quad (2.3.12)$$

$$\Delta T_1 = 14,4 \text{ с}; \quad (2.3.13)$$

$$\Delta T_2 = 7,65 \text{ с}; \quad (2.3.14)$$

$$\Delta \tau = 7,665 \text{ с}. \quad (2.3.15)$$

Скориставшись рівнянням (2.3.7), а також рівностями (2.3.5) і (2.3.12) - (2.3.15), в результаті розрахунку параметрів налаштування ПД-регулятора отримано:

$$K_p = 1,165 ; T_{II} = 215,2c ; T_D = 68,57 c, \quad ($$

2.3.16)

причому

$$m_{II} = 0,75 ; \eta = 0,005807 c^{-1}.$$

Щоб оцінити ефективність застосованого методу обліку похибок математичного опису об'єкта допустимо, що належать довірчим інтервалам (3.3.1) - (3.3.4) дійсні значення параметрів об'єкта змінюються, послідовно приймаючи такі значення:

1. На правих кінцях довірчих інтервалів:

$$K_{об} = \hat{K}_{об} + \Delta K_{об} = 1,6951; \quad ($$

2.3.17)

$$T_1 = \hat{T}_1 + \Delta T_2 = 194,4 c; \quad ($$

2.3.18)

$$T_2 = \hat{T}_2 + \Delta T_2 = 97,64 c; \quad ($$

2.3.19)

$$\tau = \hat{\tau} + \Delta\tau = 122,655 c. \quad ($$

2.3.20)

2. У центрі довірчих інтервалів:

$$K_{об} = \hat{K}_{об} = 1,675; \quad ($$

2.3.21)

$$T_1 = \hat{T}_1 = 180 c; \quad ($$

2.3.22)

$$T_2 = \hat{T}_2 = 90 \text{ c};$$

2.3.23)

$$\tau = \hat{\tau} = 105 \text{ c.}$$

2.3.24)

3. На лівих кінцях довірчих інтервалів:

$$K_{об} = \hat{K}_{об} - \Delta K_{об} = 1,6549;$$

2.3.25)

$$T_1 = \hat{T}_1 - \Delta T_1 = 1,6549 \text{ c};$$

2.3.26)

$$T_2 = \hat{T}_2 - \Delta T_2 = 82,35 \text{ c};$$

2.3.27)

$$\tau = \hat{\tau} - \Delta\tau = 97,335 \text{ c.}$$

2.3.28)

Показано, що з довірчою ймовірністю 0,95 відносна похибка ідентифікації об'єкта не перевищує 2,4%.

Визначимо тепер характеристики системи з ПД-регулятором, значення параметрів налаштування якого задані рівностями (2.3.15), і об'єктом з передавальною функцією, заданою виразом (2.2.1), причому параметри об'єкта приймають значення відповідно до наступних рівнянь: (2.3.17) - (2.3.20), (2.3.21) - (2.3.24) і (2.3.25) - (2.3.28).

У цьому випадку графіки АЧХ, що відповідають каналу передачі сигналів $u_{зд}(t) \rightarrow y(t)$, подані на Рисунок 2.3.1.

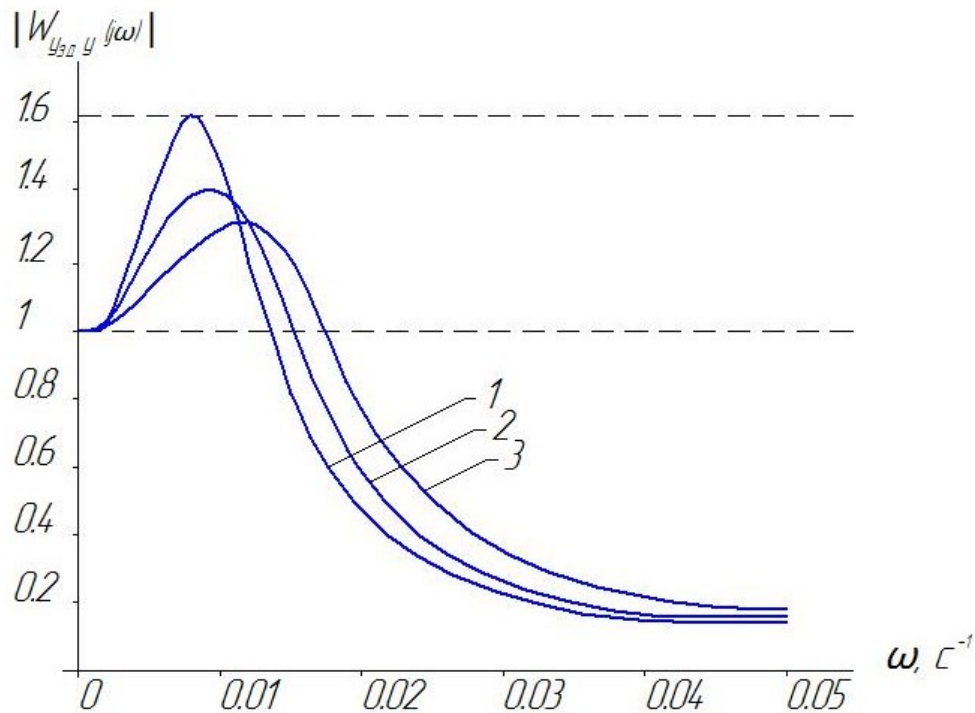


Рисунок 2.3.1 - АЧХ системи з ПД-регулятором, значення параметрів налагодження якого задані рівностями (2.3.15), а значення параметрів об'єкта - рівностями:

1 - (2.3.17) - (2.3.20); 2 - (2.3.21) - (2.3.24); 3 - (2.3.25) - (2.3.28).

Згідно Рисунок. 2.3.1 при зміні параметрів об'єкта всередині всіх довірчих інтервалів величина показника коливаче M не порушується, якщо значення параметрів настройки ПД-регулятора задані рівностями (2.2.7).

Однак, якщо значення параметрів настройки ПД-регулятора будуть задані рівностями (2.2.7), тобто вибираються без урахування ширини довірчих інтервалів (2.3.1) - (2.3.4), а лише на підставі отриманих оцінок параметрів об'єкта (2.3.5), то, як видно з графіків, поданих на Рисунок. 2.3.2, обмеження на величину показника коливальності M порушується.

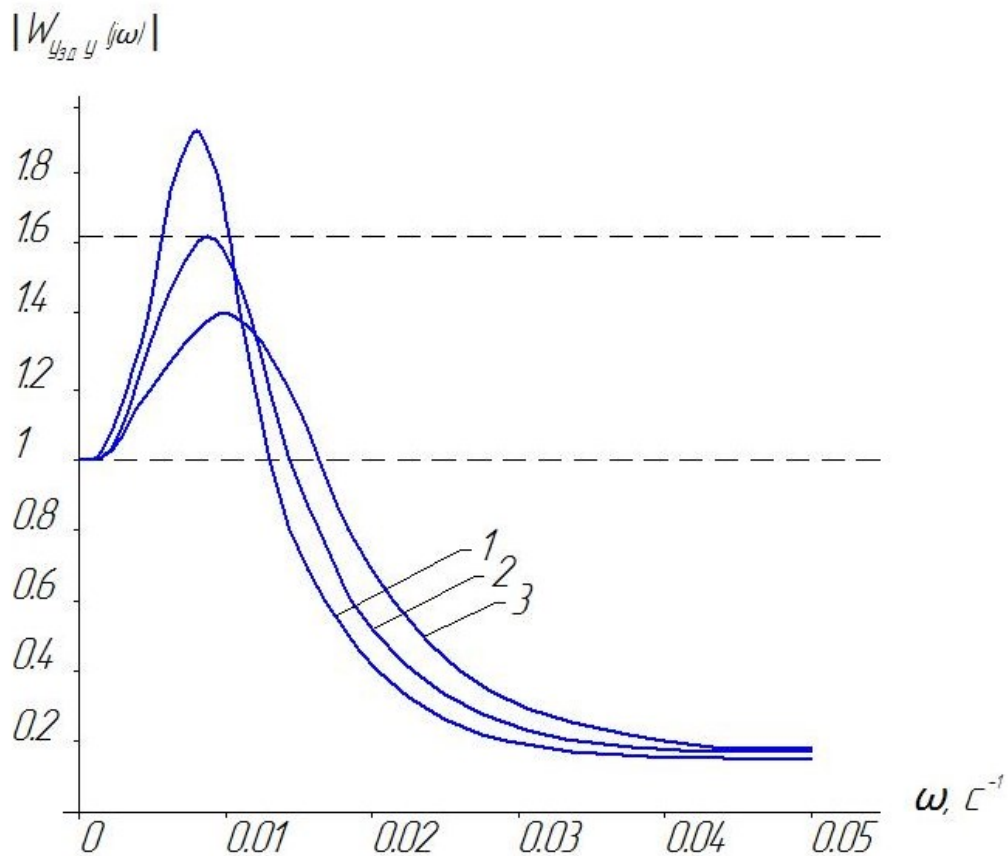


Рисунок 2.3.2 - АЧХ системи з ПД-регулятором, значення параметрів налагодження якого задані рівностями (2.3.11), а значення параметрів об'єкта-рівностями:

1 - (2.3.17) - (2.3.20); 2 - (2.3.21) - (2.3.24); 3 - (2.3.25) - (2.3.28).

У такому випадку порушується і обмежується на величину відносного демпфірування, що призводить до погіршення якості перехідних процесів, що виникають в системі.

Для ілюстрації цього явища розглянемо сімейство перехідних процесів (рис. 2.3.3) виникаючих на виході системи, при дії з боку її входу одиничного ступінчастого збурення. При цьому параметри об'єкта змінюються відповідно до рівностей (2.3.17) - (2.3.28), а параметри налаштування ПД-регулятора фіксовані і задані рівністю (2.2.7).

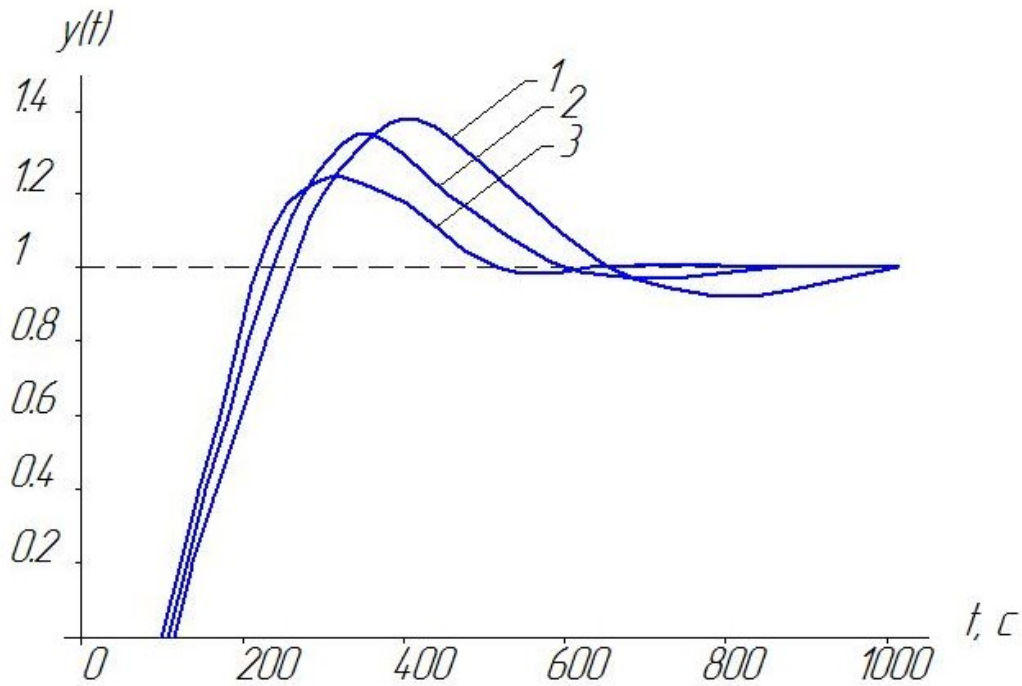


Рисунок 2.3.3 - Перехідні процеси в системі з ПД-регулятором, значення параметрів налагодження якого задані рівностями (2.3.15), а значення параметрів об'єкта-рівностями:

1 - (2.3.17) - (2.3.20); 2 - (2.3.21) - (2.3.24); 3 - (2.3.25) - (2.3.28).

У тому випадку, коли параметри налаштування ПД-регулятора задані рівністю (2.2.7), сімейство перехідних процесів, аналогічних тільки що розглянутим, наводиться на рисунку 2.3.4.

Зіставивши обидва сімейства перехідних процесів, представлених на рисунку 2.2.3 та 2.2.4, приходимо до висновку, що процес 1 на рисунку 2.2.4 є найгіршим в обох родин.

Отже, наявність неврахованих похибок математичного опису об'єкта призводить до погіршення якості керування технологічними процесами.

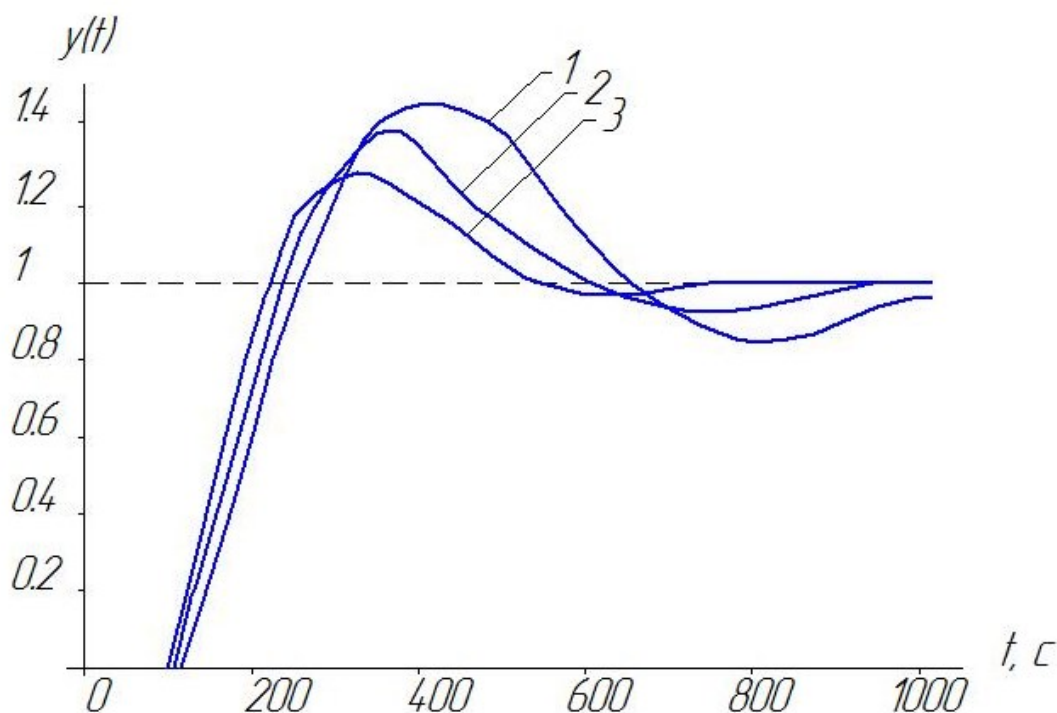


Рисунок 2.3.4 - Перехідні процеси в системі з ПД-регулятором, значення параметрів налаштування якого задані рівністю (2.2.7), а значення параметрів об'єкта - рівностями: 1 - (2.3.17) - (2.3.20); 2 - (2.3.21) - (2.3.24); 3 - (2.3.25) - (2.3.28).

2.4 Висновки за розділом

1. Розроблена математична модель на основі рівнянь матеріального і теплового балансу, що враховує статичні і динамічні характеристики процесу сушіння молока і молочних продуктів.
2. Проведено імітаційне моделювання САК параметрів технологічного процесу по каналах керування з використанням інструментальних засобів SCADA-системи Trace Mode.
3. Досліджена адекватність математичної моделі процесу сушки молока. Встановлено, що відносна похибка отриманих оцінок не перевищує 2,4%.

Графік перехідного процесу по каналу "температура повітря на вході температура повітря на виході" наведена на рисунку 3.1.2

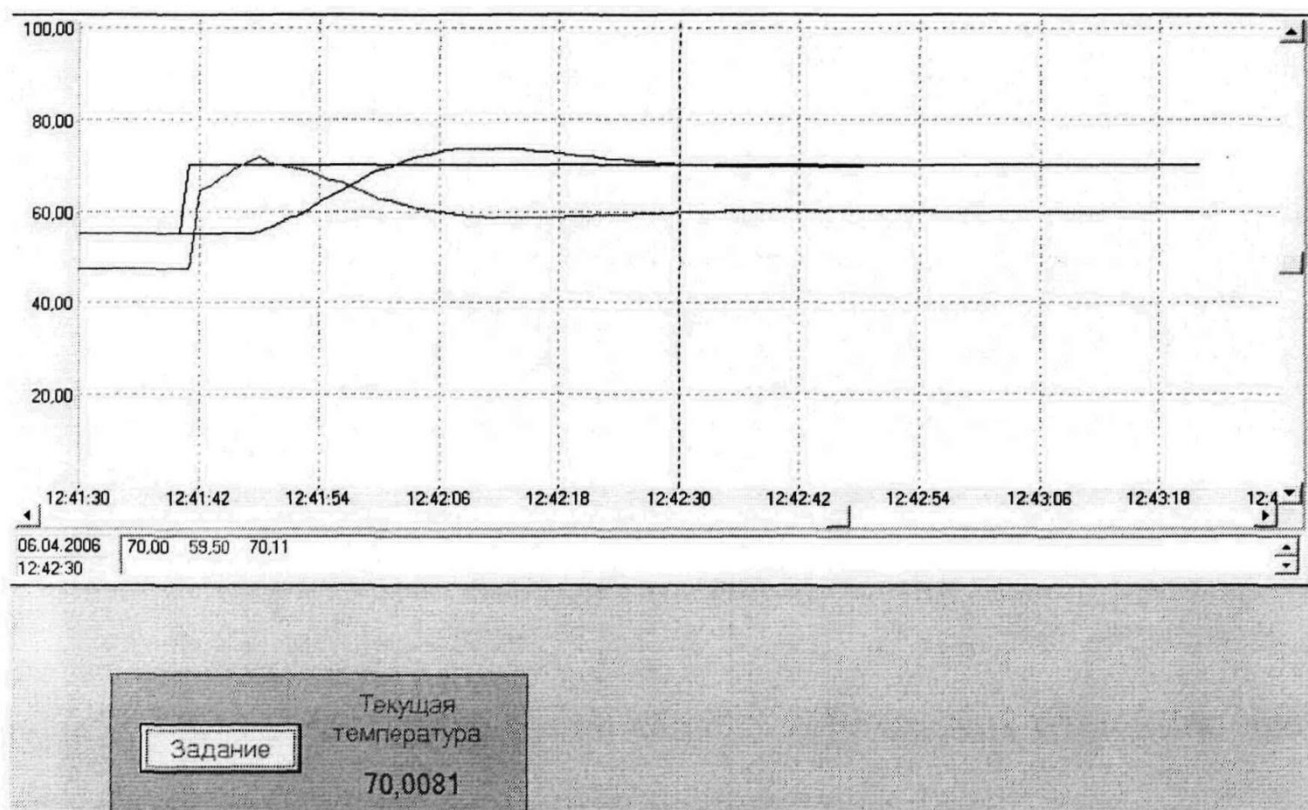


Рисунок 3.1.2 - Графік перехідного процесу по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході "

Показники якості керування.

- час перехідного процесу - 187 сек;
- перерегулювання - 27%;
- час запізнювання - 60 сек.

Застосування типових ПД - регуляторів не забезпечує необхідної якості регулювання температурою, а, отже, і якості готової продукції з-за інтенсивного впливу неконтрольованих збурень і інерційності об'єкта.

Для вирішення даної проблеми пропонується схему регулювання доповнити ланкою з передавальної функцією $W_{\text{екв}}$, що являє собою дві послідовно з'єднаних ланки: коригуючий пристрій з передавальною функцією $W_{\text{кор}}$ і компенсатор негативного впливу транспортного запізнювання з передавальної функцією $W_{\text{комп}}$ (рисунок. 3.1.3).

