



# Національний університет харчових технологій

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

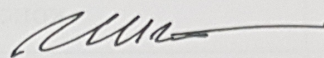
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи

керування

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри АКТСУ Зімерін І.В.



"18" листопада 2020 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Веремієнка Олександра Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи : Автоматизація процесу приготування хліба з підсистемою оперативної діагностики технічних засобів автоматизації

керівник роботи Луцька Наталія Миколаївна доц.,к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» листопада 2020 р. №953-кс

2. Строк подання здобувачем роботи « 8 » лютого 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. Характеристика об'єкта дослідження ,аналітичний огляд літератури та постановка задачі дослідження . 1.1.Характеристика об'єкта дослідження .1.2.Огляд літератури. 1.2.1.Загальні принципи алгоритмізації та побудови систем керування. 1.2.2.Цілі і об'єкти виявлення і діагностики неполадок. 1.2.3.Види неполадок та імовірності їх появи. 1.2.4.Проектування систем виявлення і діагностики неполадок. 1.2.5.Техніка виявлення та діагностика неполадок. 1.2.6.Випробування,які проводяться для виявлення та діагностики неполадок. 1.2.7.Усунення несправностей. 1.2.8.Діагностика ТЗА на предмет використання в системах автоматизації. 1.2.9.Методи розпізнавання образів у виявленні та діаностиці неполадок. 1.2.10.Контрольні карти процесу. 1.2.11.Контрольні карти для кількісних даних. 1.2.12.Контрольні карти для альтернативних ознак. 1.3.Постановка задач дослідження. Розділ 2 Загальносистемні рішення .2.1.Розробка підсистеми управління технологічним процесом. 2.2.Опис функцій, що інтелектуалізуються. 2.3.Розробка вимог до ІСК(Requirements diagram). 2.4.Визначення функцій користувачів(Use Case diagram). 2.5.Розробка BDD

технологічної, технічної та інформаційної складових системи. 2.6. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК. 2.6.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (State Machine diagram, Activity diagram). 2.6.2. Визначення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram). Розділ 3.3.1. Вибір програмного забезпечення для всіх компонентів системи. 3.2. Реалізація візуальних інструментів діагностики в середовищі Matlab. 3.3. Розробка та моделювання ІСК. 3.3.1. Лінгвістична апроксимація вхідних та вихідних змінних. 3.3.2. Розробка бази правил для нечіткої системи. 3.3.3. Побудова нечіткого регулятора.

5. Перелік графічного матеріалу  
 1. Схема автоматизації. 2. Requirement diagram. 3. Use Case diagram. 4. BDD. 5. State Machine diagram. 6. Activity diagram.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

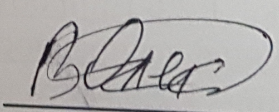
7. Дата видачі завдання 18 листопада 2020 р.

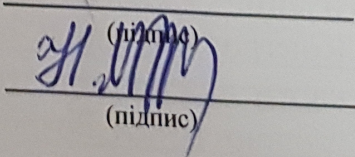
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача та затвердження завдання	<i>Перед переддипломною практикою</i>	
2	Розділ 1. Характеристика об'єкта дослідження, аналітичний огляд літератури та постановка задачі дослідження.	<i>Захист переддипломної практики</i>	
3	Розділ 2. Розробка підсистеми управління технологічним процесом.	<i>3 тиждень</i>	
4	Розділ 2. Опис функцій, що інтелектуалізуються. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram).	<i>5 тиждень</i>	
5	Розділ 2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram). Розробка BDD технологічної, технічної та інформаційної складових системи. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК.	<i>7 тиждень</i>	
6	Розділ 3. Вибір програмного забезпечення для всіх компонентів системи. Реалізація візуальних інструментів діагностики в середовищі Matlab.	<i>11 тиждень</i>	

Здобувач Веремієнко О.В.

Керівник роботи Луцька Н.М.



  
 (підпис)

Дана магістерська робота розроблена на тему: Автоматизація процесу приготування хліба з підсистемою оперативної діагностики технічних засобів автоматизації”.

В роботі було проаналізовано основні способи діагностики ТЗА, та обраний метод контрольних карт Шухарта для оперативної діагностики та прогнозування. Розроблена інтелектуальна система управління процесом випічки хліба, система підтримки прийняття рішень на основі нечіткої логіки.

Розроблена база знань нечіткої логіки, проведена лінгвістична апроксимація вхідних та вихідних змінних, створені функції належності вхідних та вихідних величин. Розроблена база правил для нечіткої системи.

Проведена діагностика показань вологості в камері випікання, дані із технологічного серверу у вигляді m-файлу завантажуються в середовище матлаб, де алгоритм діагностики на основі контрольних карт Шухарта показує значення вологості, які вийшли за допустимий діапазон, і виводить інформацію яка саме вибірка вийшла за діапазон. Нечіткий регулятор, на основі нечіткої логіки при збільшенні вологості в печі змінює температуру в камері випікання, шляхом зміни витрати палива в топку.

**Ключові слова:** карти Шухарта, прогнозування, нечіткий регулятор, база правил, випічка хліба.

## Annotation

The master's robot was given on the topic: Development of an intellectual system and a keruvannya to a project by the process of preparing a chlib with an operational diagnostic system for technical automation.

In the robot, the basic methods of diagnostics of TZA, and the method of Shewhart's control charts for operational diagnostics and forecasting were analyzed. There is an intellectual system for controlling the process of vypichki hliba, the system for receiving decisions on the basis of unclear logic.

The base of knowledge of unclear logic has been broken up, a linguistic approximation of the input and output changes, the functions of the control of input and output values, has been carried out. The rule base for the fuzzy system has been broken up.

Diagnosis of humidity readings in the baking chamber, data from the process server in the form of an m-file is downloaded into the matlab environment, where the diagnostic algorithm based on Schuhart control cards shows the values of humidity that exceeded the allowable range and displays information which sample is out of range. Fuzzy regulator, based on fuzzy logic when increasing the humidity in the oven changes the temperature in the baking chamber by changing the fuel consumption in the furnace.

**Key words:** Schuhart maps, forecasting, fuzzy regulator, rule base, bread baking.

## Зміст

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1 .....	5
1.1 Характеристика об'єкта дослідження.....	5
1.2 Огляд літератури .....	19
1.2.1. Загальні принципи алгоритмізації та побудови систем керування .....	19
1.2.2 Цілі і об'єкти виявлення і діагностики неполадок.....	24
1.2.3 Види неполадок та імовірності їх появи .....	27
1.2.4 Проектування систем виявлення і діагностики неполадок .....	30
1.2.5 Техніка виявлення та діагностики неполадок.....	32
1.2.6 Випробування, які проводяться для виявлення і діагностики неполадок.....	34
1.2.7 Усунення несправностей .....	36
1.2.8 Діагностика ТЗА на предмет використання в системах автоматизації .....	37
1.2.9 Методи розпізнавання образів у виявленні та діагностиці неполадок.....	44
1.2.10 Контрольні карти процесу .....	49
1.2.11 Контрольні карти для кількісних даних .....	60
1.2.12 Контрольні карти для альтернативних ознак.....	63
1.3 Постановка задач дослідження .....	66
Розділ 2 .....	68
2.1. Розробка підсистеми управління технологічним процесом.....	68
2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються .....	80
2.3. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram).....	81
2.4. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram) .....	86
2.5. Розробка BDD технологічної, технічної та інформаційної складових системи.....	89
2.6. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК.....	91
2.6.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (State Machine diagram, Activity diagram) .....	91
2.6.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram).....	93
3.1 РЕАЛІЗАЦІЯ ВІЗУАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ	
95	
3.3. Побудова контрольних карт Шухарта.....	97
3.3. Аналіз даних за допомогою карт Шухарта в процесі випічки хліба .....	103
3.4.3 ПОБУДОВА НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА .....	127
Список використаної літератури : .....	130

## Вступ

Управління сучасним промисловим підприємством, що функціонує на початку третього тисячоліття, потребує використання не тільки нагромадженого в менеджменті досвіду і розроблених раніше підходів, а насамперед перспективних та ефективних методів, які ґрунтуються на досягненнях сучасних інформаційних технологій, і методів штучного інтелекту, а також наукових розробок у сфері підтримки прийняття рішень.

Для управління виробництвом нині потрібні ефективні методи й інструменти підтримки рішень на всіх рівнях його функціонування. Різноманіття цілей і завдань, які виникають у процесі прийняття рішень, їх складність і часові обмеження властиві дуже багатьом проблемам, щодо яких приймають рішення, потребують комп'ютерної підтримки цього процесу. Створення таких інтелектуальних систем підтримки рішень, які забезпечили б менеджера сучасними способами аналізу інформації, генерації варіантів рішень, їх оцінками й вибором найкращого варіанта, – надзвичайно важливе й актуальне завдання. При цьому під поняттям інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) в управлінні виробництвом розуміємо людино-машинні інтерактивні системи, що дозволяють відповідальній особі підтримувати всі етапи процесу прийняття рішень, а також здатні до набуття нових знань, до навчання в результаті аналізу нагромаджених знань і досвіду, адаптації їх до динамічно змінюваних зовнішніх умов і поточного стану всіх складових елементів виробничої системи. Як зазначає Д. Поспелов: “Сьогодні особливо актуальним стає формування єдиних методологічних засад штучного інтелекту, розробка загальних принципів побудови інтелектуальних систем нових поколінь. Тут великі перспективи пов'язані з використанням ідей і принципів синергетики у штучному інтелекті”. До синергичних напрямів у дослідженнях Д. Поспелов зараховує “нетрадиційні логіко-семіотичні й нейроінтелектуальні моделі, “м'які обчислення (soft computing)” і “обчислювальний інтелект (Computational Intelligence)”, багатоагентні системи і штучні організації”.

*Мета дослідження* – розробка інтелектуальної системи оперативної діагностики ТЗА технологічного процесу випічки хліба, що діагностує правильність вимірів та їх загальну справність в процесі виробництва.

*Об'єктом дослідження* є технологічний процес випічки хліба в печах тунельного типу.

*Предметом дослідження* це методологія діагностування поломок та несправностей на основі карт Шухарта, та прогнозування поведінки системи на основі нечіткої логіки.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Характеристика об'єкта дослідження

Перелік і співвідношення окремих видів сировини, яка використовується для виробництва хліба (борошно, вода, сіль, дріжджі, цукор, жири та ін.), називається рецептурою. В рецептурі хліба і хлібобулочних виробів кількість різних видів сировини виражають у кілограмах на 100 кг борошна.

Рецептура основних сортів пшеничного хліба і хлібобулочних виробів приблизно така, кг: борошно — 100; вода 40 - 70; дріжджі 0,5 - 2,5; сіль 1,3 - 2,5; цукор 0 - 20; жир 0 - 13. Для деяких сортів хліба і хлібобулочних виробів потрібні також яйця, родзинки, молоко, мак, ванілін тощо.

Виробництво хліба складається з п'яти тісно пов'язаних між собою технологічних етапів: підготовки сировини, приготування і обробки тіста, випікання, охолодження і зберігання хліба.

Підготовка сировини. Для одержання тіста нормальної консистенції треба, щоб сировина відповідала вимогам хлібопечення і була підготовлена належним чином. Підготовка борошна — це складання, змішування, просіювання і магнітне очищення сумішей. Борошно просіюють на спеціальних машинах, на яких встановлюють магнітні вловлювачі. Просіювання запобігає потраплянню в тісто різних домішок. Крім того, під час просіювання відбувається аерування часточок борошна — насичення їх киснем повітря, який на початку бродіння використовується дріжджами для аеробного дихання.

У хлібопеченні використовується вода, яка за якістю має відповідати вимогам питної води. У ній не повинно бути шкідливих домішок і хвороботворних мікроорганізмів, тому що багато з них зберігається при

випіканні, внаслідок чого хліб може стати джерелом захворювань. Оскільки в технологічному процесі хлібопечення велику роль відіграють процеси бродіння, кип'ячену воду використовувати не можна, тому що в ній майже немає розчиненого повітря, яке потрібне для життєдіяльності дріжджів.

Сіль, яку використовують у хлібопеченні, також повинна відповідати вимогам стандарту. Вона поліпшує фізичні властивості тіста, надає смаку хлібу. Її попередньо розчиняють у воді, а потім фільтрують розчин. Крупнозернисту сіль перед розчиненням промивають. Зберігати сіль треба в сухому приміщенні з вологістю повітря не більше 75 %.

Якість хліба залежить переважно від ступеня і правильності його розпушеності (пористості). Основними розпушувачами тіста є дріжджі — одноклітинні мікроорганізми розміром до 10 мкм, які належать до класу грибів. У виробничих умовах вони розмножуються брунькуванням. Оптимальна температура для їх розмноження 26 — 28 °С, при температурі 58 - 68 °С дріжджі гинуть. Вони можуть розмножуватись як в аеробних, так і в анаеробних умовах, виділяючи в процесі життєдіяльності вуглекислий газ. Добре розподілені в масі тіста дріжджові клітини виділяють вуглекислий газ, яким насичується тісто, внаслідок чого створюється тиск газу і тісто розпушується.

У хлібопеченні застосовують пресовані, сухі й рідкі дріжджі. Пресовані дріжджі мають вологість до 35 %, тому швидко псуються. Сухі дріжджі одержують висушуванням пресованих, вони можуть зберігатися тривалий час. Основні вимоги до пресованих і сухих дріжджів — наявність у них піднімальної сили, тобто здатності за певний час забезпечити підняття (розпушування) тіста до певного рівня.

Приготування рідких дріжджів на хлібопекарських підприємствах потребує мікробіологічного контролю, оскільки треба стежити за складом мікрофлори тіста (дріжджів, молочнокислих бактерій).

Тісто для кондитерських виробів, яке містить багато цукру, розпушувати дріжджами не можна, оскільки цукор створює високий осмотичний тиск, що зумовлює зневоднювання та плазмоліз тіста. Тому тісто для таких виробів розпушують гідрокарбонатом натрію  $\text{Na}_2\text{HCO}_3$  або карбонатом амонію  $(\text{NH}_4)\text{CO}_3$ . Карбонат амонію, наприклад, розкладається в тісті на аміак, вуглекислий газ і воду:



Приготування тіста. Пшеничне тісто готують двома основними способами: опарним і безопарним.

При опарному способі спочатку роблять опару. Для цього використовують близько половини загальної кількості борошна, до  $2/3$  води і всю кількість дріжджів. За консистенцією опара рідкіша за тісто і має температуру  $28 - 32$  °С. Тривалість бродіння опари  $3 - 4,5$  год.

На готовій опарі замішують тісто, додаючи інгредієнти, що залишилися, та передбачені рецептурою цукор і жир. Тісто має початкову температуру  $28 - 30$  °С. Його бродіння триває  $1 - 1,45$  год.

Безопарним способом замішують тісто з усієї кількості борошна, води, солі і дріжджів. Початкова температура його бродіння  $28 - 30$  °С, тривалість бродіння  $2-4$  год.

Кожний із наведених способів має свої переваги і недоліки. Приготування тіста опарним спосом більш тривале, але двоступінчастий процес бродіння

поліпшує пластичні властивості тіста, сприяє гідролізу компонентів борошна та нагромадженню більшої кількості речовин, які надають смаку та аромату хлібові.

Хліб, приготовлений опарним способом, має кращі пористість м'якушки, структуру пор, їх тонкостінність, тому що в тісті інтенсивніше відбуваються процеси набухання часточок борошна, пентаза-ція білків тощо. Поліпшенню пластичних і смакових якостей тіста сприяє також значне накопичення у ному молочної кислоти. При опарному способі скоринки хліба краще забарвлені (рожеваті, світло-коричневі), гладенькі завдяки вмісту в тісті декстринів і цукрів, а також утворенню комплексних сполук — меланоїдів.

Недоліком опарного способу є більша тривалість приготування тіста порівняно з безопарним та більша потреба в додатковому устаткуванні. Втрати сухої речовини борошна при цьому менші, тому вихід хліба приблизно на 0,5 % менший.

Іноді як при опарному, так і при безопарному способах приготування тіста використовують закваски — водно-борошняні суміші, в яких крохмаль борошна клейстеризований. Готують їх з борошна і води у співвідношенні 1:3—1:2 (борошна беруть 3 — 5 % від загальної його кількості).

Особливості виготовлення житнього хліба зумовлені властивостями житнього борошна. У ньому немає зв'язної клейковини, але містяться сильнонабухаючі високомолекулярні пентозани — слизи (2 — 3 %). Клейстеризація житнього крохмалю відбувається за більш низьких температур порівняно з пшеничним. У житньому борошні завжди достатня кількість а-амілази в активному стані. Крім того, речовини здатні значно пептизуватися й переходити у в'язкі колоїдні розчини. Тому властивості і способи приготування житнього хліба зовсім інші, ніж пшеничного. Відомо, що тільки багатоступін-

часте виготовлення житнього тіста з багаторазовим добавлянням до нього свіжих порцій борошна з одночасним тривалим бродінням дає змогу підвищити його газоутримуючу здатність і формостійкість.

Особливістю житнього тіста є висока кислотність (приблизно 12°). Підвищена кислотність, зокрема вміст молочної кислоти, позитивно впливає на фізичні властивості житнього тіста, сприяє пептизації й одночасному набуханню частини білків.

Підвищена кислотність гальмує дію  $\alpha$ -амілази при випіканні хліба, скорочує період утворення під її впливом декстринів, що запобігає підвищеній липкості й заминанню м'якушки готового хліба. Високої кислотності досягають замішуванням житнього тіста на густих і рідких заквасках з борошна, води і старої закваски або тіста. Вологість густих заквасок (так звані головки) дорівнює 50 %, менш густих (кваси) — 60, рідких — 70-80 %.

Закваски містять дріжджі і молочнокислі бактерії, які викликають бродіння тіста та утворення молочної та оцтової кислот. Співвідношення кількості дріжджів і молочнокислих бактерій в житньому тісті становить 1 : 100.

Дуже ефективним способом зміни складу та властивостей бродильної мікрофлори житніх заквасок, а отже, і співвідношення в них різних продуктів бродіння є зміна температури. Встановлено, що при підвищенні температури заквасок від 25 до 40 °C у них збільшується кількість кислот, зокрема молочної кислоти в загальній кислотності тіста. З моменту замішування тіста починається його бродіння. Процеси, які приводять тісто в результаті бродіння та об-минок до оптимального стану для розділення і випікання, називається дозріванням тіста.

Під час бродіння тіста внаслідок дії ферментів дріжджів на вуглеводи утворюються етиловий спирт, вуглекислий газ, молочна й оцтова кислоти та інші продукти.

Застосовувані в хлібопеченні дріжджі можуть зброджувати всі цукри тіста — глюкозу, фруктозу, мальтозу й сахарозу. Глюкоза і мальтоза зброджуються в тісті безпосередньо, а сахароза попередньо перетворюється на глюкозу і фруктозу. Молекула мальтози розкладається в тісті мальтозою дріжджів на дві молекули глюкози.

Процес спиртового і кислотного (переважно молочнокислого) бродіння тіста — це ланцюг складних біохімічних процесів, зумовлених взаємодією комплексу ферментів дріжджів і кислотоутворюючих бактерій та ферментів борошна. При цьому із тіста в клітини дріжджів і кислотоутворюючих бактерій надходять розчинні продукти, необхідні для їх життєдіяльності (бродіння, дихання, розмноження), а із клітин у тісто виділяються основні і побічні продукти бродіння.

Вуглеводно-амілазний комплекс тіста в процесі бродіння безперервно змінюється. Власні цукри борошна швидко зброджуються

дріжджами, водночас із крохмалю борошна під дією  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілаз утворюється мальтоза.

Під час зброджування цукрів виділяються спирт і вуглекислий газ. Етиловий спирт, що частково утворюється, бере участь в утворенні аромату хліба.

Вуглекислий газ, вивільняючись із в'язкого тіста, піднімає і роз-рихлює його, надаючи йому пористості. Чим більше виділяється вуглекислого газу, тим пористішими будуть тісто і хліб. Величина га-зоутримуючої властивості хліба

змінюється залежно від різних факторів, насамперед від вмісту клейковини та консистенції тіста.

У процесі бродіння підвищується кислотність тіста через нагромадження продуктів, які мають кислу реакцію. Підвищення кислотності опари в тісті під час бродіння зумовлене переважно утворенням і накопиченням деяких кислот.

У тісті, що вибродило, є молочна, оцтова, лимонна та інші органічні кислоти. Встановлено, що збільшення кислотності тіста після бродіння приблизно на  $2/3$  зумовлене нагромадженням молочної кислоти. Основну роль у цьому відіграють молочнокислі бактерії, частина яких міститься в борошні і дріжджах.

Під час бродіння тіста вуглекислий газ, який нерівномірно розподіляється в ньому, утворює великі бульбашки. Для кращого розпушування всієї маси тіста та його аерації під час бродіння роблять одну-дві перебивки (обминки). Обминку проводять за допомогою тістомішальної машини, як правило, протягом 1,5 — 2,5 хв, що дає змогу поліпшити структуру та структурно-механічні властивості тіста й одержати хліб найбільшого об'єму з дрібною, тонкостінною і рівномірно пористою м'якушкою.

Для підвищення якості хліба широко застосовують хімічні добавки. Так, при переробці борошна з низькою якістю клейковини, наприклад із зерна, пошкодженого клопом-черепашкою, в нього добавляють бромат калію. Крім бромату калію, в хлібопеченні використовують аскорбінову кислоту і пероксид кальцію. При їх добавлянні збільшується об'єм хліба (на 10 — 40 %), підвищується пористість та структура м'якушки, яка стає світлішою.

Тісто, яке вибродило (дозріло), розділяють на шматки потрібної маси, округлюють, залишаючи для попереднього або остаточного розстоювання тістових заготовок. На заводах тісто розділяють на шматки за допомогою

тістороздільних машин, після чого їх зразу округлюють. При випіканні круглих подових виробів це операція кінцевого формування шматків тіста. Для багатьох інших виробів (батонів, рогаликів та ін.) округлювання є лише першою проміжною стадією їх формування. Її мета — поліпшення структури тіста.

Між операцією округлювання і кінцевою операцією формування шматків пшеничного тіста відбувається попереднє або проміжне розстоювання. Округлені шматки тіста повинні бути в стані спокою протягом 5 — 8 хв.

Внаслідок механічної дії на тісто при його розділенні на шматки і наступному округлюванні в ньому виникає внутрішня напруга і частково руйнуються окремі ланки клейковини. В процесі попереднього розстоювання тіста внутрішня напруга в ньому зменшується, а зруйновані ланки його структури частково відновлюються, внаслідок чого структурно-механічні властивості тіста, його структура і газоутримуюча здатність поліпшуються.

Після попереднього розстоювання округленим шматкам тіста надають форми, характерної для готових виробів даного сорту. Під час формування шматків тіста з них майже повністю витісняється вуглекислий газ. Якщо сформований шматок тіста посадити в піч, то випечений хліб матиме дуже погано розрихлену м'якушку і кірку з розривами і тріщинами. Щоб цьому запобігти, сформовані шматки тіста піддають остаточному розстоюванню.

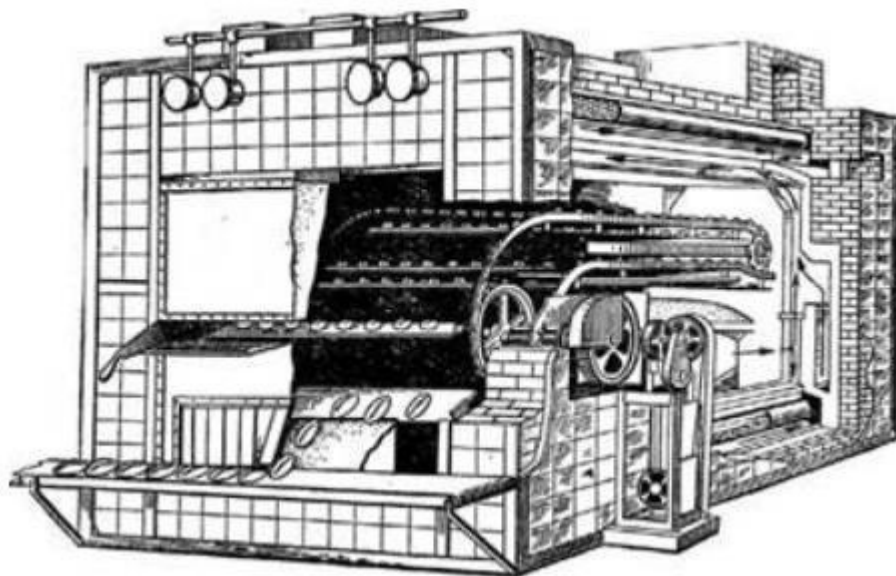
Під час остаточного розстоювання в шматках тіста відбувається бродіння й виділяється вуглекислий газ, який розрихлює тісто, збільшуючи його об'єм. На відміну від попереднього розстоювання, остаточне розстоювання треба проводити при температурі 35 — 40 °С і відносній вологості повітря 75 — 85 %.

Тривалість розстоювання сформованих шматків тіста становить 25 — 120 хв залежно від їх маси, рецептури тіста, властивостей борошна та ін. При порушенні режиму розстоювання тіста перед випіканням знижується якість

хліба. У разі скорочення періоду розстоювання тіста верхня кірка хліба буде дуже випуклою і відірваною від однієї або двох бічних стінок, а при передержуванні — хліб матиме плоску або ввігнуту форму з дуже нерівномірно пористою м'якушкою.

Випікання тіста. Процес прогрівання заготовок тіста після розстоювання, за якого відбувається перехід із стану тіста у стан хліба, називається випіканням.

Для випікання хліба і хлібобулочних виробів використовують пекарні камери різних конструкцій з температурою тепловіддаючих поверхонь 300 - 400 °С, пароповітряного середовища пекарної камери 200 - 250 °С (рис. 1.1). У процесі випікання тісто в пекарній камері швидко збільшується в об'ємі. Через деякий час приріст його об'єму різко сповільнюється, а потім припиняється. Температура м'якушки наприкінці випікання не перевищує 100 °С, тоді як температура поверхні хліба швидко досягає 105 °С і під кінець випікання підвищується до 180 °С. Поверхня тіста інтенсивно прогрівається і через 1 — 2 хв втрачає майже всю вологу, досягаючи рівноважної вологості пекарної камери.



**Рис.1.1** Загальний вигляд хлібопекарної печі

У зв'язку з поганою вологопровідністю тіста та великою різницею температур його поверхневих і внутрішніх шарів (явище термовологопровідності) волога до поверхні надходить повільніше за інтенсивність її зневоднювання, тому в хлібну камеру вприскують воду для підвищення в ній вологості.

У процесі підвищення температури до 50 - 60 °С посилюється розкладання крохмалю на декстрини і цукри у зв'язку із зростанням активності ферментів. При подальшому підвищенні температури припиняється дія ферментів, клейстеризується крохмаль, поглинаючи воду, коагулюють білки клейковини. Водночас змінюються фізичні властивості хліба — він швидко збільшується в об'ємі. Збільшення об'єму хліба пояснюється тим, що дріжджі й інші види газоутворюючої мікрофлори ще виділяють деяку кількість вуглекислого газу та тепловим розширенням бульбашок повітря, яке міститься в тісті. Коагуляція білків і клейстеризація крохмалю зумовлюють пористу структуру тіста, перешкоджають його подальшому розтягуванню і водночас не дають порам спадати після звітрювання газу.

Отже, процес випікання хліба пов'язаний з коагуляцією білків, переважно клейковини, і частковою клейстеризацією крохмалю.

Під час випікання хліба, як уже зазначалося, його поверхню зволожують. Внаслідок конденсації пари на його поверхні відбуваються інтенсивна клейстеризація крохмалю та розчинення декстринів. Рідкий крохмальний клейстер, який містить розчинні декстрини, ніби заливає тонким шаром усю поверхню хліба, вирівнюючи пори й нерівності. Шар рідкого клейстеру дуже швидко зневоднюється, утворюючи на поверхні хліба скоринку, яка після інтенсивної теплової дії має глянцевиий вигляд.

Тривалість випікання 8—12 хв для дрібноштучних виробів і до 80 хв для хліба масою 1 кг і більше. Залежно від виду хлібних виробів температура випікання становить 210 — 280 °С.

Момент готовності хліба зазвичай встановлюють органолептично або визначають температуру центральної частини м'якушки, яка для більшості хлібних виробів має становити 93 — 97 °С. Температуру вимірюють термовимірювачем марки ТХ.

Перетворення тіста на хліб супроводжується втратою ним маси — упіканням. Відбувається воно через часткове випаровування з тіста води і продуктів бродіння (етилового спирту, вуглекислого газу, летких кислот тощо). Величина упікання визначається різницею між масою тіста перед посадкою в піч та масою готового гарячого хлібного виробу і коливається в межах від 6 до 14 %.

#### **ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОВУЛОЧНИХ ВИРОБІВ**

Виробництво хлібовулочних виробів можна розділити на такі етапи: зберігання і підготовка сировини до виробництва, приготування тіста, оброблення тіста, випікання тістових заготовок, охолодження і зберігання хліба. Кожен з цих етапів включає низку технологічних операцій, що забезпечують виробництва виробів.

Зберігання і підготовка сировини до виробництва. Борошно зберігають у ємностях (силосах) або мішках. Перед подачею на виробництво при необхідності окремі партії змішують для покращання хлібопекарських властивостей, просіюють через сита для відокремлення сторонніх домішок і пропускають через пристрій для видалення металоманітних домішок.

Сіль зберігають у мішках або насипом в окремому приміщенні. Перед використанням її розчиняють у воді в солерозчиннику. На сучасних

хлібозаводах сіль зберігають у вигляді насиченого розчину. Розчин фільтрують, відстоюють і подають на виробництво.

Пресовані дріжджі зберігають у холодильнику. Перед використанням їх подрібнюють. У спеціальній дріжджемішалці готують суспензію дріжджів у теплій воді, яку використовують для приготування тіста.

Вода зберігається у баках холодної та гарячої води. Перед приготуванням тіста холодну і гарячу воду змішують у певній пропорції для доведення до необхідної температури.

Цукор зберігають у мішках. При підготовці до виробництва його розчиняють у воді та фільтрують.

Тверді жири зберігають у ящиках або бочках, рідкі – у ємностях. Перед використанням тверді жири розтоплюють і проціджують через сита певного розміру. Проціджують також рідкі жири й олії.

Яйця дезінфікують, розбивають і проціджують через сито.

Приготування тіста. Із підготовленої сировини за установленою рецептурою готують тісто. Пшеничне тісто готують в одну (безопарний спосіб) або у дві фази (опарний спосіб).

При безопарному способі тісто замішують зразу із всієї сировини. У місильний апарат відповідно до рецептури дозується борошно, вода, дріжджова суспензія, сіль, інша сировина і проводиться замішування до одержання однорідної маси. Приготовлене тісто певний час виброджує.

При опарному способі спочатку із частини борошна, води, усіх дріжджів готують опару. Після дозрівання до неї додають решту борошна і води, сіль, а також іншу сировину і замішують тісто. Під час бродіння дріжджові клітини зброджують цукри борошна з утворенням спирту і діоксиду вуглецю, який

розпушує тісто, воно збільшується в об'ємі, набуває необхідних фізичних властивостей, у ньому накопичуються ароматичні речовини.

Житні сорти хліба готують в основному двофазним способом. Спочатку готують закваску, потім на ній замішують тісто.

Оброблення тіста. Ця операція включає поділ тіста на шматки зазначеної маси, надання їм певної форми; кулястої – на тістоокруглювальних чи батоноподібної – на тістозакатних машинах; вистоювання сформованих тістових заготовок у спеціальних шафах. Під час вистоювання тістові заготовки розпушуються, збільшуються в об'ємі. Ця операція забезпечує хороший об'єм хліба, формування структури пористості.

Випікання. Після вистоювання тістові заготовки випікають у хлібопекарських печах різної конструкції. Під час випікання унаслідок теплофізичних, мікробіологічних, біохімічних, колоїдних, хімічних процесів тістова заготовка перетворюється на хліб із забарвленою скоринкою і духмяним ароматом.

Остигання і зберігання. Випечений хліб укладають в ящики або лотки, які розміщують на вагонетках або у контейнерах, при цьому відбраковують вироби, що не відповідають стандартам. Вагонетки з хлібом транспортують у хлібосховища для остигання і реалізації.

На цей час більшість хлібозаводів не мають механізованих хлібосховищ. Всі виробничі операції, що пов'язані з укладанням хліба в лотки, на вагонетки або в контейнери, транспортуванням останніх у хлібосховища і завантаженням виробів у автомашину виконуються здебільшого вручну.

### **Основна та додаткова сировина хлібопекарського виробництва**

Сировина, що використовується у хлібопекарському виробництві, поділяється на основну (борошно, дріжджі, сіль і вода) і додаткову (цукор, жир, молочні продукти).

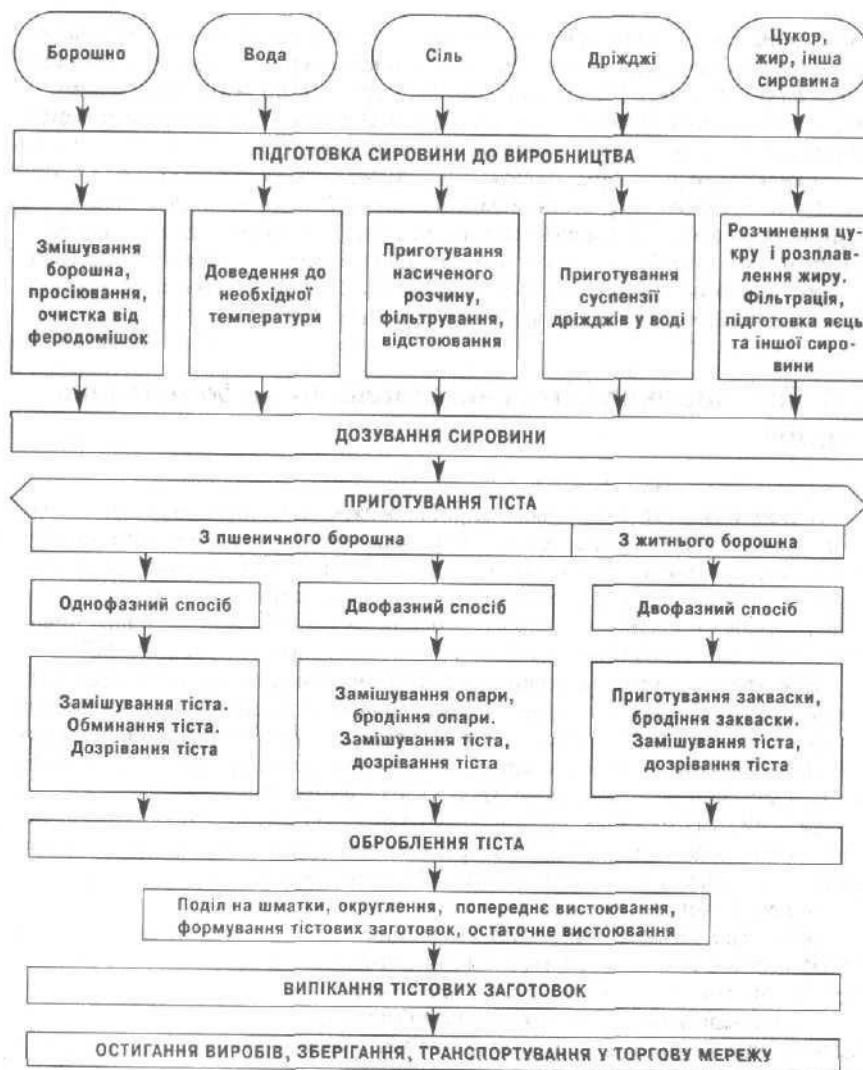


Рис. 1.3. Узагальнена функціональна схема хлібопекарського виробництва

Вимоги до якості різних сортів пшеничного і житнього борошна оцінюють такими показниками:

*органолептичні*: колір, запах, смак (визначаються органами чуття);

*фізико-хімічні*: крупніють помелу, вологість, зольність (білість), масова частка клейковини та її якість, число падіння, зараженість шкідниками хлібних злаків.