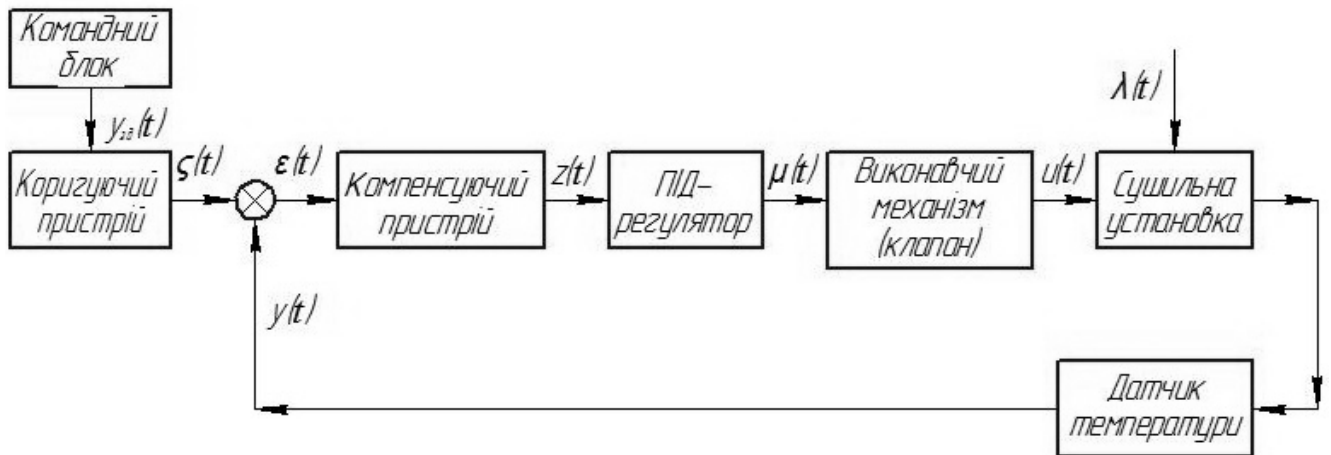


Рисунок 3.1.3 - Функціональна схема САК вологості молока з коригувальним пристроєм і компенсатором впливу транспортного запізнювання

Розглянемо метод корекції сигналу завдання, що полягає в синтезі коригуючого пристрої з функцією передачі. На рисунку 3.1.4 наведена функціональна схема САК з корекцією сигналу завдання.

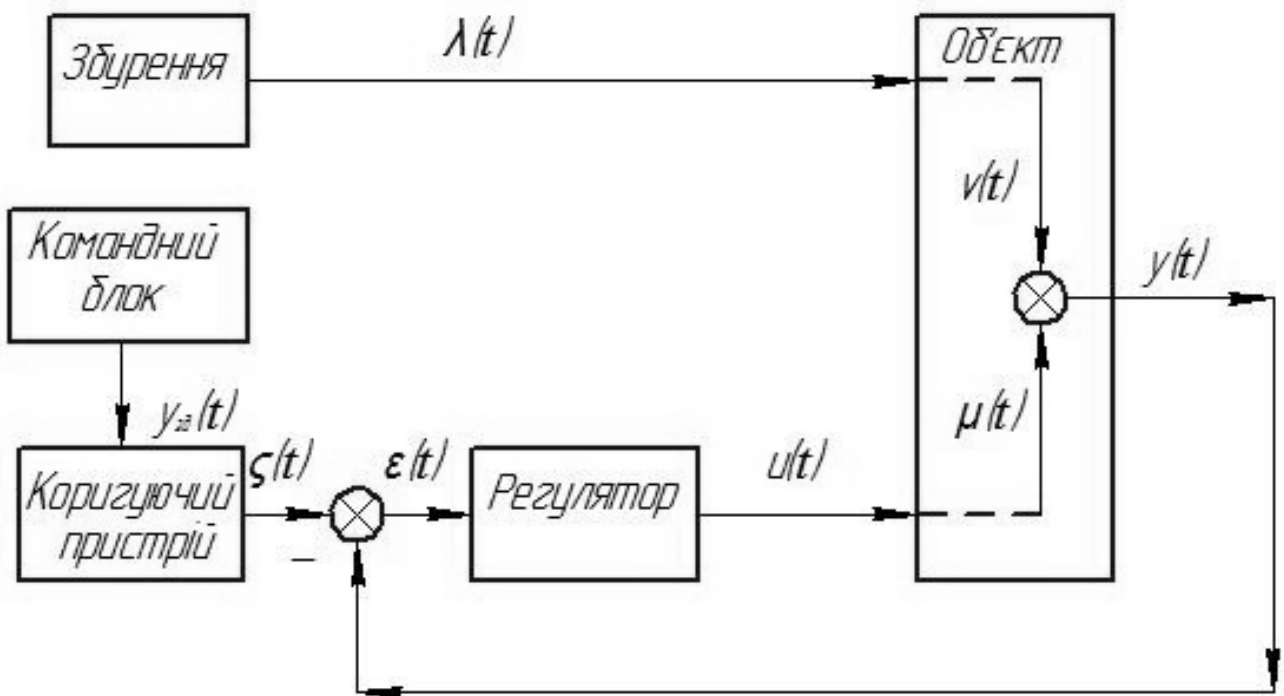


Рисунок 3.1.4 - Функціональна схема САК з корекцією сигналу завдання

Як видно з рисунку 3.1.4, сигнал $u_{зд}(t)$ надходить на вхід спеціального пристрою, званого коригувальним, який перетворює його в сигнал $\zeta(t)$, фактично виконуючий роль задаючого впливу.

Розглянемо метод синтезу передавальної функції коригувального пристрою $W_{кр}(s)$ з урахуванням розташування домінуючих полюсів системи керування.

Оскільки передавальна функція від входу до виходу, наведена на рисунку 3.1.3 системи, визначається виразом

$$W_{у_{зд}y}(s) = \frac{\tilde{y}(s)}{\tilde{y}_{зд}(s)} = W_{кр}(s) \frac{W_{об}(s)W_{пер}(s)}{1+W_{об}(s)W_{пер}(s)} \quad (3.1.1)$$

де $\tilde{y}(s)$ і $\tilde{y}_{зд}(s)$ - зображення по Лапласа сигналів $y(t)$ і $u_{зд}(t)$ відповідно, то передавальну функцію можна вибрати так, щоб її чисельник і домінуючі коріння замкненої системи взаємно скоротились [101-105]. Тоді в знаменнику передавальної функції (3.1.1) домінувати стануть коріння більш віддалені від уявної осі, ніж ті, які вдалося скоротити. Внаслідок цього якість перехідних процесів у системі при змінах сигналу $u_{зд}(t)$ різко підвищується.

Нехай $\hat{s}_h, h = \overline{1, n_d}$ - сукупність всіх домінуючих полюсів замкненої системи, тоді синтезируемую передавальну функцію можна подати у вигляді

$$W_{кр}(s) = K_{кр} \frac{\prod_{h=1}^{n_d} (s - \hat{s}_h)}{(1 + T_{кр}s)^{n_d}}, \quad (3.1.2)$$

де $K_{кр}$ і $T_{кр}$ - відповідно коефіцієнт передачі і стала часу коригуючого пристрою.

Відзначимо, що пристрій з функцією передачі (3.1.2) технічно реалізовується, тому що ступінь полінома її чисельника не перевищує ступеня полінома знаменника.

Виберемо значення постійних $K_{кр}$ і $T_{кр}$ так, щоб виконувалися наступні вимоги:

$$\lim_{|x| \rightarrow \infty} W_{кр}(s) = 1; \quad (3.1.3)$$

$$W_{кр}(0) = 1. \quad (3.1.4)$$

При виконанні вимог (3.1.3) і (3.1.4) коригуючий пристрій мало впливає як на повільно, так і на швидко змінні сигнали $y_{зд}(t)$, пропускаючи їх практично без змін. Проте, всі інші сигнали змінюються таким чином, щоб перехідний процес завершився найбільш швидко.

Виходячи з виразу (3.1.2) та вимоги (3.1.3) отримаємо

$$T_{кр} = (K_{кр})^{1/n_d}, \quad (3.1.5)$$

а з урахуванням вимоги (3.1.4) маємо

$$K_{кр} = 1/\prod_{h=1}^{n_d} (-\hat{s}_h). \quad (3.1.6)$$

Використовуючи вирази (3.1.5) і (3.1.6), можна визначити невідомі параметри передавальної функції коригувального пристрою (3.1.2).

3.1.2 Імітаційне моделювання САК параметрів технологічних процесів сушки молока і молочних продуктів з корекції і без корекції сигналу завдання

Застосуємо розроблений метод корекції сигналу впливу до системи ресурсозберігаючого керування сушкою молока.

Згідно [45] для систем з ПІД-регулятором $n_d=4$, $m_{\Pi}=0,75$ і $\eta=0,006252$, тоді рівняння (3.1.2), (3.1.5), (3.1.6) приймуть вигляд:

$$\prod_{h=1}^{n_d} (s - \hat{s}_h) = \left[(s + \eta)^2 + \left(\frac{\eta}{m_{\Pi}} \right)^2 \right]^2; \quad (3.1.7)$$

$$K_{кр} = \frac{m_{\Pi}^4}{\eta^4 (m_{\Pi}^2 + 1)^2}; \quad (3.1.8)$$

$$T_{кр} = \frac{m_{\Pi}}{\eta \sqrt{1 + m_{\Pi}^2}}. \quad (3.1.9)$$

Після підстановки отриманих значень (3.1.7) - (3.1.9) у рівняння (3.1.2), воно приймає наступний вигляд:

$$W_{kp}(s) = \frac{[m_{\Pi}^2(s+\eta)^2 + \eta^2]^2}{(m_{\Pi}s + \eta\sqrt{1+m_{\Pi}^2})^4}$$

(

3.1.10)

Визначимо тепер показники якості керування при використанні корекції сигналу завдання і в її відсутність, коли передавальна функція коригувального пристрою задана виразом

$$W_{kp}(s) = 1.$$

(

3.1.11)

Графіки АЧХ, що відповідають каналу передачі $y_{зд}(t) \rightarrow y(t)$, представлені на рис. 3.1.5.

Згідно рис 3.1.5 система з корекцією стає аперіодична, тому що її показник коливальності M дорівнює одиниці.

Графіки перехідних процесів, що виникають на виході системи, при дії з боку входу одиничного ступеневої збурення наведені на рис. 3.1.6.

На підставі рис. 3.1.6 можна зробити висновок, що перехідний процес при використанні коригуючого пристрою втрачає коливальність і загасає значно швидше, ніж у відсутність корекції.

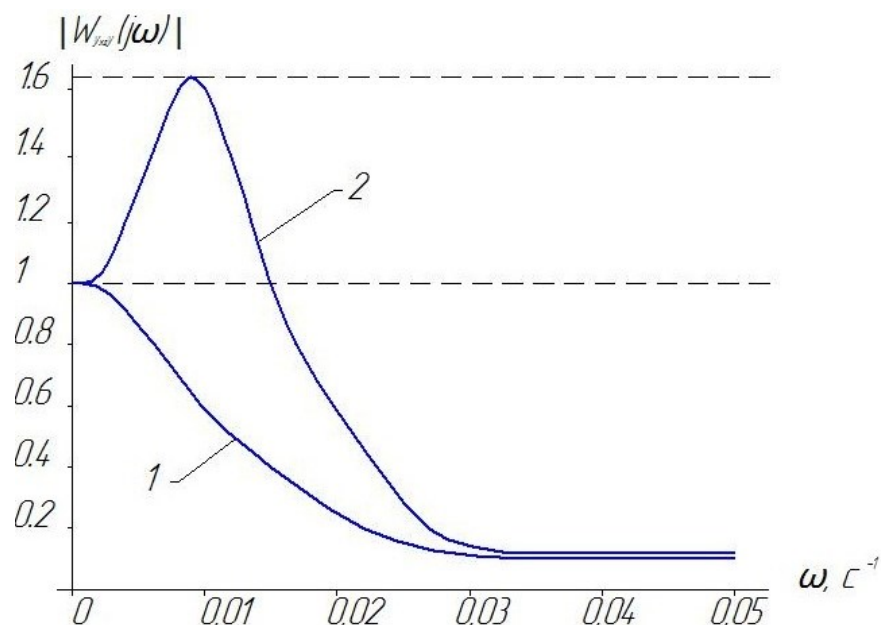


Рисунок 3.1.5 - Графіки АЧХ з корекцією сигналу завдання і в його відсутність:

1 - з корекцією; 2 - без корекції

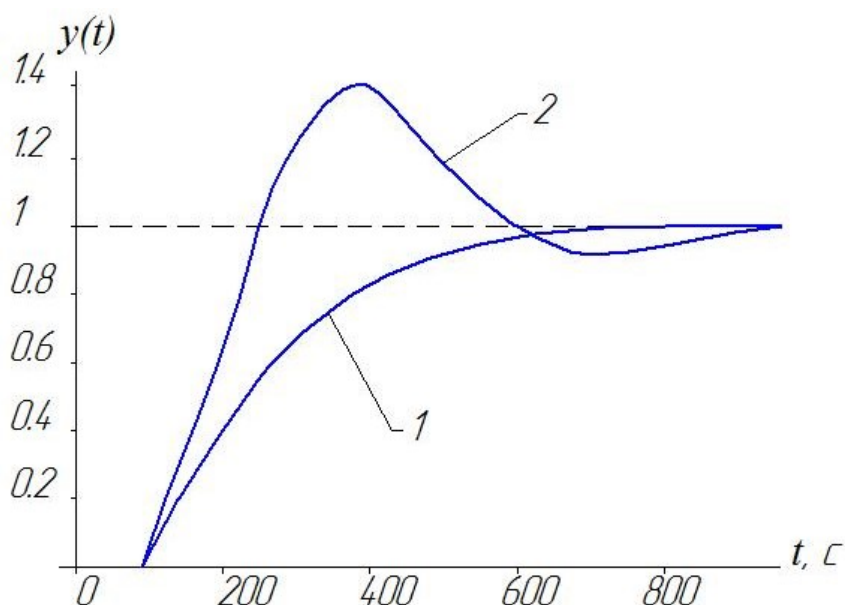


Рисунок 3.1.6 - Графік переходних процесів з корекцією сигналу завдання і в його відсутність: 1 - з корекцією; 2 - без корекції

Таким чином, дослідження на імітаційній моделі дозволяють зробити висновок, що застосування коригуючого пристрою дозволяє згладити стрибкоподібний характер сигналу завдання, повністю усунути перерегулювання і скоротити час переходного процесу, що виникає в системі через нестабільність надходження сировини за кількістю та якістю, а отже, зменшити час знаходження згущеного молока в зоні розпилення, тим самим зберегти в сухому молоці біологічно активні речовини.

3.2 Компенсація негативного впливу транспортного запізнювання в системі ресурсозберігаючого керування сушкою молока

3.2.1 Метод компенсації негативного впливу транспортного запізнювання

На підставі виразу (2.2.5) для передавальної функції об'єкта для каналу керування і рівностей (2.2.6) можна зробити висновок, що об'єкту притаманні значні транспортні запізнення близько 1 хвилини, наявність якого негативно позначається не тільки на якості керування (час перехідних процесів досягає 1,5 - 2 хв.), а й на якості готової продукції, так як тривалий час перебування молока в зоні розпилення згубно впливає на біологічно активні речовини.

Тому бажано зменшити (компенсувати) цей негативний вплив за допомогою спеціального пристрою, що використовується у системі керування, функціональна схема якої наведена на рисунку 3.2.1.

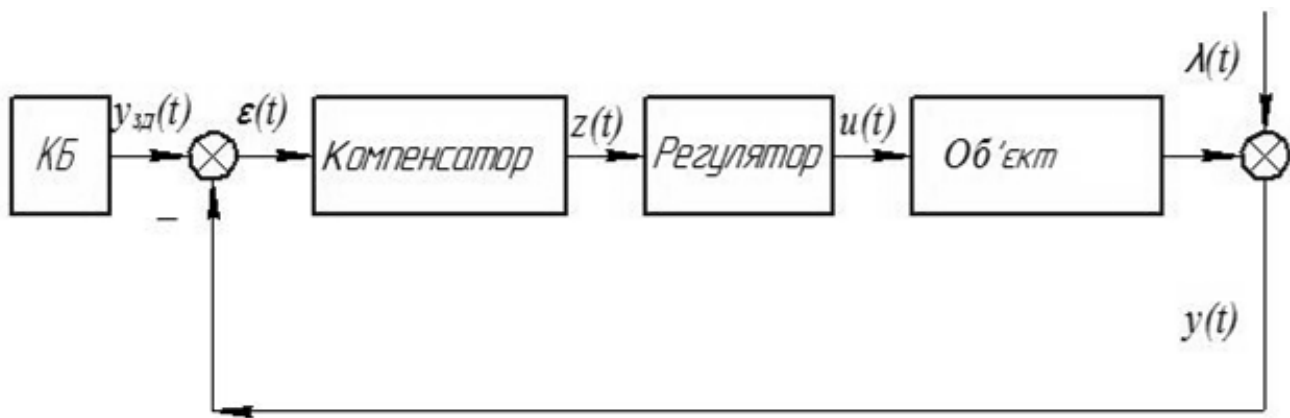


Рисунок 3.2.1 - Система керування з компенсатором транспортного запізнювання

Ідеальний компенсатор транспортного запізнювання реалізується ланкою з передавальної функцією $e^{s\tau}$, яку можна розкласти в ряд Тейлора з нескінченним числом членів

$$e^{s\tau} = 1 + \frac{s\tau}{1!} + \frac{s^2\tau^2}{2!} + \dots + \frac{s^n\tau^n}{n!} + \dots, \quad (3.2.1)$$

де s - комплексна змінна; τ - постійна часу транспортного запізнювання.

За допомогою існуючих технічних засобів неможливо реалізувати ідеальний компенсатор. Для його практичної реалізації в розкладанні передавальної функції (3.2.1) можна обмежитися першими трьома членами. Тоді передавальна функція $W_k(s)$ реального компенсатора транспортного запізнювання приймає вид:

$$W_k(s) = 1 + \frac{s\tau}{1!} + \frac{s^2\tau^2}{2!}. \quad (3.2.2)$$

Схема технічно реалізованого компенсатора, наведена на рисунку 3.2.2

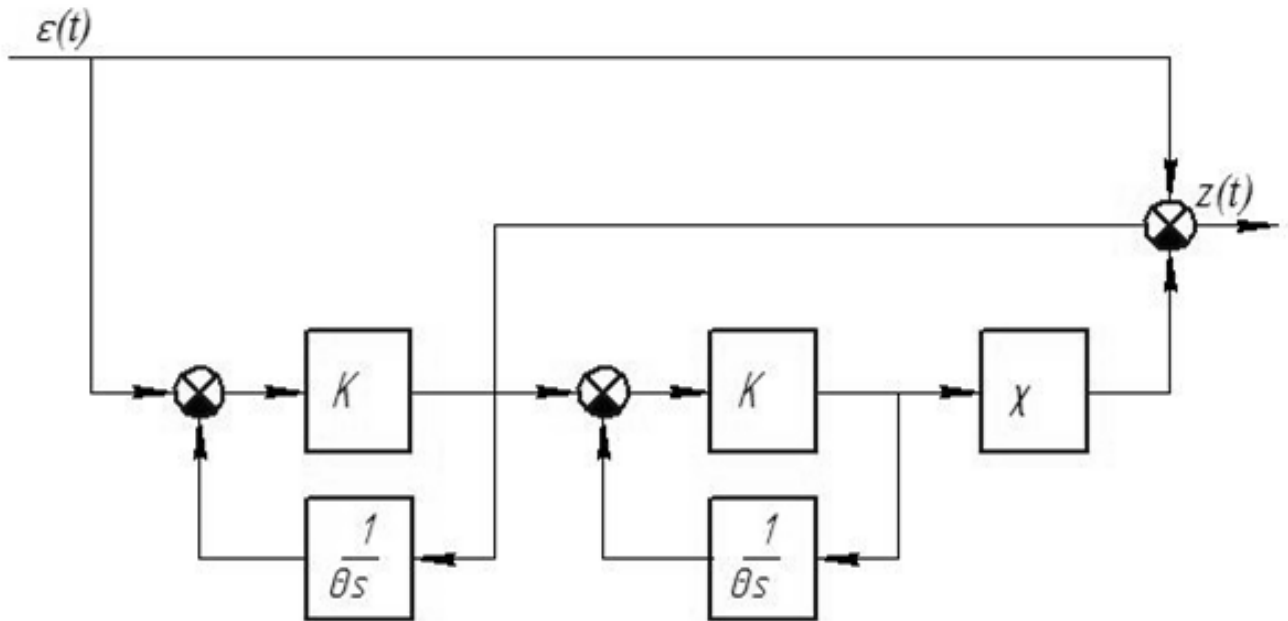


Рисунок 3.2.2 - Структурна схема компенсатора

Відповідно до цієї схеми передавальна функція компенсатора визначається виразом

$$W_k(s) = \frac{Z(s)}{E(s)} = 1 + \frac{K}{\frac{K}{\theta s} + 1} + \frac{K^2}{\left(\frac{K}{\theta s} + 1\right)^2} \cdot \chi; \quad (3.2.3)$$

$\epsilon(s)$ відповідно; K , χ - коефіцієнти передачі відповідних без інерційних ланок; θ - постійна часу інтегруючого ланки.

Вираз (3.2.3) після деяких перетворень приводиться до наступного вигляду:

$$W_k(s) = \frac{(K^{-2} + K^{-1} + \chi)\theta^2 s^2 + (2K^{-1} + 1)\theta s + 1}{(K^{-1}\theta s + 1)^2}; \quad (3.2.4)$$

Знаменник виразу (3.2.4) можна включити до складу передавальної функції розімкненої системи

$$W(s) = W_{\text{пер}}(s)W_{\text{об}}(s); \quad (3.2.5)$$

а чисельник цього виразу представляє три перших члена компенсатора (3.2.5) при виконанні наступних рівностей:

$$\tau^2 = 2(K^{-2} + K^{-1} + \chi)\theta^2 ; \quad (3.2.6)$$

$$\tau = (2K^{-1} + 1)\theta. \quad (3.2.7)$$

Підставляючи вираз (3.2.7) у рівність (3.2.6), приходимо до наступного співвідношення:

$$\chi = \frac{1}{2} + \frac{1}{K} + \frac{1}{K^2}, \quad (3.2.8)$$

яке забезпечує одночасне виконання рівностей (3.2.6) і (3.2.7) при будь-яких значеннях величини θ .

Величина θ визначається ємністю конденсаторів, що використовуються в інтегруючих ланках компенсатора, і встановлюється дискретно з урахуванням рівності (3.2.7). Величини K і χ можуть встановлюватися безперервно зміною опорів резисторів, виходячи з виконання рівності (3.2.8) і з урахуванням доцільності виконання нерівності:

$$K > 10. \quad (3.2.9)$$

Нерівність (3.2.9) дозволяє знизити інерційність аперіодичного ланки другого порядку:

$$W_A(s) = (K^{-1}\theta s + 1)^{-2},$$

(3.2.10)

Таким чином, параметри налаштування пропонованого компенсатора залежать лише від величини τ і не змінюються при зміні інших параметрів ($K_{об}$, T_1 і T_2) передавальної функції об'єкта (2.2.5).

Компенсатор можна використовувати у вже діючих системах автоматичного керування з різними регулюючими приладами. Практично у всіх серійних регулюючих приладах доступний сигнал $\varepsilon(t)$ і передбачені додаткові входи для подачі стандартних сигналів $z(t)$. Однак, оскільки сигнал $\varepsilon(t)$ вже надходить у регулюючий прилад, то підключений компенсатор не повинен його дублювати, і схема на рисунку 3.2.2 перетворюється на схему на рисунку 3.2.3. Слід також відзначити, що підключення компенсатора, представленого на рисунку 3.2.2, може вимагатиме переналагоджування

регулюючого приладу через деякого зміни динамічних властивостей контуру керування.

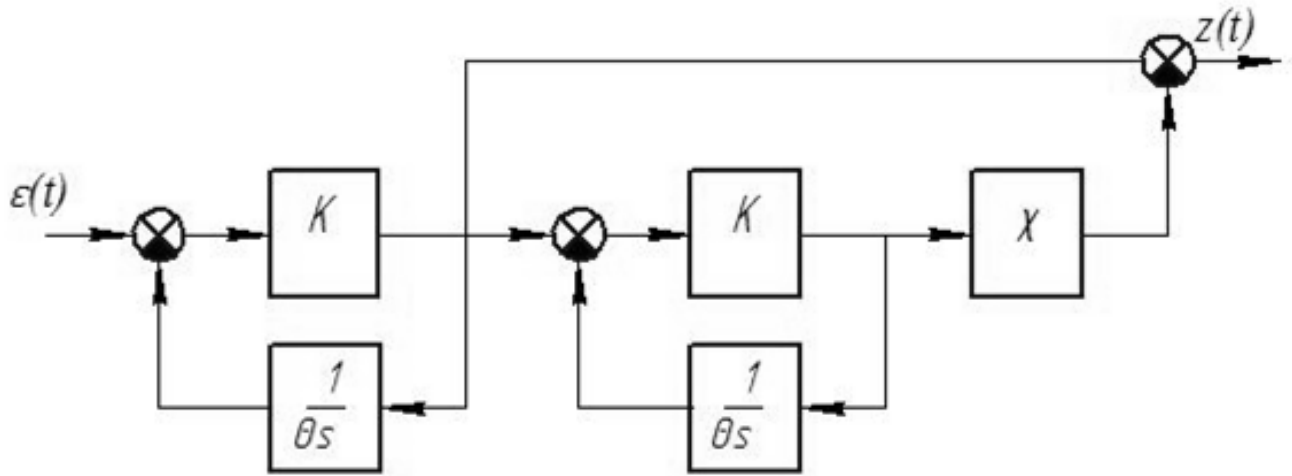


Рисунок 3.2.3 - Структурна схема компенсатора, що підключається до діючого регулюючому приладу

Оцінимо ефективність компенсації транспортного запізнювання за допомогою розробленого компенсатора.

Ланка $W_k(s)$ містить в якості множників лише перші три члени розкладання (3.2.2). Тому його доцільно використовувати в цілях компенсації впливу навантаження $\lambda(t)$ на керовану величину $x(t)$ лише в обмеженому діапазоні частот, де практично повністю зосереджена потужність цього навантаження.

Вважаючи $s=i\omega$ і беручи до уваги формулу Ейлера:

$$e^{-i\omega\tau} = \cos(\omega\tau) - i\sin(\omega\tau),$$

оцінимо ефективність такої компенсації шириною інтервалу $\omega\tau \in [0, (\omega\tau)_*]$,

де функція $A(\omega\tau) = |e^{-i\omega\tau}W_k(i\omega\tau)|$ досить близька до одиниці, а функція

$\varphi(\omega\tau) == \arg[e^{-i\omega\tau}W_k(i\omega\tau)]$ - до вісі абсцис.

Оскільки:

$$[\cos(\omega\tau) - i\sin(\omega\tau)] \left(1 + i\omega\tau - \frac{\omega^2\tau^2}{2}\right) = R(\omega\tau) + iI(\omega\tau),$$

причому $R(\omega\tau) = \left(1 - \frac{\omega^2\tau^2}{2}\right) \cos(\omega\tau) + \omega\tau \sin(\omega\tau)$;

$$I(\omega\tau) = \omega\tau \cos(\omega\tau) - \left(1 - \frac{\omega^2\tau^2}{2}\right) \sin(\omega\tau),$$

то

$$A(\omega\tau) = \sqrt{R^2(\omega\tau) + I^2(\omega\tau)};$$

(3.2.10)

$$\varphi(\omega\tau) = \operatorname{arctg} \frac{I(\omega\tau)}{R(\omega\tau)}.$$

(3.2.11)

Графік функції (3.2.10) представлений на рисунку 3.2.4, а графік функції (3.2.11) - на рисунку 3.2.5.

Згідно з цими графіками величину $(\omega\tau)$ можна прийняти рівною одиниці, оскільки в цьому випадку $A = 1,12$; $\varphi = 0,15$ радіан.

Таким чином, компенсатор транспортного запізнювання ефективний по відношенню до навантаження $\lambda(t)$, якщо виконується така нерівність:

$$\omega_c \leq \tau^{-1},$$

(3.

2.12)

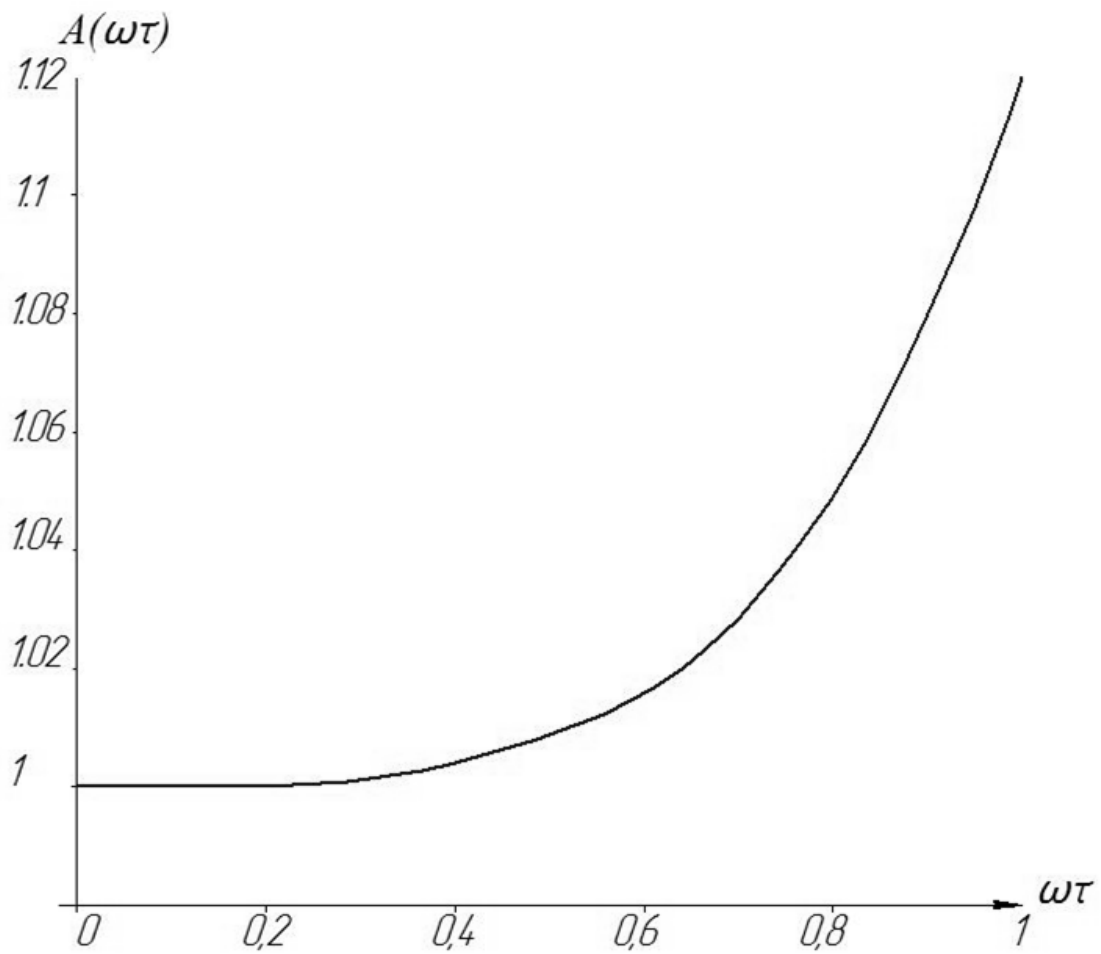


Рисунок 3.2.4 - Графік функції (3.2.10)

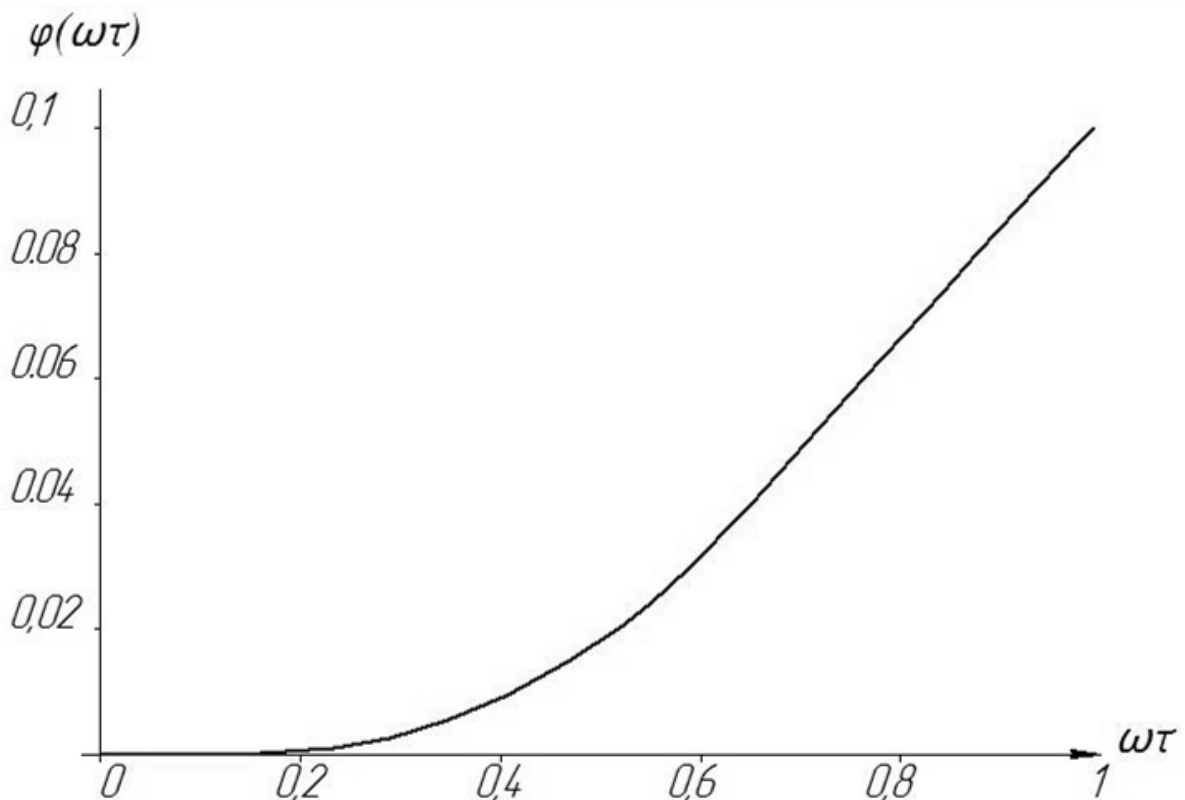


Рисунок 3.2.5 - Графік функції (3.2.11)

де ω_c - частота зрізу спектральної щільності навантаження

$$G_\lambda(\omega) = \left| \int_0^\infty \lambda(t) e^{-i\omega t} dt \right|^2$$

3.2.13)

така, що при значеннями функції (3.2.12) можна знехтувати.

У силу (3.2.4), передавальну функцію реального компенсатора можна подати у вигляді

$$W_k(s) = \frac{1+s\tau+0.5\tau^2s^2}{(T_k s+1)^2};$$

3.2.14)

де $T_k = 75$ с - постійна часу компенсатора.

З урахуванням виразу (3.2.14), передавальну функцію об'єкта (2.2.5), що входить в систему з компенсатором перепишемо таким чином:

$$W_{об}^*(s) = K_{об} \frac{e^{-\tau s}(1+s\tau+0.5\tau^2s^2)}{(1+T_1s)(1+T_2s)(T_k s+1)^2};$$

3.2.15)

тобто віднесемо компенсатор до об'єкта.

Скориставшись методом розрахунку параметрів налагодження ПД - регулятора, заснованого на досягненні розташування домінуючих коренів характеристичного рівняння, встановимо, що

$$K_p = 1.730; T_{И} = 213.0 \text{ с}; T_{Д} = 85.65 \text{ с},$$

3.2.16)

$$m_{П} = 0.7972; \eta = 0.005507 \text{ с}^{-1}.$$

3.2.17)

Графіки АЧХ, що відповідають каналу передачі $u_{зд}(t) \rightarrow y(t)$, подані на рис. 3.2.6.

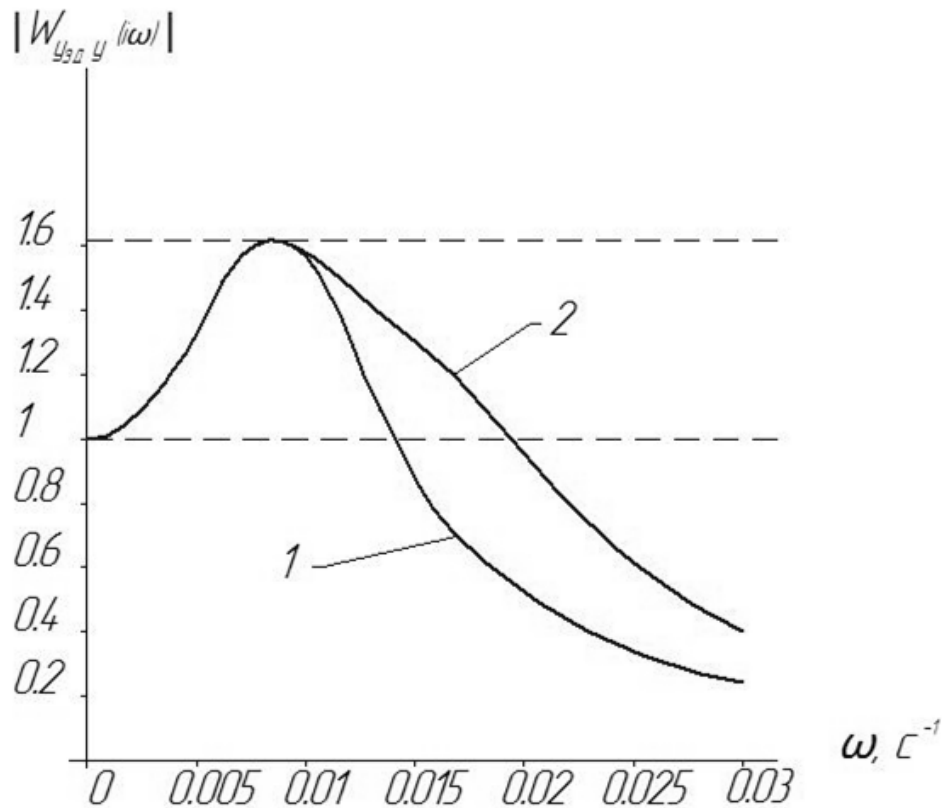


Рисунок 3.2.6 - Графік АЧХ системи для каналу передачі сигналів $u_{зд}(t) \rightarrow y(t)$: 1 - без компенсації; 2 - з компенсацією

На підставі рис. 3.2.6 можна зробити висновок, що при виборі значення m_{Π} згідно (3.2.17) забезпечується виконання обмеження на величину показника коливальності M .

Графіки АЧХ, що відповідають каналу передачі $u_{зд}(t) \rightarrow \varepsilon(t)$, наведені на рис. 3.2.7.

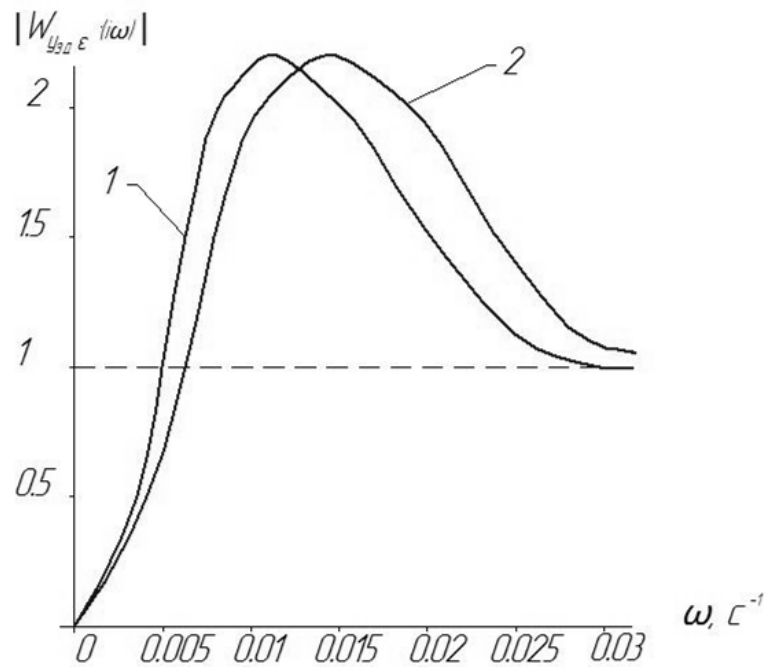


Рисунок 3.2.7 - Графік АЧХ системи для каналу передачі сигналів $y_{зд}(t) \rightarrow \epsilon(t)$: 1 - без компенсації; 2 - з компенсацією

На підставі рис. 3.2.7 приходимо до висновку, що застосування компенсатора транспортного запізнювання дозволяє поліпшити фільтруючі властивості системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока.

Графіки перехідних процесів на виході системи, що виникають при подачі на її вхід одиничного ступінчастого збурення наведені на рис. 3.2.8.

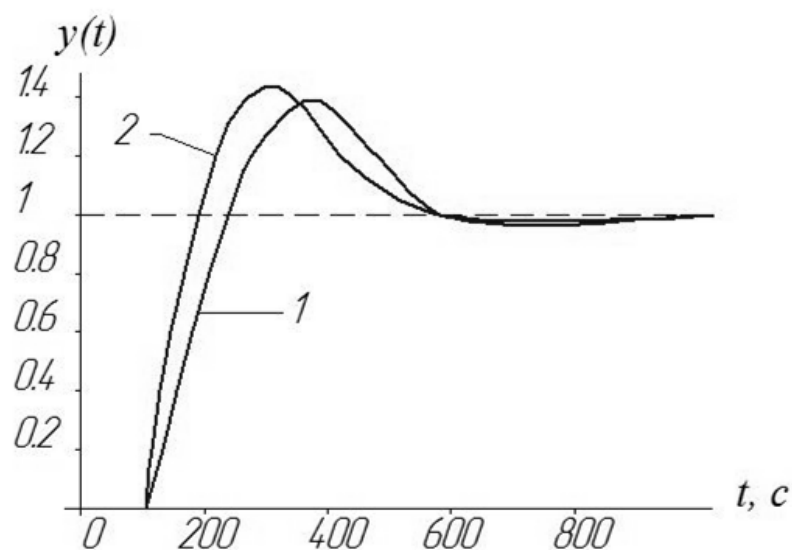


Рисунок 3.2.8 - Графіки перехідних процесів на виході системи:

1 - без компенсації; 2 - з компенсацією

Як видно з рис. 3.2.8, використання компенсатора сприяє більш швидкому загасанню перехідних процесів в системі.