*Колір борошна* має бути характерним для кожного сорту і зрівнюють його з еталоном. У лабораторіях колір визначають за показником білості.

*Смак борошна* без стороннього присмаку. Гіркий присмак свідчить про недостатнє очищення борошна від домішок насіння різних трав. Кислий присмак є ознакою несвіжості борошна. Не допускається хрусту на зубах.

*Крупніють помелу* пов'язане з хлібопекарськими властивостями борошна – водопоглинальною здатністю. Слід пам'ятати, борошно з дуже дрібними частинками утворює тісто з низькими фізичними властивостями, що негативно впливає на якість виробів.

*Вологість борошна* має бути не більшою за 15%. Борошно з підвищеною вологістю швидко псується у процесі зберігання. Сухе борошно після стискання його у долоні має розсипатися.

*Зольність* (білість) характеризує сорт борошна. Величина зольності (білість) залежить від вмісту периферійних частинок зерна, які є основними носіями мінеральних речовин і обумовлюють затемнення борошна.

*Зараженість* борошна шкідниками хлібних запасів не допускається.

*Кількість і якість клейковини*, що відмивається з пшеничного борошна, є основними показниками його якості.

## 1.2 Огляд літератури

### 1.2.1. Загальні принципи алгоритмізації та побудови систем керування

Об'єктом керування (ОК) називають частину навколишнього світу, на стан якого можна впливати цілеспрямовано, тобто керувати нею. Під керуванням розуміють процес організації цілеспрямованої дії на ОК, що переводить ОК у потрібний стан. Керування реалізує система керування (СК). Під СК розуміють всі необхідні алгоритми оброблення інформації і засоби їх реалізації, об'єднані для досягнення мети керування. У загальному випадку складний ОК може містити низку функціонально підпорядкованих підсистем. Ієрархія їх підпорядкування зумовлює декомпозицію вихідних цілей і завдань керування на рекурсивну послідовність вкладених складових. У кінцевому підсумку такий поділ припускає багаторівневу організацію СК. До того ж структура СК є

складним об'єктом зазвичай містить стратегічний, тактичний та виконавчий (привідний) рівні (див. рис. 1.1). Кожен рівень у наведеній ієрархії виконує певні функції: Стратегічний Аналіз глобальної ситуації, прийняття рішень про подальші дії, гарантування безпеки, вибір цілей для тактичного рівня. Тактичний Аналіз локальної ситуації, прокладання маршруту з урахуванням перешкод, орієнтування на маршруті, формування цілей керування для виконавчого рівня на основі закладених алгоритмів. Виконавчий Реалізацію цілей керування, що надходять від тактичного рівня, із забезпеченням належної якості.

Інтелектуальні системи керування Інтелектуальні СК – це СК, здатні до «розуміння» і навчання щодо ОК, збурень, зовнішнього середовища та умов роботи. Основна відмінність інтелектуальних систем полягає в наявності механізму системного оброблення знань. Головна архітектурна особливість, яка відрізняє інтелектуальні СК від традиційних, – це механізм отримання, зберігання і оброблення знань для реалізації функцій керування. В основу створення інтелектуальних СК покладено два узагальнені принципи:

- керування на основі аналізу зовнішніх даних, ситуацій та подій (ситуаційне керування);

- використання сучасних інформаційних технологій оброблення знань. Розрізняють декілька сучасних інформаційних технологій, що дозволяють створювати інтелектуальні СК: – експертні системи;

- штучні нейронні мережі (artificial neural networks);

- нечітка логіка (fuzzy logic);

- еволюційні методи і генетичні алгоритми (genetic algorithms).

В основу концепції інтелектуальності покладено:

- уміння працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);

- властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

Структурно інтелектуальні СК містять додаткові блоки, які виконують системне опрацювання знань на основі цих інформаційних технологій. Такі блоки можна виконувати або як надбудову над звичайним регулятором, налагоджуючи належним чином його параметри, або безпосередньо включатися у контур керування. 1.7.

Застосування інтелектуальних систем керування Найбільш суттєві причини поширення інтелектуальних СК такі:

- особливі якості інтелектуальних СК, зокрема мала чутливість до зміни параметрів ОК;

- те, що синтез інтелектуальної СК із застосуванням сучасних засобів апаратної та програмної підтримки часто простіший, ніж традиційних.

Є випадки, коли застосування інтелектуальних СК виправдане і дає кращий результат:

- системи регулювання, для яких модель ОК визначена лише якісно або її немає взагалі;

- як надбудова над традиційними системами для надання їм адаптивних властивостей; – відтворення дій людини-оператора;

- системи організаційного керування верхніх (стратегічного і тактичного) рівнів.

Сфера ефективного застосування традиційних, нейромережових та нечітких СК щодо ОК, показані на рис. 1.3.1.

Застосування гібридного підходу (поєднання традиційних методів керування, нечіткої логіки та нейронних мереж) дозволяє створювати СК, ефективні в усьому спектрі ситуацій, і тому межі різних підходів, показаних на рис. 1.3.1, вельми умовні.

### **Опис схеми пічного відділення.**

Піч є основним технологічним обладнанням хлібопекарської промисловості, призначення якого - забезпечити виробництво високоякісної продукції при дотриманні всіх техніко-економічних показників роботи (витрата палива, пари, електроенергії тощо).

Якість хліба значною мірою залежить від режиму протікання кожної технологічної стадії, але найважливішою операцією, від якої залежать смакові якості хліба є операція випікання. Випічка є заключним етапом технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів, від якого в значній степені залежить якість готового продукту і продуктивність всієї промислової лінії.

В результаті інтенсивного нагрівання, випічка проходить при температурі 200-280°C, тісто поступово перетворюється в хліб. Режимми випікання хліба встановлюються в залежності від сорту борошна, вологості тіста, маси і форми виробу, способу випікання, параметрів газового середовища в камері та інших факторів. Тривалість випічки є меншою для виробів з пшеничного борошна, більш високої вологості тіста і меншої маси.

Висока температура і висока вологість газового середовища в пекарній камері прискорюють випічку. Тепло виробам передається термовипромінюванням, конвенцією і кондукцією, при цьому кількість тепла, яка передається випромінюванням, приблизно в 5-6 разів перевищує конвективний теплопідвід.

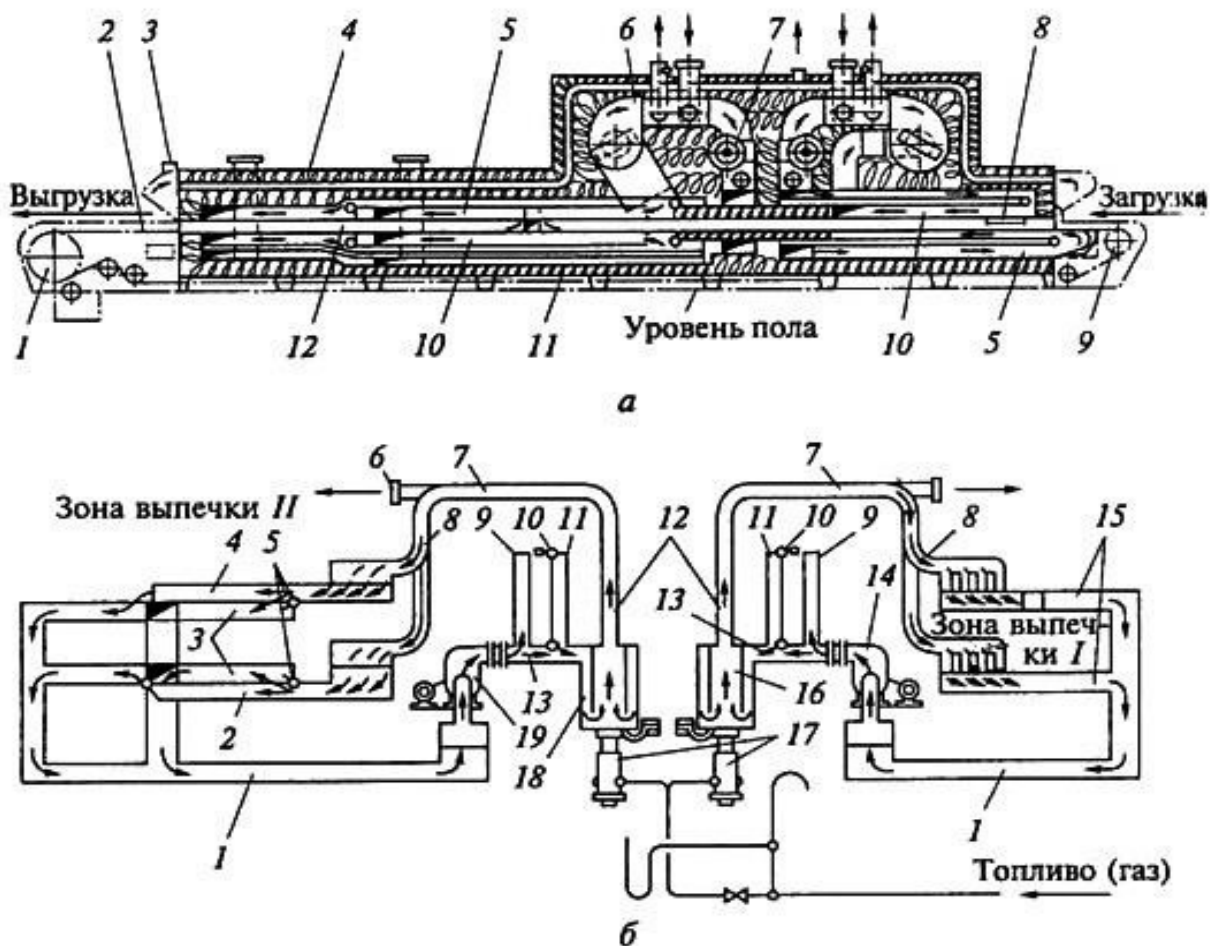
При випіканні проходять різні взаємопов'язані процеси, причиною яких є нагрівання тіста і пов'язаний з цим теплообмін.

Спочатку проходить порівняно швидкий приріст об'єму тістової заготовки.

В середині виробу утворюється три різних шари: зовнішній «скоринка»; середній, який лежить під коринкою і внутрішній, з пористою структурою. На поверхні куска тіста в початковій стадії конденсується пара з навколишнього середовища, прискорюючи прогрів тіста.

Через деякий час температура поверхневого шару досягає температури точки роси, яка відповідає початку випаровування вологи, яка проходить при атмосферному тиску, шар прогрівається до температури 100°C, і при цих умовах залишається до кінця випаровування. В подальшому температура виробу зростає до кінця випікання.

Більш детально процес випікання можна побачити з апаратурно-машинної схеми рис.1.2.



Печь ПХС:

а — общий вид печи; б — схема обогрева

Рис.1.2. Апаратурно-машинна схема печі ПСХ-25

### 1.2.2 Цілі і об'єкти виявлення і діагностики неполадок

Незадовільна робота промислового обладнання і вимірювальних приладів збільшує виробничі витрати будь-якого підприємства. Більш небезпечними є наслідки помилок в проекті або під час експлуатації, що призводять до великих аварій, таким як вибух.

В даний час заводи характеризуються:

- 1) складними процесами і устаткуванням;
- 2) великий потужністю;
- 3) довгими технологічними ланцюжками зі значними поворотними потоками;
- 4) високою продуктивністю обладнання;
- 5) складними пристроями управління і приладами, які коригують і згладжують неполадки;
- 6) небезпечними наслідками аварій.

Ці особливості призводять до високої вартості простою обладнання. Досягнення експлуатаційної надійності вимагає дорогих програм технічного обслуговування, а також надійного, а отже, і більш дорогого обладнання. Будь-яка система виявлення неполадок, яка дозволяє використовувати менш дороге обладнання, збільшує працездатність установки або знижує експлуатаційні витрати, заслуговує на серйозну увагу. Таким чином, виявлення і діагностика неполадок технологічного обладнання має певне економічне значення як при проектуванні, так і під час експлуатації обладнання.

Ступінь труднощі виявлення і діагностики неполадки в чому залежить від природи самої неполадки. Повністю незадовільна робота частини обладнання зазвичай виявляється порівняно легко, хоча в таких випадках підприємству вже може бути завдано значних економічних збитків. Виявити зароджується, або приховане, порушення нормальної роботи, при-ведуча до поступового погіршення характеристик процесу, більш важко; саме на цьому сконцентровано увагу в даній книзі. Раннє виявлення порушень нормальної роботи подра-

зумеваєт попередження раптової несправності обладнання, збір якісної інформації про незадовільну роботу, покращене планування технічного обслуговування, забезпечення більш високої автоматизації процесу.

Можливість виявлення відхилень від нормальних умов роботи дуже важливо забезпечувати вже при проектуванні. Несправності вимірювальних приладів і ключового допоміжного обладнання, наприклад насосів і компресорів, часто можуть бути попереджені, якщо будуть впізнані ранні ознаки наближення поломки. Статистичний підхід до надійності установки зазвичай передбачає, що прилад або частина пристрою або працює, або виходить з ладу і в останньому випадку замінюється або ремонтується. При такому підході може бути досягнута цілком висока надійність. Однак розрахунки стають безглуздими, якщо обладнання має неполадку, яку неможливо виявити протягом тривалого періоду часу. Така ситуація легко може привести до катастрофічної несправності.

Визначення порушень нормальної роботи і подальша діагностика цих порушень мають особливо важливе значення для самого управління процесом за допомогою ЕОМ. Зведення матеріального балансу або подальша оптимізація вимагають функціонування не тільки системи збору даних, але і технологічного обладнання, якщо алгоритми управління вже прийняті. Виявлення зароджуються несправностей повинно починатися з удосконалення приладового оснащення і технічного обслуговування, а також з організації системи управління таким чином, щоб вона могла використовувати інші виміри в разі виявлення несправності будь-якого приладу. Техніку виявлення порушень нормальної роботи технологічної лінії за допомогою ЕОМ можна розглядати як резервування системи управління без залучення будь-яких додаткових істотних витрат.

Якщо виявлення порушень нормальної роботи здійснюється із застосуванням ЕОМ, то інженер повинен дати визначення (дефініцію) несправності точно і заздалегідь. В такому випадку ЕОМ проводить тільки порівняння, які вказують на те, чи відбулося порушення нормальної роботи чи ні. Якщо ж оператор процесу повинен сам вирішити, чи існує проблема, він може не робити такого чіткого поділу між етапами дефініції і порівняння. Його рішення включає і те, і інше. Він

розпізнає образ поведінки процесу, який в чомусь незвичайний, і вирішує, визначити чи це поведінка як порушення нормальної роботи. Таким чином, для оператора дефініція і класифікація не існують як дві окремі послідовні стадії на відміну від випадку, коли застосовується ЕОМ.

Під несправністю мається на увазі мінімальне порушення експлуатаційного якостей. З іншого боку, несправність розглядається в даній книзі боти обладнання або протікання процесу. Це означає, що обладнання або пристрій не будуть здатні виконати призначені їм функції. Наприклад, датчик може мати неполадку і стати повністю непрацездатним (серйозна несправність). Або він просто зазнає поступове погіршення в роботі, що призводить до зміщення або збільшення розкиду показань, що може бути змодельоване ковариационной матрицею як зростання шумового фону вимірювань. В останньому випадку оцінка зміщення або зростання шумових перешкод дозволяє продовжити використання датчика, хоча і з відхиленням в його роботі. Отже, ми могли б охарактеризувати цей датчик як має неполадку, але не як несправний. Здебільшого хімічні процеси досить «гнучкі» і добре організовані, і тому, як тільки виникає проблема в будь-якої підсистемі, система компенсує неполадку так, щоб продовжити роботу. Таким чином, проблема обов'язково перейде в несправність.

Якщо можливий більш ніж одне джерело неполадки, діагностування зводиться до визначення (після виявлення трапилася неполадки) того обладнання або тієї його частини, які послужили причиною неполадки. Таким чином, діагностика неполадок - це визначення того, в якій з підсистем або матеріальної середовищі порушені покладені на них умови, необхідні для забезпечення нормальних експлуатаційних якостей процесу. Через взаємодії частин технологічного процесу дуже важко ідентифікувати причину неполадки в складних системах. Інженер прагне домогтися максимально можливій мірі розрізнення причин неполадок, використовуючи дані спеціальних контрольних дослідів з найменшою кількістю обчислень. Однак якщо параметри, що застосовуються для класифікації стану обладнання з можливими неполадками, не

є однозначними, то дуже мало надії на те, що можна встановити, який елемент з декількох служить джерелом незадовільної роботи.

На додаток до проблеми, задовільна схема діагностики неполадок повинна бути здатна впоратися з присутністю шумового фону вимірювань, а також з явищем дрейфу параметрів. Діагностування є завданням прийняття статистичного рішення, багато в чому схожою на виявлення сигналу на фоні шуму. Коли сигнал є слабким, важко вирішити, «бачиш» або «не бачиш» його; швидше, спостерігач повинен визначити ступінь своєї впевненості в тому, що сигнал існує, а потім вже виносити рішення, як вчинити в залежності від того, є сигнал або його немає. Коли отримана інформація неясна, повинні прийматися до уваги інші види інформації, такі як ймовірність, ризик. Діагностичне рішення (розрізнення, обнаружаемость) зводиться до точності, з якою неполадка може бути ідентифікована в разі інших можливих неполадок.

Нарешті, надійність - ще один термін, широко використовуваний як в теорії, так і в практиці і має дуже багато значень. Ми будемо застосовувати цей термін нечасто, а коли використовуємо його, то в сенсі ймовірності, що обладнання буде працювати відповідно до вимог, при встановлених умовах, протягом встановленого періоду часу.

### **1.2.3 Види неполадок та імовірності їх появи**

Аналіз на надійність вимагає даних про частоту появи несправності технологічного обладнання та устаткування для вимірювань і управління. Дані про надійність технологічного обладнання, такого як насоси, вентилятори і компресори, теплообмінники, випарні апарати, конденсатори, печі, сепаратори, хімічні реактори і т. Д., Дуже важко зібрати, навіть якщо почати з дуже старих звітів, оскільки частоти появи несправностей або неполадок залежать великою мірою від умов роботи обладнання, а саме: від властивостей рідин (газів), складів, тисків, температур, теплових потоків. Незадовільна робота залежить не тільки від сталих значень змінних при цих умовах роботи, але ще більш від динаміки порушень, які дуже часто призводять до тимчасової перевантаження

устаткування.

Відхилення від звичайних, нормальних умов протікання процесу можна класифікувати в термінах конкретних спостережень наступним чином:

- 1) відхилення тиску;
- 2) відхилення температури;
- 3) відхилення витрати;
- 4) відхилення рівня;
- 5) надмірна вібрація і т. Д.

Іншими вимірюваними характеристиками можуть бути: корозія, ерозія, забруднення, кавітація, гідравлічний удар, навантаження, розширення, стиснення, властивості рідини (в'язкість, температура кипіння, щільність, зовнішній вигляд), активність каталізатора і багато якісні показники.

Причини відхилень нормальних умов роботи, т. Е. Причини неполадок, можуть бути приписані: поганому розподілу, неправильного перемішування, перегріву, резонансу, надмірному навантаженні на підшипники і вали, неправильної мастилі, віхребразованню, закупорювання, утворення осаду, адгезії, пульсації, неправильної конструкції, течі, протоки, дефектів в конструкції, перерви в подачі енергії, пошкодження приладів, заїдання клапанів, хімічного руйнування матеріалів, отруєння каталізатора, забруднення, порушення послідовності робочих операцій, помилку обслуговуючого персоналу, кліматичних віздій і т. д.

Причини будь-якої конкретної несправності можуть бути загальними для різних заводів, а можуть і не бути такими, проте заводські звіти - це золоті комори інформації. Наприклад, руйнування резервуарів відбувалося за таких умов [8]:

- 1) пламегаситель у вентиляційній трубі не чисто більше двох років;
- 2) випадкова дошка була покладена поверх вентиляційного отвору, щоб зменшити випаровування поблизу проходу для людей;
- 3) поліетиленова плівка була зав'язана над вихідним отвором з тим, щоб затримувати пил поки нагнітальний / вакуумний вентиль знаходився в

капітальному ремонті;

4) раптова гроза вибухнула в той час, коли резервуар піддавався пропарюванню, а вихідний отвір було недостатньо великим, щоб запобігти його від руйнування;

5) деяка кількість холодної рідини було додано в резервуар, що містить гарячу рідину; резервуар був забезпечений клапаном, скидальним тиск, а не вакуумним клапаном;

6) резервуар був залишений з деякою кількістю води всередині, під впливом кисню повітря утворилася іржа;

7) гнучкий шланг був приєднаний до вихідного отвору, а інший кінець вставлений в водяну ємність; коли резервуар спорожнили, вода розпрямила шланг, і резервуар прогнувся.

Такі очевидні причини несправностей при їх обліку сприяють удосконаленню експлуатації обладнання і його технічного обслуговування, однак вони не можуть бути визначені заздалегідь шляхом спостереження за температурою, тиском і т. Д.

З іншого боку, звіти з технічного обслуговування, журнали та інші заводські дані містять інформацію, що має відношення до причин несправностей устаткування і приладів, які ведуть до припинення нормальної роботи. Так, в табл. 1.2, складеної Аньякора на підставі заводських звітів, наведені різноманітні приклади ознак і основних причин неполадок і несправностей регулюючих клапанів.

На жаль, не існує великого і доступного банку даних про видах і причинах неполадок на хімічних заводах. Особливого жалю гідний той факт, що майже відсутні дані про частоту виникнення несправностей, так як знання ймовірності різних видів порушення нормальної роботи обладнання пов'язано з виявленням несправностей наступними двома обставинами. По-перше, існує деяка різниця в розробці методів виявлення неполадок, які або малоімовірні, або не дуже істотні. По-друге, дані про ймовірність порушень нормальної роботи можуть бути використані в деяких схемах виявлення

#### 1.2.4 Проектування систем виявлення і діагностики неполадок

Багато хто хоче мати таку систему, яка може швидко виявляти інформацію, що з'явилася неполадку. З іншого боку, в цьому випадку система може стати занадто чутливою до шумових перешкод і, відповідно, дуже часто видавати сигнали помилкової тривоги. Питання про знаходження прийнятної системи найкраще вирішувати з урахуванням особливостей конкретної установки, для якої можна визначити витрати, пов'язані з кожним варіантом. Наприклад, в системі з багатим резервуванням помилкові тривоги допустимі в більшій мірі, ніж в системі, що має порівняно мало резервних елементів.

Інша суперечність, яку необхідно вирішувати, зачіпає складність системи виявлення, а іменно-- протиріччя між витратами на систему і якістю її роботи. Наприклад, можна очікувати більшої чіткості виявлення неполадок, якщо використовувати в системі апріорі відомі дані про ймовірних видах неполадок. Тоді, визначаючи за допомогою ряду одночасних замірів конкретну форму поведінки процесу, якій відповідають конкретні неполадки, можна знизити ймовірність як помилкової тривоги, так і пропуску неполадок. Знаходження оптимального співвідношення між складністю системи та її експлуатаційними властивостями - надзвичайно важливий момент в проектуванні систем виявлення неполадок.

Перший крок у проектуванні системи виявлення неполадок - це ознайомлення з процесом. Грунтуючись на характеристиках процесу, інженер може визначити, яку роль відвести оператору установки, а яку ЕОМ. Враховуються всі можливі фактори, пов'язані з конкретним процесом, які впливають на проектування системи виявлення. Наприклад, планування і середовище можуть зумовити утворення пилу. У печі випалу цементу це може привести до закупорки або засмічення, а на паперовій фабриці це могло б стати причиною обриву паперу в папероробній машині і, отже, затору. Поінформованість про ці порушення необхідна для розподілу функцій оператора і ЕОМ.

Другий крок, особливо важливий для діагностики, - це встановлення кордону

підсистеми (термін «підсистема» відноситься до найменшої частини процесу, для якої необхідно діагностувати порушення роботи). Для кожної підсистеми призначаються умови її нормальної роботи, і в результаті, при одночасному врахуванні всіх підсистем, визначаються умови нормального протікання процесу в цілому.

Далі проектувальник аналізує апаратне оснащення, необхідне для системи виявлення. Зазвичай він модифікує проект процесу так, щоб той забезпечував можливість виявлення неполадок, їх компенсацію за допомогою алгоритмів управління, введення в дію резервного обладнання, включення рециклових потоків, резервних ємностей і т. Д. Бажано мати проект, який враховував би можливості і конструкцію новітніх обчислювальних пристроїв. На рис. 1.2 приведена автоматизована система виявлення і діагностики неполадок, яка може бути виконана з використанням мінікомп'ютерів.

Одна з головних завдань будь-якої системи - визначити, чи правильні свідчення різних вимірювальних приладів. Для оцінювання показань необхідно провести активну перевірку роботи приладу шляхом змін вхідної змінної. Стандартні методи перевірки і градування деяких приладів на увазі установку вхідного сигналу відомого значення і визначення вихідного сигналу або виключення вхідного сигналу і спостереження за вихідним сигналом. Інший спосіб полягає в тому, що вимірювана змінна змінюється за певним законом і знаходиться динамічна характеристика приладу. Однак через велику кількість приладів такі активні перевірки організувати важко. Проводять також і пасивні перевірки, використовуючи при цьому тільки звичайні записи вимірювань, але такий спосіб має свої труднощі. Свої проблеми має компенсація «запізнювання і виключення шумового фону вимірювань».

На закінчення слід зазначити, що персонал повинен бути навчений роботі з системою. Оператори установок, механіки, електронщики, електрики, персонал по догляду за гідравлікою, програмісти ЕОМ, контролери - все вони повинні знати властивості системи. Здатність системи діяти в великій мірі залежить від рівня компетентності обслуговуючого технічного персоналу. Добре відомо, що

помилки людини - головне джерело несправності обладнання на хімічних заводах.

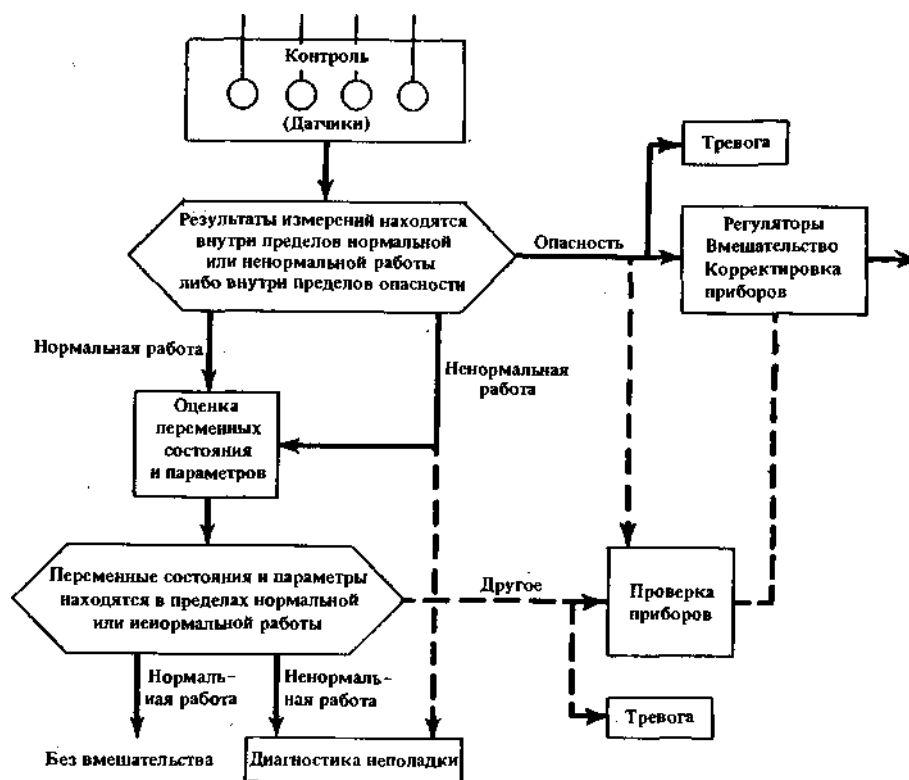


Рис. 1.3. Автоматизована система виявлення і діагностики неполадок.

### 1.2.5 Техніка виявлення та діагностики неполадок

В літературі описують досить широкий ряд методів, деякі з яких строго обґрунтовані, тоді як інші базуються в більшій мірі на простих міркуваннях.

Для простоти методи виявлення і діагностики неполадок можуть бути зараховані до двох узагальнених категорій:

- 1) оцінювання (змінних і параметрів моделі);
- 2) розпізнавання образів (образної інформації).

Інша класифікація виявлення неполадок може бути наступною:

- 1) детерміноване;
- 2) статистичне;
- 3) евристичне.

Статистичний аналіз, застосований до розпізнавання образів, перевершує детермінований спосіб розпізнавання образів і ідентифікації неполадки, оскільки

дозволяє враховувати шумовий фон вимірювань і може компенсувати ефекти невеликих дрейфових значень параметрів. Крім того, статистичний аналіз дозволяє враховувати також апріорні ймовірності неполадок, наприклад шляхом ранжирування несправностей відповідно до можливостями їх появи.

На практиці виявлення неполадки може здійснюватися і в інших формах крім оцінювання параметрів і розпізнавання образів. У багатьох випадках виявлення неполадки базується просто на візуальному спостереженні. (Зрозуміло, хтось може заявити, що це приклад розпізнавання образу.) Ендо і Лис [1] описали, як використовувати логічну інформацію, що міститься в послідовності сигналів тривоги, щоб зменшити набір можливих причин несправності процесу. У багатьох випадках механічний знос вимірюється безпосередньо за допомогою чутливих елементів, змонтованих на або біля поверхні об'єкта, схильною до зносу.

Тепер про те, хто визначає незадовільний перебіг процесу. Більшість порушень нормального ходу процесу виявляється операторами. Під час виконання своїх обов'язків оператор без будь-якої системи проводить виявлення несправностей і порушень ходу процесу. В основному він прагне попередити зменшення виробництва продукції. Оператор проводить різноманітний контроль показань приладів і, використовуючи свій попередній досвід, приймає рішення про суттєвості виходу показань за контрольні межі, про сталість або посиленні шумового фону, або про наявність даних, які не відповідають іншим вимірам. Використовуючи людські здібності - зір, слух, нюх і дотик, оператор безперервно контролює працююче обладнання - насоси, вентилятори, регулюючі клапани - і будь-яке інше технологічне обладнання, яке не забезпечено приладами і яке не завжди працює коректно. Зазвичай оператор дотримується свого набору ознак наявності небезпечної ситуації, при яких він починає діяти.

Навіть якщо оператор добре виконує свої контролюючі зо-занности, часто його робота стає монотонною і нудною. Зрозуміло, що ЕОМ має певні переваги перед людиною у виконанні такої роботи. ЕОМ може проводити пошук безперервно, систематично і незрівнянно швидше людини. І хоча функції

оператора в виявленні порушень нормального ходу процесу не можна поки повністю покласти на ЕОМ, все ж ЕОМ може прийняти на себе формалізовану інтерпретацію сигналів відхилень параметрів процесу, а оператор в цей час буде концентрувати увагу на більш важку роботу, для якої він найбільше підходить. Ймовірно, оператор процесу є незамінним при про-наруженні неполадок в тих випадках, коли потрібне спеціальне обстеження (наприклад, визначення місця розташування невеликих витоків, тріщин в устаткуванні і т. д.), Осмислене прийняття рішень (наприклад, розпізнавання образної інформації) та здійснення певних коригувальних дій, для яких необхідні ручні операції. Таким шляхом може бути здійснено більш прийнятне розподіл обов'язків між людиною і ЕОМ і досягнуто оптимальне використання обох. Діагностика за допомогою ЕОМ (а це значить, що ЕОМ виконує всю або майже всю роботу без втручання людини) - справа майбутнього. Допомога ЕОМ в діагностуванні неполадок можна розглядати тільки як цінне підсобне засіб в прийнятті рішень. Для успішного виконання ЕОМ функцій запису інформації, пошуку порушень, управління, оптимізації та т. Д. Необхідні точні і надійні свідчення приладів. Автоматичне виявлення неполадок роботи приладу є додатковою функцією, яку може швидко виконувати ЕОМ. Очевидно, що помилку потрібно виявити якомога раніше, до того моменту, коли вона призведе до неприємностей.

### **1.2.6 Випробування, які проводяться для виявлення і діагностики неполадок**

Для того щоб оператор або ЕОМ могли перевірити наявність неполадки або привести в дію регулюючі пристрої, необхідно встановити стан процесу. З цією метою мають бути проведені вимірювання відібраних змінних величин; знаючи їх, можна здійснити розрахунки і зробити висновки щодо умов проведення процесу. Спостереження поширюються і на регулюючі дії, коли висновки вказують на необхідність втручання в хід процесу.

Виявлення неполадки зазвичай має на увазі використання приладів,

встановлених не тільки з цією метою. У деяких випадках для виявлення неполадок застосовуються лише звичайні заводські контрольно-вимірювальні прилади, в інших - спеціальні прилади, а іноді спільно і ті, і інші. Число вимірювань залежить від кількості і типу необхідної інформації. Точність вимірювань, які використовуються при розрахунках, необхідних для виявлення відхилень від нормальної роботи, повинна бути досить високою, і, як показує досвід, для спеціальних перевірок насамперед потрібно мати добре вивірені прилади. Часто звичайні заводські контрольно-вимірювальні прилади недостатньо чутливі, і тоді для забезпечення нормальної роботи технологічного обладнання повинні застосовуватися спеціальні прилади.

Багато, щоб при проектуванні процесу розроблявся також проект діагностичної системи. Якщо для вимірювань доступні тільки точки на вході і виході, то їх треба використовувати так, щоб отримати максимально можливе уявлення про проблему. Якщо ж точки спостереження не вдаються, то необхідно вивчити можливість вибору додаткових для спостережень точок, що могло б привести до діагностування неполадок, які інакше неможливо було б визначити.

Виявлення зароджується несправності може базуватися не тільки на постійному контролі, але і на періодичних випробуваннях обладнання або особливих перевірках. Особливі перевірки виконуються групою фахівців і зазвичай включають комплекс типових випробувань або спеціальних випробувань за такими характерними показниками, як, наприклад, вібрація. Однак в даний час ступінь розробки і застосування епізодичних випробувань не може виключити численних випадків порушення нормальної роботи обладнання на хімічних заводах. Таким чином, постійний контроль за функціонуванням процесу потребує менше часу.