На рис. 3.2.9 наведені годографи комплексних частотних характеристик (КЧХ) розімкнених систем з наступними передавальними функціями:

$$1 - W_{pc1}(s) = W_{об}(s)W_{пид}(s); 2 - W_{pc2}(s) = W_{об}^*(s)W_{пид}(s).$$

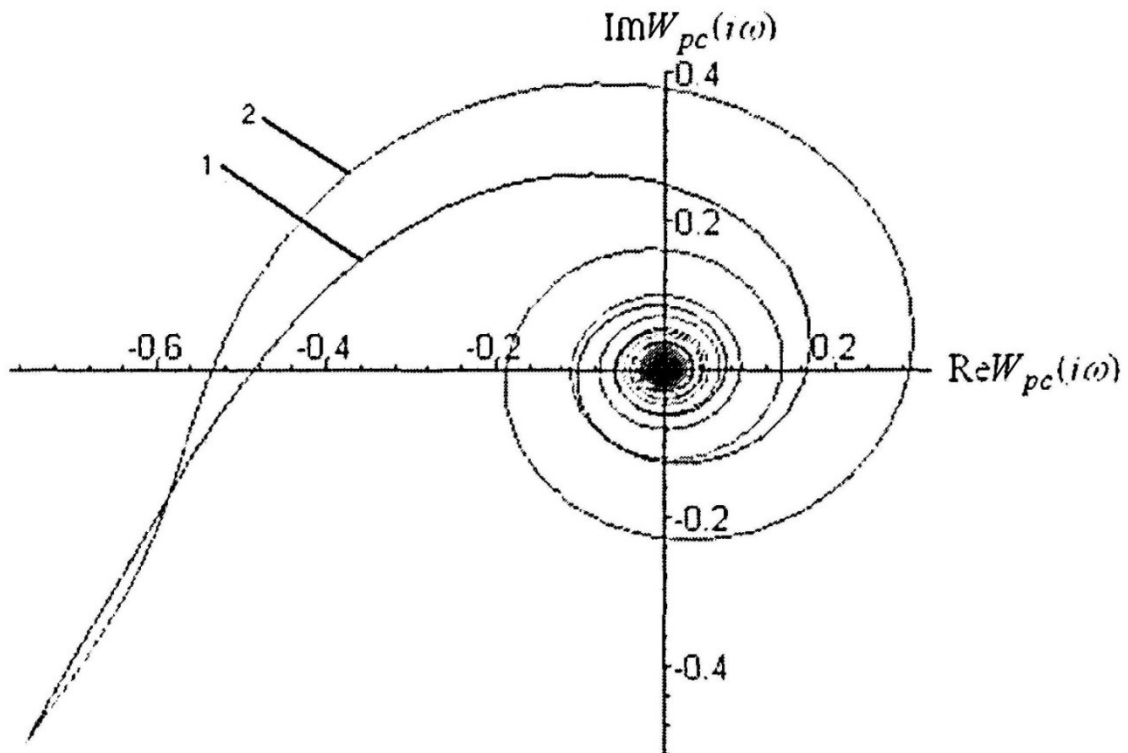


Рисунок 3.2.9 - Годографи КЧХ розімкнених систем:

1 - без компенсації; 2-е компенсацією

Скориставшись критерієм Найквіста, можемо зробити висновок про стійкість замкнутих систем, як з компенсацією запізнювання, так і за її відсутності.

3.2.2 Імітаційне моделювання САК параметрів технологічних процесів сушки молока і молочних продуктів з компенсацією і без компенсації негативного впливу транспортного запізнювання

Імітаційна модель САК температурою повітря на виході з сушильної вежі без компенсатора по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході" наведена на рис. 3.2.10.

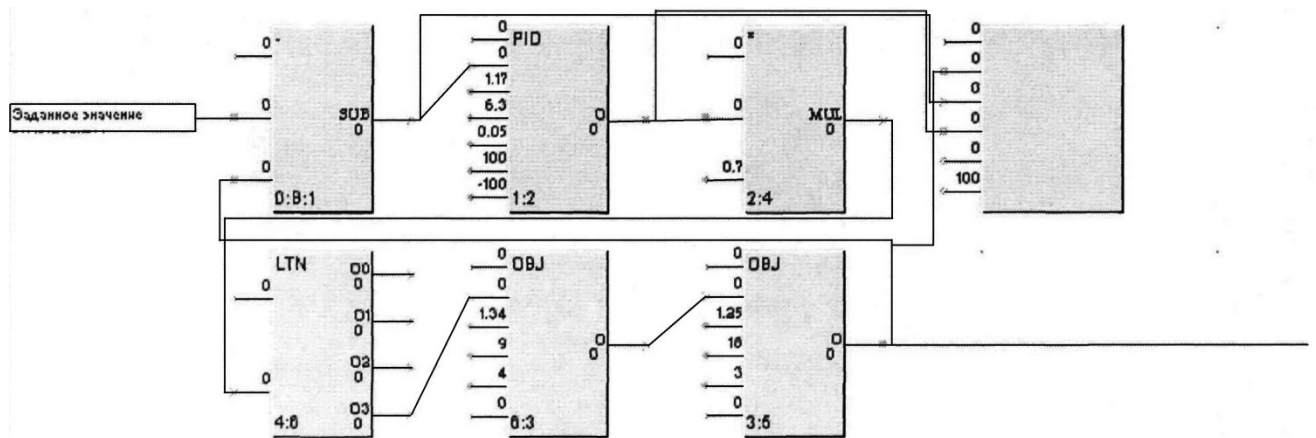


Рисунок 3.2.10 - САК температурою повітря на виході з сушильної вежі без компенсатора по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході"

Графік перехідних процесів температури повітря на виході з сушильної вежі без компенсатора по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході" наведена на рис. 3.2.11.

На підставі поданих графіків отримані такі показники якості керування:

- час перехідного процесу-187 сек.
- перерегулювання - 27%
- час транспортного запізнювання - 60 сек.

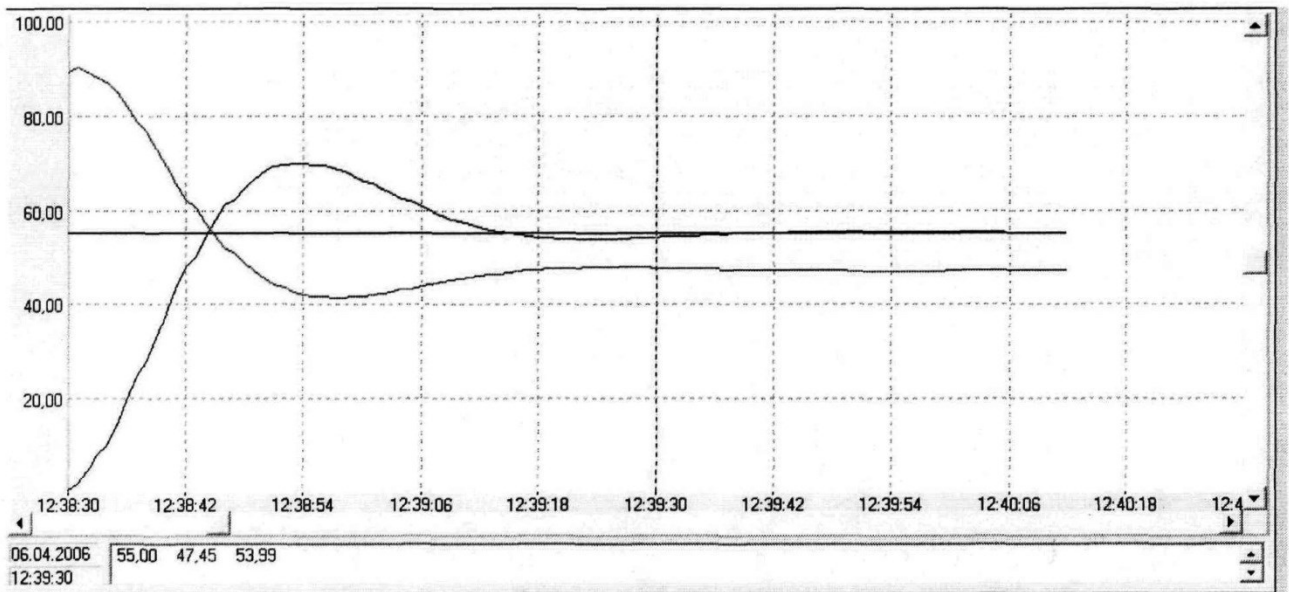


Рисунок 3.2.11 - Графіки перехідних процесів температури повітря на виході з сушильної вежі без компенсатора по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході"

Імітаційна модель САК сушильної установки з компенсатором негативного впливу транспортного запізнювання по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході" наведена на рис. 3.2.12.

Показники якості в даному випадку:

- час перехідного процесу 87 сек.;
- перерегулювання 15%;
- час транспортного запізнювання 60 сек.

Аналіз показників якості керування виявив, що використання компенсатора сприяє швидшому загасанню перехідних процесів в системі (час перехідних процесів і амплітуда коливань скорочується приблизно в 2 рази).

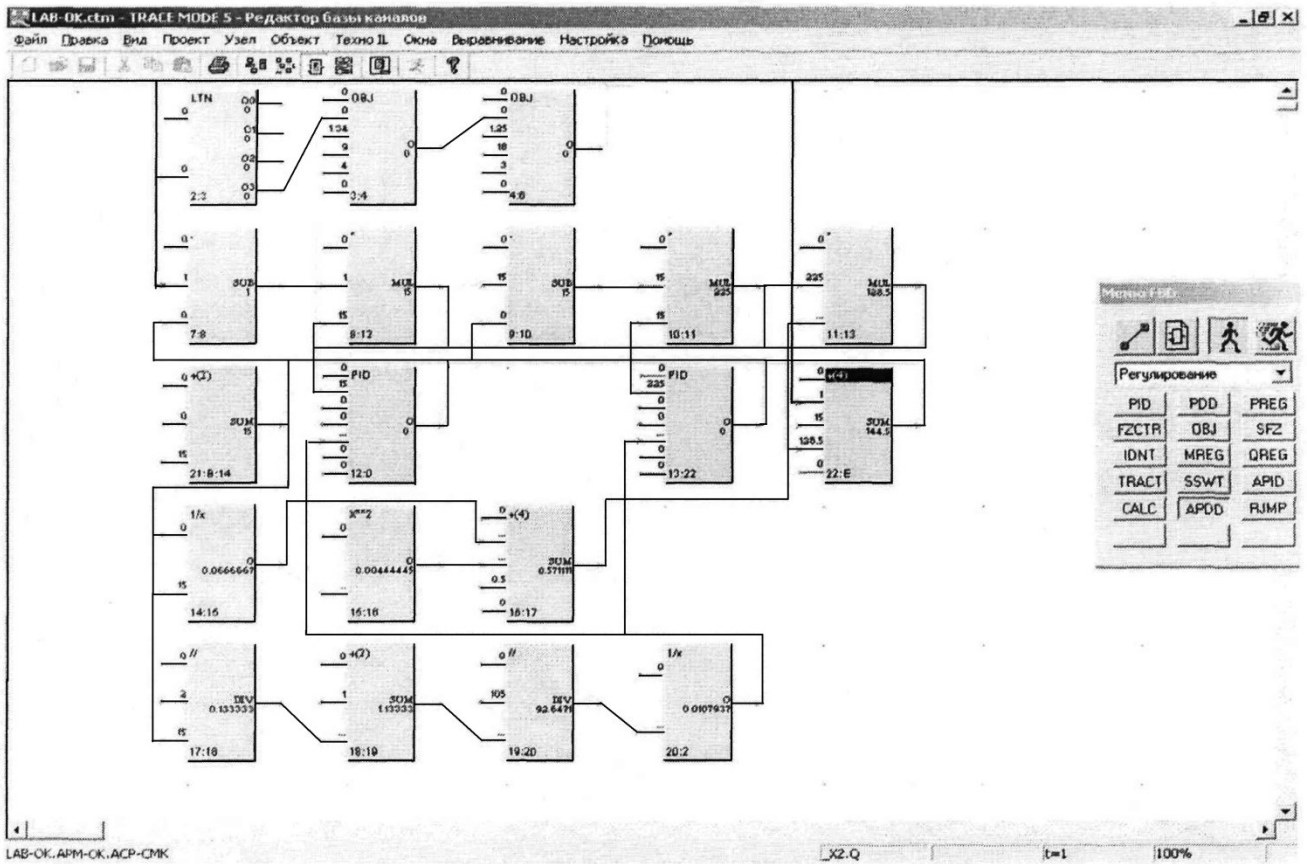


Рисунок 3.2.12 - Імітаційна модель САК температурою повітря на виході з сушильної вежі з компенсатором по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході"

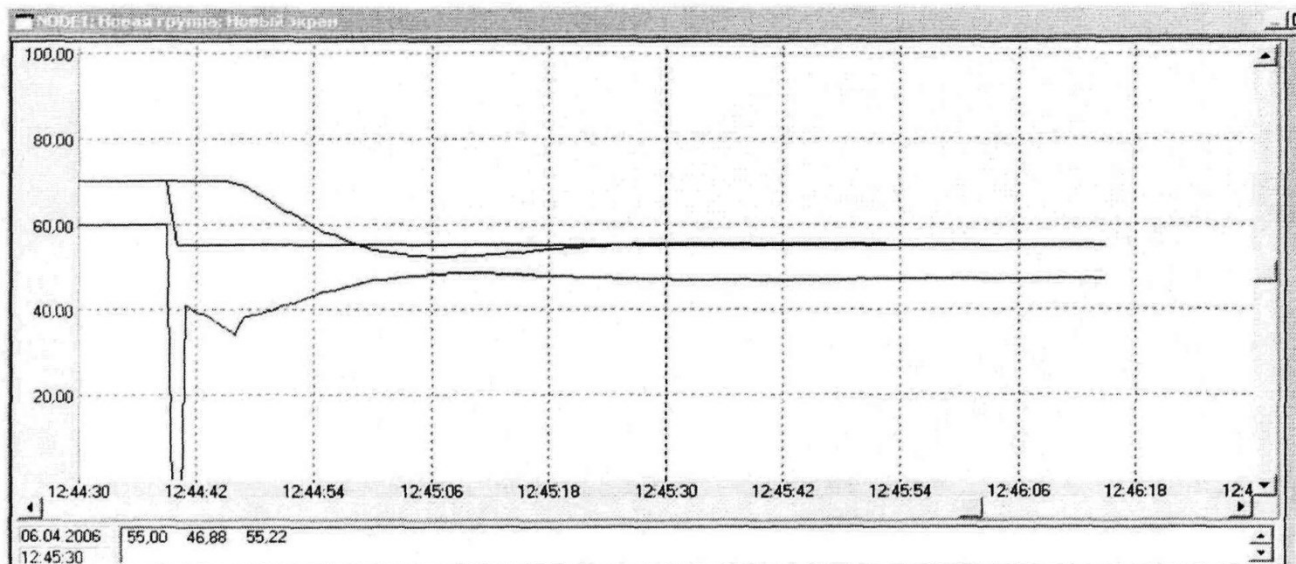


Рисунок 3.2.13 - Графік перехідних процесів на виході САК температурою повітря на виході з сушильної вежі з компенсатором по каналу "температура повітря на вході - температура повітря на виході"

3.3 Висновки за розділом

1. Розроблені методи та алгоритми корекції сигналу завдання, синтезований коригуючий пристрій, що дозволяє згладити стрибкоподібні зміни сигналу завдання.

2. Проведене імітаційне моделювання технологічних процесів сушіння молока без корекції і з корекцією сигналу завдання, що дозволило зробити висновок про усунення переналадження і зменшення тривалості перехідних процесів в 1,3 рази.

3. Розроблені методи, алгоритми і пристрій часткової компенсації негативного впливу транспортного запізнювання у системі керування процесом сушіння молока і молочних продуктів.

4. Проведене імітаційне моделювання технологічних процесів сушіння молока без компенсатора і з компенсатором негативного впливу транспортного запізнювання, що дозволило зробити висновок про скорочення часу перехідного процесу і переналадження в 2 рази.

4 РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШКИ МОЛОКА І МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ НА БАЗІ ПРОГРАМНО – ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

4.1 Структурний синтез автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів

4.1.1 Програмно-технічний комплекс для реалізації автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока

Для реалізації технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів пропонується програмно-апаратний комплекс, функціональна схема якого представлена на рис. 4.1.1

Основними задачами автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока є:

- збір та обробка технологічної інформації, взаємодія з програмованим логічним контролером, датчиками, виконавчими механізмами;
- візуалізація технологічного процесу;
- автоматизоване регулювання температури повітря на вході в сушильну вежу шляхом впливу на регулюючий орган, встановлений на лінії подачі повітря в калорифер; підтримання на заданому рівні температури повітря на виході з сушильної вежі;
- накопичення даних по "історії" роботи системи, подання їх у вигляді графіків, таблиць, звітів і т.д.

Для розв'язання цих задач даних завдань пропонується використовувати автоматизовану систему керування процесом сушки молока і молочних продуктів, що має ієрархічну трирівневу структуру (рис. 4.1.1). До нижнього рівня відносяться датчики і виконавчі механізми; до середнього рівня мікропроцесорний комплекс Lagoon-7000; до верхнього впусу (рівень

оперативного керування) - АРМ оператора (технолога), реалізоване на базі персонального комп'ютера.

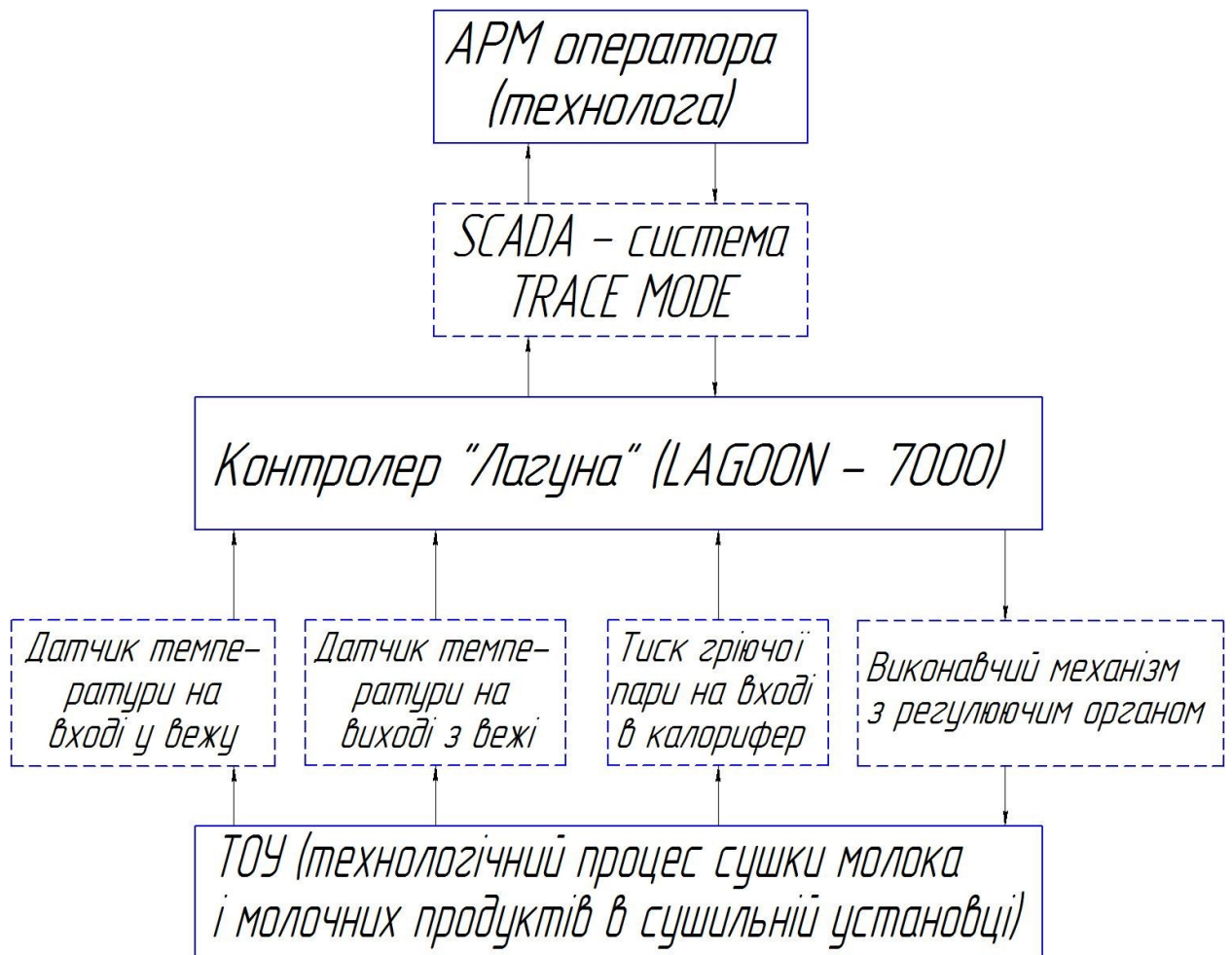


Рисунок 4.1.1 - Функціональна схема системи ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока

АРМ виконує наступні функції:

- забезпечення цілодобового обміну інформацією з контролерами;
- обробка отриманої інформації, формування баз даних замірів, а також передісторію поточних подій;
- відображення отриманої інформації у вигляді таблиць і мнемосхем з можливістю показу, як повного переліку параметрів, так і параметрів по конкретній технологічній підсистемі;
- побудова графіків тенденцій розвитку технологічних процесів;
- дистанційне керування обладнанням;

- формування та друк звітно-облікових документів.