При будь-якому вигляді випробувань інженер повинен відповісти на наступні питання:

- 1) чи добре сплановані випробування, т. Е. Застосовні вони до даної системи?
- 2) чи є випробування повними, т. Е. Чи можна з їх допомогою виявити

передбачувані неполадки?

3) чи забезпечують випробування максимально чітке виділення неполадки і встановлення її місцезнаходження?

4) якщо випробування задовольняють всім зазначеним вище умовам, то чи є вони «оптимальними», наприклад, за загальним часу проведення, або за витратами на них, або з точки зору максимального використання можливостей ЕОМ?

Ці питання можуть розглядатися як критерії для встановлення набору діагностичних випробувань в конкретному процесі.

### **1.2.7 Усунення несправностей**

Як тільки виявлено несправний стан і ідентифікована конкретна проблема (або неполадки), необхідно вжити заходів до її виправлення. Коригуючий вплив може мати різні форми. Можливо, що для відновлення нормальних умов роботи найбільш простим засобом буде регулювання. Може бути і так, що місце неполадки точно встановлено і замінюється частина обладнання (підсистема). Перший із зазначених шляхів впливу має багато спільного з поняттям адаптивного управління. Не обов'язково шукати реальну причину появи неполадки, так як до несправності може призводити взаємозв'язок різних явищ. Коли виявлено проблему або зароджується несправність приладів, то для скорочення простою обладнання часто можна провести непрямі вимірювання. Ці виміри включають обчислення відсутніх величин, наприклад, за загальним енергетичного і масового балансу. Непрямі вимірювання фактично еквівалентні забезпечення системи резервними приладами, але без залучення додаткових витрат, за винятком витрат на ЕОМ.

Якщо оператор виявляє відхилення від нормальної роботи, він зазвичай переводить регулюючу систему процесу на ручне управління. Аналогічно, при використанні ЕОМ загальна контролююча програма (супервізор) може запобігти видачі регулюючого впливу, заснованого на неправильній інформації,

припиняючи потік інформації в тих частинах системи, де є неполадки, і направляючи його через ті частини, які справні. Цю можливість неважко закласти в програму ЕОМ і таким чином забезпечити працездатність установки навіть всупереч виникнення несправності або несправностей окремих приладів або пристроїв. У будь-якому випадку, коли виявлена несправність, має бути встановлено, чи є це наслідком несправності обладнання або тільки вимірювальних приладів.

### **1.2.8 Діагностика ТЗА на предмет використання в системах автоматизації**

Говорячи про архітектуру систем, перш за все розуміють організацію структури, в рамках якої відбувалося б застосування знань і рішення проблем у конкретній предметній області. Вибір відповідної структури, властивості і функції компонентів систем, особливо виробничих, визначається і спрямовується принципами інженерії знань. На формування цих принципів у значній мірі впливають як специфіка предметної області, так і характер завдань і функцій, вирішення яких покладається на інтелектуальні системи. Узагальнення структури інтелектуальної розглянуто для предметної області виробництва. Як вже зазначалося, успішне вирішення проблеми інтеграції систем і задач автоматизованого управління виробництвом на різних рівнях пов'язано також з їх інтелектуалізацією, тобто організацією функціонування на базі технології інженерії знань. Основними функціональними та організаційними частинами автоматизованого виробництва є: - проектування; - планування; - організація виробництва та диспетчеризація; - керування технологічними процесами; - діагностування, роботизація технологічних ділянок у складі гнучких виробничих систем. В залежності від характеру виконуваних функцій і області дій експерти предметної області виконують кілька характерних завдань, які є типовими. Їх аналіз слугує орієнтиром при розгляді архітектури виробничих систем, заснованих на знаннях. Ці завдання такі: інтерпретація, планування, управління,

проектування, прогнозування, диспетчеризація та моніторинг, діагностика. А головне - експерт здатний оновлювати свої знання (тобто навчатися), пояснювати дії, обґрунтовувати рішення, прогнозувати розвиток ситуацій, активно взаємодіяти із зовнішнім середовищем і сприймати інформацію різного характеру, отримувати рішення на основі наявних знань, зберігати в пам'яті необхідну інформацію і фактографічні дані. Таким чином, щоб створити систему, що працює зі знаннями і здатну в якійсь мірі замінити експерта або допомогти йому у прийнятті рішень при управлінні виробництвом, необхідно прагнути закласти в архітектуру нашої системи можливості з реалізації названих функцій. Виробнича система з штучним інтелектом (ШІ) організовує і направляє своє функціонування у відповідності з втіленими в неї архітектурними проектними принципами. Для кожної керуючої схеми може знадобитись своя база знань та відповідний механізм висновку, який працює зі знаннями. Зазвичай інтелектуальні системи взаємодіють з кінцевими користувачами, експертом, інженером знань, зовнішніми базами даних (БД), прикладним програмним забезпеченням.

Говорячи про архітектуру систем, перш за все розуміють організацію структури, в рамках якої відбувалося б застосування знань і рішення проблем у конкретній предметній області. Вибір відповідної структури, властивості і функції компонентів систем, особливо виробничих, визначається і спрямовується принципами інженерії знань. На формування цих принципів у значній мірі впливають як специфіка предметної області, так і характер завдань і функцій, вирішення яких покладається на інтелектуальні системи. Узагальнення структури інтелектуальної розглянуто для предметної області виробництва. Як вже зазначалося, успішне вирішення проблеми інтеграції систем і задач автоматизованого управління виробництвом на різних рівнях пов'язано також з їх інтелектуалізацією, тобто організацією функціонування на базі технології інженерії знань. Основними функціональними та організаційними частинами автоматизованого виробництва є: - проектування; - планування; - організація виробництва та диспетчеризація; - керування технологічними процесами; -

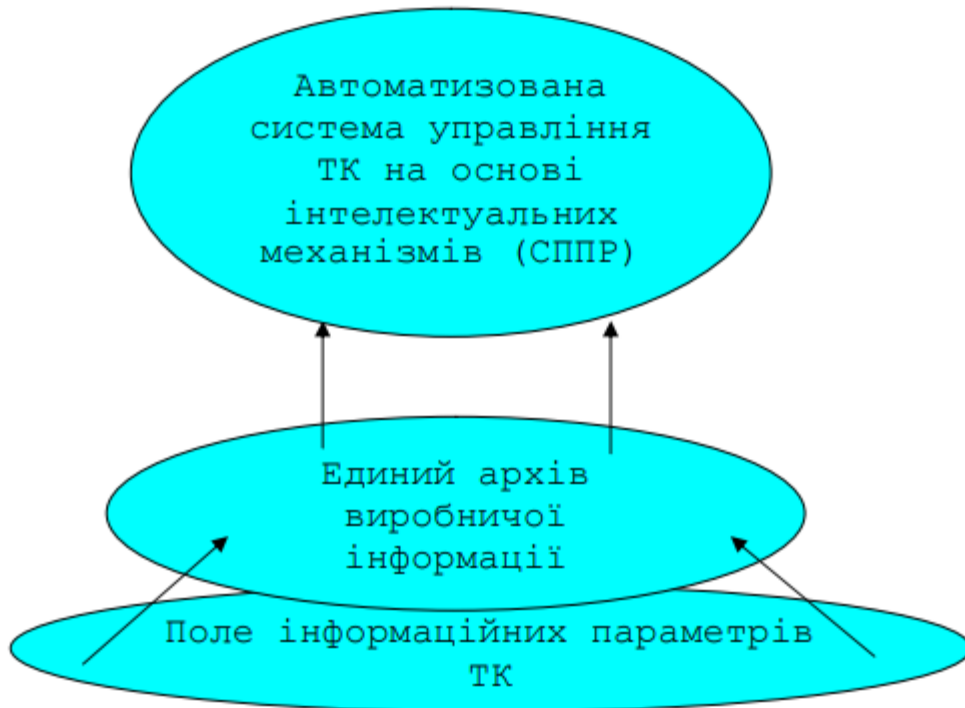
діагностування, роботизація технологічних ділянок у складі гнучких виробничих систем. В залежності від характеру виконуваних функцій і області дій експерти предметної області виконують кілька характерних завдань, які є типовими. Їх аналіз слугує орієнтиром при розгляді архітектури виробничих систем, заснованих на знаннях. Ці завдання такі: інтерпретація, планування, управління, проектування, прогнозування, диспетчеризація та моніторинг, діагностика. А головне - експерт здатний оновлювати свої знання (тобто навчатися), пояснювати дії, обґрунтовувати рішення, прогнозувати розвиток ситуацій, активно взаємодіяти із зовнішнім середовищем і сприймати інформацію різного характеру, отримувати рішення на основі наявних знань, зберігати в пам'яті необхідну інформацію і фактографічні дані. Таким чином, щоб створити систему, що працює зі знаннями і здатну в якійсь мірі замінити експерта або допомогти йому у прийнятті рішень при управлінні виробництвом, необхідно прагнути закласти в архітектуру нашої системи можливості з реалізації названих функцій. Виробнича система з штучним інтелектом (ШІ) організовує і направляє своє функціонування у відповідності з втіленими в неї архітектурними проектними принципами. Для кожної керуючої схеми може знадобитись своя база знань та відповідний механізм висновку, який працює зі знаннями. Зазвичай інтелектуальні системи взаємодіють з кінцевими користувачами, експертом, інженером знань, зовнішніми базами даних (БД), прикладним програмним забезпеченням. 6 Інтерфейс користувача забезпечує зв'язок обмеженою природною мовою, мовне введення, а також візуальні подання (графіку, технічний зір). В якості користувача може виступати або людина-оператор, або сам виробничий процес у разі закритих циклічних операцій. Для деяких виробничих процесів бувають необхідні програмно-технічні заходи для автоматичного отримання даних та їх обробки, а також зворотного зв'язку з управління. З інженером знань інтелектуальна система зазвичай пов'язується з допомогою структурних редакторів, які дозволяють йому отримувати і модифікувати компоненти бази знань. Взаємодія інтелектуальної системи з прикладним програмним забезпеченням здійснюється при виконанні спеціальних

обчислень, так як часто виникає необхідність використовувати як підзадачі стандартні операції з обробки даних. Зв'язок з розподіленою базою даних інтегрованої системи управління виробництвом та Інтернет використовується інтелектуальними системами для отримання даних та знань, розосереджених на різних рівнях ієрархії управління. Крім того, організовується взаємодія із зовнішніми базами даних та Інтернет. У задачах управління виробництвом експертом звичайно використовуються три рівня знання: - 'вміння', відповідні поверхневому знанню рефлекторних реакцій; - правила для випадків стандартних міркувань; - глибинні знання для важких, неординарних ситуацій. При проектуванні інтелектуальних систем і виборі їх архітектури слід розробляти не просто незалежне програмне забезпечення, яке оцінює існуючий виробничий об'єкт. Треба прагнути до того, щоб інтелектуальна система була наближена до різних елементів процесу, виступала в якості одного з основних ланок технологічного ланцюжка управління і організації.

Формування організаційної структури системи управління виробництвом полягає в розподіленні задач та повноважень на прийняття та реалізації рішень між окремими підсистемами програмного комплексу управління технологічним процесом (ТП), враховуючи цілеспрямованість при досягненні поставлених цілей управління та вирішення задач управління. При розробці системи такого типу застосовуються, як правило, два наступних способи формування локальних функціональних підсистем: за часовою ознакою (фазам керування та по функціональній). При цьому використовуються такі критерії розбивки, як мінімальне число інформаційних зв'язків (об'єм інформаційних потоків) між підсистемами. При формуванні функціональних підсистем за часовою ознакою передбачається розділення загального процесу управління на планування (стратегічне та тактичне), а також оперативне управління. Склад виділених підсистем, їх склад та взаємозв'язки визначаються цілями та критеріями, а також існуючими обмеженнями на ресурси управління окремими ТП та технологічними комплексами (ТК). Окрім того, доцільно було б розділити підсистеми ТК на ряд локально координуваних ситуаційних зон, управління якими дозволяє отримати

рішення поставленої задачі. Такий підхід дозволить здійснити декомпозицію загальної задачі управління. Основними критеріями ефективності роботи організаційної структури інтелектуальної системи управління ТК у випадках надзвичайних ситуацій є дієвість, гнучкість, та динамічність, тобто структура повинна забезпечувати мінімум часу відгуку на ситуацію будь-якої складності. Такі функції забезпечує модуль розпізнавання ситуації (MPC), реалізований у вигляді підсистеми системи автоматизованого управління ТП та ТК. До основних функцій MPC входить: виявлення тенденцій розвитку ситуацій на основі аналізу (статистичного), також розрахунок часу та ресурсів необхідних для їх ліквідації, а також координації роботи підсистем. Якісне і своєчасне прийняття рішень при управлінні ТП та ТК пов'язано з застосуванням ефективних програмних і апаратних засобів автоматизації і впровадженням підсистем підтримки прийняття рішень по управлінню. Тому актуальною є проблема створення і розвитку організаційних підсистем системи автоматизованого управління (САУ) в зв'язку з ускладненням промислових об'єктів і технологій, збільшенням інформаційного потоку, підвищенням відповідальності людини, що приймає рішення.

Для забезпечення повної визначеності об'єкта управління (ОУ) на рівні інтелектуальної підсистеми інтелектуального управління необхідно організувати інформаційну вертикаль передачі інформації з нижнього рівня на верхній рівень, для цього представимо передачу інформації у вигляді організаційної структури:



**Рис. 1.4.** Абстрагована структура інформаційної системи аналізу показників роботи ТК розглянута в односторонньому порядку

Розвиток базових основ систем підтримки прийняття рішень (СППР), та реалізація на їх основі інтелектуальних систем управління, відбувається в рамках нового наукового напрямку – інтелектуальні СППР [2]. Основною задачею СППР є аналіз ситуації і підготовка рекомендацій, що є корисними спеціалістам для вибору раціональних рішень в складних ситуаціях, що виникають при управлінні виробничим процесом в реальному масштабі часу. Генерація рекомендацій та управлінь виникає на основі знань, що накопичені спеціалістами - експертами по управлінню ТК, з застосуванням обчислювальних засобів обробки. Інтелектуалізація процесів прийняття рішень перш за все пов'язана з застосуванням методів і засобів інженерії знань, реалізованих в так званих системах підтримки прийняття рішень. СППР являють собою програмно апаратні комплекси, що використовують експертні знання для рішень неформалізованих задач у вузькій предметній області. В кожній з предметних областей СППР виконує визначені функції і вирішує відповідні задачі. Серед різних задач, що

вирішує САУ (інтерпретація, прогноз, діагностика, проектування, планування, спостереження, відлагодження, навчання, Поле інформаційних параметрів ТК Єдиний архів виробничої інформації Автоматизована система управління ТК на основі інтелектуальних механізмів (СППР) 9 управління) в СППР переважно вирішують задачі інтерпретації, прогнозу, діагностики, планування, спостереження і управління [2]. Існує декілька концепцій взаємодії людини і СППР [3]. Вони відрізняються один від одного ступенем участі ЕОМ в процесі управління і прийняття рішень. Як правило, остаточне рішення приймає диспетчер (оператор). Неправильне рішення може призвести до необоротних змін на об'єкті, що пов'язані з виходом з ладу елементів, викидом шкідливих і отруйних речовин в навколишнє середовище, аварії, погіршення якості функціонування. В залежності від кількості функцій, розподілених між людиною і ЕОМ, інтелектуальні системи управління можна умовно розбити на чотири групи [4]: системи, в яких ЕОМ виконує інформаційні функції; системи, де ЕОМ є інформаційно-порадничою, аналізує стан об'єкту управління і видає рекомендації по управлінню; системи, в яких ЕОМ виконує всі функції по управлінню процесом, а людина, що спостерігає за процесом управління, може оперативного вмішуватися з метою внесення коректив. Із зростанням складності систем управління і кількості інформації людська здатність робити точні і змістовні висновки про хід процесу і системи управління зменшується. В деяких випадках складність об'єкта управління не дозволяє людині приймати правильне і своєчасне рішення, тому об'єкт умовно розбивають на підоб'єкти, що виконують закінчені технологічні операції. Число операторів, що слідкують і управляють процесом при цьому збільшується. Оскільки в наш час ЕОМ не може здійснювати повне автоматичне управління деякими промисловими і транспортними процесами, то найбільш прийнятним з точки зору розподілення функцій між особою, що приймає рішення (ОПР) і ЕОМ, є застосування і розвиток систем з автоматизованим управлінням. Це пояснюється наявністю розвинутих програмних засобів для реалізації методів інженерії знань і математичних методів, а також наявністю апаратних засобів взаємодії з технологічним

обладнанням. Дана модель взаємодії ОПР і ЕОМ дозволяє розглядати ЕОМ як партнера, що приймає участь у вирішенні задач управління.

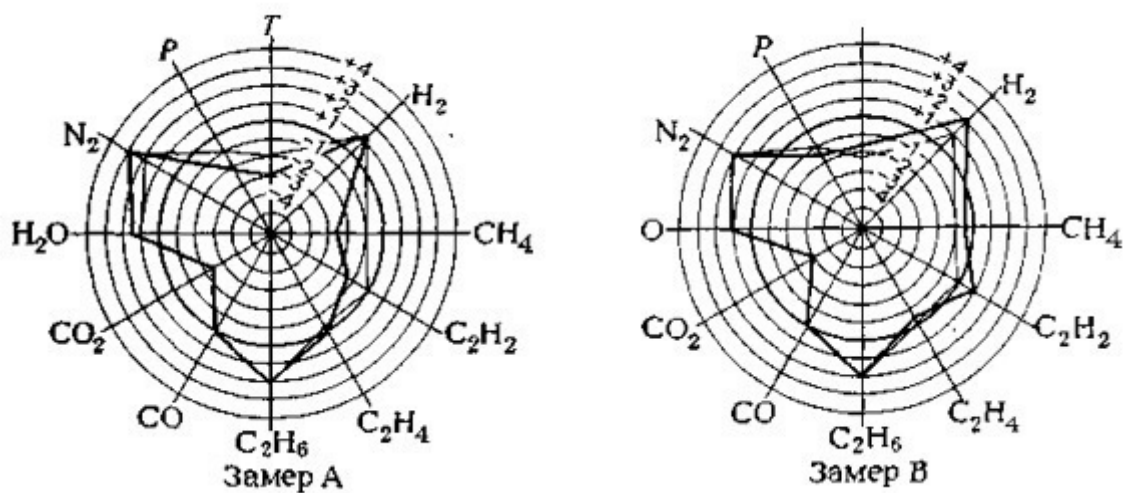
### **1.2.9 Методи розпізнавання образів у виявленні та діагностиці неполадок**

Методи розпізнавання образів широко застосовуються для вирішення таких завдань, як розпізнавання буквено-цифровий інформації, прогнозування погоди, встановлення медичних діагнозів, аналіз звукових записів і т. Д. Важливою властивістю методів розпізнавання образів є те, що повне знання розподілу ймовірностей даних не потрібно. Якщо в розпорядженні є лише невелика кількість вимірювань і тому не можна визначити значимі статистичні розподілу, то можуть бути використані непараметричні методи.

Що таке \* образ? У повсякденній мові ми використовуємо це слово у багатьох значеннях, наприклад, характеризуючи конструкцію або зовнішній вигляд виробу. Більш корисним для наших цілей є розуміння його як розташування інформації по певній формі спільно з фактором «копія» або «зразок». Розпізнавання образів є процес встановлення виду або класу образу на основі певних ознак образу. Два різних і добре відмітних методу розпізнавання образів: 1) накладення на шаблон і 2) виділення ознак і класифікація; перший з них більш простий, але рідко використовується для хіміко-технологічних виробництв.

При ретельному вивченні питання виявляється, що мистецтво людини розпізнавати образи включає в себе досить складну логіку. Одна з причин складності, створення комп'ютерних програм для розпізнавання образів полягає в труднощі пояснення самою людиною цих уявних операцій. Людина, яка описує образ, часто не усвідомлює основу застосовуваної їм класифікації. Якщо попросити людину назвати виявлений їм образ, то він може вказати приклади схожих образів, замість того, щоб перерахувати його характерні ознаки. Так, змушує відповісти людина скаже, що він розгледів особливий коло, тому що

фігура нагадує коло. Іншими словами, розпізнавання образів людиною - це послідовність дослідів або навчання, і на питання про внутрішній зміст цього процесу він відповідає, що він накладає новий образ на той, який знаходиться у нього в свідомості. Така процедура, названа накладенням на шаблон, складається в порівнянні вибірки з рядом зберігаються прототипів. Машинні програми можуть порівняти новий зразок з зберігаються варіантом кожного альтернативного способу, і найбільш близький збіг (відповідно до заздалегідь обраного критерію) виявляє клас даного зразка.



**Рис.1.5.** Многопеременные образы для 11 змінних, що відображають нормальну роботу (обведені тонкою лінією), і образи, складені по вибірковій сукупності вимірювань

Можуть бути розроблені обчислювальні програми [27] для проведення різних операцій над вектором ознак, включаючи розгортання точок в просторі більш низької розмірності, використання гіперплощин (т. Е. Площин з більш ніж двома вимірами) для розподілу гіперпростору на області, використання методів знаходження кластерів для угруповання точок в просторі (наприклад, шляхом зміни залежності одного чи кілька критеріїв з лінійної на логарифмічну, зворотний, ступеневу і т. д.). Візуальним і чисельним аналізом можна виділити ознаки, які економно характеризують образи, знайти ознаки, які ефективно

розділяють класи образів, або ознаки, що задовольняють деякій комбінації цих двох цілей. Зрозуміло, обрані ознаки повинні бути:

1) простими, наскільки це можливо, для вимірювання;

2) по можливості в невеликій кількості;

3) придатними для простої подальшої класифікації;

4) інтерпретуються безпосередньо в термінах неполадок. Оскільки ці критерії є взаємно несумісними, то

очевидно, що вибір залежить від зручності і припустимого ступеня наближення.

Грунтуючись на цьому попередньому описі методів розпізнавання образів, слід поставити кілька запитань. Які ознаки повинні бути обрані? Як? Чи повинні використовуватися послідовні або одночасні вимірювання? Чи можуть служити ознаками оцінки змінних стану або параметрів? Яким повинен бути вид класифікатора або дискримінує функції? Існує невелика кількість практичних відповідей на перший

питання, хоча є також і методи для ^ вибору (і розташування по порядку, якщо повинен застосовуватися послідовний метод) підсистеми з ряду можливих вимірів, засновані на принципі максимальної точності класифікації. Питання «як?» відноситься не тільки до вибору інструменту для вимірювання а й до вибору ступеня дискретизації вимірюваних змінних. Безперервні змінні (наприклад, температура, тиск) повинні квантуватися, так що ступінь точності меж вимірювань необхідно встановлювати заздалегідь.

Що стосується виду способу класифікації образів, то може бути прийнятий детерміністський або стохастичний підхід. В останньому випадку основним припущенням є те, що існує многоперемінна функція щільності ймовірності, яка характеризує кожен клас. Такі теоретичні передумови ведуть до діапазону стратегій класифікації час від повного знання розподілів до повного їх незнання,

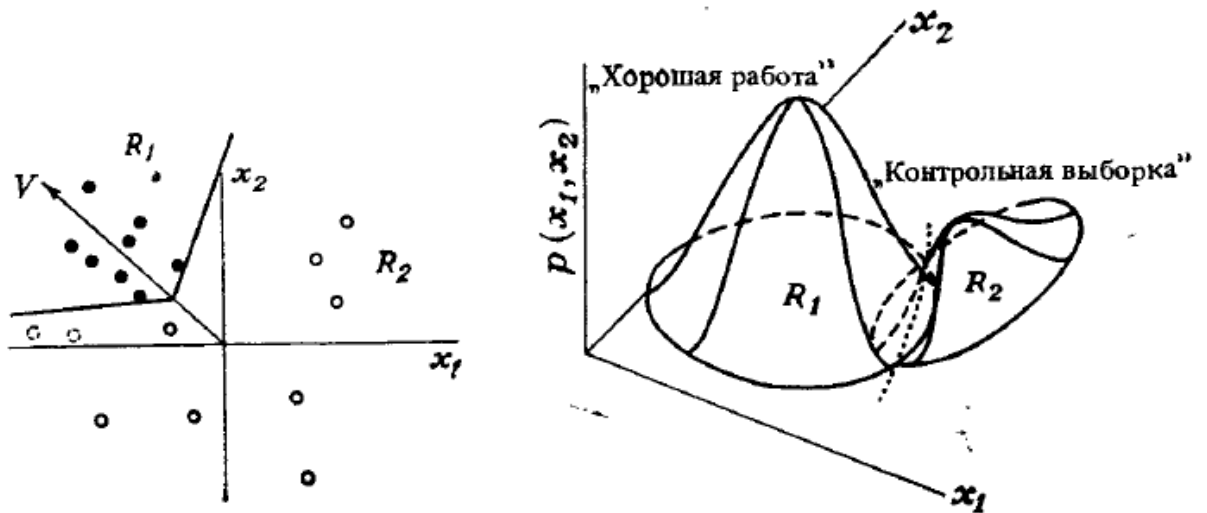
крім тих розподілу, які можуть бути виведені з вибірок (непараметричний випадок).

Найбільш часті додатки розпізнавання образів для виявлення та діагностики неполадок засновані на непараметрическом (з вільними розподілами) підході до встановлення стратегії класифікації. У числі таких методів включають такі.

1. Дискримінаційний аналіз [26] - має на меті відшукати функцію, яка прагне розділити простір спостережень на області. Розгляньте рис. 6.3. Сюди можна включити метод нелінійних, квадратичних і кусочно-лінійних дискримінують функцій [20, 32], метод потенційних функцій [1] і процедури, за допомогою яких прагнуть оцінити многопеременные щільності ймовірності [38, 40). Деякі автори запропонували знаходити відстань від нового некласифікованих набору спостережень до попередньо визначеного ряду класифікованих точок, з тим щоб встановити в деякому сенсі «найближчого сусіда» [13] (докладніше див. Розділ 6.3). У всіх вищевказаних процедурах аргументами дискримінують функцій є вектори ознак і підбираються коефіцієнти функцій для досягнення задовільного поділу класів.



**Рис.1.6.** Процедура розпізнавання образів шляхом виділення ознак і класифікації



**Рис.1.7.** Вимірюються дві ознаки ( $x_1$  і  $x_2$ ) і спостерігаються два результату: гарне (•) і погане (○) дію. Ми можемо розділити область на і за допомогою функції, показаної жирними лініями, і, таким чином, класифікувати функціонування процесу на два іпересекаюціхся класу.

Якби дві точки на рис. 1.7 представлені пунктиром, що не були з самого початку в вибірці, що відповідає поганих результатів, то ортогональні проекції точок на пряму  $V$  були б достатніми для досягнення повного поділу нормального і ненормального станів в одному вимірі, а не в двох вимірах. Лінійне дискримінування зводиться ні до чого іншого, як до підгонці прямої  $V$  таким чином, щоб спроектований набір міг бути відділений від іншого набору або від контрольного набору. Завдяки такому підходу, процедури, які з обчислювальної точки зору непрактичні для 10-20 вимірів, можуть стати практичними в просторі проекцій з меншою розмірністю. Зрозуміло, такий собі набір може утворити перехресний з іншим набором безліч, будучи спроектованим, навіть якщо вони розділені в просторі даних більш високої розмірності. В цьому випадку ми могли б припустити, що кожен набір походить від генеральної сукупності з існуючим, але не відомим розподілом (див. рис.1.7, і провести деяку кордон рівній для класифікації значущості (т. е. з однаковим перевагою віднести вимір до одного чи іншого розподілу) між двома розподілами, що служить основою для дискримінації.

2. Кластеризація [3, 8, 25] - ідентифікує області в досліджуваному просторі, яке пов'язане з образами різних класів. Кластери можуть бути визначені з використанням довірчих кордонів, відповідних ймовірності помилок, як показано на рис. 6.5. Кластеризація обговорюється в розділі 6.3.

3. Послідовні непараметричні методи [8, 21] - використовують критерій Вальда послідовного відносини ймовірностей [44] і процедури непараметрического рангування, які дають можливість замінювати вектор вимірюваних ознак на вектор рангів. Є можливість попередньо визначити точність класифікатора шляхом варіювання числа вимірів, які необхідно провести.

У розділі 6.2 ми розглядаємо словники неполадок в тимчасовій і в частотній областях як засіб для класифікації образів і подальшого діагностування. У розділі 6.4 подібним же чином розбираються образи, одержувані по акустичному шуму. У розділі 6.3 обговорюється кластерний аналіз. Послідовні непараметричні методи тут не описуються. Діагностування неполадок полегшується в тому випадку, коли вимірювання робляться по декільком змінним одночасно (або майже одночасно), можливо, через послідовні проміжки часу. На основі системи вибіркового вимірювань інженер може віднести вибірку до конкретного класу і почати, якщо необхідно, дії по виправленню неполадки. Словник неполадок (відомий також як таблиця станів, таблиця рішень або матриця розпізнавання) може допомогти в класифікації, однак, на жаль, його складність різко збільшується зі зростанням числа вимірюваних змінних, і тому такий допоміжний інструмент має обмеження, навіть в разі його переведення на машинний мова.

### **1.2.10 Контрольні карти процесу**

Контрольні карти представляють собою графічні засоби аналізу, які можна легко підготувати і використовувати в заводських виробничих умовах. При цьому не потрібно детермінованою моделі процесу, але необхідні припущення щодо

статистик змінних, які будуть контролюватися. Для зручності можна брати до уваги два джерела зміни контрольованої змінної процесу:

1) випадкові флуктуації, такі, наприклад, як обумовлені навколишнім середовищем (зовнішні температури, тиск і т. д.), Внутрішніми умовами перемішування, природними концентраційними змінами в сировинних матеріалах і т. д.;

2) невідповідності зміни, викликані детермінованим компонентом, який додається до змінної процесу, наприклад помилкою оператора у встановленні швидкості потоку, неправильними вимірювальними приладами, невідповідністю технічним умовам, використанням відпрацьованого каталізатора і т. д.

Якщо зміни змінної відносяться тільки до першої із зазначених категорій (1), то ми говоримо, що процес знаходиться «під статистичним контролем». Якщо ж мають місце будь-які зміни, що відносяться до другої категорії (2), ми говоримо, що процес знаходиться «поза статистичного контролю». «Під контролем» означає, що протягом всього ходу процесу спостерігається змінна буде підпорядковуватися одному і тому ж закону розподілу ймовірності. Мета застосування контрольних карт полягає в тому, щоб забезпечити візуальне спостереження вимірюваної змінної (або змінних) другого роду (2).

На Табл.1.1представлена типова контрольна карта процесу, заснована на вибіркового середньому. Загальна процедура виготовлення контрольної карти процесу включає в себе:

1) отримання вибірки;

2) обчислення відповідної статистики, такої, наприклад, як вибіркоче середнє значення, розмах або накопичена сума;

3) графічне побудова цієї статистики на карті у вигляді функції від вибору прийнятого рішення про те, чи знаходиться процес «під контролем» чи ні. В табл. 1.1 наведені верхній і нижній контрольні межі. До тих пір поки статистика, що

відкладається на цьому графіку, потрапляє в інтервал між двома зазначеними межами, процес вважається як під статистичним контролем. Правила прийняття рішення, використовувані для фіксування цих ліній, можуть бути засновані на передбачуваному вигляді розподілу спостережуваної випадкової змінної (зазвичай передбачається нормальний розподіл), або вони можуть виводитися за допомогою непараметричного аналізу.

Якщо наноситься на графік статистика перевищує контрольний межа, приймається рішення про те, що процес знаходиться «поза (статистичного) контролю»; перетин контрольної межі вказує на аномальне явище, яке може бути простежено (на щастя) до будь-якої неполадки. Навіть скупчення надмірної кількості точок по одну сторону від центральної лінії може розглядатися як певний зсув нормального ходу процесу. Контрольні графіки можуть бути використані:

- 1) як сигнал про те, що в процесі відбулося деяке зміна, так і в якості оцінки величини зміни, для якого потрібно коригуючий вплив;
- 2) виключно як сигнал про те, що в процесі відбулося деяке зміна, щоб оператор усвідомив, що процес вимагає його уваги;
- 3) для отримання оцінок числа випадків в минулому, коли в процесі виникали зміни, і встановлення на їх основі причин, що викликають ці зміни;
- 4) як міра якості продукції для класифікації за періодами.

Контрольні межі не є межами, передбаченими технічними умовами. Вони встановлюються простими статистичними розрахунками на основі спостережень на виході процесу. Контрольні межі надають інформацію, яка допомагає уникнути:

- 1) регулювання контрольованих витрат потоку, температури і т. д., Коли вона не потрібна;
- 2) збою в регулюванні, коли остання необхідна.

Через спосіб, за допомогою якого на практиці встановлюються контрольні межі і внаслідок нестачі інформації про розподіл ймовірності випадкової змінної, що підлягає вимірюванню, намагаються уникати точних імовірнісних формулювань. Контрольні карти особливо цінні, коли вони використовуються в якості простих графічних засобів, що дозволяють оператору процесу, ненавченого статистичними прийомами або слабо засвоїв їх, подумки уявити собі картину перебігу процесу і вирішити, чи знаходиться якість продукції на заданому рівні.

Використання контрольних карт в промислових процесах для виявлення неполадок не було настільки плідним, як, наприклад, у виробництві автомобільних частин, оскільки в першому випадку мета часто полягає не в контролі за тим, щоб вихідна змінна, така як продуктивність, перебувала в заданих межах, а в тому, щоб максимізувати змінну. Поліпшення - один із синонімів оптимізації.

У традиційному тлумаченні це слід розуміти так, що основне завдання виробництва полягає в отриманні продукції підвищеної однорідності. Другий труднощами використання контрольних карт в промислових виробництвах є те, що причини знаходження процесу «поза контролем» ніколи не очевидні, за винятком випадків відхилення від норми, викликаних неправильною подачею сировини, неправильною установкою контрольних змінних, несправністю устаткування, порушенням діючих інструкцій і т. д. У будь-якому випадку такі причини часто усуваються ще до того, як їх вплив виявляється на контрольних картах. Однак зрушення рівня і / або циклічні флуктуації в будь-якому процесі важко приписати певних причин, деякі з яких можуть бути пов'язані з неспостережуваними змінними або з зовнішніми умовами. Хілл і Вайлес<sup>2)</sup> вказують, як виконати програму контрольованого втручання в процес для виявлення причин збоїв.

1) контрольні карти Шьюхарта (карти X, R і S);

2) карти ковзають геометричних середніх (змінного експоненціального зваженого середнього);

3) карти накопичених сум;

4) многоперемінні контрольні карти.

Однаково корисні і багато інших типів карт; вони описані в літературі, наведеної в кінці цієї глави. Відносні ефективності виявлення різних змін в процесі для п'яти типів карт представлені в табл. 1.1.

Розробка контрольної карти процесу, т.п. Встановлення центральної лінії і контрольних меж, вимагає деякого обдумування і дослідження самого процесу. Припустимо, що процес і точки вимірів визначені чітко, прийняті в розрахунок час запізнювання і мертва час, а також знайдений відповідний вибіркового метод і вибіркового інтервал. Потім слід перевірити, що припущення щодо розподілу ймовірності спостерігається змінної є виправданими. Тоді потрібно досліджувати і саму процедуру отримання вибірки, щоб точність даних, які будуть використовуватися, була відома (і перебувала на допустимо низькому рівні). Для більш тонких перевірок необхідні вибірки більшого обсягу, однак часовий крок може бути і такий, що вибірка буде складатися тільки з одного свідчення (скажімо, з показання газового хроматографа). Економічність взяття проб, вартість допоміжних матеріалів, внесення поправок, ремонту обладнання і т. д. Теж важливо враховувати при побудові контрольних карт, однак ці чинники тут нами не розглядаються.

Причина изменения	Контрольные карты				
	среднее $\bar{X}$	размах $R$	стандартное отклонение $s$	накопленная сумма	скользящее геометрическое среднее
Грубая ошибка (отклонение)	1	2	—	3	3
Сдвиг среднего	2	—	3	1	1
Сдвиг дисперсии	—	1	—	—	—
Медленная флуктуация (тренд)	2	—	—	1	1
Быстрая флуктуация (колебание)	—	1	2	—	—

**Табл.1.1.** Відносна ефективність виявлення змін в процесі. Позначення: 1 найбільш ефективна, 2, 3 - найменш ефективна, - - непридатна.

### Контрольні карти Шухарта

Завдання побудови контрольної карти Шухарта:

- визначити межі системної варіативності процесу,
- спрогнозувати поведінку процесу в найближчому майбутньому на основі минулих даних про процес.

Вихід параметр процесу завжди має мінливість внаслідок впливу різних чинників (короткочасних відхилень входів і внутрішніх параметрів). Таких факторів зазвичай багато, і тому вони частково компенсують один одного. Внаслідок цього в стабільному стані виходи процесу лежать в певному коридорі - зоні системної варіабельності процесу. Ймовірність виходу параметра за межі цього коридору не дорівнює нулю, але, як правило, мала.

При введенні контрольних карт в організації важливо визначити першочергові проблеми і використовувати карти там, де вони найбільш необхідні. Сигнали про проблеми можуть виходити від систем управління дефектами, від претензій споживачів, від будь процесів організації.

Контрольні кордону - коридор, всередині якого лежать значення при стабільному стані процесу. Контрольні кордону розраховуються за формулами, жорстко прив'язаним до типу карти. Ці кордони обчислюються за даними про процес, і ніяк не пов'язані з допусками.

CL - центральна лінія (зазвичай середнє значення або медіана по деякому об'єму даних)

LCL - нижня контрольна межа

UCL - верхня контрольна межа

Ознаки особливої мінливості сигналізують про порушення стабільності (керованості) процесу:

- вихід точок за верхню чи нижню межі контрольної карти<sup>7</sup> або більше точок поспіль лежать по одну сторону від середньої лінії
- більше 6 точок монотонно зростають або зменшуються

Є й інші ознаки (див. Книгу Уилера, Чемберса). Усталеного загальноприйнятого набору додаткових правил читання контрольних карт немає, тому рекомендується використовувати в першу чергу правило Шухарта (вихід точок за кордону), а всі інші вводити в міру накопичення досвіду при необхідності.

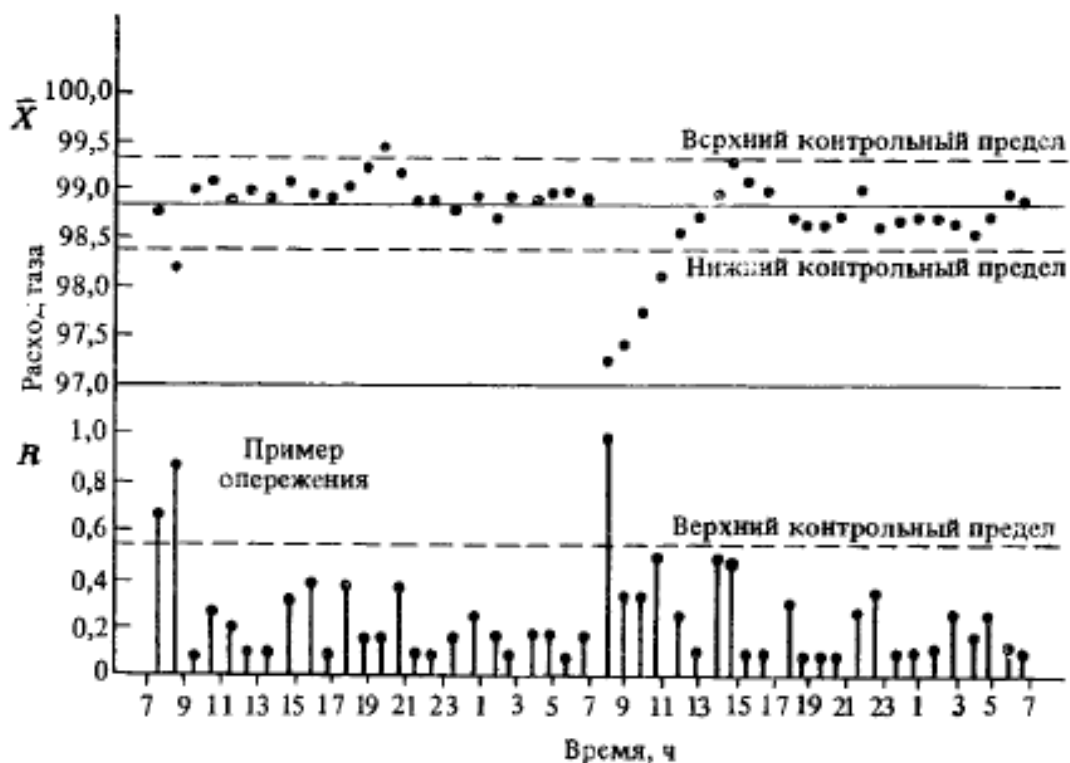
Види контрольних карт

- за шкалою вимірювання карти бувають
- якісні
- кількісні

За вибіркового параметру карти бувають

- індивідуальних значень
- ковзають розмахів

- середнього
- середнє відхилення
- медіани
- розмаху



**Рис.1.8.** Контрольні карти  $\bar{X}$  і R (нижній контрольний межа для розмаху не показаний).

Контрольні карти Шухарта один з основних інструментів статистичного контролю якості. Застосовуються при необхідності відстежувати стан процесу в часі і впливати на процес до того, як він вийде з-під контролю. Як же вибрати тип контрольної карти Шухарта (ККШ)? Якщо тип обраної карти не буде відповідати тому процесу, який необхідно діагностувати і покращувати, то від застосування ККШ не отримаємо того ефекту на який розраховуємо. Карта Шухарта - це графік значень певних характеристик підгруп в залежності від їх номерів. Вона має центральну лінію (CL) і дві статистично визначаються межі - верхню контрольну кордон (UCL -Upper Control Level) і нижню контрольну кордон (LCL - Lower Control Level). Основні положення щодо застосування та

інтерпретації КК Шухарта і відповідних методів статистичного управління процесами встановлені ГОСТ Р 50779.42-99 (ISO 8258-91). Контрольні кордону на карті Шухарта знаходяться на відстані  $3\sigma$  від центральної лінії. Ці кордони вказують, що близько 99,7% значень характеристик підгруп потраплять в ці межі за умови, що процес знаходиться в статистично керованому стані. Або, іншими словами, є ризик 0,3% того, що нанесена точка опиниться поза контрольних меж, коли процес стабільний.

При появі точки поза цими межами слід робити певні дії, тому кордону  $\pm 3\sigma$  називаються «межами дій». Часто на контрольній карті наносяться і кордони  $\pm 2\sigma$ , і, якщо значення виходить за ці межі, то це може служити сигналом про можливу загрозу виходу процесу зі стану статистичної керованості. Межі  $\pm 2\sigma$  опиняються попереджувальними. При використанні контрольних карт (як і інших статистичних методів) можливі помилки першого і другого роду. Помилка першого роду: процес знаходиться в статистично керованому стані, а точки виходять за контрольні кордону - приймається невірне рішення про вихід процесу зі стану статистичної керованості. Помилка другого роду: процес не знаходиться в стані статистичної керованості, а точки розташовані всередині контрольних меж - приймається невірне рішення про статистичної керованості процесу. Імовірність помилки другого роду залежить від ширини контрольних меж, ступені не керованості і обсягу вибірки. Система КК Шухарта враховує тільки помилки першого роду, рівні 0,3% в межах кордонів  $3\sigma$ . Залежно від виду даних і методів їх статистичної обробки виділяють різні типи КК. Контрольні карти бувають двох основних типів: для кількісних і альтернативних даних. Для кожної контрольної карти зустрічаються дві ситуації:

- а) стандартні значення не задані;
- б) стандартні значення задані.

Під стандартними значеннями розуміються значення, встановлені відповідно до деякими конкретними вимогами або цілями. КК, для яких не задані стандартні

значення, мають на меті виявлення відхилень значень характеристик, викликаних не випадковими причинами. Ці карти засновані цілком на даних самих вибірок.

КК при наявності заданих стандартних значень, мають на меті визначення того, чи відрізняються спостережувані значення для декількох підгруп від відповідних стандартних значень більше, ніж можна було очікувати при дії тільки випадкових причин. У ГОСТ Р 50779.42 розглянуті наступні типи КК:

- контрольні карти для кількісних даних:

1) карти середнього ( $\bar{X}$ ) і розмахів ( $R$ ) або вибірових стандартних відхилень ( $s$ );

2) карта індивідуальних значень ( $X$ ) і ковзних розмахів ( $R$ );

3) карта медіан ( $Me$ ) і розмахів ( $R$ );

- контрольні карти для альтернативних даних:

1) карта часткою невідповідних одиниць продукції ( $p$ ) або карта числа невідповідних одиниць ( $np$ );

2) карта числа невідповідностей ( $c$ ) або карта числа невідповідностей, що припадають на одиницю продукції ( $u$ ).

Існує два види контрольних карт: один призначений для контролю параметрів якості, що представляють собою безперервні випадкові величини, значення яких є кількісними даними параметра якості, а другий - для контролю параметрів якості, що представляють собою дискретні випадкові величини і значення, які є якісними даними (придатний - не придатний, біле - чорне і т.п.). Контрольні карти для кількісної ознаки є потужним засобом, яке може бути використано, коли в процес можливі вимірювання. Прикладами можуть бути діаметр підшипника, зусилля при закриванні двері або час для розгляду ваучера. Карти за кількісною ознакою, і особливо їх найбільш уживані форми - карти  $\bar{x}$  і  $R$ -представляє типові приклади застосування контрольних карт до управління

процесами. Контрольні карти для кількісної ознаки особливо корисні з кількох причин:

- більшість процесів і їх результатів мають вимірні характеристики, так що потенційна можливість застосування широка;

- кількісне значення містить більше інформації, ніж просте висказування «так-ні»;

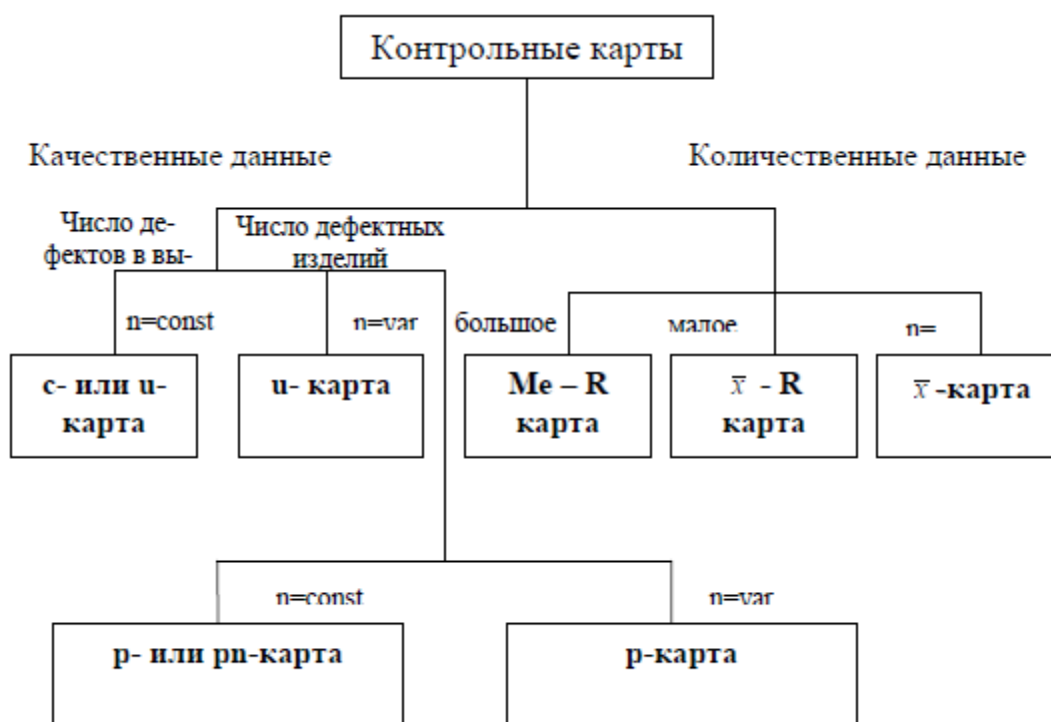
- хоча отримання одного вимірюваного даного загалом дорожче, ніж отримання одного даного «так-ні», менша кількість одиниць потрібно виміряти, щоб отримати більше інформації про процес, так що загальна ціна вимірювань в деяких випадках нижче;

- завдяки меншій кількості одиниць, необхідних для перевірки при прийнятті надійного рішення, тимчасова затримка між виробником деталей і коригувальною дією часто може бути скорочена;

- з кількісними даними може бути проаналізована налаштованість процесу і поліпшення може бути кількісно оцінений, навіть якщо всі індивідуальні значення лежать в межах встановленого допуску. Це важливо при проведенні безперервного вдосконалення.

Карти за кількісною ознакою можуть пояснити дані процесу як по розкиду, так і по положенню. Завдяки цьому, контрольні карти за кількісною ознакою можуть аналізуватися попарно: одна карта для положення і інша - для розкиду.

Карти за якісними ознаками застосовуються коли вимірювання не проводяться, але сукупність об'єктів поділяється на частини: поганий-хороший, пройшов - не пройшов, придатний - дефектний або перший сорт - другий сорт - шлюб, і підраховуємо число об'єктів, що потрапляють в ту чи іншу категорію. Діляться карти на два підвиди залежно від співвідношення числа спостережень і об'єктів.



**Формулы для расчета контрольных линий (пределов):**

Карта	LCL – нижняя контрольная линия	CL – центральная линия	UCL – верхняя контрольная линия
$\bar{x}$	$\bar{x} - A_2 \bar{R}$	$\bar{x}$	$\bar{x} + A_2 \bar{R}$
R	$D_3 \bar{R}$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}$
x	$\bar{x} - 2.66 \bar{R} s$	x	$\bar{x} + 2.66 \bar{R} s$
pn	$\bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$	$\bar{p}n$	$\bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$
p	$\bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$	$\bar{p}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
c	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$\bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$	$\bar{u}$	$\bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$

### 1.2.11 Контрольні карти для кількісних даних

Під кількісними даними розуміються результати спостереження значень безперервних випадкових величин, наприклад, розміру деталі, електричного опору, маси і т.п. КК для кількісних даних більш інформативні, ніж альтернативні, обсяги підгруп набагато менше, хоча отримання самих даних зазвичай дорожче.

Для КК за кількісними даними передбачається нормальний розподіл характеристики процесу, і відхилення від цього припущення впливає на ефективність КК.

КК для кількісних даних характеризують стан процесу через розкид і через положення центру, тому ці карти майже завжди застосовують і аналізують парами - одна карта для розташування центру і одна - для розкиду.

Найбільшого поширення набула пара  $\bar{X}$  - і  $R$ - карти. Рідше для контролю розкиду застосовують  $s$ -карту.

На практиці бувають ситуації, в яких для управління процесом неможливо або недоцільно вести контроль за підгрупами (наприклад, при руйнівному контролі). У цих випадках використовуються карти індивідуальних значень і ковзають розмахів, що представляють собою абсолютне значення різниці вимірів в послідовних парах.

Карти медіан і розмахів аналогічні картам середніх і розмахів, але простіше в застосуванні.

Формули для розрахунку контрольних меж КК за кількісними даними наведені в таблиці 1.

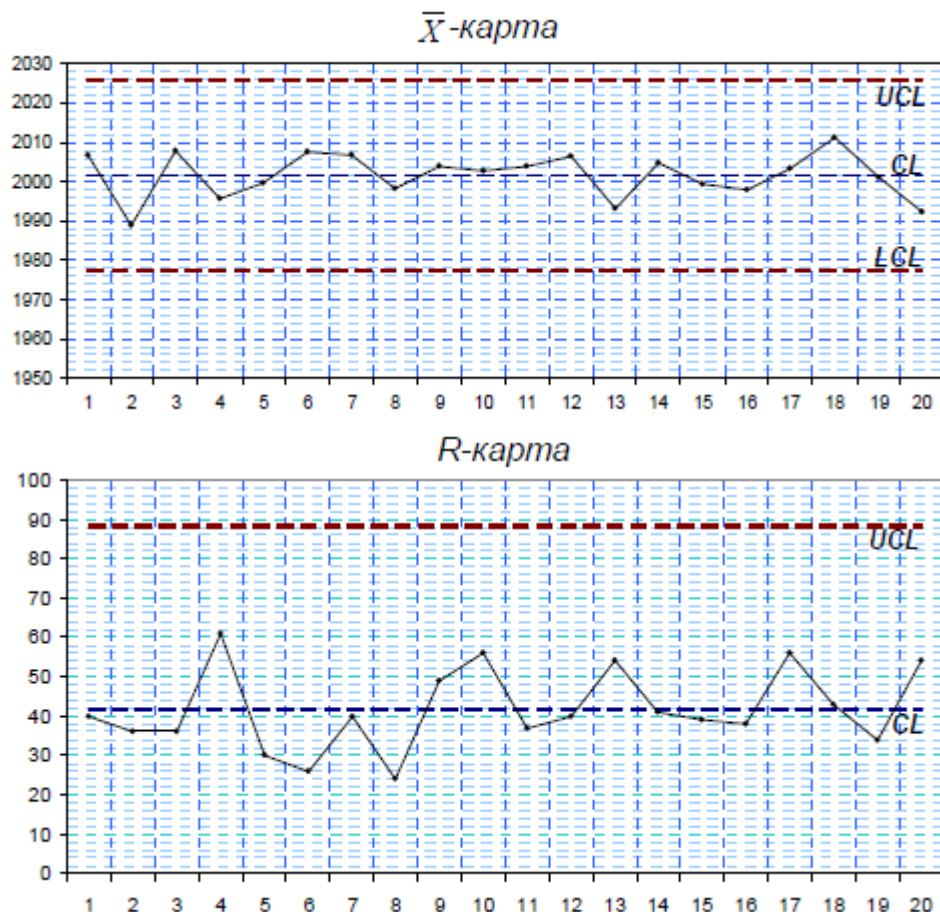
**Таблиця 1.2.** - формули для розрахунку контрольних меж

Статистика	Стандартные значения не заданы		Стандартные значения заданы	
	CL	UCL и LCL	CL	UCL и LCL
Карты среднего $\bar{X}$ и размахов $R$ или выборочных стандартных отклонений $s$				
$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ или $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$	$X_0$ или $\mu$	$X \pm A_1 \sigma_0$
$R$	$\bar{R}$	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$	$R_0$ или $d_2 \sigma_0$	$D_1 \sigma_0, D_2 \sigma_0$
$s$	$\bar{s}$	$B_3 \bar{s}, B_4 \bar{s}$	$s_0$ или $C_4 \sigma_0$	$B_5 \sigma_0, B_6 \sigma_0$
Карты индивидуальных значений $X$ и скользящих размахов $R$				
$X$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm E_2 \bar{R}$	$X_0$ или $\mu$	$X_0 + 3\sigma_0$
$R$	$\bar{R}$	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$	$R_0$ или $d_2 \sigma_0$	$D_1 \sigma_0, D_2 \sigma_0$
Карты медиан $Me$ и размахов $R$				
$Me$	$\bar{Me}$	$Me \pm A_4 \bar{R}$		
$R$	$\bar{R}$	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$		

Карта середніх  $\bar{X}$  відображає середню процесу, варіації між підгрупами і щодо середнього та характеризує стабільність процесу. Карта розмахів  $R$  відображає варіацію всередині підгруп і характеризує мінливість процесу. Якщо по  $R$ -карті варіації всередині підгруп знаходяться в установлених межах, то вважають, що процес знаходиться в статистично керованому стані. Рекомендується аналізувати  $R$ -карту першою, тому що якщо процес вийшов зі стану статистичної керованості, то це може вплинути на  $\bar{X}$ -карту.

Відповідно до ГОСТ 50779.42 процедура статистичного управління процесом з використанням карт Шухарта для кількісних даних включає наступні етапи.

- 1) Збір даних, обчислення середніх і розмахів (або стандартних відхилень). Форма даних приведена в таблиці 2.
- 2) Побудова та аналіз  $R$ -карти. Якщо  $R$ -карта сигналізує про наявність невикладкових причин варіації, то проводиться аналіз процесу для їх виявлення і реалізуються коригувальні дії.



### **Рис.1.9.** Контрольна карта для кількісних даних (Пара X -і R-карт)

3) Всі підгрупи, на які впливали невикладкові причини, виключаються, обчислення повторюються, і заново будується R-карта. Якщо стан статистичної керованості не підтверджується, то аналіз і коригувальні дії повторюються.

4) Побудова X-карти. З X-карти повинні бути виключені всі підгрупи, виключені з R-карти. При аналізі X-карти виділяють всі крапки поза межами, незвичайні структури точок і тренди. Також як і для R-карти аналізуються всі невикладкові причини і виключаються відповідні підгрупи. Після цього обчислення повторюються, і карта будується заново. Операція повторюється до досягнення стану статистичної керованості процесу.

#### **1.2.12 Контрольні карти для альтернативних ознак**

Під альтернативними даними розуміють спостереження, фіксують наявність або відсутність деяких ознак у кожній одиниці даної підгрупи. На основі цих даних підраховується число одиниць, що володіють або що не володіють даними ознакою, або кількість таких подій на одиницю продукції, групу.

Контрольні карти для альтернативних даних засновані на розподілах дискретних випадкових величин:  $np$ - і  $p$ -карти засновані на біноміальний розподіл,  $c$ - і  $u$ -карти - на розподілі Пуассона. Тому для альтернативних даних достатньо однієї карти для середнього рівня, на відміну від пари карт для кількісних даних - для середнього і розсіювання. Контрольні карти  $np$  і  $p$  можуть бути побудовані за такими даними, як:

- кількість бракованих олівців;
- кількість деталей, контрольований розмір яких не задовольняє допуску;
- кількість неправильно заповнених форм записів;
- кількість дівчат, які не нафарбувати вії тушшю.

Частка невідповідних одиниць в підгрупі визначається як відношення числа невідповідних одиниць  $np_j$  в підгрупі до її об'єму  $n_j$ :

$$p_j = \frac{np_j}{n_j}$$

де  $j$  - номер підгрупи.

Середнє значення числа невідповідних одиниць  $np$  - відношення загальної кількості виявлених невідповідних одиниць до кількості перевірених підгруп  $k$ :

$$\overline{np} = \frac{\sum_{j=1}^k np_j}{k}.$$

Середнє значення частки невідповідних одиниць  $p$  - відношення числа невідповідних одиниць у всіх підгрупах до загальної кількості невідповідних одиниць:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{j=1}^k np_j}{\sum_{j=1}^k n_j}$$

Прикладами даних, за якими можуть бути побудовані карти  $c$  і  $u$ , є: кількість дефектів в лінії, проведеної олівцем; кількість відколів лакофарбового покриття автомобіля; кількість війок, що не забарвлених тушшю; кількість помилок в заповнених формах записів.

Число невідповідностей на одиницю продукції визначається як відношення числа невідповідностей до обсягу підгрупи:

$$u_j = \frac{c_j}{n_j}.$$

Середнє значення числа невідповідностей  $c$  визначається як відношення загальної кількості виявлених невідповідностей до кількості перевірених підгруп  $k$ :

$$\bar{c} = \frac{\sum_{j=1}^k c_j}{k}.$$

Середнє значення числа невідповідностей на одиницю в підгрупі  $u$  - відношення числа невідповідностей  $u$  у всіх одиницях до загальної кількості перевірених одиниць:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{j=1}^k c_j}{\sum_{j=1}^k n_j}$$

Обмеження застосування тієї чи іншої контрольної карти пов'язані не тільки з характером даних, але і з об'ємом підгруп, точніше з його постійністю або непостійністю: якщо число контрольованих одиниць в підгрупах по-різному, то контрольні кордону повинні бути розраховані для кожного обсягу підгрупи. Таким чином,  $np$ - і  $c$ -карти застосовуються при постійному обсязі підгруп, а  $p$ - і  $u$ -карти - як при постійному, так і при змінному обсязі підгруп.

Формули для розрахунку контрольних меж карт для альтернативних даних наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1.3.** Формули для розрахунку контрольних меж КК для альтернативних даних

Карта	Стандартные значения не заданы		Стандартные значения заданы	
	Центральная линия	Контрольные границы	Центральная линия	Контрольные гра- ницы
$np$	$\bar{np}$	$\bar{np} \pm 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$	$np_0$	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
$p$	$\bar{p}$	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$p_0$	$p_0 \pm 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$
$c$	$\bar{c}$	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	$c_0$	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
$u$	$\bar{u}$	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$u_0$	$u_0 \pm 3\sqrt{\frac{u_0}{n}}$

У таблиці 1.3 наведені формули для двох можливих ситуацій:

- 1) стандартні значення не задані;
- 2) стандартні значення  $np_0$ ,  $p_0$ ,  $c_0$ ,  $u_0$  задані.

### 1.3 Постановка задач дослідження

*Актуальність роботи* полягає в необхідності діагностування приладів вимірювання рівня, температури, витрати, концентрації, тиску, для прогнозування позаштатних ситуацій, і на основі отриманих даних прогнозувати подальший розвиток подій, або впливати на їх подальший розвиток. Без систем автоматизації на даний момент не обходиться жодний технологічний процес виробництва, тому прогнозування та аналіз ситуацій на виробництві суттєво впливає на якість кінцевої продукції, та зменшить витрати сировини.

Якщо датчик вийшов з ладу, то система діагностики на протязі певного часу з'ясує що зміна значення датчика відбувається кожні 2-5 хвилин на значення 7-10 градусів, якщо цього не відбувається на протязі більше 5 хв, то система фіксує про ймовірне хибне значення, якщо на протязі ще 5 хв. значення не змінюється, то система видає сигнал про необхідність повірки приладу або заміни.

*Новизна* даної роботи полягає в застосуванні методів нечіткої логіки в системі підтримки прийняття рішень, застосуванні карт Шухарта для оперативної діагностики ТЗА технологічного процесу випічки хлібу.

*Мета дослідження* – розробка інтелектуальної системи оперативної діагностики ТЗА технологічного процесу випічки хліба, що діагностує правильність вимірів та їх загальну справність в процесі виробництва.

*Об'єктом дослідження* є технологічний процес випічки хліба в печах тунельного типу.

*Предметом дослідження* це методологія діагностування поломок та несправностей на основі карт Шухарта, та прогнозування поведінки системи на основі нечіткої логіки.

*Практичне значення* полягає в застосуванні даної системи для технологічного процесу випічки хліба з подальшою економією витрати палива, та контролю за рівнем вологості і температури в зоні випічки, для уникнення низької якості кінцевого продукту.

Для досягнення мети дослідження необхідно виконати наступні завдання:

1. Дослідження методів діагностики ТЗА на основі наукових підходів.
2. Розробка проекту інтелектуальної системи керування, що буде включати методи діагностики з використанням методології SysML.
3. Моделювання несправностей ТЗА за картами Шухарта.

## Розділ 2

### ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ

#### 2.1. Розробка підсистеми управління технологічним процесом

В даному проекті розглянемо піч ПХС-25, яка складається з пекарної камери, в якій є вісім секцій довжиною по 1,5 м кожна, стрічкового конвеєрного поду і каналів з двома самостійними замкнутими газовими трактами. У стрічкового конвеєрного пода є провідний барабан діаметром 710 мм і барабан ведений діаметром 320мм, на які натягнута плетена сітка.

На вхідній ділянці пекарної камери заготовки протягом 2 ... 3 хв. піддаються гігротермічній обробці зволожувальним пристроєм при температурі 100 ... 160 ° С і відносній вологості повітря 70 ... 85%. Випічка проводиться при змінному температурному режимі печі 150 ... 250 ° С протягом 10 ... 60 хв., в залежності від рецептури і маси порції хліба, що випікається.

Принцип роботи печі опишемо так: тістові заготовки переміщуються на транспортній стрічці через піч, яка має форму тунелю, проходячи через різні теплові зони, в яких відбувається випічка. На виході з печі хліб повністю випечений. Тунель зроблено таким чином, що гаряче повітря переміщується у верхній та нижній частинах тунелю. За допомогою спеціальних шиберів можна по бажанню регулювати притік гарячого повітря у верхню і нижню частину тунелю. Система обігріву основана на тязі, що повністю виключає проникнення гарячих димових газів в пічний простір.

В пекарській камері пічного агрегату відбувається неперервна гігротермічна обробка тіста, в результаті якої в тісті відбувається глибокі фізико-хімічні зміни і воно перетворюється в хліб. Характер випічки і якість продукції залежить в основному від часу випічки і параметрів середовища пекарської камери, до якої відноситься вологість середовища і температура.

Конвеєр обладнаний пристроєм для коригування становища сітчастої стрічки шляхом зміни ступеня натягу її правої або лівої половини. Крім того, конвеєр обладнаний сигналізатором, який включається, коли порушуються

встановлені зазори між кромками сітчастої стрічки і бічними стінками пекарної камери.

Привід печі здійснюється від електродвигуна через варіатор швидкості, зубчасті передачі і редуктор. Конструкцією приводного механізму передбачений ручний привід. Наявність варіатора дозволяє регулювати тривалість випічки від 12 до 72 хв. На нижній частині сітки розташований щітковий механізм для очищення. Піч обігрівается димовими газами, циркулюючими по каналах за допомогою двох вентиляторів.

У топкових пристроях можна спалювати газ. Повітря до форсунок підводиться окремим вентилятором. Продукти згоряння спрямовуються у верхні і нижні канали й омивають верхні гофровані та нижні сталеві листи, віддаючи теплоту випікає виробу.

Для огляду конвеєра і спостереження за випічкою в бічних стінах печі встановлено оглядові люки, а для контролю температури середовища пекарної камери передбачено три термометра манометричного типу. Площа пекарної камери печі 25 м<sup>2</sup>.

Ознайомившись з технологією процесу випікання та проаналізувавши конструктивні особливості пекарної печі, можна зробити висновок, що до основних контрольованих параметрів на стадії випікання відносяться :

1. Температура випічки в зонах ( піч має декілька температурних зон, в кожній зоні температура визначається сортом хліба);
2. Час випічки ( забезпечується швидкістю конвеєрної стрічки );
3. Тиск газу на пальнику;
4. Наявність факелу на пальнику;
5. Контролюється парозволоження заготовок.

Комп'ютерно-інтегрована система управління (КІСУ) являє собою комплексне об'єднання технічного, програмного, інформаційного та інших видів забезпечень, призначеного для повного і всебічного контролю і управління виробництвом з метою спрощення роботи операторів ділянок і технологів,

мінімізації їх втручання у виробничий процес, зменшення витрат, збільшення прибутковості і покращення якості продукції.

Як і будь-яка інша, КІСУ виробництвом хлібо-булочних виробів складається з кількох рівнів. На так званому нульовому рівні знаходяться польові засоби автоматизації (ТЗА): датчики і технологічне обладнання (двигуни, насоси і т.д.). В даному дипломному проекті головним об'єктом є тунельна хлібопекарська піч – останній і найважливіший елемент технологічної лінії, від якого залежить якість кінцевої продукції. На цьому об'єкті (0-й рівень – рівень польових засобів) використовуються датчики температури (термопари) для вимірювання температури по зонах пекарної камери печі, витратоміри газу і повітря, які надходять в обидві топки печі (по 2 датчика на кожен топку), датчик вологості в першій зоні пекарної камери і дискретні датчики наявності полум'я в топках. Для передачі сигналів від датчиків до контролерів використовуються уніфіковані струмові сигнали 4-20 мА. Серед технологічного обладнання – двигуни вентиляторів-нагнітачів (для забору повітря із зовнішнього середовища) і двигун конвеєра печі

На 1-му рівні контролерів знаходяться відповідно ЕОМ, які приймають, обробляють і передають інформацію із «вищих» рівнів КІСУ в «нижчі» (наприклад, поточні значення технологічних параметрів передаються на операторську панель) і навпаки. На цьому рівні для тунельної хлібопекарської печі встановлено багатоканальний контролер М340. На 2-му рівні – рівні SCADA/HMI, в обох відділеннях безпосередньо на ділянці виробництва встановлено операторські панелі ХВТ Magelis, які виконують функції відображення поточного стану виробництва (значень технологічних змінних, стану обладнання і т.д.) і командної станції, з якої оператор може втручатися у процес і здійснювати ручне керування. На третьому рівні – рівні управління виробництвом – знаходяться робоча станція головного технолога (вигляді ПК офісного виконання) і технологічний сервер для довготривалого зберігання «історії» виробничого процесу (значень змінних, стану обладнання, дій

операторів в конкретні моменти часу або проміжки). На ПК головного технолога (ПК ГТЕХ), як на «найвищому» рівні КІСУ, здійснюється диспетчерський контроль та управління основними технологічними параметрами виробництва з використанням SCADA-програми Zenon. Польові ТЗА з контролером, операторські панелі з контролерами і контролери головного та суміжного відділень між собою об'єднуються з допомогою промислової мережі Modbus RTU. Передача всієї інформації (в тому числі і команд) по виробництву здійснюється через контролер головного відділення з допомогою мережі Ethernet Modbus TCP/IP, а ПК головного технолога і технологічний сервер об'єднані в одну мережу Ethernet (зв'язок між ними реалізується з допомогою SQL-запитів). Головною задачею даного курсового проекту є підбір конкретного технічного забезпечення, узгодження його з програмним та опис інформаційного забезпечення КІСУ. Послідовне (поетапне) розв'язання поставленої задачі представлено далі.



з можливістю доступу до архівних даних з боку автоматизованої системи організаційно-економічного рівня;

- для стабілізації заданих режимів приготування продуктів шляхом контролю технологічних параметрів, візуального представлення та видачі управляючих

дій на виконавчі механізми, як в автоматичному режимі, так і в результаті дій операторів.