Мікропроцесорна система керування процесом сушки молока і молочних продуктів дозволяє досягти: забезпечення якості продукції, збільшення економічності виробництва, підвищення надійності функціонування обладнання, підвищення продуктивності, забезпечення екологічності та безпеки умов праці обслуговуючого персоналу.

Сполучною ланкою між контролерами та АРМ операторів (технологів) є промислова мережа. У даній системі використовується мережа Ethernet (мережа шинної топології, випадкового методу доступу, довжиною в кілька десятків км в залежності від фізичного середовища передачі інформації, зі швидкістю 10 Мбіт), магістраль - Fast Ethernet (шинна топологія, випадковий метод доступу, швидкість передачі даних - 100 Мбіт). Ця магістраль взаємодіє з мережею Ethernet і поступово замінює її при збільшенні обсягів інформації, що передається з інформаційної мережі (ІС) в одиницю часу.

Поряд з інформаційною мережею, у даній системі використовується типова мережева ОС - Windows NT, що вимагає мінімальний обсяг пам'яті, якою оснащений вузол ІС - АРМ оператора (технолога).

4.1.2 Застосування SCADA - системи TRACE MODE для керування процесом сушки молока

Основне програмне забезпечення пультів оператора і диспетчера, робочих станцій майстра і начальника цеху реалізується SCADA-програмою, яка виконує такі основні функції:

1. Збирання, первинна обробка та накопичення інформації про параметри технологічного процесу і стан обладнання від промислових контролерів та інших цифрових пристроїв, безпосередньо пов'язаних з технологічною апаратурою.

2. Відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу і стан на екрані АРМ оператора (технолога) у вигляді графічних

мнемосхем. Відображення графіків поточних значень технологічних параметрів у реальному режимі часу за заданий інтервал.

3. Виявлення критичних (аварійних) ситуацій.
4. Виведення на екран АРМ оператора (технолога) технологічних та аварійних повідомлень.
5. Архівування "історії" зміни параметрів технологічного процесу.
6. Оперативне керування технологічним процесом.
7. Надання даних про параметри технологічного процесу для їх використання у системах керування підприємством.

Важливим компонентом автоматизованої системи керування технологічним процесом є SCADA - система Trace Mode.

Trace Mode - найпоширеніша в Україні SCADA-система, призначена для розробки розподілених АСКТП. Системи, розроблені на базі Trace Mode, працюють в енергетиці, металургії, нафтової, газової, хімічної, харчової та інших галузях промисловості.

Trace Mode автоматизує найбільш складні етапи розробки систем керування:

- прийом даних і керування технологічним процесом;
- створення АРМ диспетчерів та операторів;
- розробка робочих місць керівників цехів і дільниць;
- забезпечення обміну інформацією з СУБД рівня керування підприємством.

Trace Mode дозволяє здійснювати:

- розробку розподіленої АСКТП як єдиного проекту. Модифікація змінної на одному вузлі веде до автоматичного оновлення на іншому вузлі. Перевага: проектом легко керувати, а АСКТП легко обслуговувати.

- програмування АРМ диспетчерів і контролерів за допомогою єдиного інструменту. Перевага: єдина база даних проекту, обслуговування та розвиток АСК простіше.

- технологію автопобудови проекту. Перевага: АСК генерується автоматично на підставі даних про ПЗО (пристрої зв'язку з об'єктом), ПЛК (програмований логічний контролер) і зв'язках між ними.

Непрямі переваги:

- Trace Mode має одночасну підтримку, як сучасних західних та українських, так і старих радянських контролерів. Це дозволяє проводити поетапне оновлення апаратних засобів АСКТП підприємства.
- Trace Mode орієнтована на стандартне програмне забезпечення.
- Trace Mode має документацію і технічну підтримку фірми виробника російською мовою.

Trace Mode складається з інструментальної системи і виконавчих модулів (RUN-TIME). За допомогою інструментальної системи здійснюється розробка всіх проектів, що створюються в Trace Mode. Виконавчі модулі служать для запуску в реальному часі проектів, що розробляються в інструментальній системі Trace Mode.

Trace Mode створена в архітектурі клієнт - сервер і заснована на новітній розподіленій загальній моделі об'єктів - DCOM.

Зв'язок між модулями Trace Mode, з контролерами, незалежними додатками, базами даних здійснюється через стандартні інтерфейси. Тому окремі модулі системи, легко сполучаються між собою, а АСКТП на базі Trace Mode легко підтримувати, розвивати та інтегрувати в корпоративні інформаційні системи.

Trace Mode дозволяє створювати багаторівневі АСКТП масштабу підприємства, включаючи рівень контролерів.

Для Trace Mode розроблені унікальні алгоритми адаптивної підстроювання регуляторів, що дозволяють відслідковувати динаміку об'єкта і автоматично розраховувати оптимальні настройки П-, ПІ-, ПІД-регуляторів.

Адаптивні алгоритми дозволяють скоротити час пуску складних систем у кілька разів, покращують якість керування, знижують знос устаткування.

Монітор реального часу - це сервер реального часу - основний елемент розподілених АСКТП, який призначений для збору даних з ПЗО, керування технологічними процесами і розподілу даних між станціями, може підтримувати до 300 типів контролерів.

Система архівації даних Trace Mode забезпечує:

- безперервний запис значень параметрів ТП з точністю до 0,001 с;
- ведення протоколу аварій і тривоги;
- запис звітів в базу даних;
- генерування звітів про технологічний процес.

Швидкість архівування досягає 100000 записів в секунду.

Накопичені дані можна переглядати в реальному часі з локальних і віддалених вузлів, виводити на друк, а також, використовуючи технологію графічного "Плейбек", переглядати у вигляді фільму.

4.1.3 Вибір програмованого логічного контролера для керування процесом сушки молока

Для мікропроцесорної системи керування процесом сушки молока і молочних продуктів пропонується контролер Lagoon-7000 - один із самих мініатюрних і недорогих PC - сумісних контролерів.

У ньому є майже всі базові елементи звичайного комп'ютера: процесор AMD 80188-40МГц, 256 Кбайт SRAM пам'яті (ОЗУ), електронний Flash - диск (аналог жорсткого диска) обсягом 512 Кбайт, годинник реального часу, 4 послідовних порти. За швидкістю Lagoon не поступиться комп'ютеру з процесором Intel 80286. У контролері "прошита" операційна система Datalight's ROM-DOS, сумісна з MS-DOS 6.2. Крім стандартних функцій DOS ця операційна система підтримує ряд додаткових: автоматичне завантаження

при включенні харчування, робота з Flash-диском, віддалене завантаження програм, термінальний режим роботи і т.д.

Конструктивно контролер виконаний в пластиковому корпусі з негорючої пластмаси (Рисунок. 4.1.2). На корпусі розташовані роз'єм типу DB-9 і клемний з'єднувач з гвинтовою фіксацією. Контролер може бути встановлений на панель або на стандартну 35-міліметрову DIN-рейку.

Він не вимогливий до живлення: достатньо подати нестабілізована напругу в діапазоні 10-30 в постійного струму. При цьому контролер споживає всього 2-3 Вт Працює при температурах від -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$.

Контролер "Лагуна" поставляється з вбудованим монітором реального часу і базовою версією Інструментальної системи Trace Mode 5.

Таким чином, користувач може розробити графічний інтерфейс для комп'ютера верхнього рівня і випробувати його роботу в реальному часі.

Lagoon-7000 під керуванням TRACE MODE може контролювати до 128 точок введення / виведення. Контролером практично повністю підтримуються всі можливості повнофункціонального Мікро Монітору Реального Часу (МікроMPB). Мінімальний цикл його МікроMPB становить 55 мс. При швидкості послідовного порту 56 Кбіт, контролер за 1 секунду опитує до 20 модулів вводу-виводу.

Основні характеристики апаратної платформи "Лагуни":

- Процесор: AMD 188E8-40МГц
- SRAM: 256 кб
- Flash-диск: 512 кб
- Максимальний обсяг програми користувача: 448 кб
- Операційна система: Datalight's ROM-DOS, сумісна з MS-DOS 6.2
- Годинник реального часу: вважає секунди, хвилини, години, дні, місяці, роки від 1980 до 2079
- NVSRAM (енергонезалежна пам'ять): 31 байт, час зберігання даних не менше 10 років

- Літієва батарея для годинника реального часу і NVSRAM
- EEPROM: 1024 байти, > 1,000,000 циклів перезапису
- Послідовні порти: 4
- Максимальна швидкість обміну 115.2К
- COM1: RS-232 або RS-485 (вибирається перемичкою)
- COM2: RS-485
- COM3: RS-232
- COM4: RS-232
- Живлення: +10 ... +30 В
- Споживається: 2.2Вт максимум

В якості ПЗО для контролера використовуються модулі віддаленого вводу-виводу серії 1-7000. Номенклатура модулів включає більше 60 найменувань: модулі аналогового введення і виведення, дискретного вводу-виводу, комунікаційні та модулі таймерів / лічильників. Всі вони є інтелектуальними перетворювачами вхідних і вихідних аналогових і дискретних сигналів в цифровий код, який може оброблятися комп'ютером або контролером. Модулі дозволяють безпосередньо підключати первинні датчики (термопари, термометри опору, тензодатчики) та джерела сигналів і безпосередньо керувати аналоговими і дискретними навантаженнями.

Контролером підтримуються практично всі можливості повнофункціонального МікроМРВ. З точки зору Trace Mode "Лагуна" представляє собою керуючий контролер на 128 точок введення / виведення. До його послідовним портам можуть підключатися модулі серії 1-7000, термінал, а також АРМ оператора (технолога).

Зв'язок з комп'ютером верхнього рівня також здійснюється через один з СОМ портів. Мінімальний цикл монітора складає 55 мс. При швидкості послідовного порту 56 кбіт контролер за 1 с. опитує до 20 модулів вводу-виводу.

Мікро МРВ, швидкий run-time для РС-контролерів розміщується у флеш-пам'яті РС-контролера, володіє всебічною підтримкою плат ПСО (пристроїв сполучення з об'єктом), контролерів, а також відкритим форматом обміну для зв'язку з будь-якими ПЗО.

Мікро МРВ містить алгоритм дискретного і аналогового керування та регулювання, програмується на мовах відповідних міжнародному стандарту МЕК 1131-3. У реальному часі Мікро МРВ веде автоматичний контроль працездатності плат ПЗО.

Всі прилади нижнього рівня під'єднуються до контролера "Lagoon" за звичайними проводами, так як електричний сигнал у них уніфікований.

У системі керування передбачено ряд блокувань, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій.

При підвищенні гранично допустимої температури сушильного агента передбачається відключення: подачі пари в калорифери; насоса, що подає згущений продукт в сушильну вежу; подачі гарячого повітря.

Підвищення температури повітря, що входить в сушильну камеру, обмежено небезпекою самозаймання сухого молока, зниження температури веде до збільшення витрати теплоносія на 1 тону випаруваної вологи. Зменшення витрати повітря також обмежено небезпекою самозаймання сухого молока, а підвищення витрати веде до збільшення втрат продукту. Зміна витрати згущеного продукту пов'язане зі зміною продуктивності установок згущення і сушіння.

Тому автоматичне блокування при перевищенні температури відпрацьованого повітря максимально допустимої передбачає відключення: подачі пари в калорифери; насоса, що подає згущений продукт; вентилятора, від якого надходить гаряче повітря в сушильну камеру.

При падінні тиску пари, що надходить у турбінний привід розпилювального диска, передбачене автоматичне відключення подачі пари в калорифери і насоса, що подає згущене молоко в сушильну камеру.

Таким чином, блокування роботи сушильної установки передбачена у таких випадках:

- підвищення температури повітря всередині сушильної вежі вище допустимої;
- пониження / підвищення тиску пари на розпилувальну форсунку;
- підключення головного вентилятора;
- різке зниження оборотів обертання розпилувального диска;
- різке зниження тиску масла в паровій турбіні.

4.2 Висновки за розділом

1) Розроблена ієрархічна 3-х рівнева автоматизована система ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, що забезпечує виконання функцій керування технологічним процесом сушки молока і молочних продуктів, вимірювання та реєстрації значень технологічних параметрів, блокування роботи сушильної установки в нештатних ситуаціях.

2) Застосування даної системи дозволить:

- Стабілізувати вологість сухого молока на рівні 3-3,2%;
- Знизити втрати готової продукції близько 8 тонн на рік ;
- Скоротити енерговитрати (пар на калорифери і турбіну, електроенергію на головний вентилятор) в процесі сушіння молочних продуктів на 12-14%.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз та дослідження процесу сушки молока в сушильній установці. Виявлені фактори, що впливають на показники якості сухих молочних продуктів. Запропонований метод підвищення ефективності керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів, що забезпечує стабілізацію основного показника якості готової продукції.

2. Розроблені: - математична модель процесу сушки молока з урахуванням матеріального та теплового балансу; - структурна схема об'єкта керування - сушильної установки, на основі якої проведено імітаційне моделювання систем автоматичного керування (САК) параметрів технологічних процесів по каналах керування з використанням інструментальних засобів SCADA-системи Trace Mode. Досліджена адекватність математичної моделі процесу сушки молока. Встановлено, що відносна похибка отриманих оцінок не перевищує 2,4%.

3. Розроблений метод та алгоритм корекції сигналу завдання, синтезовано коригуючий пристрій, що дозволяє усунути переналаштовування і зменшити тривалість перехідних процесів в 1,3 рази.

4. Розроблені метод, алгоритм і пристрій часткової компенсації негативного впливу транспортного запізнювання у системі керування процесом сушки молока і молочних продуктів. Проведена імітаційне моделювання технологічних процесів сушки молока без компенсатора і з компенсатором негативного впливу транспортного запізнювання, що дозволило зробити висновок про скорочення часу перехідного процесу і перерегулювання в 2 рази.

5. Розроблена система на базі програмно-технічного комплексу, що реалізує методи, алгоритми та пристрої ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, застосування якої дозволяє:

- стабілізувати вологість сухого молока на рівні 3-3,2%;
- знизити втрати готової продукції близько 8 тонн на рік;

- скоротити енерговитрати (пар на калорифери і турбіну, електроенергію на головний вентилятор) в процесі сушки молочних продуктів на 12-14%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія молока і молочних продуктів: Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олабоді. – Київ, 2017. – 28 с. – Режим доступу : <http://library.nuft.edu.ua>.
2. Черевко О.І., Поперечний А.М. Процеси і апарати харчових виробництв. Підручник. К.: Світ книг, 2019. - 496 с.
3. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник /Власенко В. В., Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. – Харківський державний університет харчування та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2018. – 202 с.
4. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі. Навчальний посібник / О. Ю. Співак – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 116 с.
5. Єресько Г. О. Технологічне обладнання для молочної промисловості. / Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворощук В. Я. — Київ: „Інкос”. Центр навчальної літератури. 2007. - 344 с.
6. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Т44 Сушильні процеси та установки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2007. - 76 с.
7. Технологія виробництва молочних продуктів спеціального призначення: підручник/ О.А. Савченко, О.В. Грек, О.О. Красуля. – К.; ЦП «Компринт», 2017.– 218 с.
8. Сучасні технології молочних продуктів: підручник/ О.А. Савченко, О.В. Грек, О.О. Красуля. – К.; ЦП «Компринт», 2017.– 218 с.
9. Молокопереробка. Інновації : підручник / О. В. Грек, О. О. Красуля. - Київ : НУХТ, 2017. – 390 с.
10. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO [Текст]: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: Видавництво Ліра – К, 2013. – 376 с.
11. Проектування систем автоматизації. Трегуб В.Г. Навч. пос. — К: Видавництво Ліра-К., 2014. — 344 с.

12. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А.П.Ладанюк, Заєць Н.А., Л.О.Власенко. – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.

13. Машкін М. І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: Навчальне видання / М. І. Машкін, Н. М. Париш. – К.: Вища освіта, 2006. – 351 с.

14. Молоко коров'яче незбиране. Вимоги при закупівлі (зі змінами): ДСТУ 3662: 97. – К. : Держспоживстандарт України, 2002. – 13 с.

15. Момчева А. М. Молочний ринок України: сучасний стан та перспективи розвитку /А. М. Момчева // Науковий вісник Ужгородського університету. Економіка. –2010. – Вип. 30. – С. 164-168.

16. Одарченко А. М. Товарознавство молочних товарів: Навчальний посібник / А. М. Одарченко. – Х.: ХДУХТ, 2007. – 336 с.

17. Брюханов В. Н. Автоматизація виробництва. / В.Н. Брюханов. - К.: Вища школа, 2005. - 367 с.

18. Схиртладзе А. Г. Автоматизація технологічних процесів та виробництв: Посібник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. - К.: Абрис, 2012. - 565 с.

19. Криворучко О. Методичні положення гармонізації системи управління підприємством на основі управління якістю // Стандартизація, сертифікація, якість. - 2013. - №4 - С. 27-29.

20. Іванов, А.А. Автоматизація технологічних процесів та виробництв: Навчальний посібник / А.А. Іванов - Р. : Форум, 2012. - 224 с.

21. Віткін Л. М. Світовий досвід упровадження та сертифікації систем управління / Л. М. Віткін // Стандартизація.Сертифікація. Якість. - 2010. - № 2. - С.43-49.

22. Кравців Р.Й. Довідник лабораторних досліджень молока і молочних продуктів / Р.Й. Кравців, Ю.Р. Гачак. – Львів, 2003. – 305 с.

ДОДАТКИ

4 DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM OF RESOURCE- SAVING CONTROL OF THE DRYING PROCESS OF MILK AND DAIRY PRODUCTS BASED ON A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX

4.1 Structural synthesis of an automated system of resource-saving control of the drying process of milk and dairy products

4.1.1 Software and hardware complex for the implementation of an automated system of resource-saving control of the drying process of milk

To implement the technological process of drying milk and dairy products, a software and hardware complex is proposed, the functional diagram of which is presented in Fig. 4.1.1

The main tasks of the automated system for resource-saving control of the milk drying process are:

- collection and processing of technological information, interaction with a programmable logic controller, sensors, actuators;
- visualization of the technological process;
- automated regulation of the air temperature at the entrance to the drying tower by influencing the regulating body installed on the air supply line to the heater; maintaining the air temperature at the exit from the drying tower at a given level;
- accumulation of data on the "history" of the system's operation, presenting them in the form of graphs, tables, reports, etc.

To solve these tasks, it is proposed to use an automated control system for the drying process of milk and dairy products, which has a hierarchical three-level structure (Fig. 4.1.1). The lower level includes sensors and actuators; the middle level is the Lagoon-7000 microprocessor complex; the upper inlet (level of operational control) is the operator's (technologist's) workstation, implemented on the basis of a personal computer.

The workstation performs the following functions:

- ensuring round-the-clock exchange of information with controllers;

- processing the received information, forming measurement databases, as well as the history of current events;
- displaying the received information in the form of tables and mnemonics with the ability to display both a complete list of parameters and parameters for a specific technological subsystem;
- building graphs of trends in the development of technological processes;
- remote control of equipment;
- forming and printing of reporting and accounting documents.

The microprocessor control system for the drying process of milk and dairy products allows you to achieve: ensuring product quality, increasing production efficiency, increasing the reliability of equipment operation, increasing productivity, ensuring environmental friendliness and safety of working conditions for service personnel.

The connecting link between the controllers and the workstations of the operators (technologists) is an industrial network. This system uses an Ethernet network (a network of bus topology, random access method, several tens of km long depending on the physical medium of information transmission, with a speed of 10 Mbit), a trunk - Fast Ethernet (bus topology, random access method, data transfer rate - 100 Mbit). This trunk interacts with the Ethernet network and gradually replaces it with an increase in the amount of information transmitted from the information network (IS) per unit of time. Along with the information network, this system uses a typical network OS - Windows NT, which requires a minimum amount of memory, which is equipped with the IS node - the workstation of the operator (technologist).

4.1.2 Application of SCADA - TRACE MODE system to control the milk drying process

The main software of the operator and dispatcher consoles, the workstations of the foreman and the head of the shop are implemented by the SCADA program, which performs the following main functions:

1. Collection, primary processing and accumulation of information on the parameters of the technological process and the state of the equipment from industrial controllers and other digital devices directly related to the technological equipment.

2. Display of information on the current parameters of the technological process and the state on the screen of the operator's (technologist's) workstation in the form of graphic mnemonics. Display of graphs of the current values of technological parameters in real time for a given interval.

3. Detection of critical (emergency) situations.

4. Display of technological and emergency messages on the screen of the operator's (technologist's) workstation.

5. Archiving the "history" of changes in technological process parameters.

6. Operational control of the technological process.

7. Provision of data on technological process parameters for their use in enterprise management systems.

An important component of the automated process control system is SCADA - the Trace Mode system.

Trace Mode is the most common SCADA system in Ukraine, designed for the development of distributed ASKTP. Systems developed on the basis of Trace Mode operate in the energy, metallurgy, oil, gas, chemical, food and other industries.

Trace Mode automates the most complex stages of development of control systems:

- data reception and process control;
- creation of dispatchers' and operators' workstations;
- development of workplaces of heads of shops and sections;
- ensuring information exchange with the enterprise management level

DBMS.