### Опис функцій що автоматизуються

Найменування функції/ сигналу	Польові ТЗА ВХ		ПЛК ТХП (Y2.1)		ОП ВХ (Y2.2)				ТС
	Е	V	C	S	I	C	S	A	R
Витрата повітря для топки 1	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Витрата повітря для топки 2	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Витрата газу для топки 1	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Витрата газу для топки 2	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Температура в першій зоні пекарної камери	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Температура в другій зоні пекарної камери	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Температура в третій зоні пекарної камери	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Вологість в першій зоні пекарної камери	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Датчик горіння в топці 1	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Датчик горіння в топці 2	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Загальний пуск	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Загальний стоп	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Пуск» для двигуна конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Стоп» для двигуна конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Пуск» для двигуна вентилятора 1	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Стоп» для двигуна вентилятора 1	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Пуск» для двигуна вентилятора 2	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Стоп» для двигуна	-	-	-	+	+	-	+	+	+

вентилятора 2									
Магнітний пускач двигуна конвеєра	-	+	-	+	+	-	+	+	+
ЧП двигуна конвеєра	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Магнітний пускач двигуна вентилятора 1	-	+	-	+	+	-	+	+	+
ЧП двигуна вентилятора 1	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Магнітний пускач двигуна вентилятора 2	-	+	-	+	+	-	+	+	+
ЧП двигуна вентилятора 2	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Сигнальна лампа температури в першій зоні пекарної камери	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа температури в другій зоні пекарної камери	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа температури в третій зоні пекарної камери	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа вологості в першій зоні пекарної камери	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа датчика горіння в топці 1	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа датчика горіння в топці 2	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа двигуна конвеєра	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа двигуна вентилятора 1	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа двигуна вентилятора 2	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Стан клапану подачі повітря в топку 1	-	-	-	+	+	-	+	+	-
ВМ клапану подачі повітря в топку 1	+	+	+	-	+	+	-	-	+
Стан клапану подачі повітря в топку 2	-	-	-	+	+	-	+	+	-
ВМ клапану подачі повітря в топку 2	+	+	+	-	+	+	-	-	+
Стан клапану подачі газу в топку 1	-	-	-	+	+	-	+	+	-
ВМ клапану подачі газу в топку 1	+	+	+	-	+	+	-	-	+
Стан клапану подачі газу в топку 2	-	-	-	+	+	-	+	+	-
ВМ клапану подачі газу в топку 2	+	+	+	-	+	+	-	-	+
Стан клапану подачі пари в першу зону пекарної камери	-	-	-	+	+	-	+	+	-
ВМ клапану подачі пари в першу зону пекарної камери	+	+	+	-	+	+	-	-	+

## Схема автоматизації

Схема автоматизації — основний технічний документ, схема, що визначає структуру (ієрархію) пунктів контролю та керування, функції систем контролю і керування об'єкта, що автоматизується, оснащення систем автоматизації технічними засобами: приладами та засобами автоматизації, щитами, пультами, обчислювальною технікою тощо.

Схеми автоматизації розробляють на всіх стадіях проектування. Вони використовуються для обґрунтування основних проектних рішень при експертизі і затвердженні проекту (робочого проекту), для підготовки та виконання робіт з монтажу та налагодження систем автоматизації, навчання операторів-технологів роботі на автоматизованій установці.

Схеми автоматизації розробляються після вивчення технології виробництва (або технології інженерної системи), особливостей його функціонування, дій виробничого персоналу по запуску, зупинці технологічного процесу, підтримці необхідного режиму та роботи в аварійних ситуаціях, правил безпечної експлуатації та охорони праці конкретного виробництва (устаткування); завдання на автоматизацію об'єкта, досвіду експлуатації систем автоматизації на аналогічних діючих об'єктах.

Функціональна схема автоматизації є основним проектним документом, який визначає структуру і рівень автоматизації технологічного процесу об'єкта. На функціональній схемі за допомогою умовних графічних позначень вказують технологічне обладнання, комунікації, органи керування, прилади і засоби автоматизації та ін. із зазначенням зв'язків між ними, таблиці умовних позначень і необхідних пояснень.

Функціональна схема автоматизації графічно поділяється на дві зони. У верхній частині креслення зображується технологічна схема, а в нижній креслять умовні графічні позначення, які умовно зображують: встановлення місцевих приладів, щитів, пультів, пунктів контролю та керування, керуючих машини тощо. Графічні умовні зображення приладів і

засобів автоматизації, їх розміри і буквені позначення повинні відповідати стандарту ГОСТ 21.404-85.

Розроблена в даному дипломному проекті система автоматизації повинна забезпечити в автоматичному режимі контроль і сигналізацію основних параметрів технологічного процесу випічки хліба.

Для реалізації поставленої мети система автоматизації базується на використанні мікропроцесорного контролера Modicon M340 який являє собою проектно-компонований виріб, для якого кількість та склад модулів вибирається залежно від поставленої задачі керування і необхідних характеристик вхідних і вихідних сигналів. Цей МПК має достатньо велику швидкодію та надійність. Його застосування дає змогу реалізовувати досить складні алгоритми логічно-програмного регулювання, вести оперативний контроль та записувати історію процесу. Наявність контролера всистемі автоматизації дозволяє перейти до створення розподіленої структури управління, яка має ряд переваг перед АСУТП першого покоління. У порівнянні з останніми, розподілені системи дозволяють реалізувати великий діапазон функцій, мають високі показники надійності та живучості, зручні у використанні, експлуатації, нарощуванні та модернізації.

Схема автоматизації наведена на аркуші 3 графічного матеріалу має в своєму складі такі контури управління та контролю:

Температура в I зоні пічного відділення. Регулюється залежно від подачі газу в I зону. Регулювання здійснюється термоперетворювачем опору (1а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на модуль аналогових входів контролера Модуль типу ВМХ АМІ 800. МПК програмно реалізує ПІ-регулятор і видає сигнал на модуль дискретних виходів ВМХ DDO 1602. Управляючий сигнал поступає на магнітний пускач(КМ1), який запускає двигун МЭО 630/25 (1б), що впливає на клапан подачі газу на I пальник. Температура в II зоні пічного відділення. Регулюється залежно від подачі газу в II зону. Регулювання здійснюється термоперетворювачем опору (2а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на модуль аналогових входів контролера ВМХ АМІ 800.

МПК програмно реалізує ПІ-регулятор і видає сигнал на модуль дискретних виходів ВМХ DDO 1602. Управляючий сигнал поступає на магнітний пускач(КМ2), який запускає двигун МЭО 630/25 (2б), що впливає на клапан подачі газу на І пальник.

Температура в І зоні пічного відділення. Контролюється термоперетворювачем опору (3а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на модуль аналогових входів контролера ВМХ АМІ 800.

Витрата газу на обох газопроводах контролюється за допомогою універсальних вихрових витратомірів SitransFX300 (4а,5а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на модуль аналогових входів контролера ВМХ АМІ 800.

Витрата повітря регулюється за допомогою універсальних вихрових витратомірів SitransFX300 (6а,7а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на модуль аналогових входів контролера ВМХ АМІ 800. МПК програмно реалізує ПІ-регулятор і видає сигнал на модуль дискретних виходів ВМХ DDO 1602. Управляючий сигнал поступає на магнітні пускачі (КМ3, КМ4), які запускають двигуни МЭО 630/25 (6б, 7б), що впливає на клапани подачі повітря.

Вологість у зоні зволоження. Регулюється залежно від подачі пари. Регулювання здійснюється перетворювачем вологості (8а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА, який поступає на модуль аналогових входів контролера ВМХ АМІ 800. МПК програмно реалізує ПІ-регулятор і видає сигнал на модуль дискретних виходів ВМХ DDO 1602. Управляючий сигнал поступає на магнітний пускач(КМ5), який запускає двигун МЭО 630/25 (8б), що впливає на клапан подачі пари.

Наявність факелу в топочних камерах контролюється за допомогою сигналізаторів горіння ЛУЧ-1АМ (9а, 10а).

Регулювання швидкості поду печі виконує частотний перетворювач F-700 (12а).

## Специфікація приладів та засобів автоматизації

№	Позмія	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документа, листа опитування	Одиниця виміру	Кількість	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1	1a	Термоелектричний перетворювач (тип – хромель-алюмелевий). Межі вимірювання: 0...600 °С. Вихідний сигнал: уніфікований струмовий 4-20мА. Глибина занурення 10см. Діапазон вимірювання: 100-140 °С;	ТХАУ-0289	Шт.	1	ТОВ «Пезоелектрик»
2	1б	Виконавчий механізм типу МЕО	МЭО 630/25	Шт.	1	-
3	2a	Термоелектричний перетворювач (тип – хромель-алюмелевий). Межі вимірювання: 0...600 °С. Вихідний сигнал: уніфікований струмовий 4-20 мА. Глибина занурення 10см. Діапазон вимірювання: 250-290 °С;	ТХАУ-0289	Шт.	1	ТОВ «Пезоелектрик»
4	2б	Виконавчий механізм типу МЕО	МЭО 630/25	Шт.	1	-
5	3a	Термоелектричний перетворювач (тип – хромель-алюмелевий). Межі вимірювання: 0...600 °С. Вихідний сигнал: уніфікований струмовий 4-20 мА. Глибина занурення 10см.. Діапазон вимірювання: 180-220 °С;	ТХАУ-0289	Шт.	1	ТОВ «Пезоелектрик»
6	4a	Універсальний вихровий витратомір. Вихідний сигнал уніфікований струмовий 4-20 мА.	Sitrans FX300	Шт.	1	«Siemens»

7	5a	Універсальний вихровий витратомір. Вихідний сигнал уніфікований струмовий 4-20 мА.	Sitrans FX300	Шт.	1	«Siemens»
8	6a	Універсальний вихровий витратомір. Вихідний сигнал уніфікований струмовий 4-20 мА.	Sitrans FX300	Шт.	1	«Siemens»
9	6б	Виконавчий механізм типу МЭО	МЭО 630/25	Шт.	1	-
10	7a	Універсальний вихровий витратомір. Вихідний сигнал уніфікований струмовий 4-20 мА.	Sitrans FX300	Шт.	1	«Siemens»
11	7б	Виконавчий механізм типу МЭО	МЭО 630/25	Шт.	1	-
12	8a	Датчик вологості. Діапазон вимірювання: 0...100 % відносно вологості. Робочий діапазон температури: 0...+200 °С . Вихідний сигнал: уніфікований струмовий 4...20 мА. Робоча напруга (живлення): 12...30 В постійного струму. 80-90 %; встановлення в пекарній камері	FZC 3.H/6	шт.	1	«Melsa», м. Молдсдорф, Німеччина
13	8б	Виконавчий механізм типу МЭО	МЭО 630/25	Шт.	1	-
14	9a	Сигналізатор горіння з іонізаційним датчиком. Виконання – щитове. Напруга живлення – 24 В постійного струму або 220 В змінного, 50 Гц. Швидкодія сигналізатора – не більше 2 с. Габаритні розміри: 135x60x105 мм. 80-90 %; встановлення в пекарній камері	ЛУЧ-1АМ (Щ)	Шт.	1	ВАТ «Енерготех», м.Кзань, Росія

15	10a	Сигналізатор горіння з іонізаційним датчиком. Виконання – щитове. Напруга живлення – 24 В постійного струму або 220 В змінного, 50 Гц. Швидкодія сигналізатора – не більше 2 с. Габаритні розміри: 135x60x105 мм.	ЛУЧ-1АМ (Щ)	Шт.	1	ВАТ «Енерготех», м.Кзань, Росія
16	12a	Трьохфазний перетворювач частоти серії FR-F700. Номінальна потужність: 18,5 кВт. Номінальний струм: 38 А. Напруга живлення: трьохфазна 380...480 В. Діапазон вихідної частоти: 0,5...400 Гц. Управляючі сигнали: 0...5 В, 0...10 В, 0(4)-20 мА, 0...±5 В, 0...±10 В. Габаритні розміри: 220Ч300Ч190 мм.	FR-F740-00380-EC	шт.	1	«Mitsubishi Electric», м.Токіо, Японія
17	КМ1	Магнітний пускач. Номінальні характеристики: робоча напруга силових контактів – 380 В змінного струму, напруга ізоляції – 690 В змінного струму, тепловий струм – 28 А, робочий струм – 16 А, потужність головних контактів: при 220 В – 4 кВт, при 380 В – 6,5 кВт.	ПММ 1/16/220	Шт.	1	ТОВ «Промфактор» м.Кривий-Ріг

## 2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються

Враховуючи, що розробляється ІСК є надбудовою до типової АСУ ТП або АСУ виробництва за принципом «не руйнування нижнього рівня» відповідно до IPDI, перелік функцій та задач ІСК виконується для автоматизованої та інтелектуальної складової.

Функції ІСК розробляються на основі цілі створення системи шляхом декомпозиції. Далі кожна функція може бути поділена на низку задач та підзадач. Рекомендується розробити спочатку функції для АСУ ТП, а потім переходити до функцій ІСК.

Групи ТЗА, для яких робитимемо діагностику	Найменування функції/задачі	Закон/алгоритм	Період	Примітка
<b>Датчики та ВМ (по групам)</b>				
Датчик FE1 - FE4	діагностика	Карти Шухарта	100с	
Датчик TE1 – TE3	діагностика	Карти Шухарта	100с	
Датчик ME1	діагностика	Карти Шухарта	100с	
Датчик VE1 - VE2	діагностика	Карти Шухарта	100с	
ВМ KL1 - KL5	діагностика	Карти Шухарта	10 хв	
<b>ПЛК, НМІ ЧП та NS</b>				
ПЛК	діагностика	Апаратна діагностика	500 мс	
ОП	діагностика	Апаратна діагностика	500 мс	
Частотний перетворювач SE1	діагностика	Апаратна діагностика	500 мс	
NS KM1 – KM3	діагностика	Апаратна діагностика	500 мс	

**Таблиця 2.1.** Перелік функцій та задач ІСК

### **2.3. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram)**

Системна інженерія та індустрія програмного забезпечення використовують вимоги для формалізації потреб зацікавлених сторін, які будуть реалізовуватися як функціональні можливості та обмеження, що задовольняються поставленою системою.

Для зацікавлених сторін вимоги є засобом для забезпечення відповідності рішення (тобто наданої системи) переліку вимог.

Вимоги можуть бути формалізовані та організовані, наприклад, шляхом відокремлення функціоналу від технічних вимог. Цього можна досягти за допомогою електронної таблиці Excel або за допомогою спеціального інструменту, такого як DOORS або EA. Ці засоби мають перевагу в тому, що дозволяють користувачам повністю керувати та контролювати вимоги. Модельний підхід використовує вимоги через асоціації залежностей з елементами

моделі, такими як use cases, blocks, або test cases, встановлюючи простежуваність моделі. Зокрема створюються асоціації з елементами моделі (наприклад, у use cases може бути асоціація реалізована з однією або кількома вимогами).

Отже, SysML визначає візуальне та графічне зображення текстових вимог, спеціалізованих асоціацій між собою або з іншими елементами моделі та способом управління ними в структурованому та ієрархічному середовищі.

SysML визначає нові типи асоціацій (стереотипні залежності):

- Derive (успадковування): одна або декілька вимог, що впливають із вимоги;
- Satisfy (забезпечують, задовольняють): один або кілька модельних елементів виконують вимогу;
- Verify (перевірка): один або кілька модельних елементів, наприклад тестова система, перевіряє виконання вимог;
- Refine (уточнення): один або кілька модельних елементів, наприклад use case, додатково уточнює вимогу;
- Copy (перенесення): один або кілька модельних елементів системи переноситься на інший елемент;
- Trace (прослідковування): один або кілька модельних елементів системи відслідковуються на інші елементи.

SysML визначає нові типи коментарів, вводячи стереотипи, дозволяючи зв'язувати пояснення з асоціаціями або елементами моделі:

- Problem (проблема): коментар, опис якого визначає виявлену проблему або потребу, після недоліку, обмеження або відмови одного або декількох елементів моделі;
- Rationale (обґрунтування): коментар який описує причину чи обґрунтування рішення, пов'язаного з асоціацією чи елементом.

На діаграмі вимог показуються лише функціональні вимоги ІСК та АСУ, що пов'язані з нею. Вимоги за іншими видами забезпечення не вказуються, так як були вказані в технічному завданні.

Діаграма вимог для інтелектуального регулятора температури наведений на  
рис. 2.2

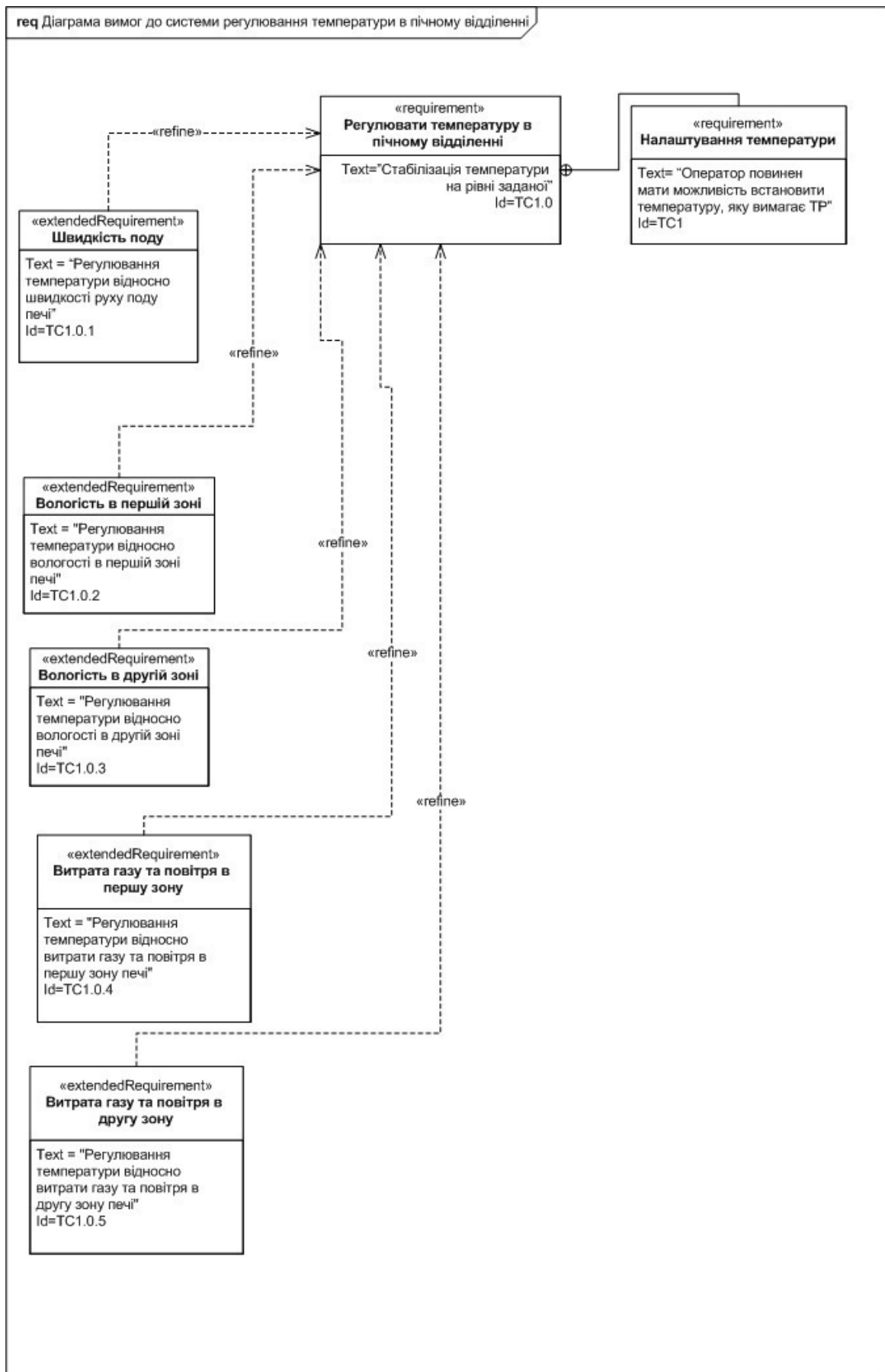
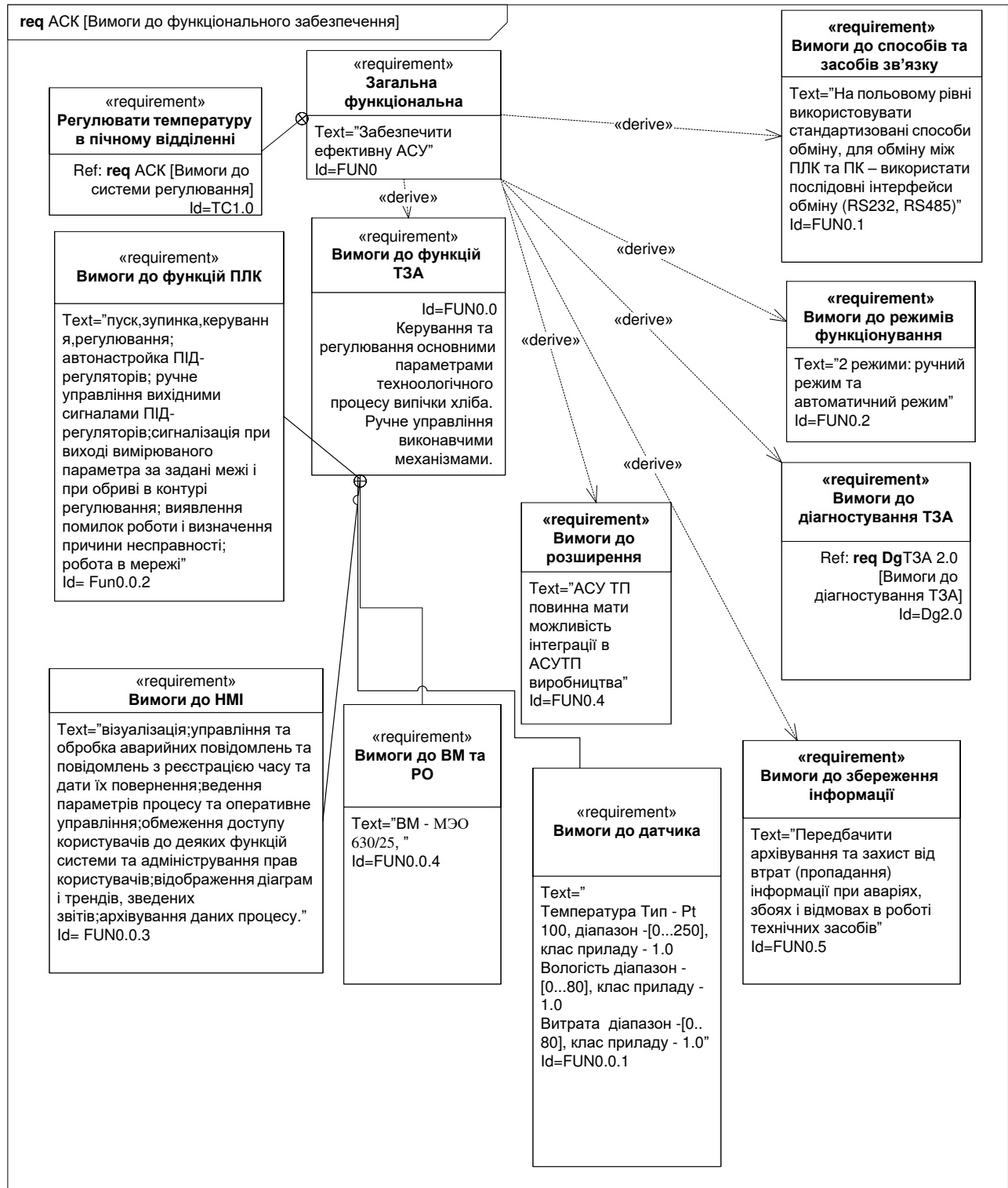
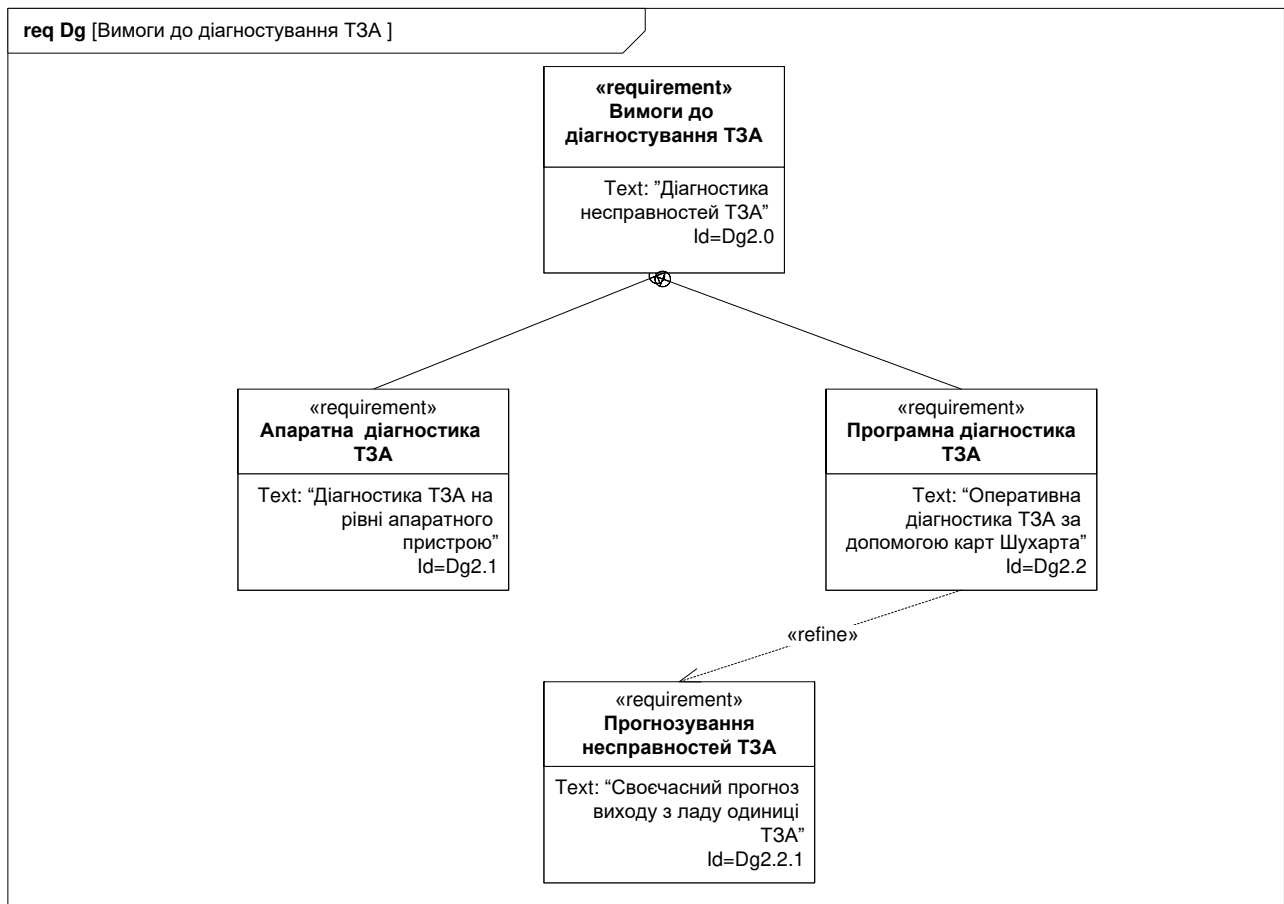


Рис. 2.2. Requirement Diagram для регулятора температури тунельної печі





**Рис. 2.3.** Requirement Diagram для АСК пічним відділенням

## 2.4. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram)

Жодна грамотно побудована система не існує в ізоляції: вона взаємодіє з дійовими особами (людьми або системами), які використовують її для досягнення певної мети, чекаючи від неї певної поведінки. Діаграма варіантів використання специфікує очікувану поведінку суб'єкта (системи або її частини), – вона описує послідовності дій, включаючи їх варіанти, які суб'єкт здійснює для досягнення дійовою особою певного результату.

Варіанти використання застосовуються для вираження необхідного поведіння системи без опису реалізації її поведінки. Вони дозволяють розробникам, кінцевим користувачам і експертам в предметній області досягти взаєморозуміння, а крім того, допомагають упевнитися в правильності архітектурних рішень і перевіряти систему по ходу її розробки. Крім того, так як ця діаграма аналогічна UML, тому вона застосовується для того, щоб

визуалізувати створену систему, підсистему, щоб користувач міг зрозуміти, як застосовувати цей елемент, а розробник – як реалізувати його.

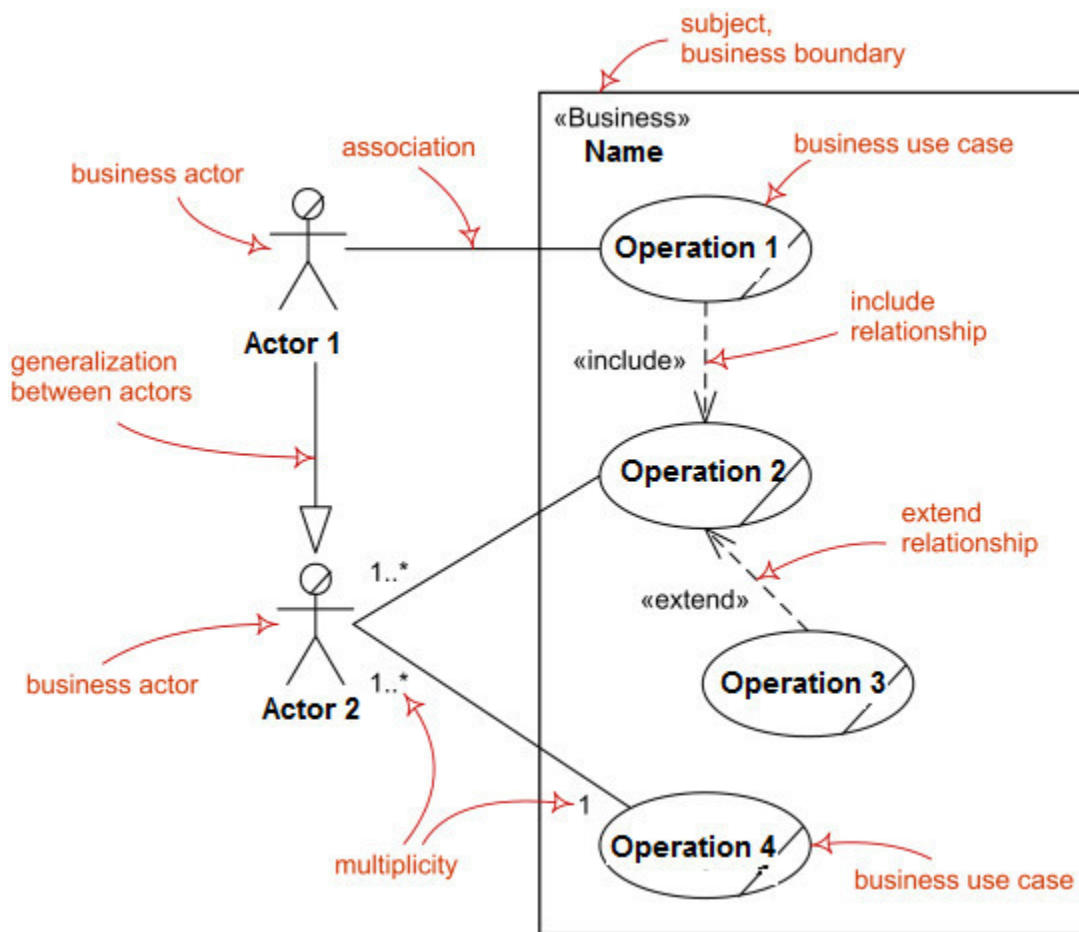
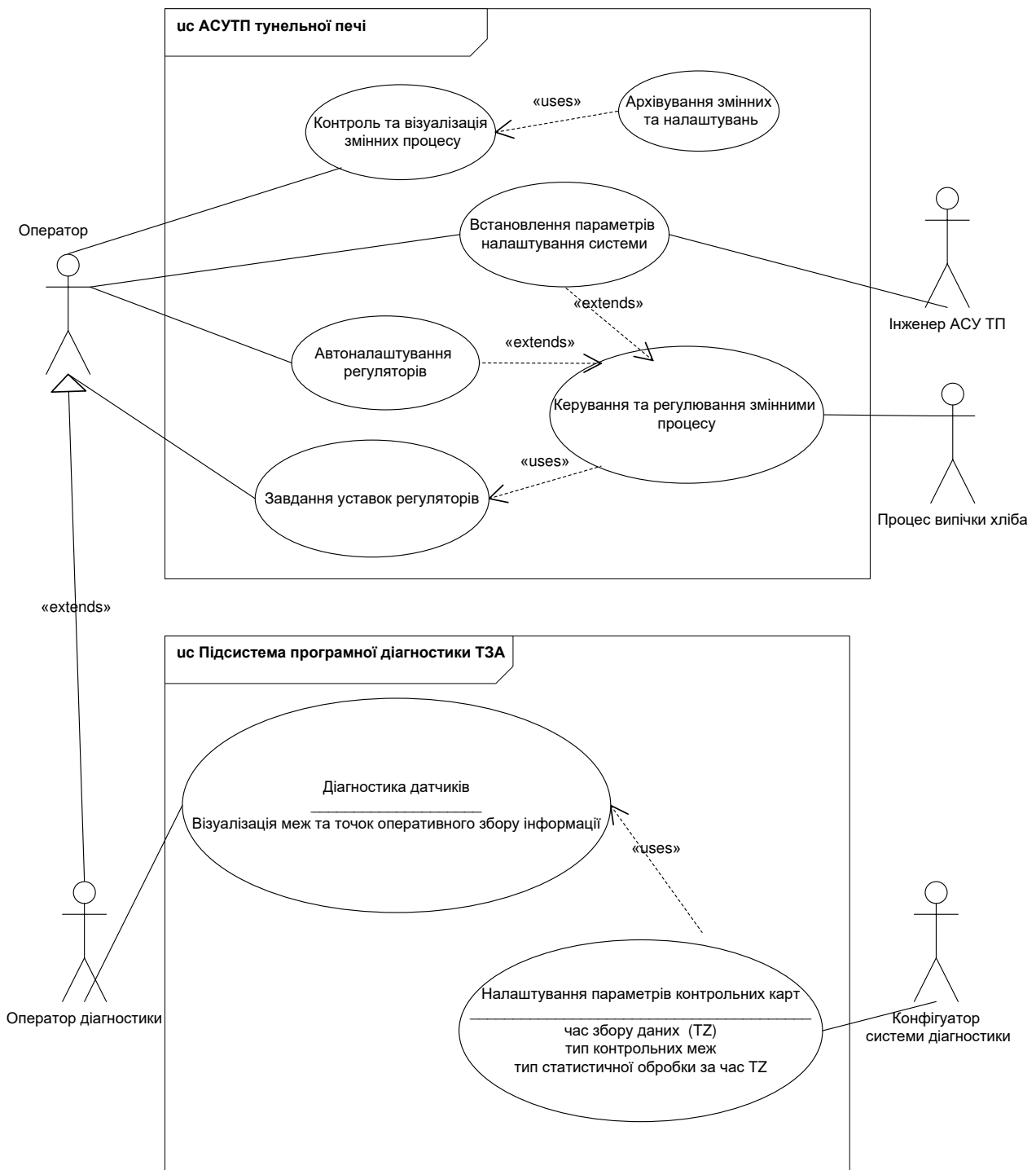