Trace Mode allows you to:

- development of a distributed ASKTP as a single project. Modification of a variable on one node leads to automatic updating on another node. Advantage: the project is easy to manage, and ASKTP is easy to maintain.

- programming of dispatchers' and controllers' workstations using a single tool. Advantage: a single project database, maintenance and development of ASK is easier.

- project auto-building technology. Advantage: ASC is generated automatically based on data about PZO (object communication devices), PLC (programmable logic controller) and connections between them.

Indirect advantages:

- Trace Mode has simultaneous support for both modern Western and Ukrainian, as well as old Soviet controllers. This allows for a phased update of the enterprise's ASKTP hardware.

- Trace Mode is focused on standard software.

- Trace Mode has documentation and technical support from the manufacturer in Russian.

Trace Mode consists of a tool system and execution modules (RUN-TIME). The tool system is used to develop all projects created in Trace Mode. Execution modules are used to launch projects developed in the Trace Mode tool system in real time.

Trace Mode is created in the client-server architecture and is based on the latest distributed common object model - DCOM.

The connection between Trace Mode modules, with controllers, independent applications, databases is carried out through standard interfaces. Therefore, individual system modules are easily interconnected, and ASKTP based on Trace Mode is easy to maintain, develop and integrate into corporate information systems.

Trace Mode allows you to create multi-level ASKTP of the enterprise scale, including the controller level.

Unique algorithms for adaptive adjustment of regulators have been developed for Trace Mode, which allow you to track the dynamics of the object and automatically calculate the optimal settings of P-, PI-, PID-regulators. Adaptive algorithms allow you to reduce the start-up time of complex systems by several times, improve the quality of control, reduce equipment wear.

The real-time monitor is a real-time server - the main element of distributed ASKTP, which is designed to collect data from PZO, control technological processes and distribute data between stations, can support up to 300 types of controllers.

The Trace Mode data archiving system provides:

- continuous recording of TP parameter values with an accuracy of up to 0.001 s;
- maintaining a protocol of accidents and alarms;
- recording reports in the database;
- generating reports on the technological process.

The archiving speed reaches 100,000 records per second.

The accumulated data can be viewed in real time from local and remote nodes, printed, and also, using the graphic "Playback" technology, viewed as a movie.

4.1.3 Selection of a programmable logic controller to control the milk drying process

For a microprocessor control system for the drying process of milk and dairy products, the Lagoon-7000 controller is offered - one of the most miniature and inexpensive PC-compatible controllers.

It has almost all the basic elements of a conventional computer: an AMD 80188-40MHz processor, 256 KB of SRAM memory (RAM), an electronic Flash disk (analog of a hard disk) with a capacity of 512 KB, a real-time clock, 4 serial ports. In terms of speed, Lagoon will not be inferior to a computer with an Intel

80286 processor. The controller is "flashed" with the Datalight's ROM-DOS operating system, compatible with MS-DOS 6.2. In addition to standard DOS functions, this operating system supports a number of additional ones: automatic boot when the power is turned on, work with a Flash disk, remote program loading, terminal mode, etc.

Structurally, the controller is made in a plastic case made of non-flammable plastic (Figure. 4.1.2). The case has a DB-9 connector and a screw-type terminal connector. The controller can be mounted on a panel or on a standard 35 mm DIN rail.

It is not demanding on power: it is enough to supply an unstabilized voltage in the range of 10-30 V DC. At the same time, the controller consumes only 2-3 W. It operates at temperatures from -20°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

The Lagoon controller comes with a built-in real-time monitor and a basic version of the Trace Mode 5 Instrumentation System.

Thus, the user can develop a graphical interface for a top-level computer and test its operation in real time.

Lagoon-7000 under TRACE MODE control can monitor up to 128 input / output points. The controller almost fully supports all the capabilities of a full-featured Micro Real-Time Monitor (MicroMRV). The minimum cycle of its MicroMRV is 55 ms. At a serial port speed of 56 Kbit, the controller polls up to 20 I/O modules per second.

Main characteristics of the hardware platform "Laguna":

- Processor: AMD 188E8-40MHz
- SRAM: 256 KB
- Flash-disk: 512 KB
- Maximum user program size: 448 KB
- Operating system: Datalight's ROM-DOS, compatible with MS-DOS 6.2
- Real-time clock: counts seconds, minutes, hours, days, months, years from 1980 to 2079

- NVSRAM (non-volatile memory): 31 bytes, data storage time at least 10 years

- Lithium battery for real-time clock and NVSRAM
- EEPROM: 1024 bytes, > 1,000,000 rewrite cycles
- Serial ports: 4
- Maximum exchange rate 115.2K
- COM1: RS-232 or RS-485 (jumper selectable)
- COM2: RS-485
- COM3: RS-232
- COM4: RS-232
- Power supply: +10 ... +30 V
- Power consumption: 2.2 W maximum

As the PDO for the controller, remote input-output modules of the 1-7000 series are used. The range of modules includes more than 60 items: analog input and output modules, discrete input-output, communication and timer/counter modules. All of them are intelligent converters of input and output analog and discrete signals into digital code that can be processed by a computer or controller. The modules allow you to directly connect primary sensors (thermocouples, resistance thermometers, strain gauges) and signal sources and directly control analog and discrete loads.

The controller supports almost all the capabilities of a full-featured MicroMRV. From the point of view of Trace Mode "Laguna" is a control controller with 128 input / output points. To its serial ports can be connected modules of the 1-7000 series, a terminal, as well as the operator's (technologist's) workstation.

Communication with the upper-level computer is also carried out through one of the COM ports. The minimum monitor cycle is 55 ms. At a serial port speed of 56 kbit, the controller polls up to 20 input / output modules in 1 s.

Micro MRV, a fast run-time for PC controllers is placed in the flash memory of the PC controller, has comprehensive support for PSO boards (object interface

devices), controllers, as well as an open exchange format for communication with any PZO.

Micro MRV contains an algorithm for discrete and analog control and regulation, is programmed in languages corresponding to the international standard IEC 1131-3. In real time, Micro MRV automatically monitors the performance of the PZO boards.

All lower-level devices are connected to the "Lagoon" controller using conventional wires, since their electrical signal is unified.

The control system provides a number of interlocks that help avoid emergency situations.

When the maximum permissible temperature of the drying agent increases, it is assumed that the following will be turned off: the supply of steam to the heaters; the pump that supplies the condensed product to the drying tower; the supply of hot air.

Increasing the temperature of the air entering the drying chamber is limited by the danger of spontaneous combustion of powdered milk, a decrease in temperature leads to an increase in the consumption of the coolant by 1 ton of evaporated moisture. Reducing the air consumption is also limited by the danger of spontaneous combustion of powdered milk, and increasing the consumption leads to an increase in product losses. Changing the consumption of the condensed product due to not with a change in the performance of the condensation and drying units.

Therefore, automatic blocking when the exhaust air temperature exceeds the maximum permissible involves disconnecting: steam supply to the heaters; the pump that supplies the condensed product; the fan from which hot air enters the drying chamber.

When the pressure of the steam entering the turbine drive of the spray disk drops, automatic disconnection of the steam supply to the heaters and the pump that supplies condensed milk to the drying chamber is provided.

Thus, blocking the operation of the drying unit is provided in the following cases:

- increase in the air temperature inside the drying tower above the permissible one;
- decrease / increase in the steam pressure on the spray nozzle;
- connection of the main fan;
- a sharp decrease in the rotation speed of the spray disk;
- a sharp decrease in the oil pressure in the steam turbine.

4.2 Conclusions by section

A hierarchical 3-level automated system of resource-saving control of the drying process of milk and dairy products has been developed, which ensures the performance of the functions of controlling the technological process of drying milk and dairy products, measuring and registering the values of technological parameters, blocking the operation of the drying unit in emergency situations.

The use of this system will allow:

- Stabilize the moisture content of powdered milk at the level of 3-3.2%;
- Reduce the loss of finished products by about 8 tons per year;
- Reduce energy consumption (steam for heaters and turbine, electricity for the main fan) in the process of drying dairy products by 12-14%.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Розроблення та дослідження ресурсозберігаючої системи керування процесом сушки молока

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Є.В. КІРІЛОВ

Керівник:

К.Т.Н., доцент

В.М. ГАЛАЙ

Полтава 2025

Мета та завдання дослідження. Метою магістерської роботи є підвищення якості керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів на основі розроблення автоматизованої системи ресурсозберігаючого керування. Для досягнення поставленої мети у магістерській роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

Провести аналіз технологічного процесу сушки молока і молочних продуктів, що проводиться у розпилювальній сушильній установці, і виявити фактори, які суттєво впливають на якість готової продукції.

Розробити математичну модель керування розпилювальної сушильної установкою з урахуванням статичних і динамічних характеристик об'єкта керування.

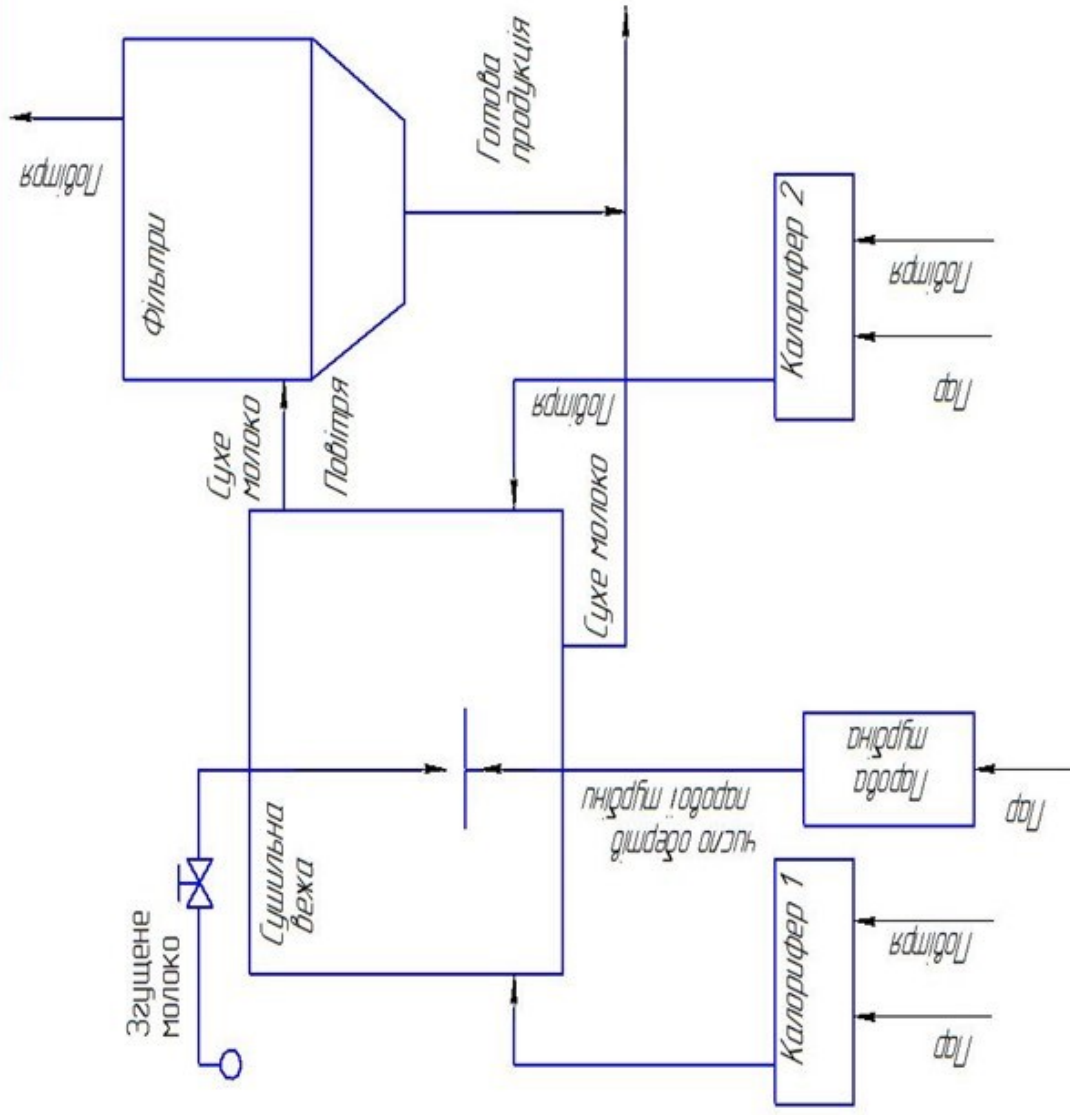
На основі математичної моделі керування розпилювальної сушильної установкою здійснити імітаційне моделювання системи автоматичного керування (САК) параметрами технологічного процесу за каналами керування.

Розробити методи, способи і алгоритми ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, що забезпечують високу продуктивність розпилювальної сушильної установки за рахунок скорочення часу перехідних процесів, в умовах негативного впливу неконтрольованих збурюючих впливів.

Розробити автоматизовану систему ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів.

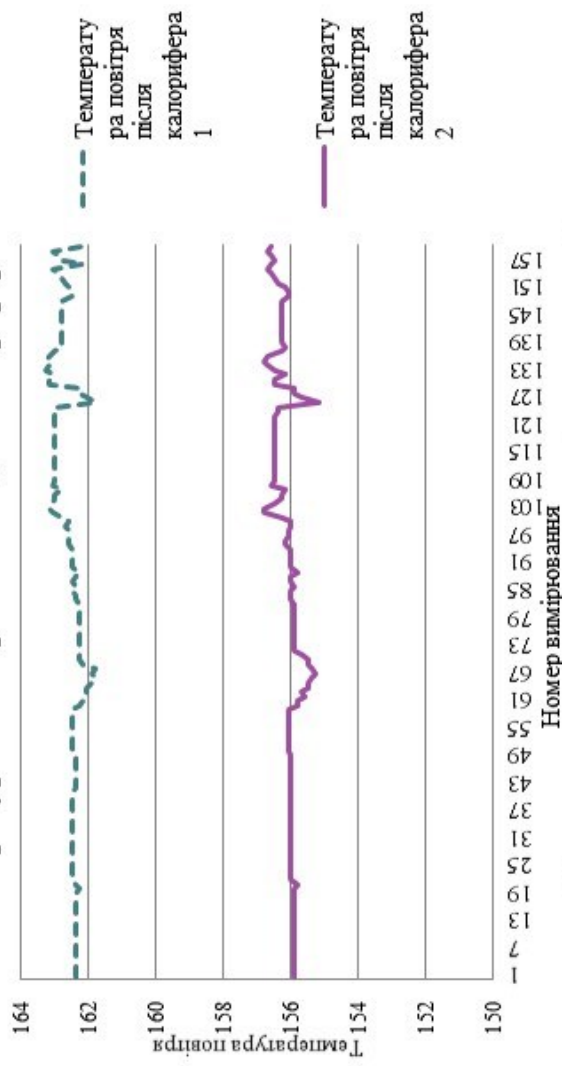
Об'єктом дослідження є процес керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів.

Предметом дослідження є автоматизована система керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів.

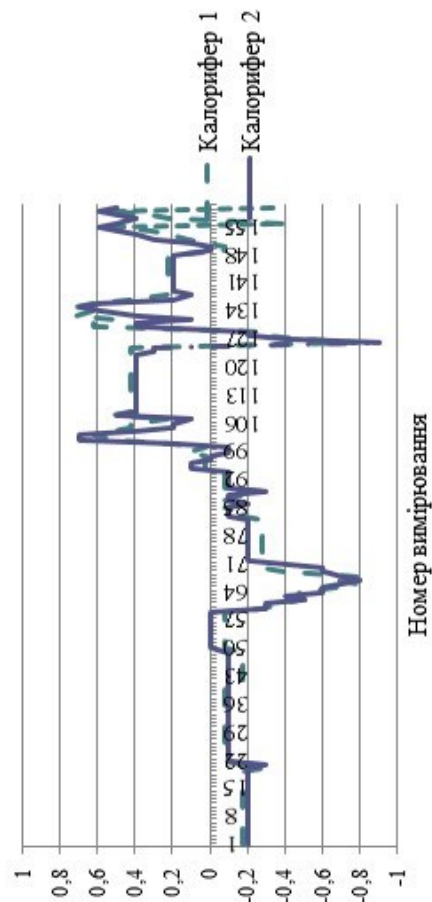


Функціональна схема технологічного процесу сушки молока ПЕ6М

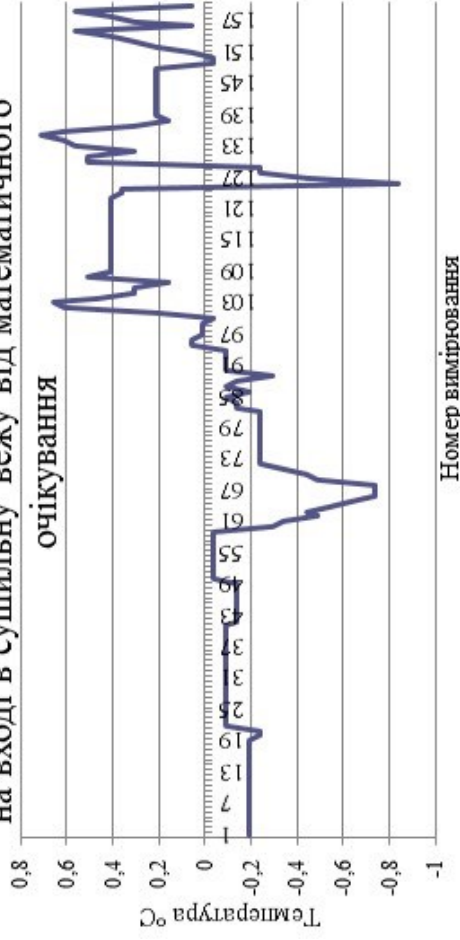
Температури повітря на виході з калориферів 1 та 2



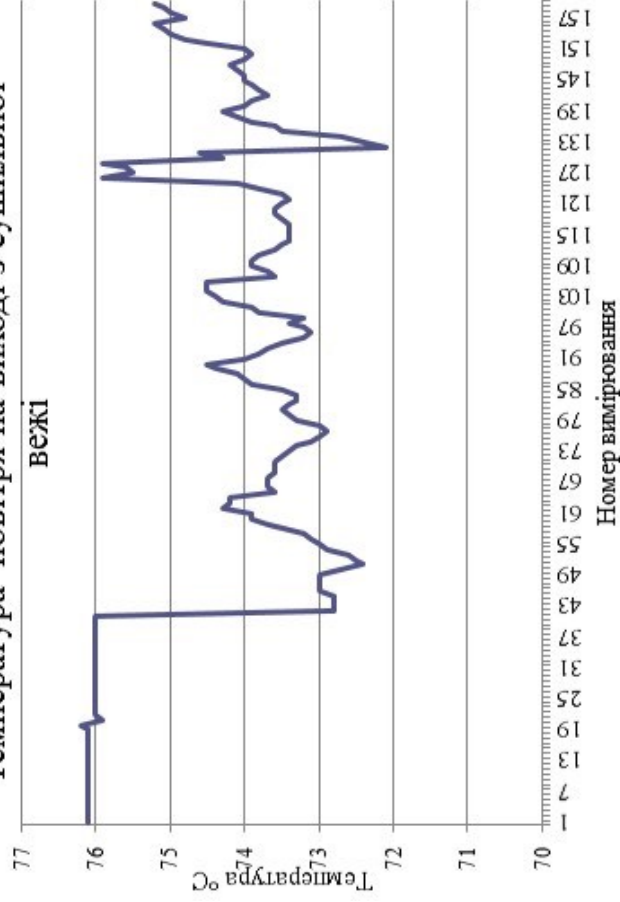
Відхилення температур повітря на виході з калориферів 1 та 2 від середніх



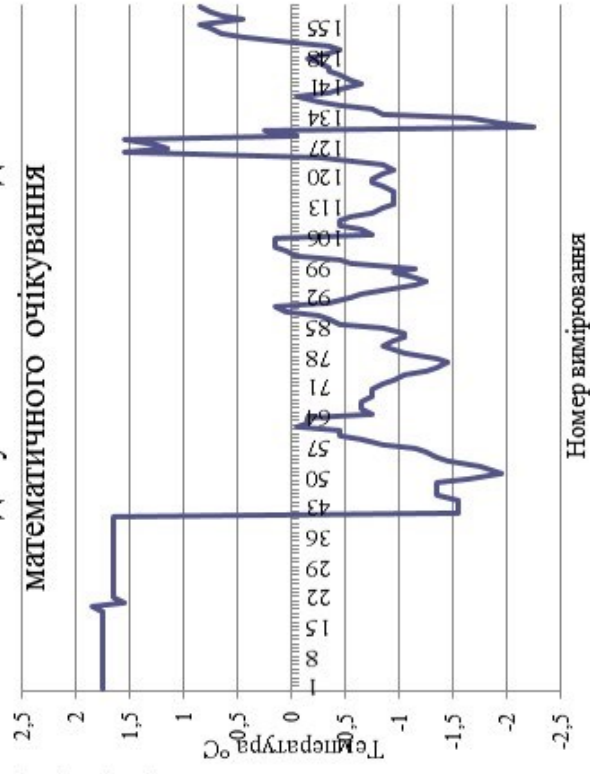
Відхилення середньої температури повітря на вході в сушильну вежу від математичного очікування

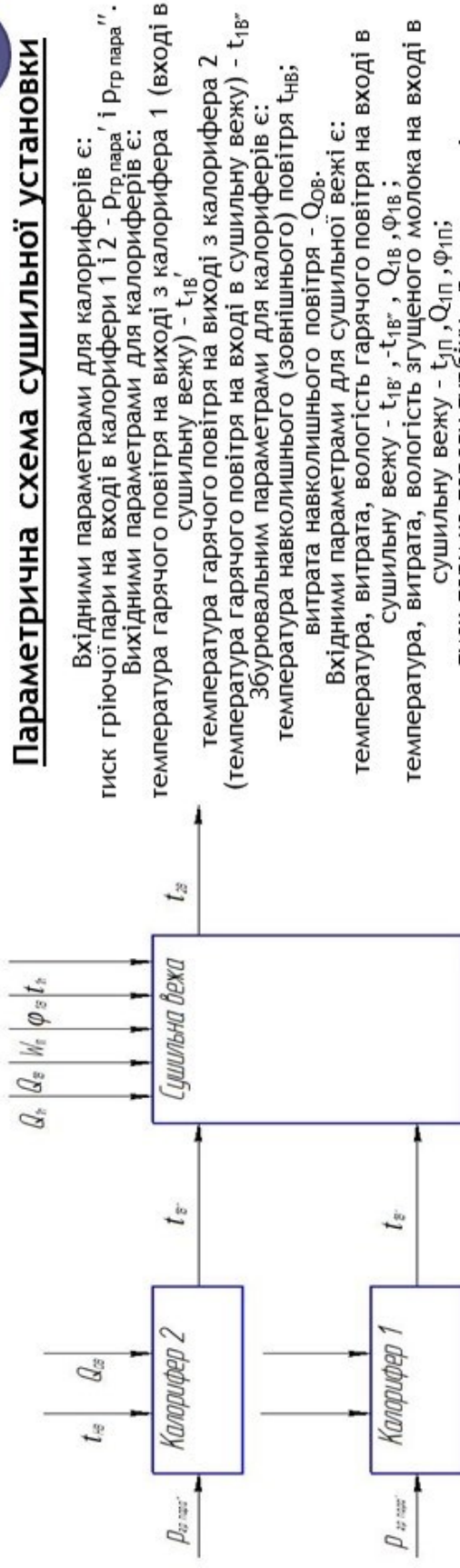


Температура повітря на виході з сушильної вежі



Відхилення температури повітря на виході сушильної вежі від математичного очікування





Параметрична схема сушильної установки

Вхідними параметрами для калориферів є:

тиск гріючої пари на вході в калорифери 1 і 2 - $P_{гр\ пара}$ і $P_{гр\ пара}''$.

Вихідними параметрами для калориферів є:

температура гарячого повітря на вході з калорифера 1 (вході в сушильну вежу) - t_{18} ;

температура гарячого повітря на вході з калорифера 2

(температура гарячого повітря на вході в сушильну вежу) - t_{18}'' ;

Збурувальним параметрами для калориферів є:

температура навколишнього (зовнішнього) повітря $t_{нв}$;

витрата навколишнього повітря - $Q_{ов}$.

Вхідними параметрами для сушильної вежі є:

температура, витрата, вологість гарячого повітря на вході в

сушильну вежу - t_{18} , t_{18}'' , Q_{18} , Φ_{18} ;

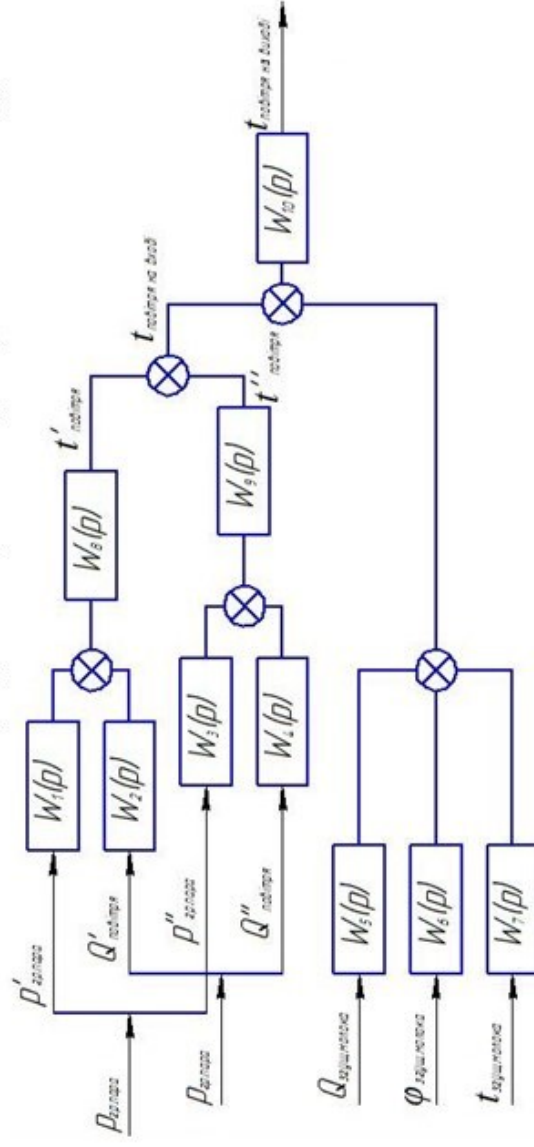
температура, витрата, вологість згущеного молока на вході в

сушильну вежу - $t_{1п}$, $Q_{1п}$, $\Phi_{1п}$;

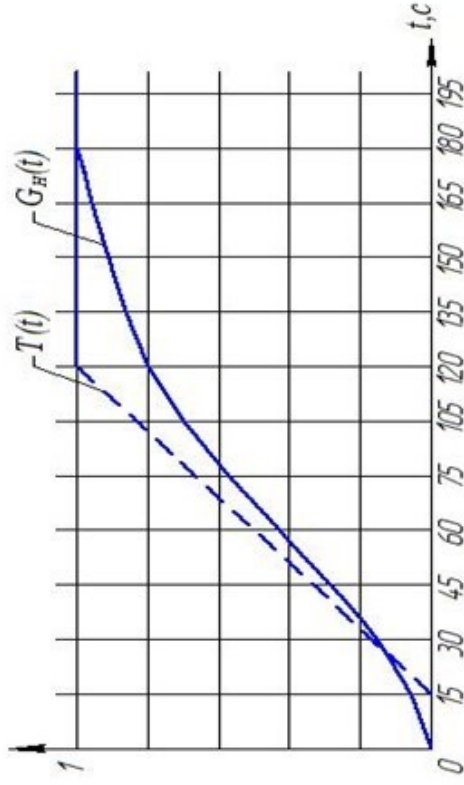
тиск пари на парову турбину - $P_{пара на турбину}$;

Вихідним параметром для сушильної вежі є:

температура повітря на виході з сушильної вежі - t_{28} .



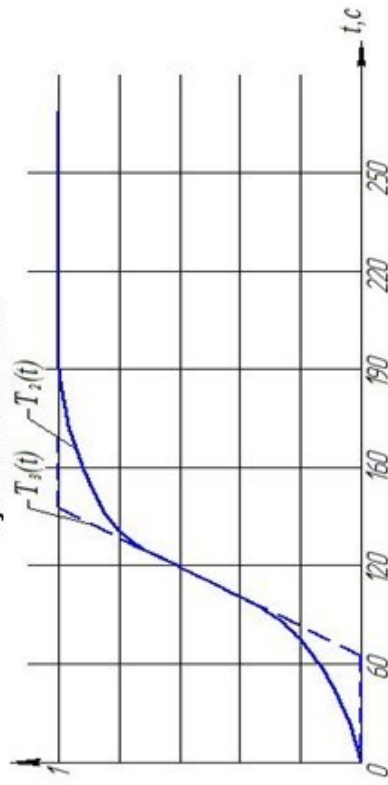
Структурна схема сушильної установки як об'єкта керування



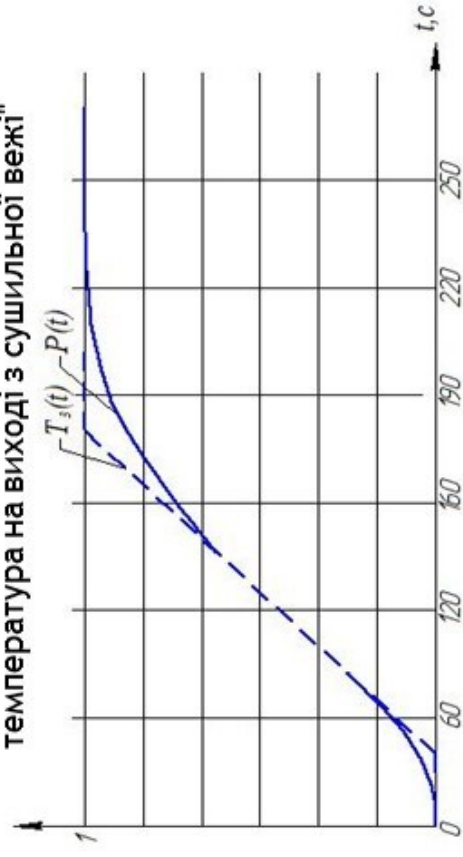
Перехідна функція сушильної вежі по каналу "витрата згущеного молока - температура повітря на виході з сушильної вежі"



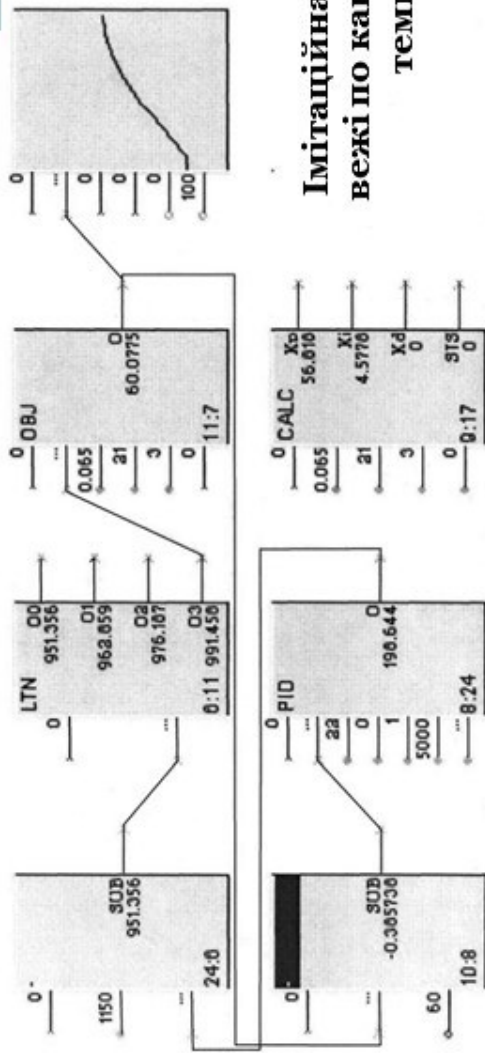
Перехідна функція сушильної вежі по каналу "витрата повітря на вході в сушильну вежу - температура на виході з сушильної вежі"



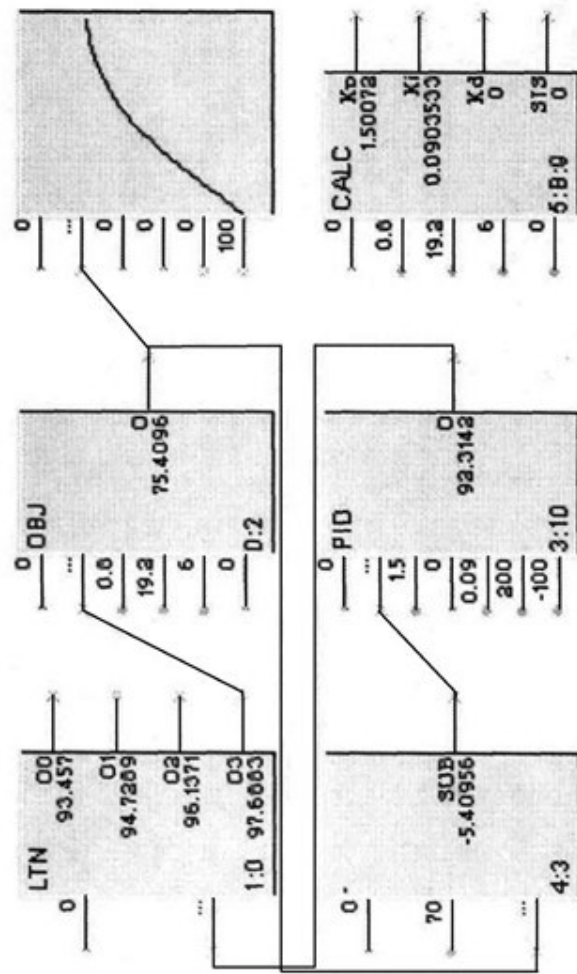
Перехідна функція сушильної вежі по каналу "температура повітря на вході в сушильну вежу - температура на виході з сушильної вежі"



Перехідна функція калорифера по каналу "тиск гріючої пари на вході в калорифер - температура повітря на виході з калорифера"



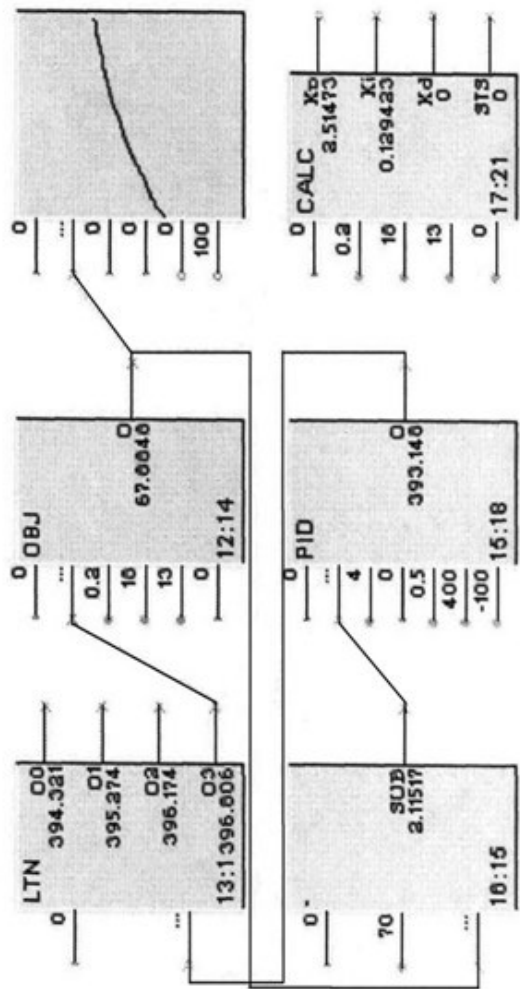
Імітаційна модель замкненої СК сушильної вежі по каналу "Витрата згущеного молока - температура повітря на виході"



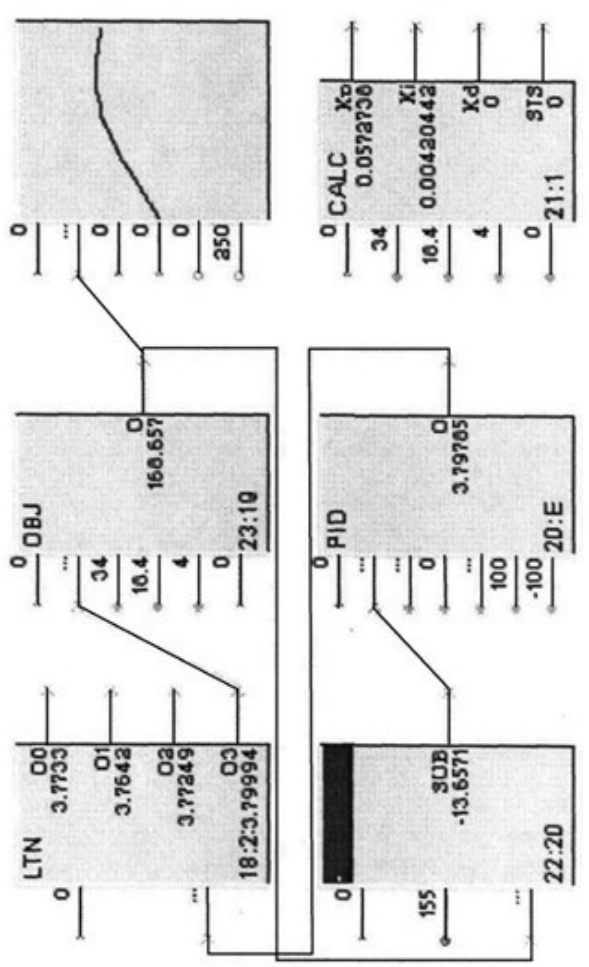
Імітаційна модель замкненої СК сушильної вежі по каналу "Витрата гарячого повітря на вході в сушильну вежу - температура повітря на виході з сушильної вежі"

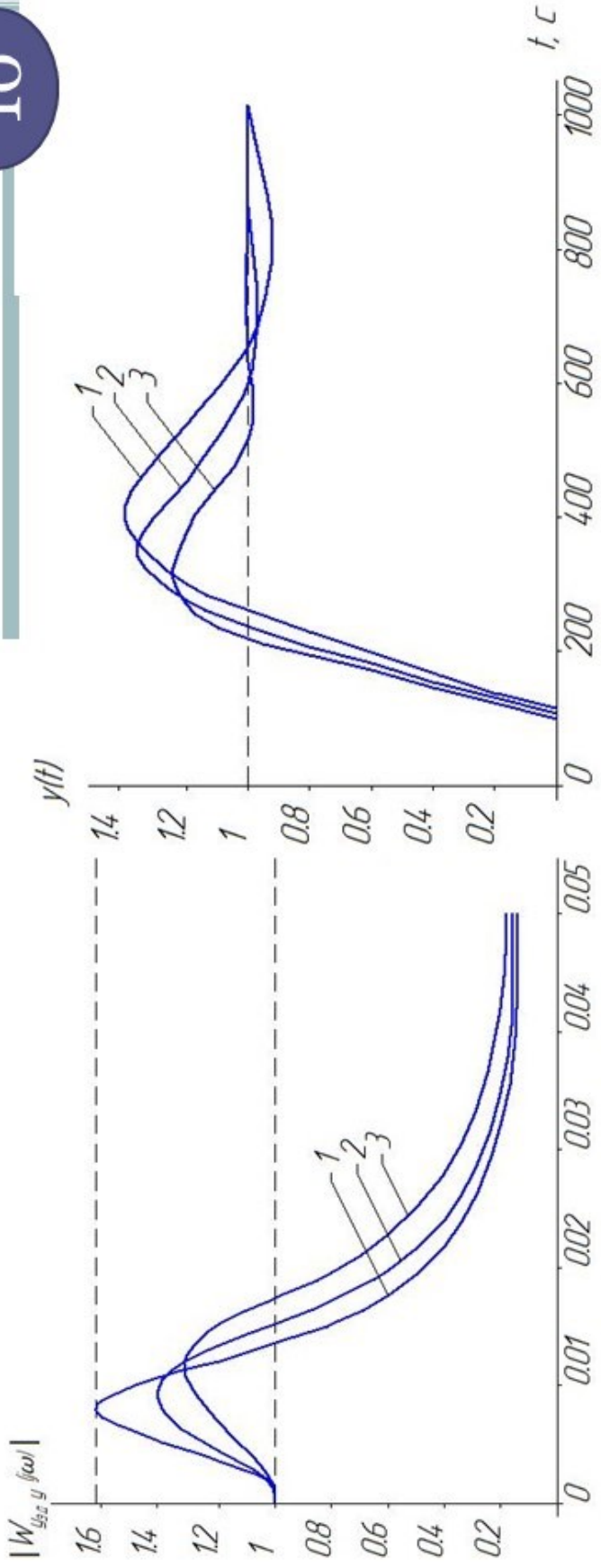
Імітаційна модель замкненої СК сушильної вежі по каналу

"температура гарячого повітря - температура повітря на виході"



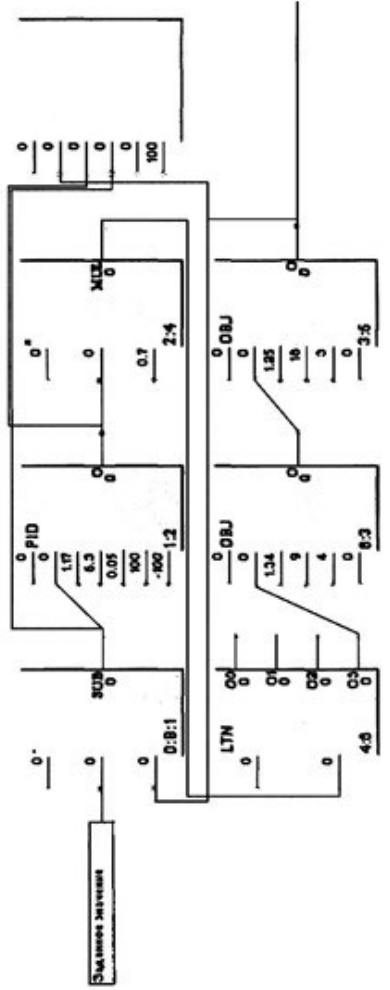
Імітаційна модель замкненої СК по каналу "тиск пари, що гріє - температура повітря на виході з калорифера»