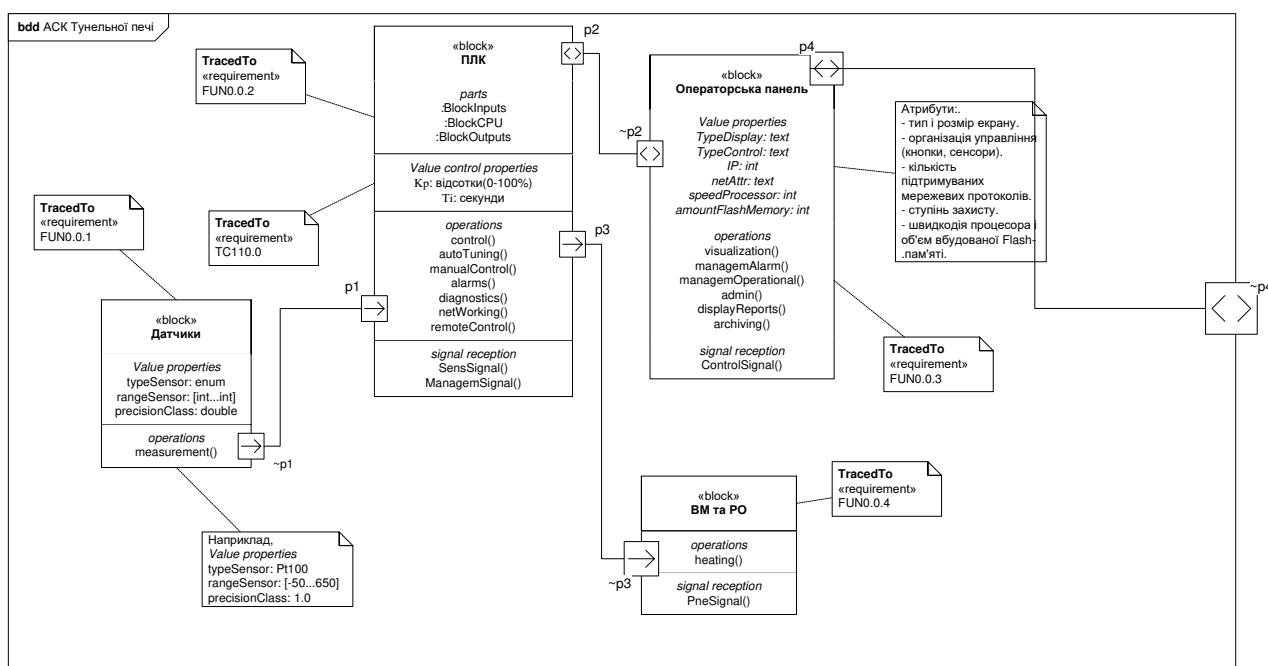
Рис. 2.4.1. Основні елементи Use Case diagram

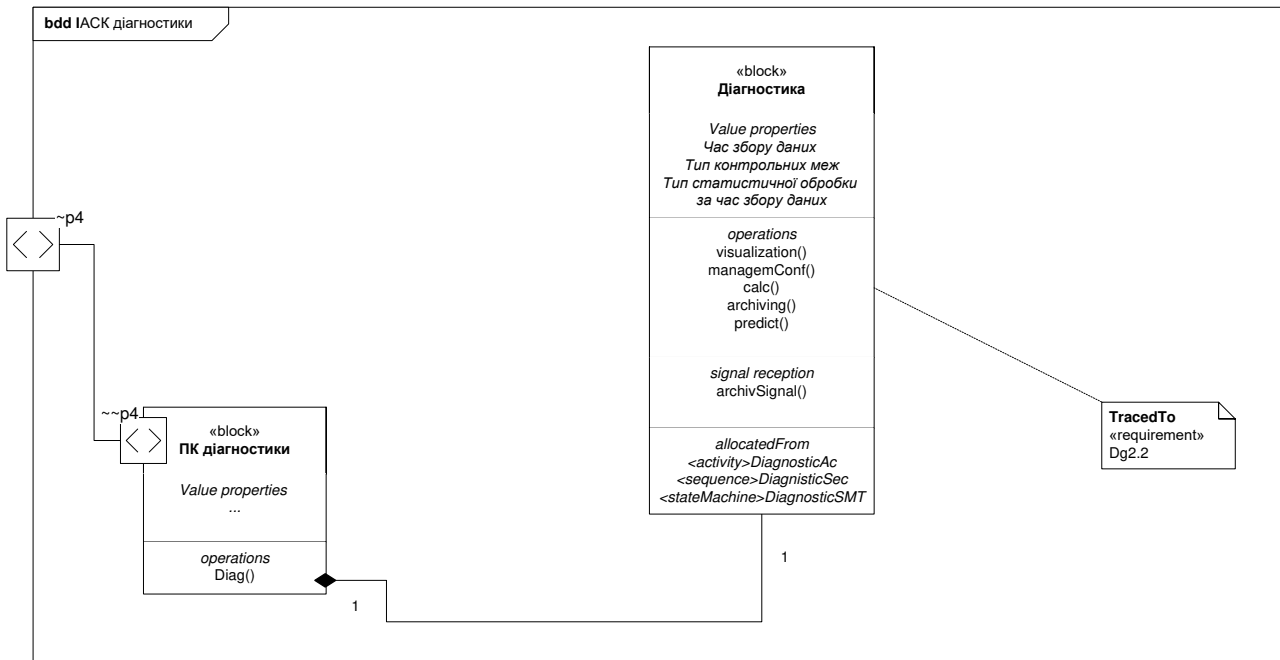


**Рис. 2.4.** Фрагмент Use Case diagram для підсистем АСУТП та діагностики ТЗА

## 2.5. Розробка BDD технологічної, технічної та інформаційної складових системи

BDD (Block Definition Diagram) – діаграма визначення блоків надає блокове подання системи, тобто основного блоку, поряд з ієрархією його складових блоків. BDD може включати блоки будь-якого типу, включаючи програмне забезпечення, обладнання тощо. Порівняно з UML2, BDD SysML переосмислює схему класів, замінюючи класи блоками та вводячи порти потоків. При проектуванні ІСК рекомендується розробляти три BDD для: технологічної, технічної та інтелектуальної (інформаційної) складових.





**Рис. 2.5.** BDD діаграма для АСК та ІАСК процесу випічки хліба в печач тунельного типу

Частина нижніх блоків фізично належать до основного блоку ("має" співвідношення), оскільки асоціації, використані на схемі, є композицією або "сильною" агрегацією, що представлена стрілкою з суцільним ромбом. Інші блоки є частиною основного блоку, але фізично не належать до нього, тому називається посиленням, а асоціація представлена відкритим ромбом (проста агрегація). Порт потоку (flow port) – це нове визначення від SysML. Порти потоку представляють те, що може пройти через блок (в /із), наприклад інформаційні дані, матеріальні потоки або енергія.

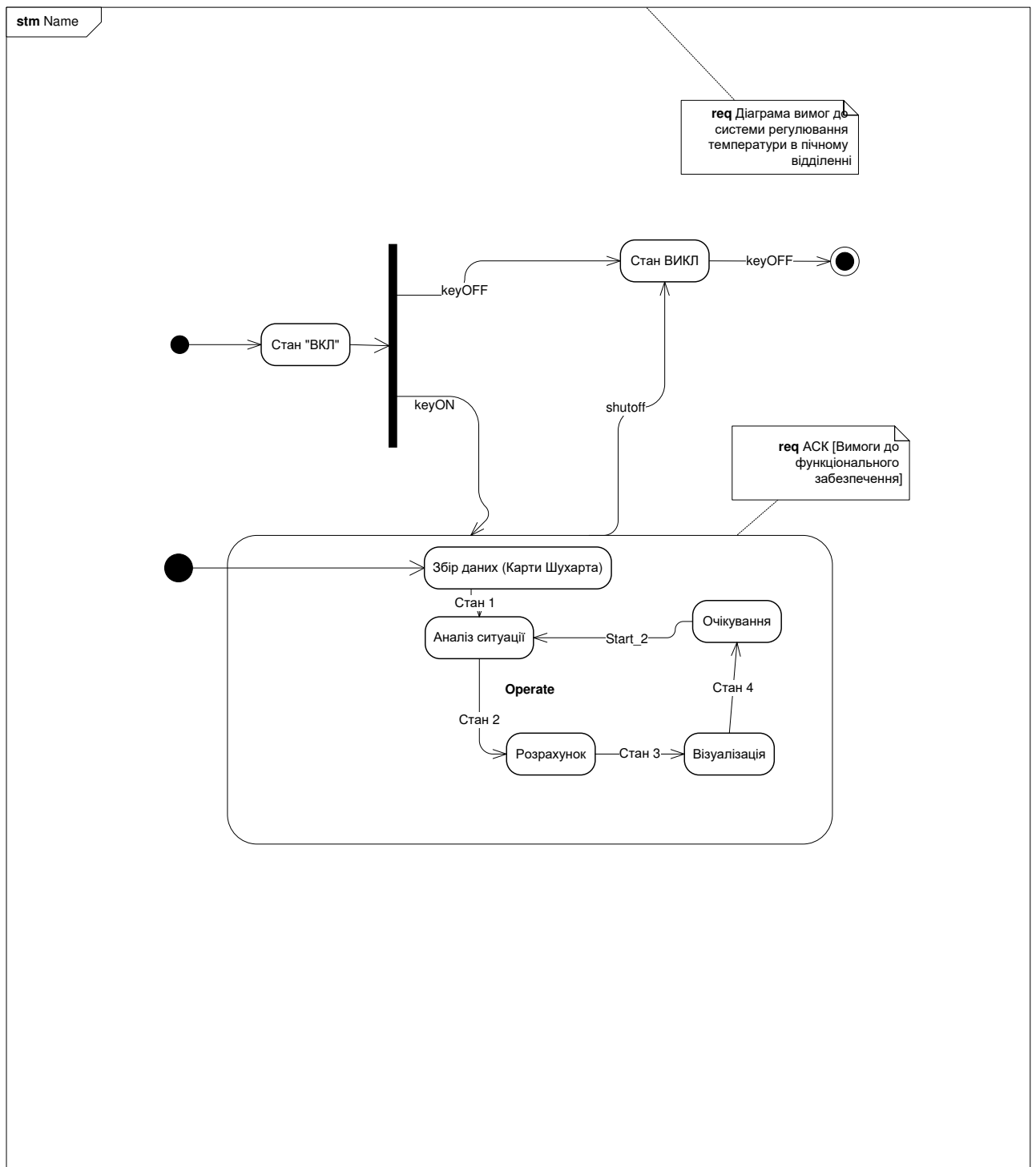
## **2.6. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК**

### **2.6.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (State Machine diagram, Activity diagram)**

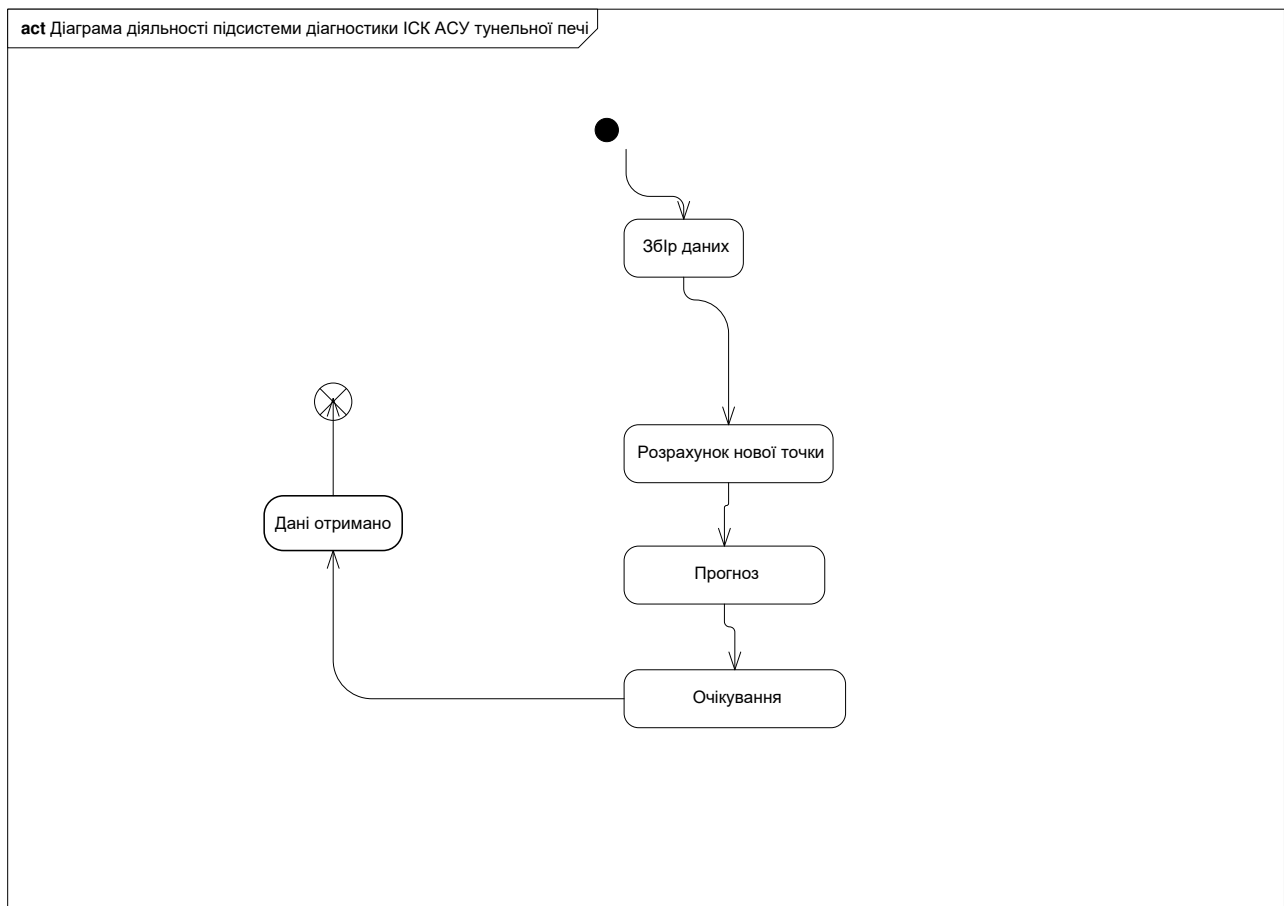
Моделювання поведінки системи окреслює входи, виходи, послідовності та умови для координації підсистем. Дані діаграми забезпечують гнучкі посилання на блоки, що володіють такою поведінкою.

Діаграма машинного (планувального) стану State Machine (State chart) diagram використовуються як у UML2, тобто вони дають спосіб визначити життєвий цикл блоків BDD, якому повинні відповідати всі екземпляри. Життєвий цикл визначає всі можливі стани для блоку, події та умови, що визначають переходи стану.

Тільки складні блоки або важливі з точки зору системи, які крім того залежать від багатьох станів, повинні мати State Machine diagram. Усі визначення цієї діаграми, що використовуються в UML, також застосовуються до SysML: події, засоби захисту / умови, ефекти, переходи, складені стани, області тощо.



**Рис. 2.6.1.1.** State Machine diagram. Діаграма діяльності ІСК АСУ тунельної печі.



**Рис. 2.6.1.2.** Діаграма активності для підсистеми моніторингу АСУ тунельної печі Activity diagram

### 2.6.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram)

Діаграма послідовності показує інформацію про взаємодію блоків на часовій послідовності. Діаграма має два виміри: вертикальну вісь, що представляє час і горизонтальну вісь, що представляє об'єкти-учасники. Вісь часу може бути фактичною опорною точкою, розміщуючи позначки часу як текстові поля. Горизонтальне впорядкування об'єктів не є важливим для операції, і ви можете їх переставити за необхідності.

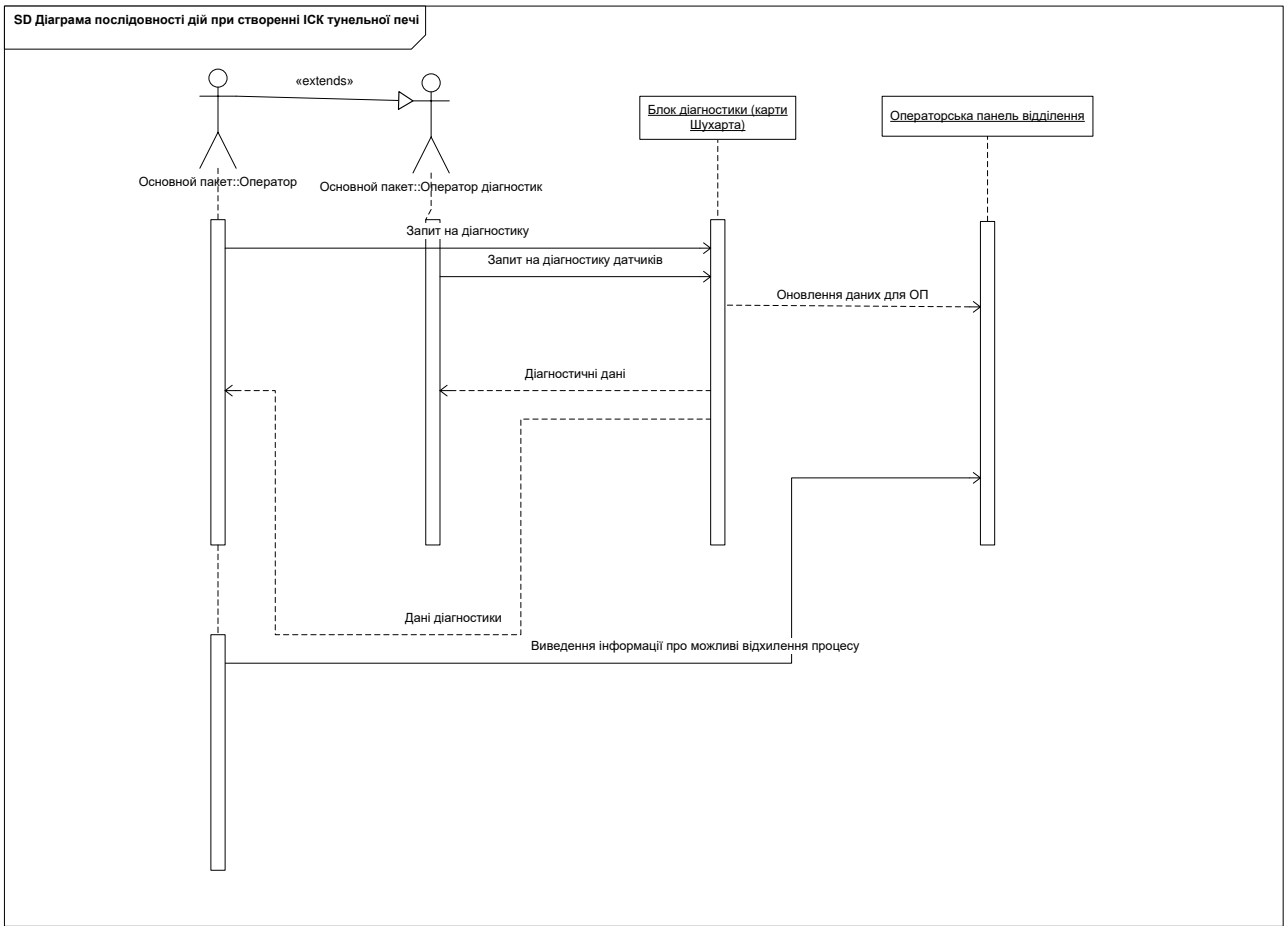


Рис. 2.6.2.1. Sequence diagram АСУ ІСК тунельної печі

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ВИПІКАННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА КАРТ ШУХАРТА

#### 3.1 РЕАЛІЗАЦІЯ ВІЗУАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.

Основоположним критерієм життєздатності будь-якого підприємства на ринку є якість його продукції. Без реалізації наскрізного контролю і управління якістю неможливо забезпечення високих техніко-економічних показників діяльності підприємства [1]. Авторами в [2] наведена детальна класифікація основних інструментів системного аналізу при управлінні якістю виробів електронної техніки (ВЕТ), проаналізовані сім основних інструментів управління якістю (СІУК). У роботах [3-7] основна увага приділена автоматизації методів вхідного статистичного контролю якості в середовищі MatLab. Особливості автоматизації СІУК ВЕТ в середовищі MatLab і табличному процесорі Excel будуть проаналізовані в даній статті.

Життєвий цикл виробу носить циклічний характер відповідно до циклом Демінга. При переході від одного етапу життєвого циклу до подальшого витрати на коригування можуть змінюватися на порядок. У класичній літературі така зміна витрат отримало назву «правило 10-кратних витрат» [8-13].

Можна сформулювати основні завдання досліджень як: дослідження рішень по формалізації і автоматизації СІУК і формулювання рекомендацій щодо їх застосування в умовах синхронних технологій виробництва ВЕТ.

За підсумками досліджень надано рекомендації щодо використання СІУК для автоматизованого вирішення завдань управління якістю виробів електронної техніки (ВЕТ) в середовищі MatLab і табличному процесорі Excel [2, 13].

### **3.2 Класифікація інструментів контролю якості**

Головний принцип управління якістю - в основі прийняття рішень повинні бути тільки факти [14]. Тому збір і обробка фактів - найважливіший процес управління якістю. Реалізація цього процесу багато в чому визначається використовуваними інструментами, тому саме їх автоматизації приділяється найбільша увага. Поняття СІУК включає сім основних елементів (рисунок 1) [2, 9 - 11]:

- 1) контрольний листок;
- 2) гістограма;
- 3) діаграма розкиду;
- 4) діаграма Парето;
- 5) розшарування (стратифікація);
- 6) причинно-наслідковий діаграма;
- 7) контрольна карта.

Дані інструменти реалізують презентаційний, а не керуючий шар. Основне їхнє завдання - моніторинг процесу, що протікає (фіксація даних, зберігання даних, обробка даних).

При розгортанні системи контролю на перший план виходить питання їх подальшої обробки, без використання розвинених інструментів візуалізації і аналітичної обробки навіть найдокладніші набори даних стають непотрібними. Оброблювані дані можна класифікувати наступним чином:

- контроль параметрів вхідних компонентів процесу;
- контроль і регулювання процесу;
- аналіз відхилень від вимог;
- контроль вихідних показників процесу.

Збір даних повинні бути організований виходячи з вимог їх подальшої автоматизованої обробки:

- з урахуванням характеристик регламенту (день тижня, час і т.п.);
- з урахуванням характеру джерела (генератора) (обладнання, робочий, партія використуваних матеріалів і т. П.);
- з урахуванням виду формального уявлення (формат представлення даних і вид документа, спосіб його реєстрації).

### **3.3. Побудова контрольних карт Шухарта**

Контрольні карти (КК) - це інструмент, що дозволяє відстежувати хід протікання процесу і впливати на нього (за допомогою відповідної негативного зворотного зв'язку), попереджаючи його відхилення від пропонованих до процесу вимог. Вперше КК були запропоновані В. Шухартом в 1924 р [1, 2, 7].

Виділяють інтегральні КК, контролюючи кількісні характеристики (розміри, маса і т. д.). Диференціальні КК, відображають контроль якісних альтернативних дискретних параметрів (тобто дефект - немає дефекту).

КК відображають стабільність технологічного процесу [22, 23]. З використанням даних карт можлива реалізація аналітики з позиції динамічного передбачення оцінки досягнення меж допуску та необхідності превентивних дій [21-23]. На малюнках 13 і 14 показані завдання масиву карт Шухарта і S-контрольна карта Шухарта в середовищі MatLab.

```
>>DATA=normrnd(0,1,20,5)
DATA =
-0.4326  0.2944 -1.6041  0.0000  0.6232
-1.6656 -1.3362  0.2573 -0.3179  0.7990
 0.1253  0.7143 -1.0565  1.0950  0.9409
 0.2877  1.6236  1.4151 -1.8740 -0.9921
-1.1465 -0.6918 -0.8051  0.4282  0.2120
 1.1909  0.8580  0.5287  0.8956  0.2379
 1.1892  1.2540  0.2193  0.7310 -1.0078
-0.0376 -1.5937 -0.9219  0.5779 -0.7420
 0.3273 -1.4410 -2.1707  0.0403  1.0823
 0.1746  0.5711 -0.0592  0.6771 -0.1315
-0.1867 -0.3999 -1.0106  0.5689  0.3899
 0.7258  0.6900  0.6145 -0.2556  0.0880
-0.5883  0.8156  0.5077 -0.3775 -0.6355
 2.1832  0.7119  1.6924 -0.2959 -0.5596
-0.1364  1.2902  0.5913 -1.4751  0.4437
 0.1139  0.6686 -0.6436 -0.2340 -0.9499
 1.0668  1.1908  0.3803  0.1184  0.7812
 0.0593 -1.2025 -1.0091  0.3148  0.5690
-0.0956 -0.0198 -0.0195  1.4435 -0.8217
-0.8323 -0.1567 -0.0482 -0.3510 -0.2656
```

```
>> k = 2.5;
>> conf = 1-2*(1-normcdf(k))
conf =
    0.9876
>> schart(DATA,conf)
```

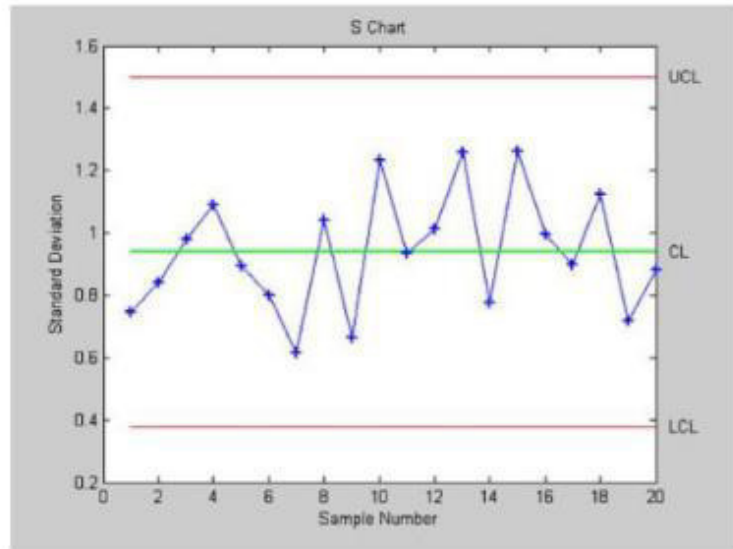


Рис. 3.3.1. Приклад масиву даних для побудови карт Шухарта (а) і приклад лістингу програми MatLab і карта Шухарта, побудована в середовищі MatLab

```
>> DATA=normrnd(0,1,20,10);
>> k=1.5;
>> conf = 1-2*(1-normcdf(k));
>> specs=[0.2 1.5];
>> [outlier,h] = schart (DATA,conf,specs)
outlier =
     9
h =
 3.0027
102.0040
103.0016
104.0016
105.0016
106.0010
114.0007
115.0006
```

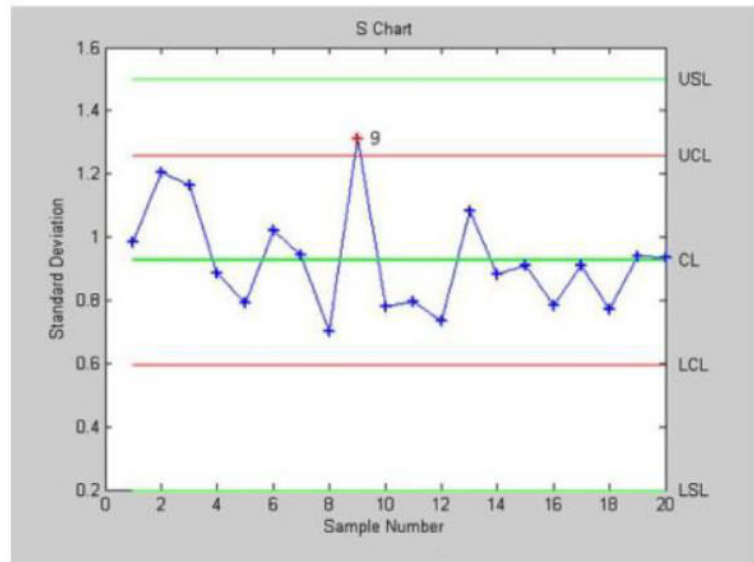
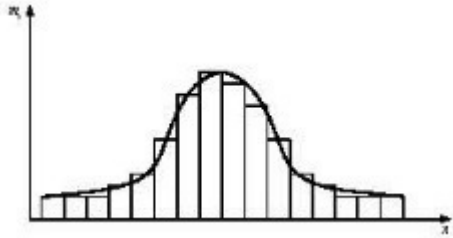
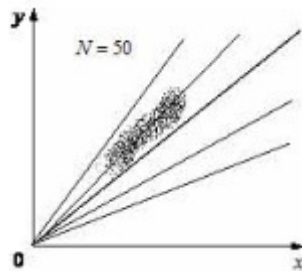


Рис. 3.3.2 . Приклад лістингу програми MatLab і S-контрольна карта Шухарта для контрольних меж рівних  $\pm 1,5\sigma$  і межами допусків  $LSL = 0,2$ ;  $USL = 1,5$

(Де: outlier - вектор номерів вибірок, що вийшли за контрольні кордону, h - вектор показчиків на об'єкти графіка)

На основі порівняльного аналізу застосування СІУК для вирішення завдань управління якістю складемо експертну карту (рис. 3.3.3), що містить основні рекомендації по використанню запропонованих в роботі ІР модулів СІУК, реалізованих в середовищі MatLab.

№	Визначення	Візуальна схема	Порівняльний аналіз																																																				
			Достоїнства	Недоліки																																																			
1	Контрольний лист Інструмент для збору даних і автоматичного їх впорядкування для полегшення використання зібраної інформації. Контрольний листок - це бланк, на якому віддруковані контрольовані	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Модель 1</th> <th>Частота</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Інтегральні схеми</td> <td>    </td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Конденсатори</td> <td>     </td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Суперконденсатори</td> <td> </td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Трансформатори</td> <td>    </td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Перекладачі</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Труби</td> <td> </td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ітого</td> <td>38</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Модель 2</th> <th>Частота</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Інтегральні схеми</td> <td>    </td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Конденсатори</td> <td>     </td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Суперконденсатори</td> <td> </td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Трансформатори</td> <td> </td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Перекладачі</td> <td>    </td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Труби</td> <td> </td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ітого</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Всього</td> <td>82</td> </tr> </tbody> </table>	Модель 1		Частота	Інтегральні схеми		4	Конденсатори		27	Суперконденсатори		2	Трансформатори		4	Перекладачі		0	Труби		1	Ітого		38	Модель 2		Частота	Інтегральні схеми		3	Конденсатори		24	Суперконденсатори		1	Трансформатори		2	Перекладачі		13	Труби		1	Ітого		44	Всього		82	<p>Легкість застосування</p> <p>систематизація даних</p> <p>для роботи з іншими інструментами</p> <p>якості, застосування єдиної форми</p>	<p>Наперед задані параметри вимірювань, при виникненні дефекту в непередбачуваної області, він буде не врахований</p>
Модель 1		Частота																																																					
Інтегральні схеми		4																																																					
Конденсатори		27																																																					
Суперконденсатори		2																																																					
Трансформатори		4																																																					
Перекладачі		0																																																					
Труби		1																																																					
Ітого		38																																																					
Модель 2		Частота																																																					
Інтегральні схеми		3																																																					
Конденсатори		24																																																					
Суперконденсатори		1																																																					
Трансформатори		2																																																					
Перекладачі		13																																																					
Труби		1																																																					
Ітого		44																																																					
Всього		82																																																					

№	Визначення	Візуальна схема	Порівняльний аналіз	
			Достоїнства	Недоліки
2	Гістограма Інструмент, що дозволяє візуально оцінити закон розподілу статистичних даних		Наочність, простота, можливість швидко уявити вид розподілу великого числа даних	Відсутність можливості кількісно оцінити стабільність процесу, відсутність прив'язки до часу, необхідність великого числа даних для точної оцінки розподілу
3	Діаграма розкиду Інструмент, що дозволяє визначити вид і тісноту зв'язку між парами відповідних змінних		Простий і зручний інструмент для виявлення взаємозалежності двох величин	Для достовірності необхідний великий обсяг даних, кореляція може здійснюватися через третю величину

№	Визначення	Візуальна схема	Порівняльний аналіз	
			Достоїнства	Недоліки
4	Інструмент, що дозволяє розподілити зусилля для вирішення проблем і виявити основні причини, з яких потрібно починати діяти		<p>Дає можливість сфокусуватися на найбільш значущих проблемах, легка для розуміння і застосування персоналом</p>	<p>Є можливість ввести в оману про значущості проблем, якщо не враховується вартість наслідків що виникають дефектів</p>
5	Інструмент, що дозволяє зробити селекцію даних, яка відображатиме необхідну інформацію про процес		<p>Робота з групами даних, спрощується обробка статистичних даних</p>	<p>Необхідність попереднього вибору вірних факторів стратифікації</p>

№	Визначення	Візуальна схема	Порівняльний аналіз	
			Достоїнства	Недоліки
6	<p>Інструмент, що дозволяє виявити найбільш істотні фактори, що впливають на кінцевий результат</p> <p>Причинно-наслідкова діаграма</p>		<p>Графічне відображення причин, впливають на проблему, аналіз ланцюжка взаємопов'язаних причин, що впливають на проблему</p>	<p>У разі розгляду комплексної проблеми певна складність побудови діаграми</p>

№	Визначення	Візуальна схема	Порівняльний аналіз	
			Достоїнства	Недоліки
7	Інструмент, що дозволяє відстежувати хід протікання процесу і впливати на нього (за допомогою відповідної негативного зворотного зв'язку), попереджаючи його відхилення від того, що пред'являється до процесу вимог		<p>Дозволяють запобігти появу дефектів, дозволяють візуально визначити момент зміни процесу, створюючи можливість для його поліпшення</p>	<p>Необхідність роботи в реальному часі, високий рівень підготовки персоналу</p>

**Мал. 3.3.3.** Порівняльний аналіз інструментів системного аналізу для контролю якості ЕА [1-7]

### 3.3. Аналіз даних за допомогою карт Шухарта в процесі випічки хліба

Дані з датчиків та виконуючих механізмів із Vijeo Citect надходять на технологічний сервер у вигляді m-файлу. З інтервалом в 30 хв. даний файл опитується, і дані з нього завантажуються в матлаб для аналізу отриманих даних, якщо параметр виходить за межі, визначені попередньо оператором, система

виводить графік, на якому чітко видно зміну параметру на протязі окремого циклу. За допомогою системи нечіткої логіки, регулятор температури дає скорегований сигнал для зміни витрати палива в топочну, щоб значення температури в камері випікання змінилося до бажаного, відносно попередньої зміни вологості. Карти Шухарта наглядно демонструють відхилення в певний момент часу, і дають можливість оператору вчасно зреагувати на суттєву зміну параметру.