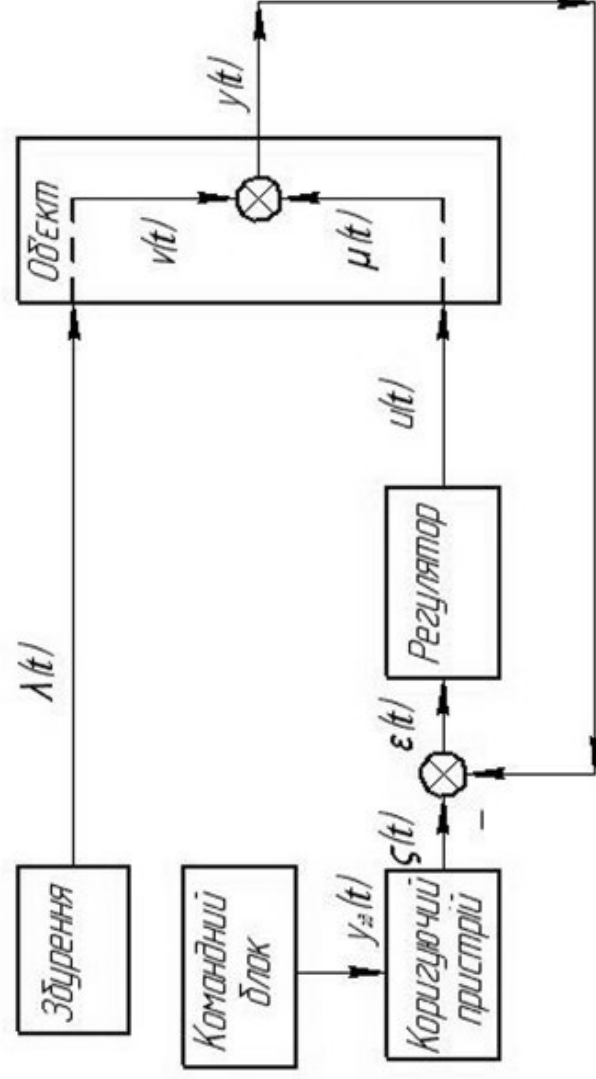
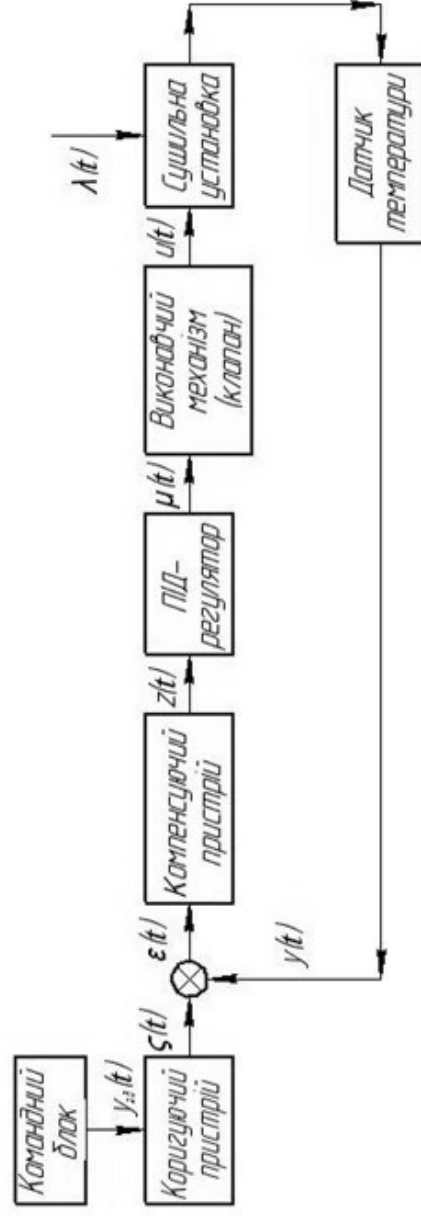
АЧХ системи з ПІД-регулятором

Перехідні процеси в системі з ПІД-регулятором

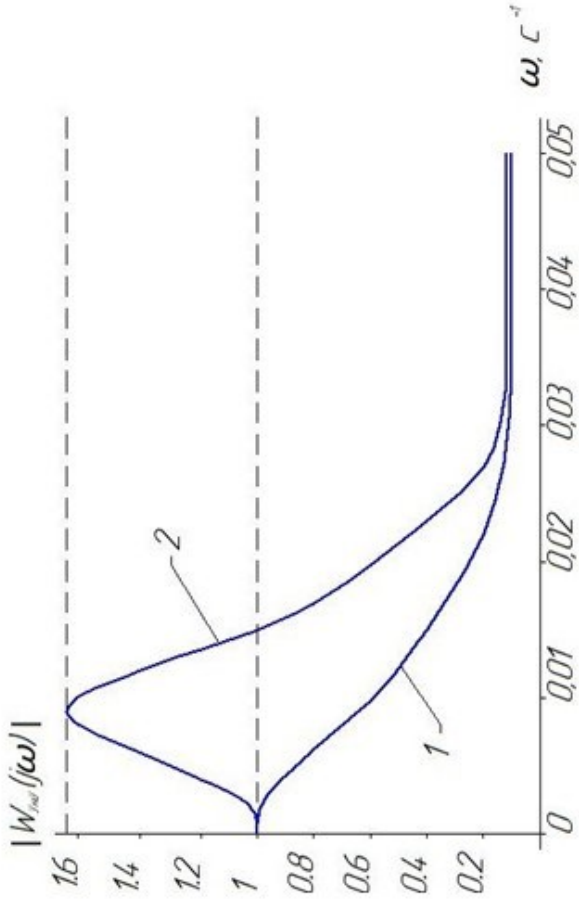


Імітаційна модель САК сушильної установки з типовим ПІД-регулятором

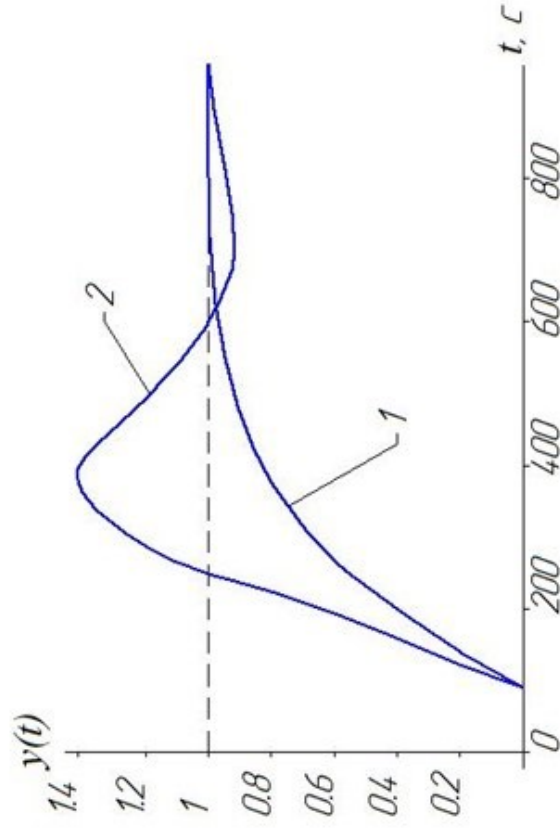
Функціональна схема САК вологості молока з коригувальним пристроєм і компенсатором впливу транспортного запізнювання



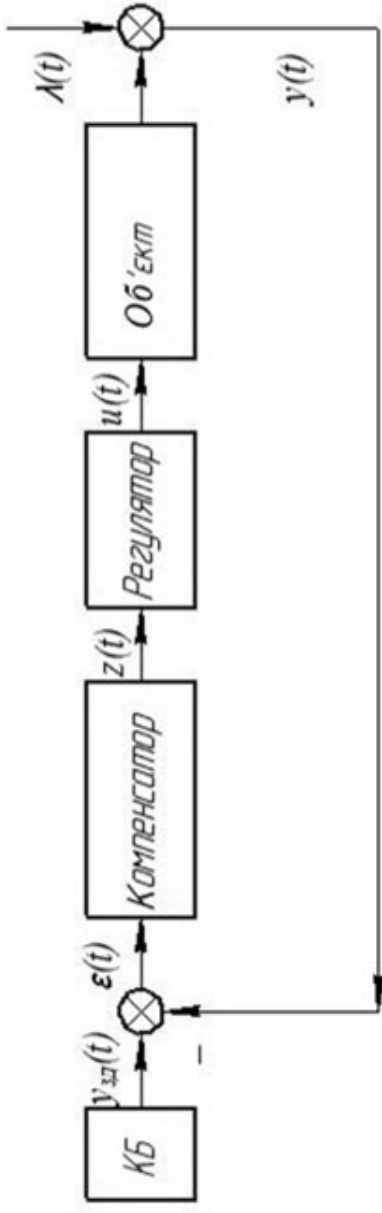
Функціональна схема САК з корекцією сигналу завдання



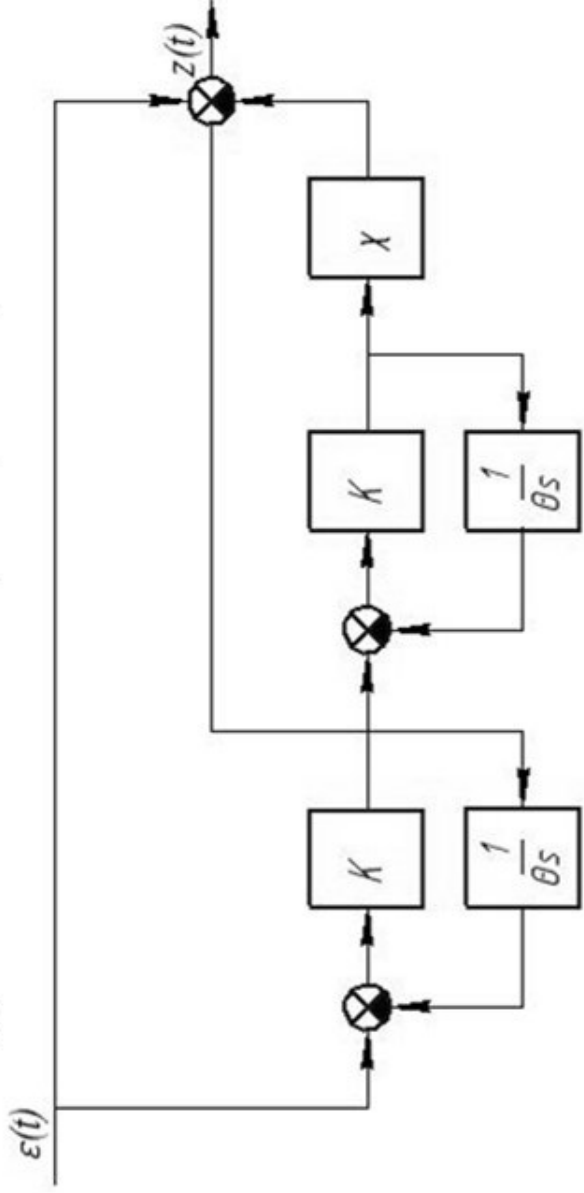
Графіки АЧХ з корекцією
сигналу завдання і в його
відсутність:
1 - з корекцією; 2 - без
корекції



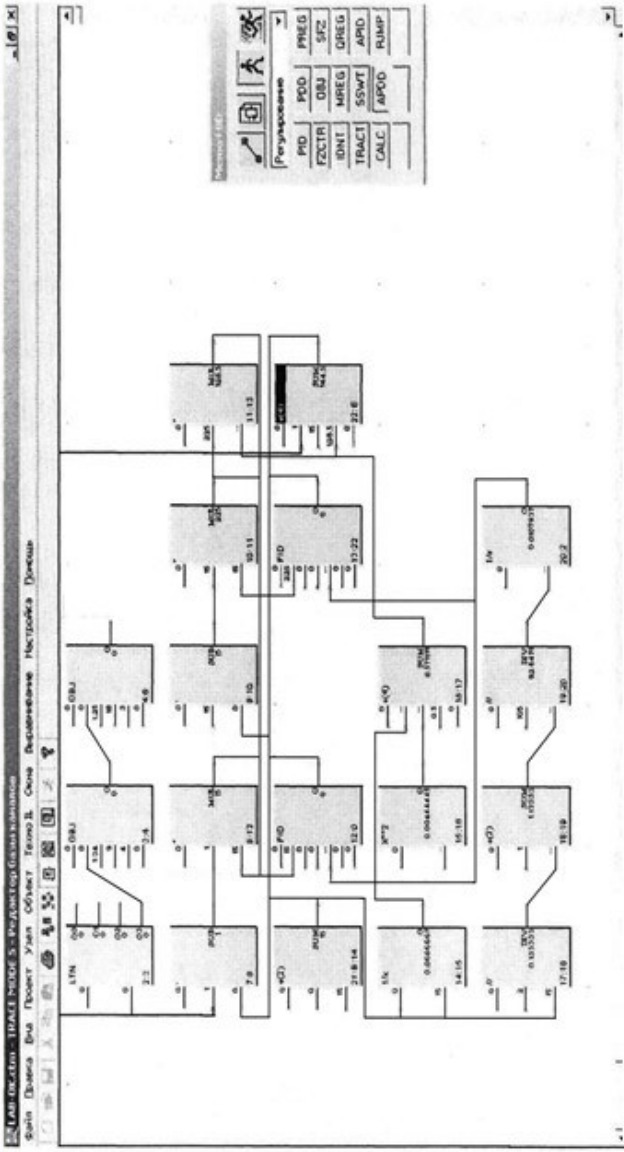
Графік перехідних процесів з
корекцією сигналу завдання і в
його відсутність: 1 - з корекцією; 2
- без корекції



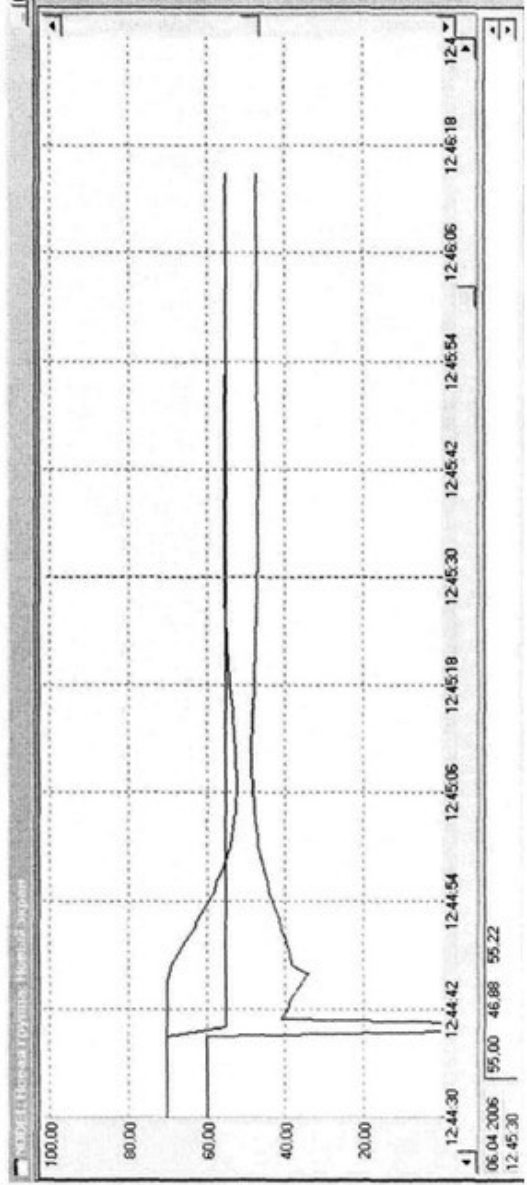
Система керування з компенсатором транспортного запізнення



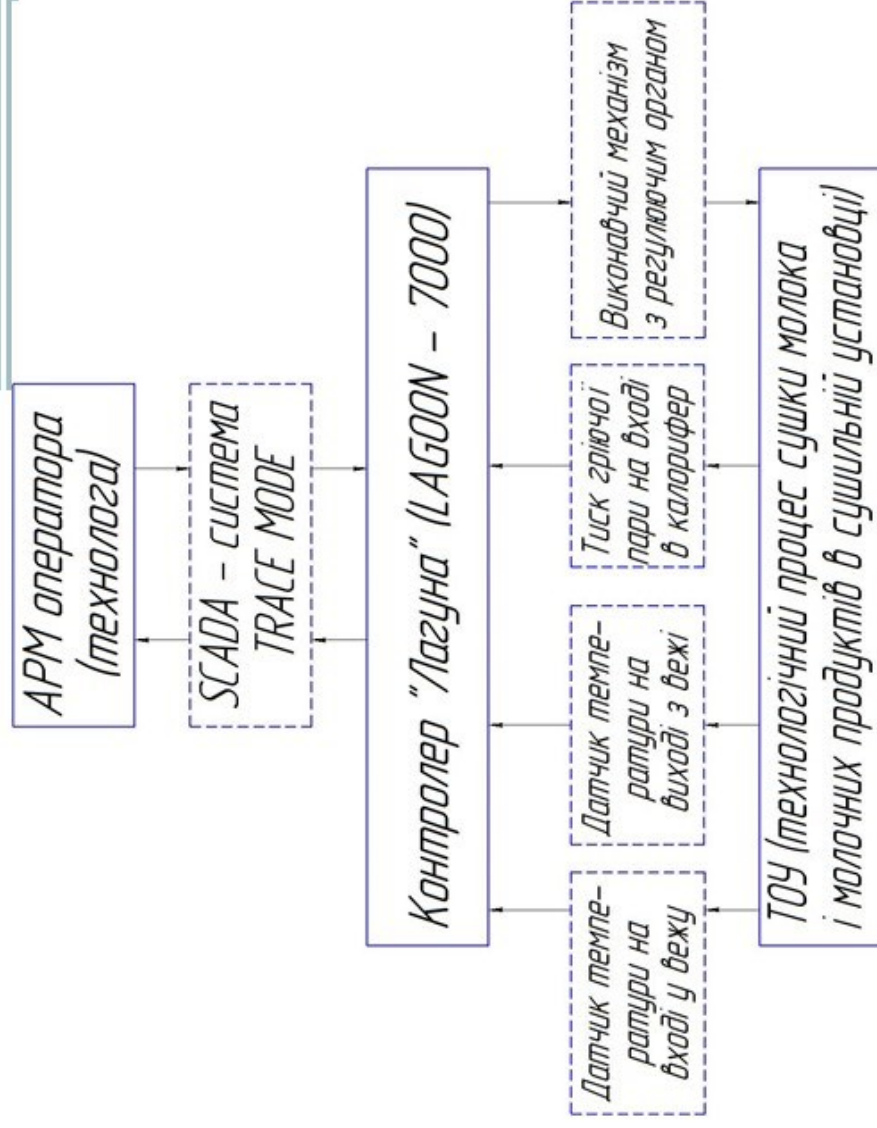
Структурна схема компенсатора



Імітаційна модель САК
температурою повітря на
виході з сушильної вежі з
компенсатором по каналу
"температура повітря на
вході - температура
повітря на виході"



Графік перехідних
процесів на виході САК
температурою повітря
на виході з сушильної
вежі з компенсатором
по каналу "температура
повітря на вході -
температура повітря на
виході"



Функціональна схема системи
ресурсозберігаючого керування процесом сушки
молока

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз та дослідження процесу сушки молока в сушильній установці. Виявлені фактори, що впливають на показники якості сухих молочних продуктів. Запропонований метод підвищення ефективності керування технологічними процесами сушки молока і молочних продуктів, що забезпечує стабілізацію основного показника якості готової продукції.

Розроблені: - математична модель процесу сушки молока з урахуванням матеріального та теплового балансу; - структурна схема об'єкта керування - сушильної установки, на основі якої проведено імітаційне моделювання систем автоматичного керування (САК) параметрів технологічних процесів по каналах керування з використанням інструментальних засобів SCADA-системи Trace Mode. Досліджена адекватність математичної моделі процесу сушки молока. Встановлено, що відносна похибка отриманих оцінок не перевищує 2,4%.

Розроблений метод та алгоритм корекції сигналу завдання, синтезовано коригуючий пристрій, що дозволяє усунути перенапругування і зменшити тривалість перехідних процесів в 1,3 рази.

Розроблені метод, алгоритм і пристрій часткової компенсації негативного впливу транспортного запізнення у системі керування процесом сушки молока і молочних продуктів. Проведена імітаційне моделювання технологічних процесів сушки молока без компенсатора і з компенсатором негативного впливу транспортного запізнення, що дозволило зробити висновок про скорочення часу перехідного процесу і перерегулювання в 2 рази.

Розроблена система на базі програмно-технічного комплексу, що реалізує методи, алгоритми та пристрої ресурсозберігаючого керування процесом сушки молока і молочних продуктів, застосування якої дозволяє: стабілізувати вологість сухого молока на рівні 3-3,2%; знизити втрати готової продукції близько 8 тонн на рік; скоротити енерговитрати (пар на калорифери і турбіну, електроенергію на головний вентилятор) в процесі сушки молочних продуктів на 12-14%.