Задаємо масив даних:

```
>> DATA=normrnd(10,50,20,5)
```

DATA =

```
13.3727 36.3735 7.9168 75.4681 -5.4312  
0.6440 52.7101 -20.7754 -42.2368 32.8330  
24.5864 77.0923 75.7077 -7.4133 -3.7550  
59.3847 -114.9767 -62.7533 80.6281 32.1572  
29.6467 1.6220 -77.1175 85.1191 3.2617  
19.7276 27.6508 20.2652 46.5188 9.0836  
23.9892 45.8627 69.6465 34.5376 33.0395  
12.5610 -55.2426 -30.1412 -19.3063 78.1158  
-28.7233 -40.2934 -53.2818 47.2450 32.5937  
49.3391 49.5342 2.5334 -31.4077 92.4192  
80.4453 4.1714 -71.8223 38.7260 -91.4181  
-16.7049 37.6545 10.8672 24.0921 -12.4628  
106.3879 -38.0322 51.4194 66.9653 21.7997
```

1.1876 -71.6901 20.8869 -11.2934 -31.7586  
-2.1875 48.0600 -85.4622 41.8070 -53.7978  
-34.8800 69.6654 -16.8411 49.6589 40.8518  
-29.6168 91.6029 -5.1016 -34.9189 40.6351  
-37.6487 -66.6095 100.6791 17.8122 24.4691  
27.6953 -56.8426 55.7426 89.8627 29.7658  
89.8513 -63.6923 7.1460 15.6220 -33.5281

Задаємо коефіцієнт на границю допуску для діапазону LSL=0; USL=100

$k=1,5$

outlier - вектор номерів вибірок, що вийшли за контрольні кордону, h - вектор показчиків на об'єкти графіка)

$conf=(1-10*(1-normcdf(k)));$

$[outlier,h]=schart(DATA,conf,[0 100])$

outlier =

1

2

4

5

6

7

11

12

14

15

18

20

h =

174.0369

175.0364

176.0364

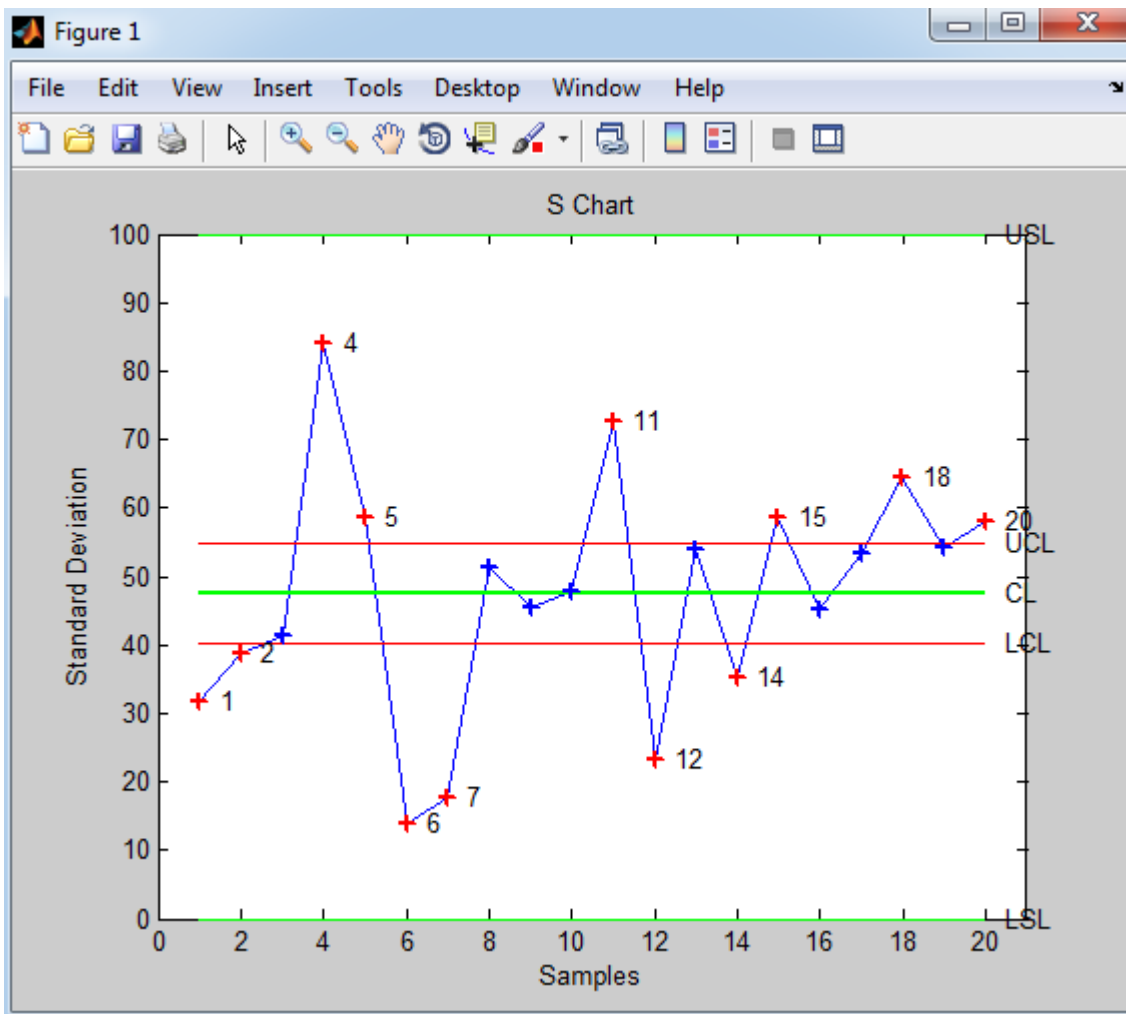
177.0364

178.0364

179.0364

197.0364

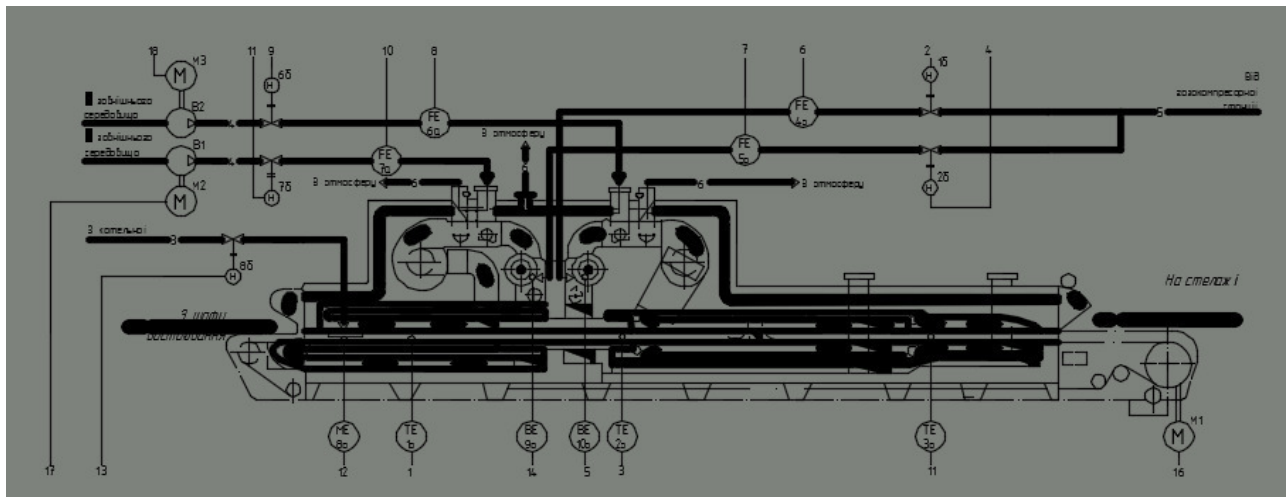
198.0364



На графіку чітко видно де значення вологості вийшло за задані допустимі межі.

### 3.4.1. Лінгвістична апроксимація вхідних та вихідних змінних

Розроблена в даному проекті система автоматизації повинна забезпечити в автоматичному режимі контроль і сигналізацію основних параметрів технологічного процесу в межах технологічного процесу, а також автоматично чи в ручному режимі їх регулювання та управління.



**Рис.3.4.1.** ФСА процесу випічки хліба в печі тунельного типу

Операції з нечіткою логікою у пакеті MATLAB дозволяє виконувати модуль Fuzzy Logic Toolbox. Він дозволяє створювати системи нечіткого логічного виведення і нечіткої класифікації в рамках середовища MatLab, з можливістю їхнього інтегрування в Simulink.

Fuzzy Logic Toolbox містить наступні категорії програмних інструментів: функції; інтерактивні модулі з графічним користувацьким інтерфейсом (з GUI).

Базовим поняттям Fuzzy Logic Toolbox є FIS-структура - система нечіткого виведення (Fuzzy Inference System). FIS-структура містить усі необхідні дані для реалізації функціонального відображення “входи-виходи” на основі нечіткого логічного виведення відповідно до схеми, приведеної на

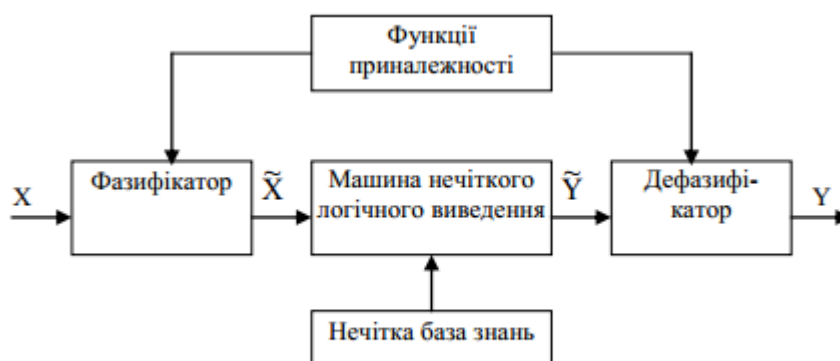


рис. 3.4.2 - Нечітке логічне виведення

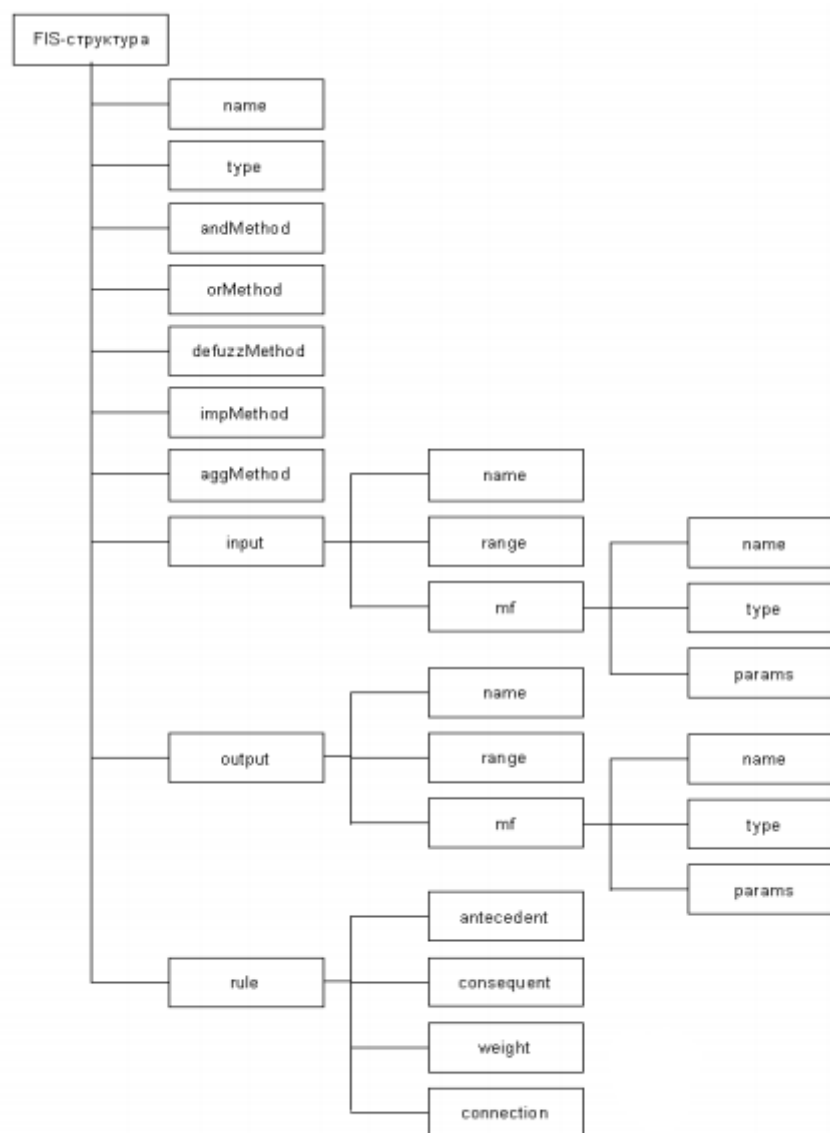
Позначення:  $X$  - вхідний чіткий вектор;

$X_{\sim}$  - вектор нечітких множин, що відповідає вхідному вектору  $X$ ;

$Y_{\sim}$  - результат логічного виведення у виді

вектора нечітких множин;  $Y$  - вихідний чіткий вектор.

Система нечіткого логічного виведення представляється в робочій області MatLab у вигляді структури даних, зображеної на рис. 3.4.2



**Рис. 3.4.2.2 . FIS-структура**

Хлібопекарська піч має динамічну систему з декількома взаємопов'язаними вхідними величинами. Зате явно виражена спрямованість контурів регулювання за основними каналами регулюючих дій, таких як витрата сиропу, пудри, температури сиропу, тиск в апараті, рівень, витрата гріючої пари, в'язкість, які дозволяють здійснювати стабілізацію регульованих величин за допомогою незалежних одноконтурних систем, пов'язаних лише через об'єкт керування. Необхідно спрогнозувати задану температуру випікання в кожній зоні печі в залежності від вхідних даних, таких як вологість в кожній зоні печі, швидкість руху конвеєра, витрата газу в топку.

За основу взято шість вхідних змінних:

F1: [(0-100)мЗ./год.] - витрата газу в топку;

ME1: [(0-100)%.] – вологість в першій зоні печі;

ME2: [(0-100)%.] – вологість в другій зоні печі;

ME3: [(0-100)%.] – вологість в третій зоні печі;

SE: [(0-30)] – тиск в апараті;

Вихідна змінна:

T1: [(0-200)С] - температура в першій зоні печі;

T2: [(0-500)С] - температура в другій зоні печі;

T3: [(0-300)С] - температура в третій зоні печі;

В роботі використовуються трикутні функції належності. Нечіткі змінні: низька, нижче норми, норма, вище норми, висока.

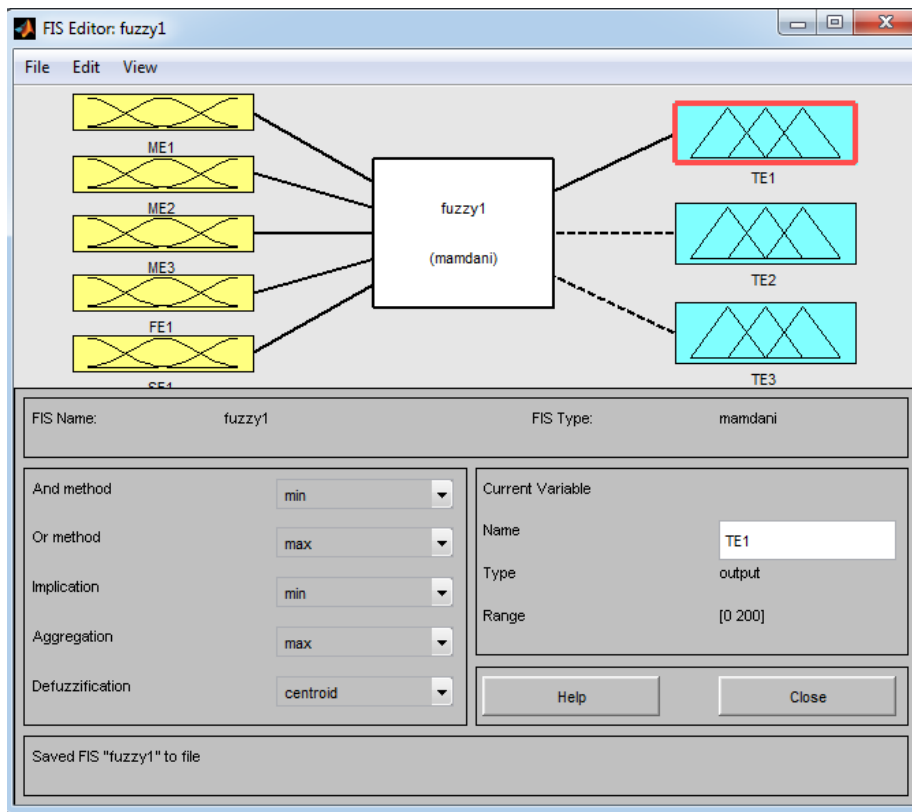


Рис.3.4.1.1. Параметрична структура підсистеми (нечіткого висновку)

Налагодження функції належності:

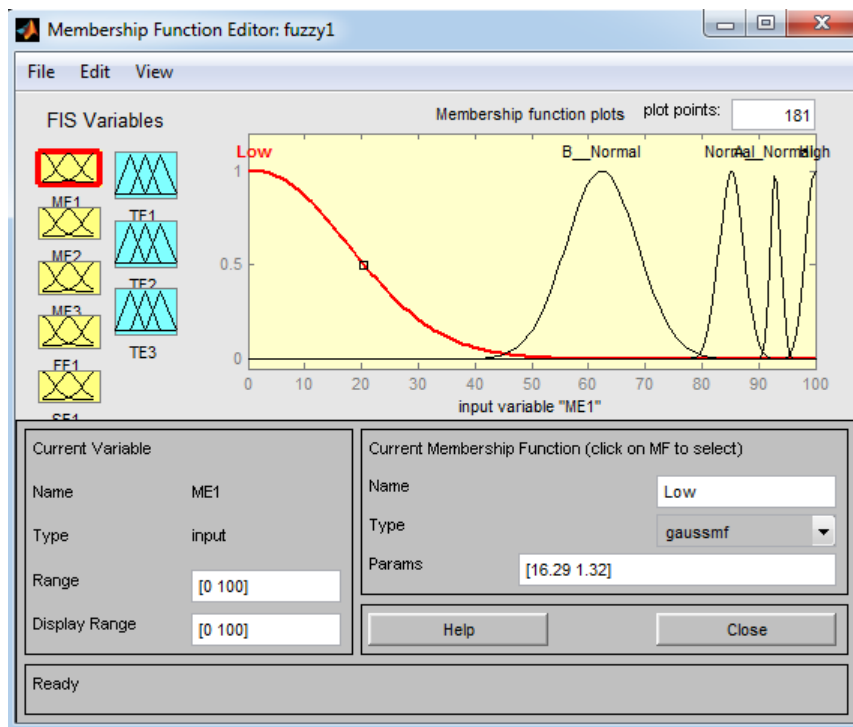


Рис.3.4.1.2. Вікно редагування функції належності (вологість в першій зоні)

Виділяємо курсором миші функцію належності і в нижній частині вікна змінюємо в зоні параметрів Current Variable параметри Range (ряд) і Display Range (ряд, що відображається) - діапазон змінювання вхідного параметру. Як правило, це мінімальне і максимальне значення параметру./

Лінгвістичні поняття	Вологість, %		
Низька (LOW)	16,29	1,32	
Нижче норми (B_NORMAL)	6,34	62,35	
Норма (NORMAL)	2,14	85,2	
Вище норми (A_NORMAL)	0,89	93	
Висока (HIGH)	1,68	100	

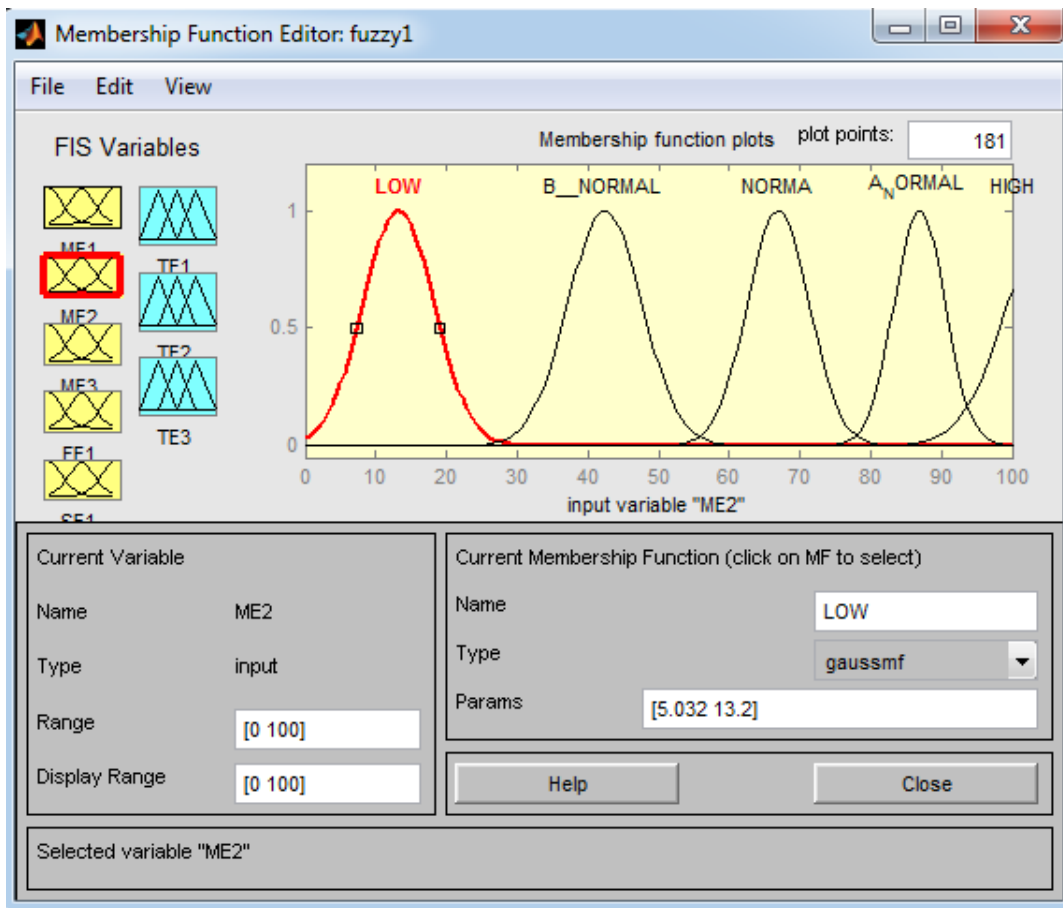


Рис.3.4.1.3. Вікно редагування функції належності (вологість в другій зоні)

Лінгвістичні поняття	Вологість, %		
Низька (LOW)	5,032	13,2	
Нижче норми (B_NORMAL)	5,22	42,7	
Норма (NORMAL)	4,38	66,9	
Вище норми (A_NORMAL)	3,6	86,9	
Висока (HIGH)	6,4	105,8	

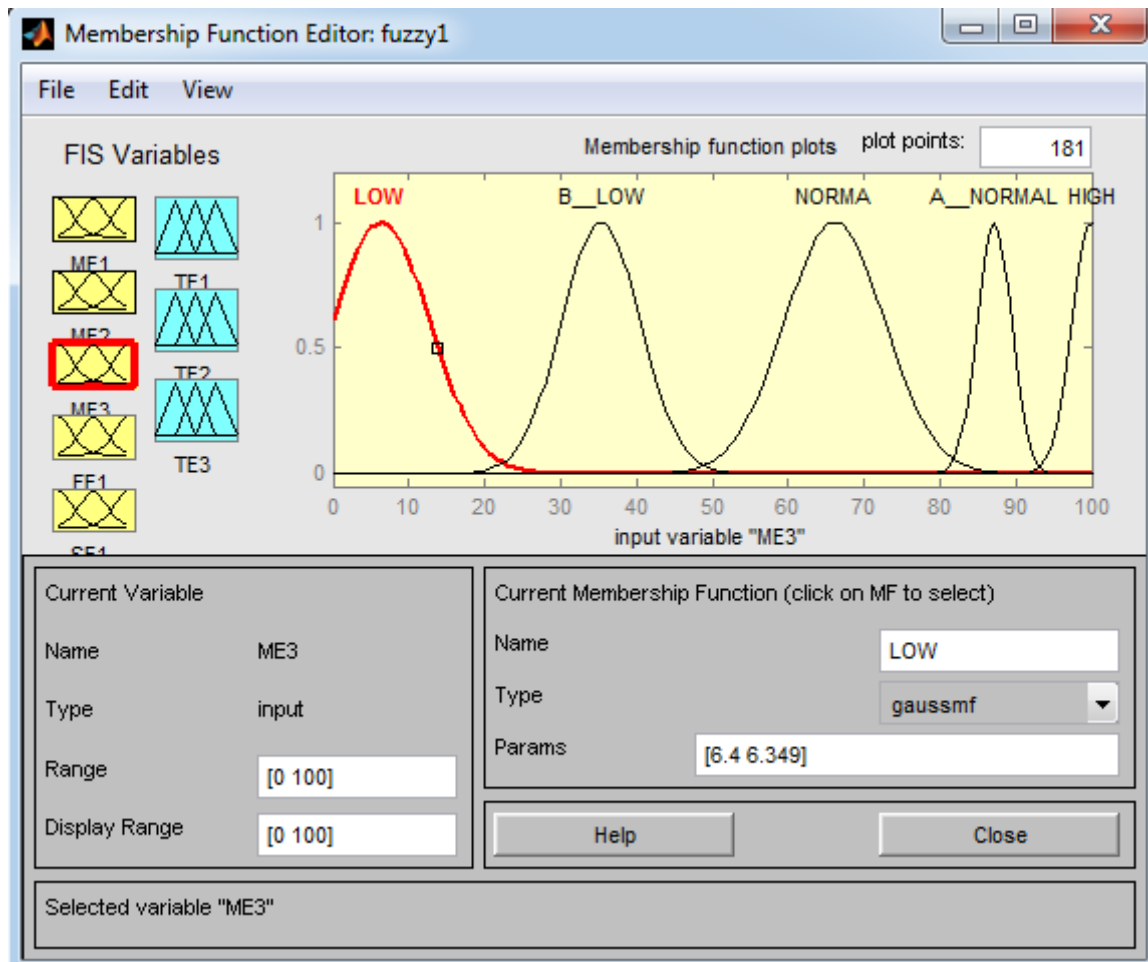


Рис. 3.4.1.4. Вікно редагування функцій належності (вологість в третій зоні)

Лінгвістичні поняття	Вологість, %		
Низька (LOW)	6,4	6,3	
Нижче норми (B_NORMAL)	5,17	35,32	
Норма (NORMAL)	6,6	66,1	
Вище норми (A_NORMAL)	2,25	87,16	
Висока (HIGH)	2,58	100	

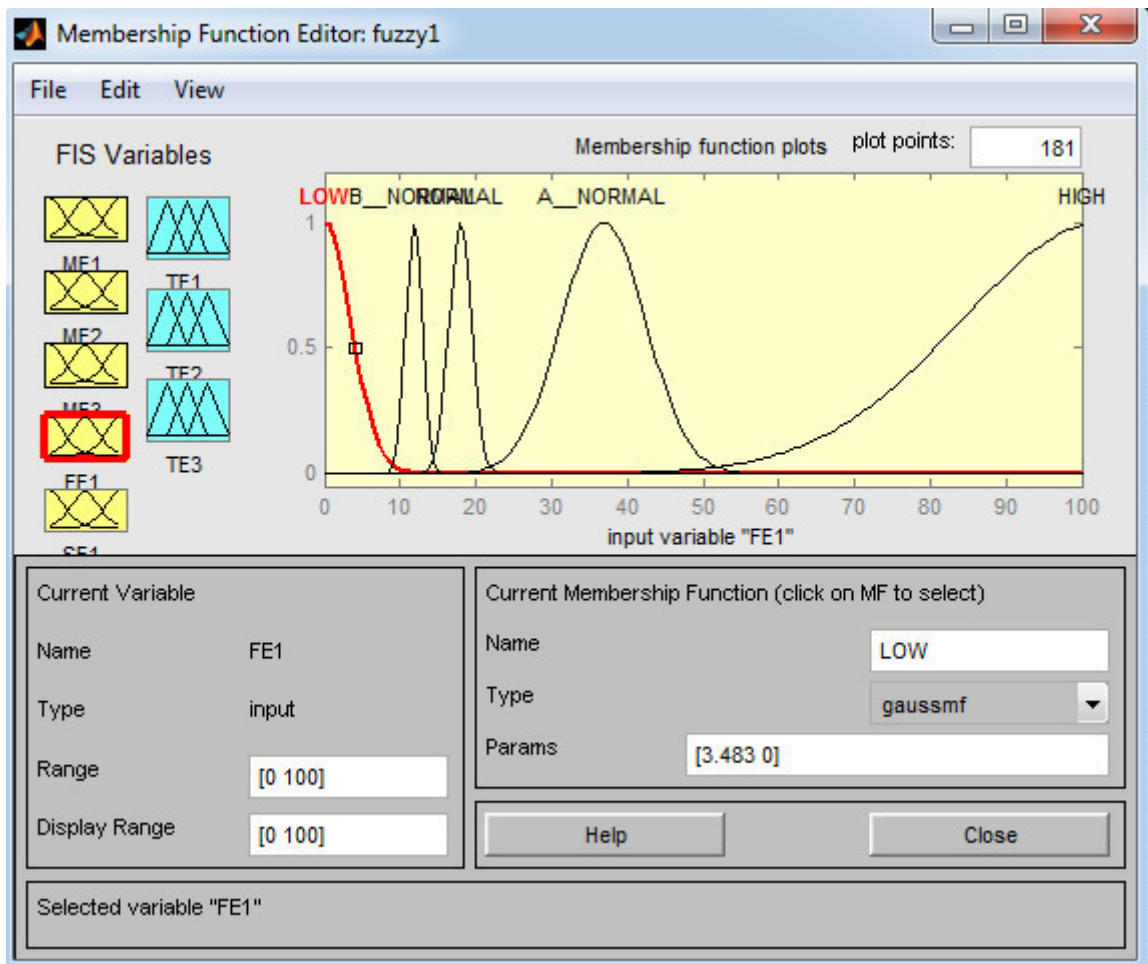


Рис.3.4.1.5. Вікно редагування функцій належності (витрата газу)

Лінгвістичні поняття	Витрата газу, м <sup>3</sup> /год		
Низька (LOW)	3,4	0	
Нижче норми (B_NORMAL)	1,07	11,83	
Норма (NORMAL)	1,49	17,95	
Вище норми (A_NORMAL)	5,56	36,85	
Висока (HIGH)	19,06	103	

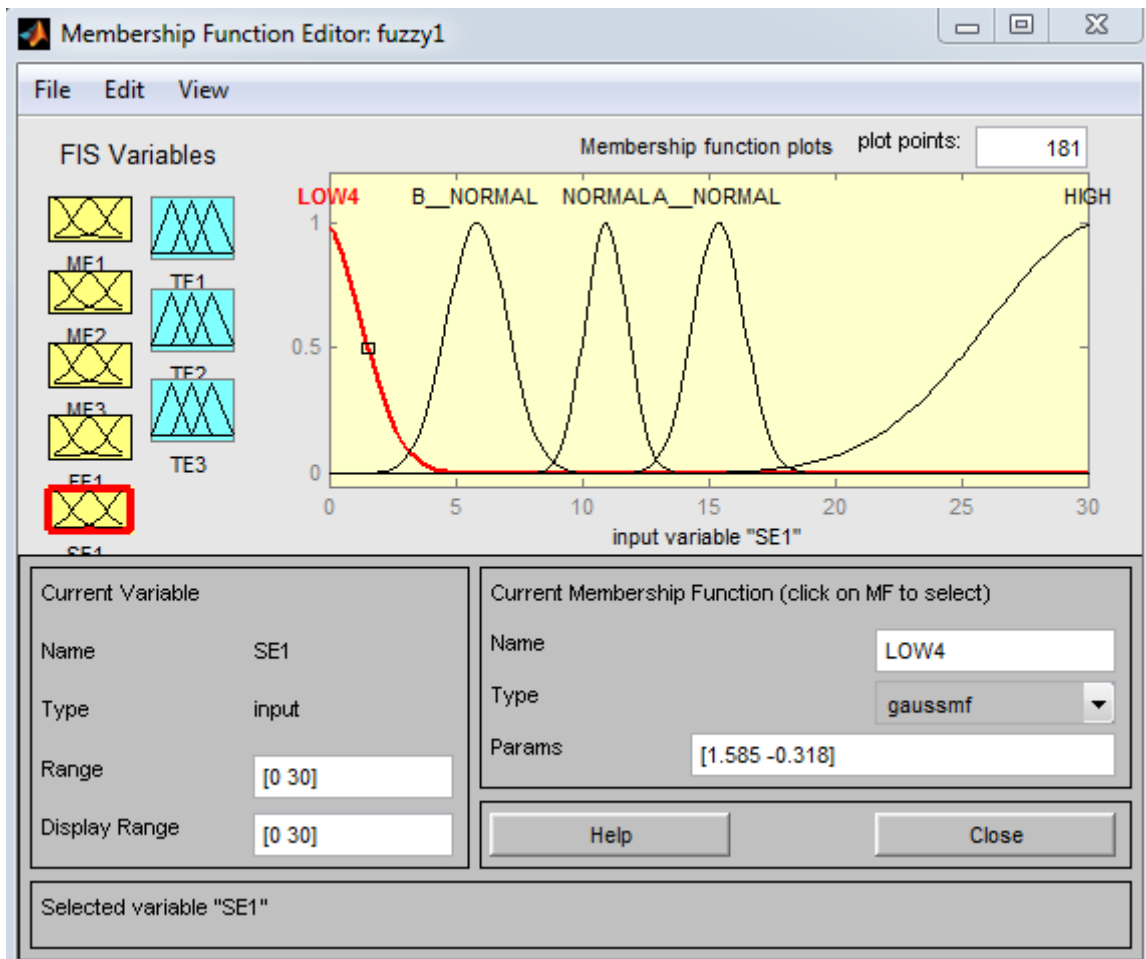


Рис. 3.4.1.6. Вікно редагування функцій належності (швидкість обертів двигуна конвеєра)

Лінгвістичні поняття	Шв.обертів, об/хв.		
Низька (LOW)	1,58	0	
Нижче норми (B_NORMAL)	1,2	5,85	
Норма (NORMAL)	0,83	10,96	
Вище норми (A_NORMAL)	1,02	15,4	
Висока (HIGH)	4,69	30,7	

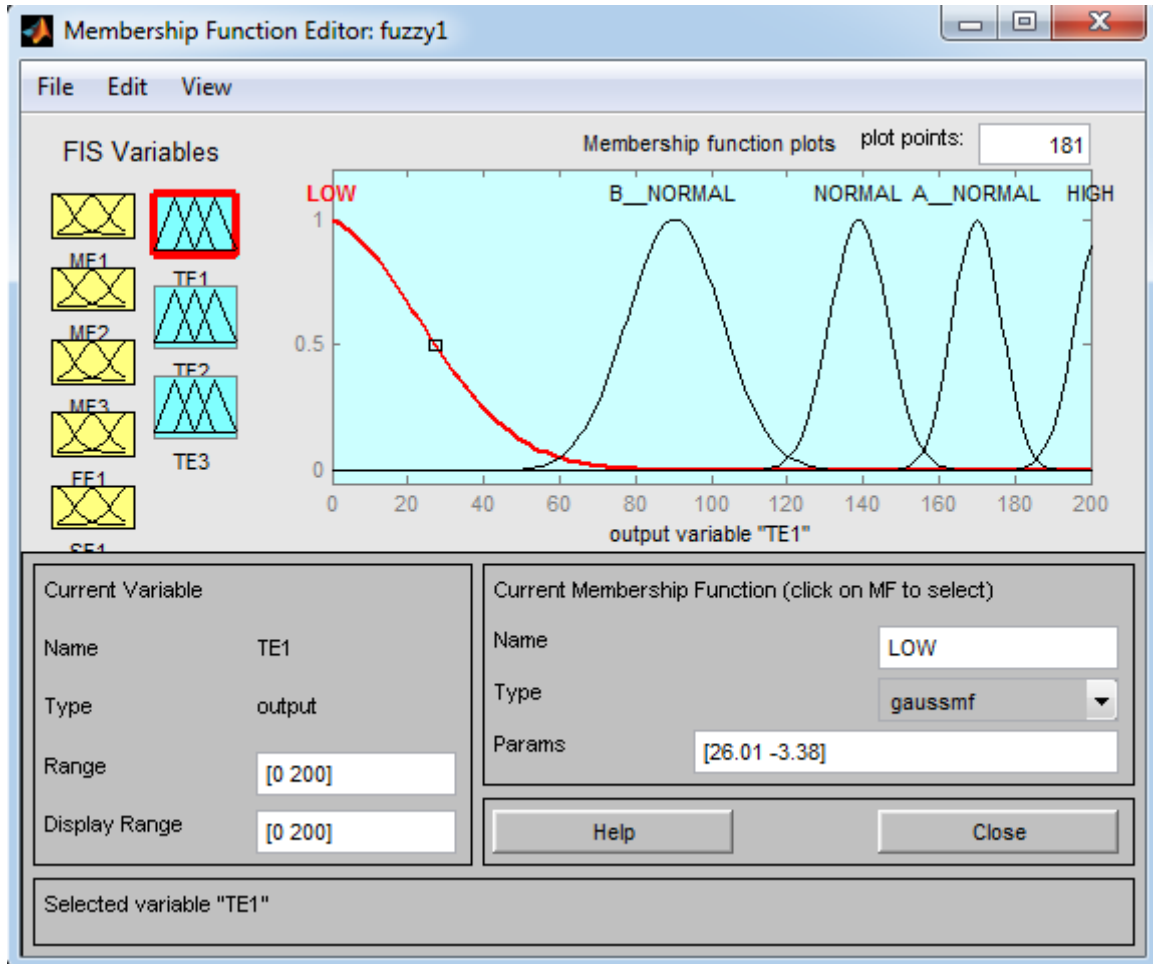
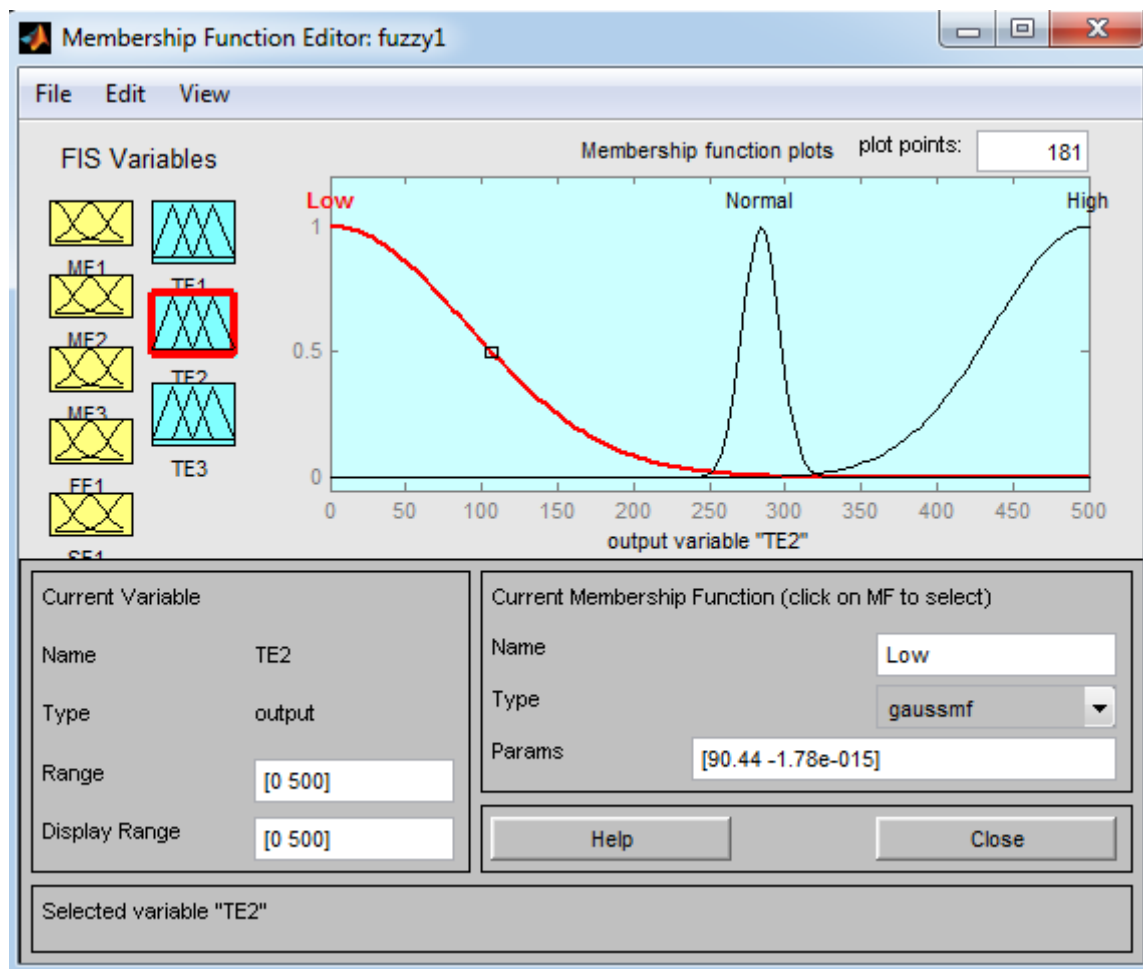


Рис. 3.4.1.7. Вікно редагування функцій належності (температура в першій зоні печі)

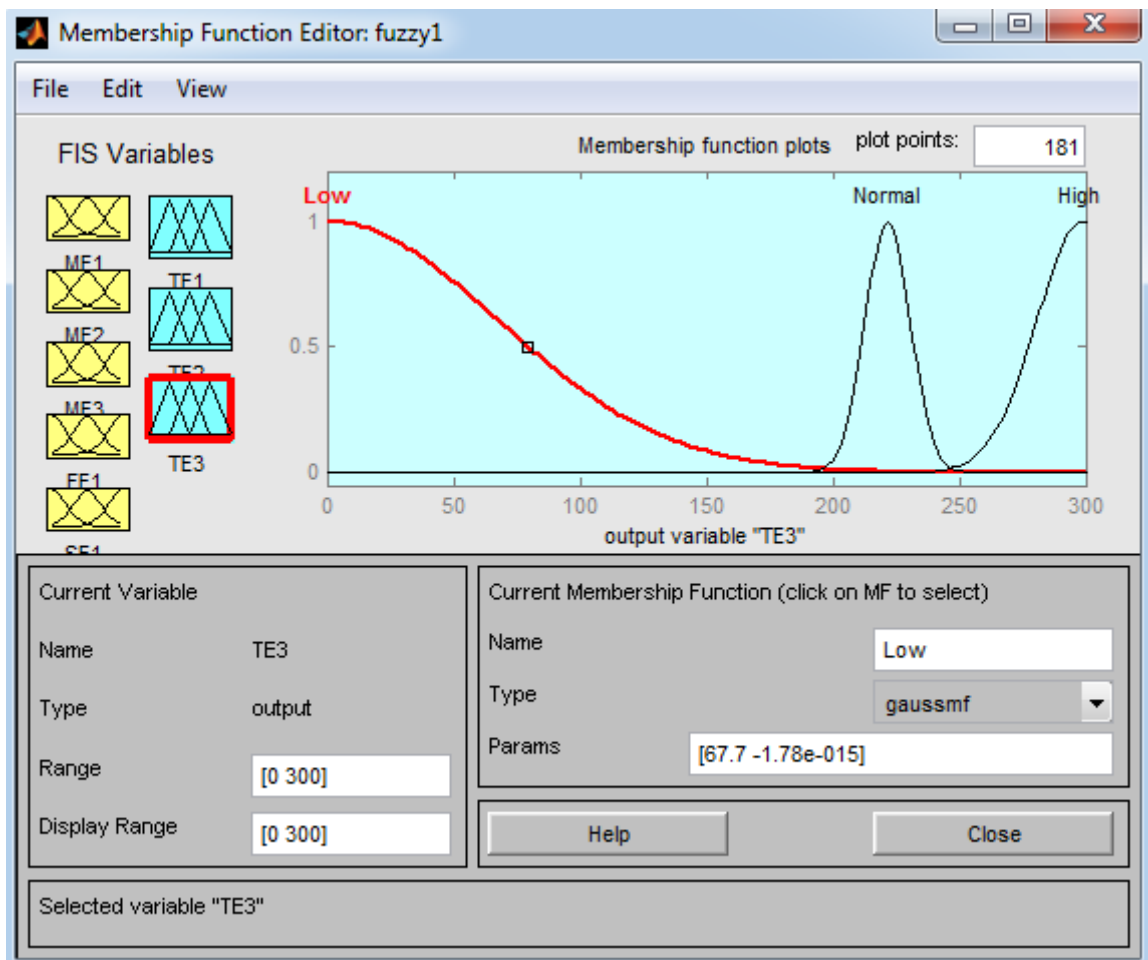
Лінгвістичні поняття	Температура, С		
Низька (LOW)	26,01	0	
Нижче норми (B_NORMAL)	12,5	90,29	
Норма (NORMAL)	7,62	138,9	

Вище норми (A_NORMAL)	6,38	170	
Висока (HIGH)	7,1	203,3	



**Рис. 3.4.1.8.** Вікно редагування функцій належності (температура в другій зоні печі)

Лінгвістичні поняття	Температура, С		
Низька (LOW)	90,4	0	
Норма (NORMAL)	12,13	284	
Висока (HIGH)	62,35	500	



**Рис. 3.4.1.9.** Вікно редагування функцій належності (температура в третій зоні печі)

Лінгвістичні поняття	Температура, С		
Низька (LOW)	67,7	0	

Норма (NORMAL)	8,92	221,6	
Висока (HIGH)	18,36	299	

### 3.4.2 Розробка бази правил для нечіткої системи. Аналіз результатів роботи системи

В головному вікні FIS Editor в меню Edit→Rules... відкриється вікно Rule Editor. Це вікно також відкриється подвійним натисканням лівої клавіші миші на центральному білому прямокутнику. В даному вікні визначаються нечіткі правила поведінки системи, що створюється (рис. 3.4.2.1).

Для перегляду результату роботи системи (підсистеми) нечіткої логіки в головному вікні FIS Editor обирають в меню View команду Rules – графічне відображення роботи алгоритму нечіткого висновку (рис. 3.4.2.2) або команду Surface – відображення поверхні відгуку (рис. 3.4.2.3).

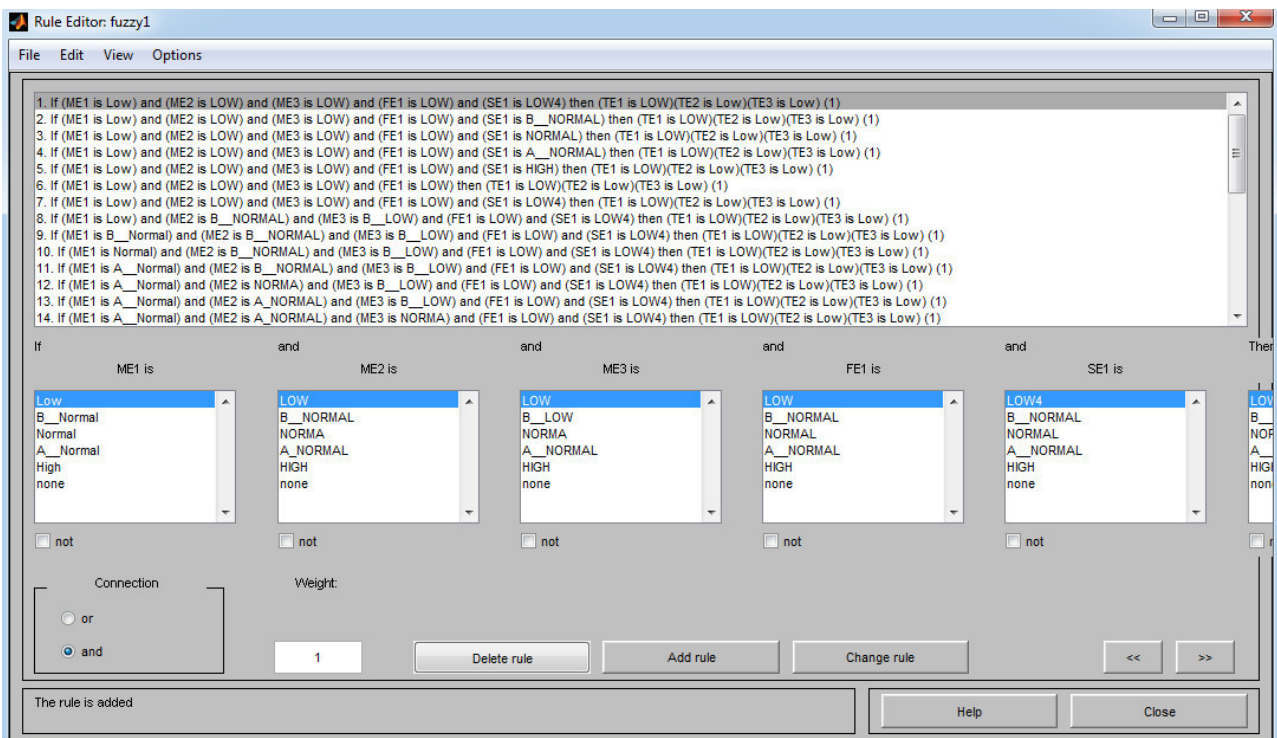
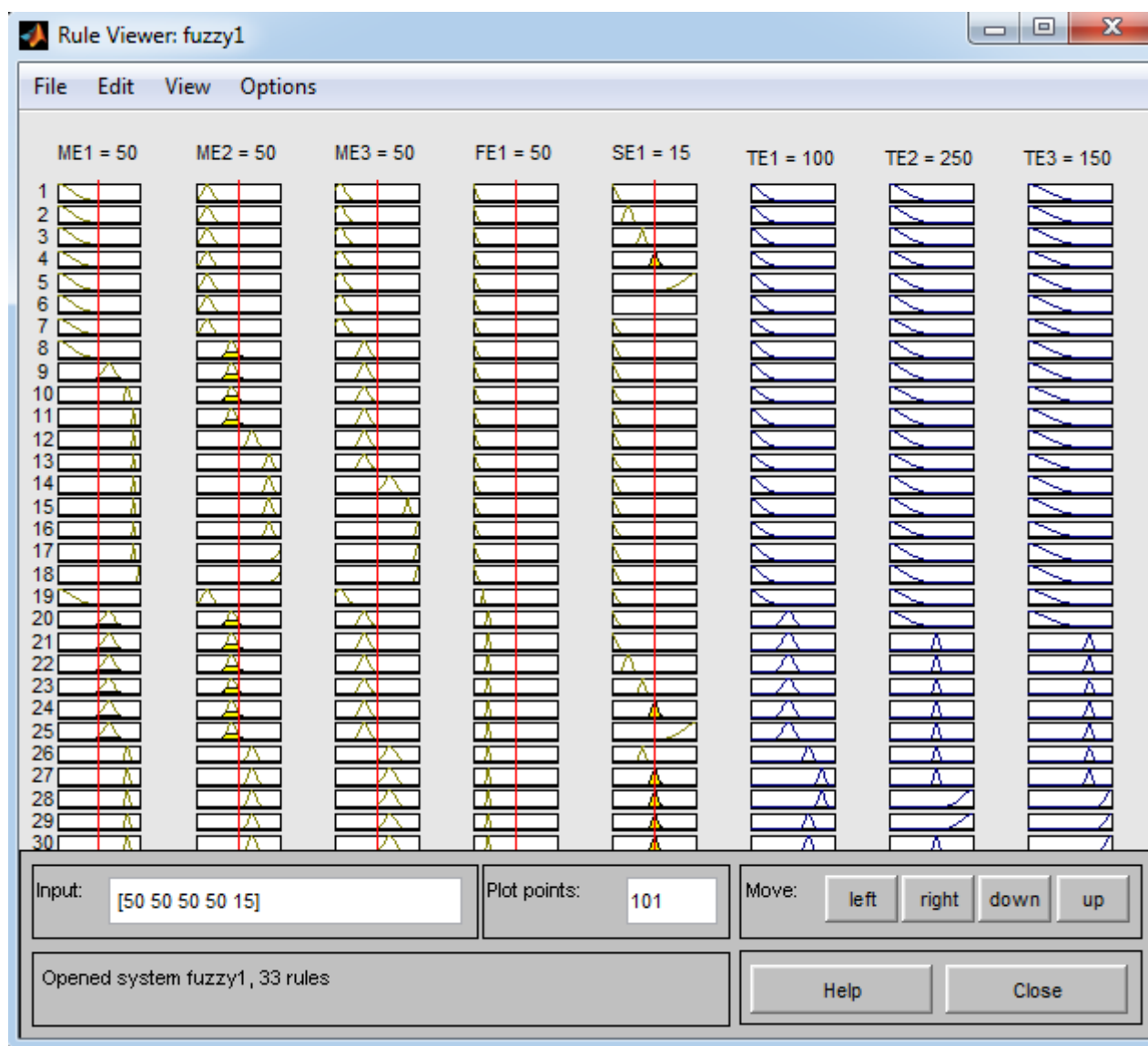
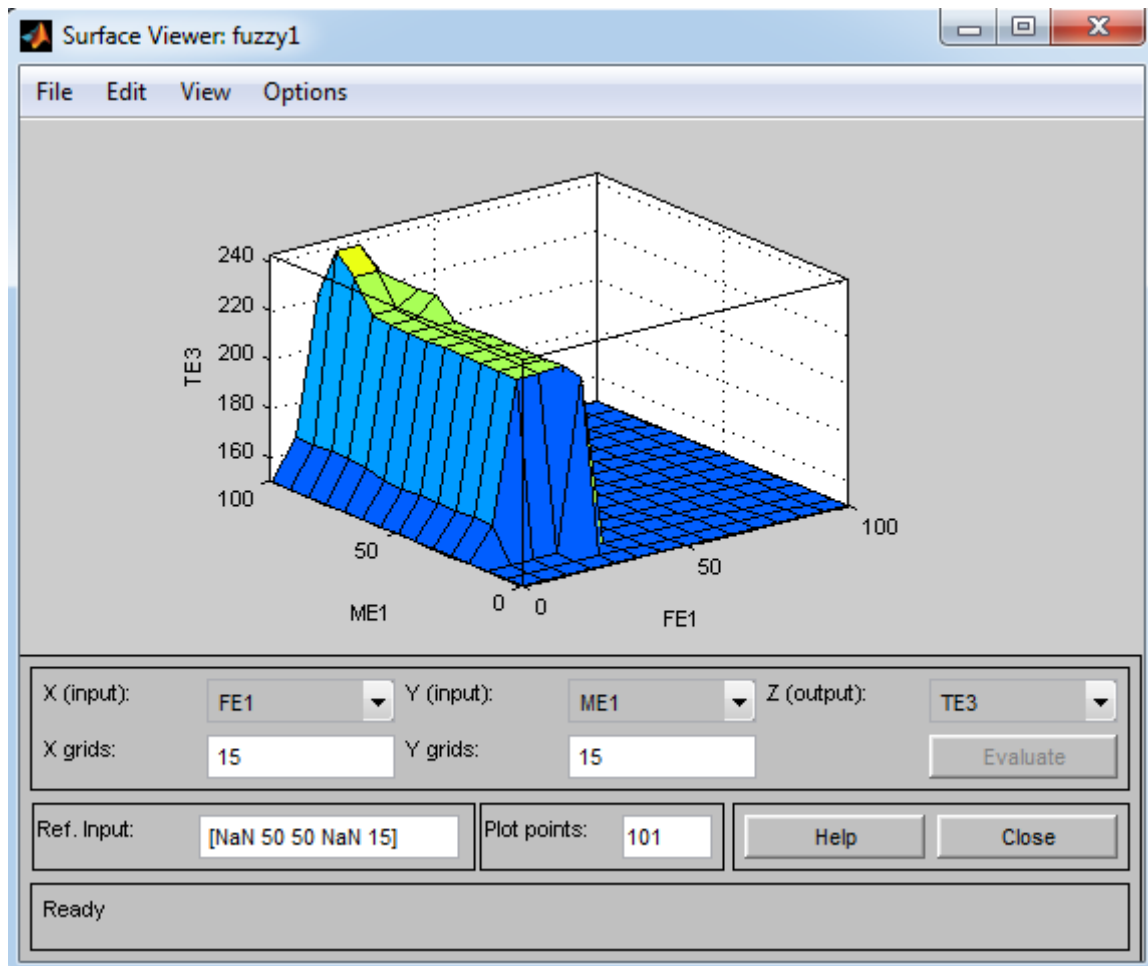


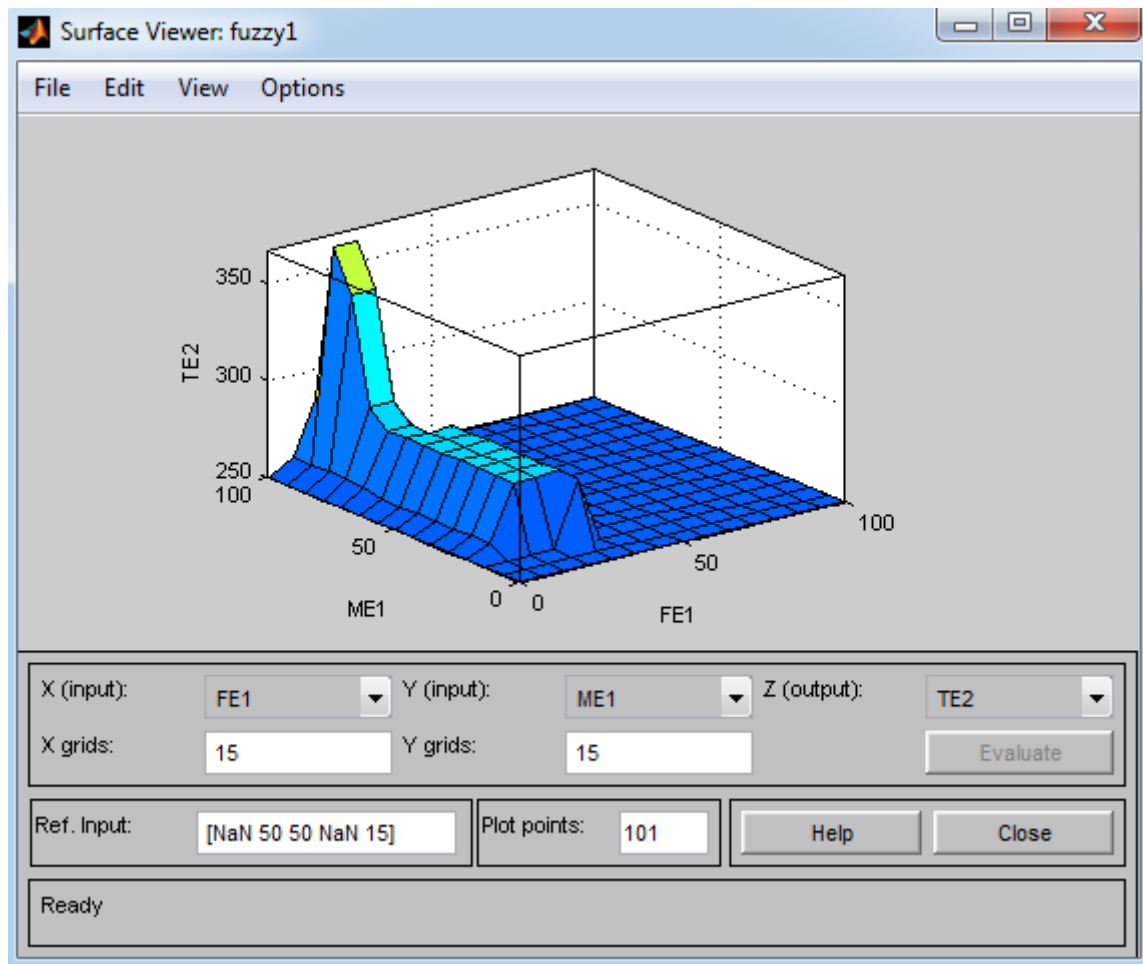
Рис.3.4.2.1. Графічне відображення роботи алгоритму нечіткого висновку. Вікно редагування правил нечіткого висновку.



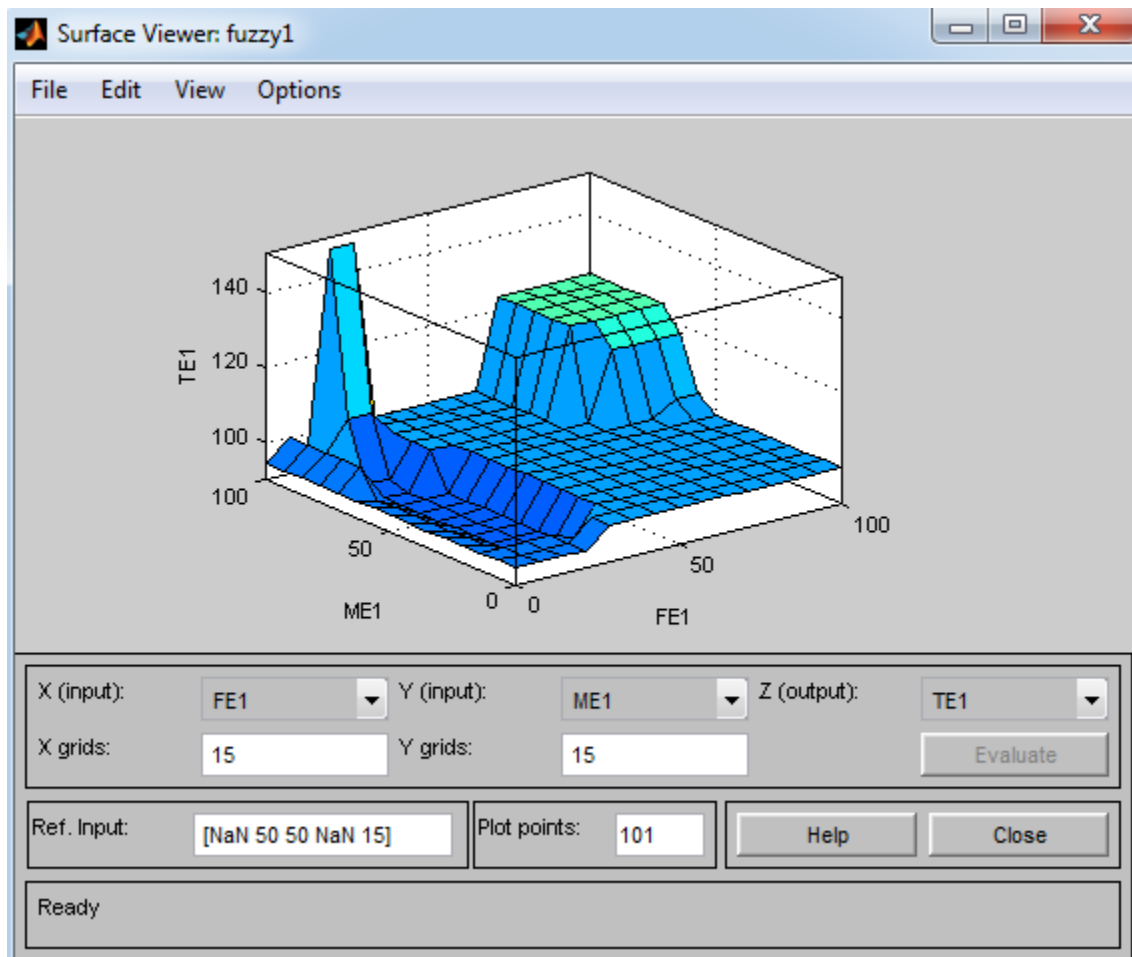
**Рис. 3.4.2.2 .** Вікно графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку



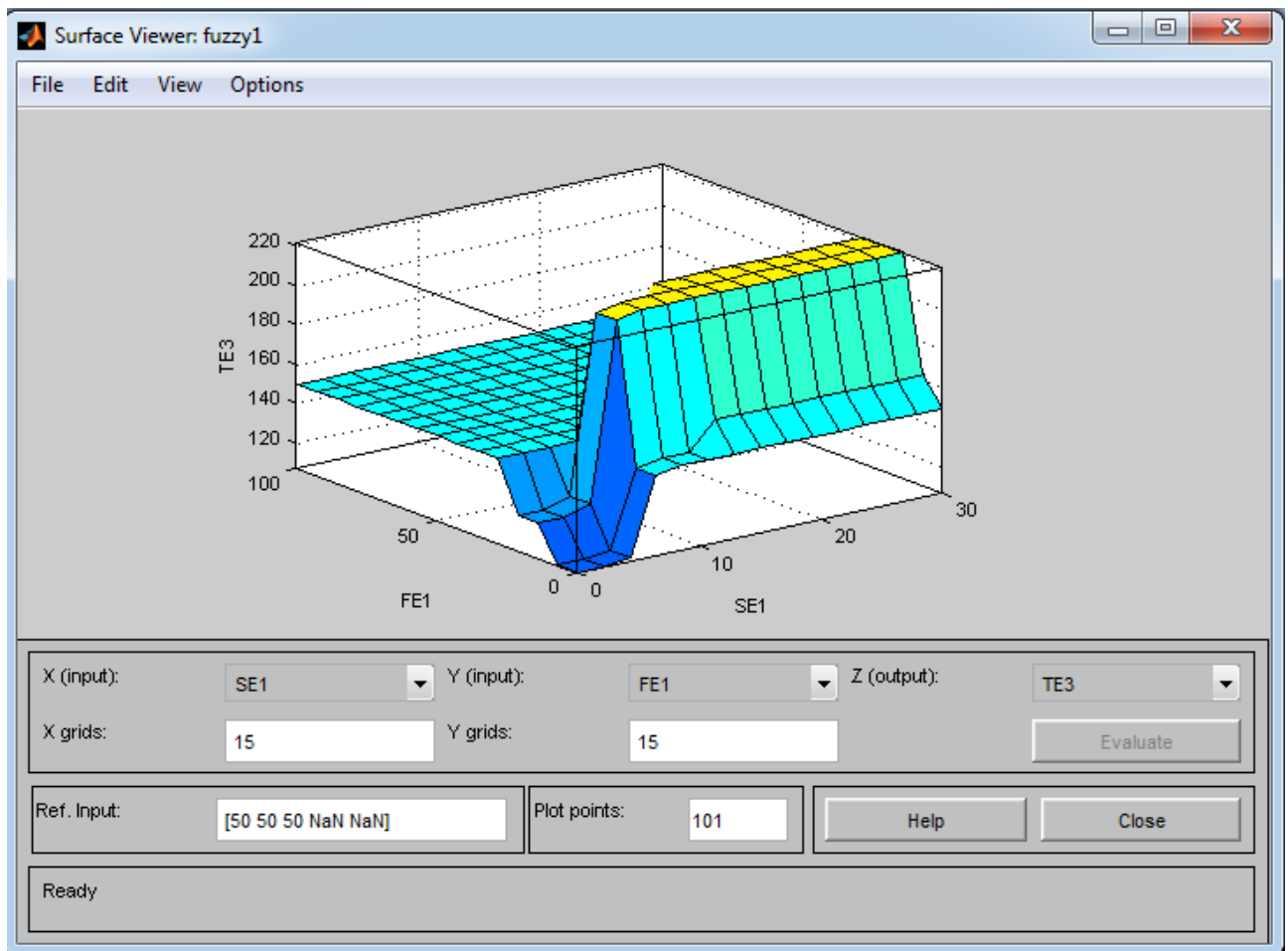
**Рис. 3.4.2.3.** Вікно відображення поверхні відгуку залежності витрати газу від вологості в третій зоні печі.



**Рис. 3.4.2.4.** Вікно відображення поверхні відгуку залежності витрати газу від вологості в другій зоні печі.



**Рис. 3.4.2.5.** Вікно відображення поверхні відгуку залежності витрати газу від вологості в першій зоні печі.



**Рис. 3.4.2.6.** Вікно відображення поверхні відгуку залежності витрати газу від швидкості обертів двигуна конвеєра.

### 3.4.3 ПОБУДОВА НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

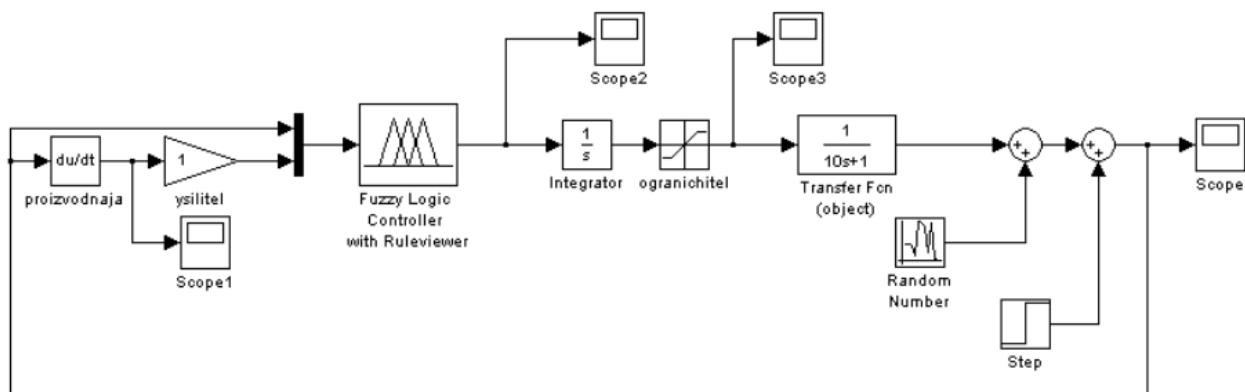


Рис.3.4.3.1 Схема ОУ з нечітким регулятором (5 правил).

Якщо схема створена правильно, то яка б не була задана початкова температура, система з часом повинна підібрати оптимальну температуру, в яку входить функціональна приналежність NORMAL до перемінної «температури».

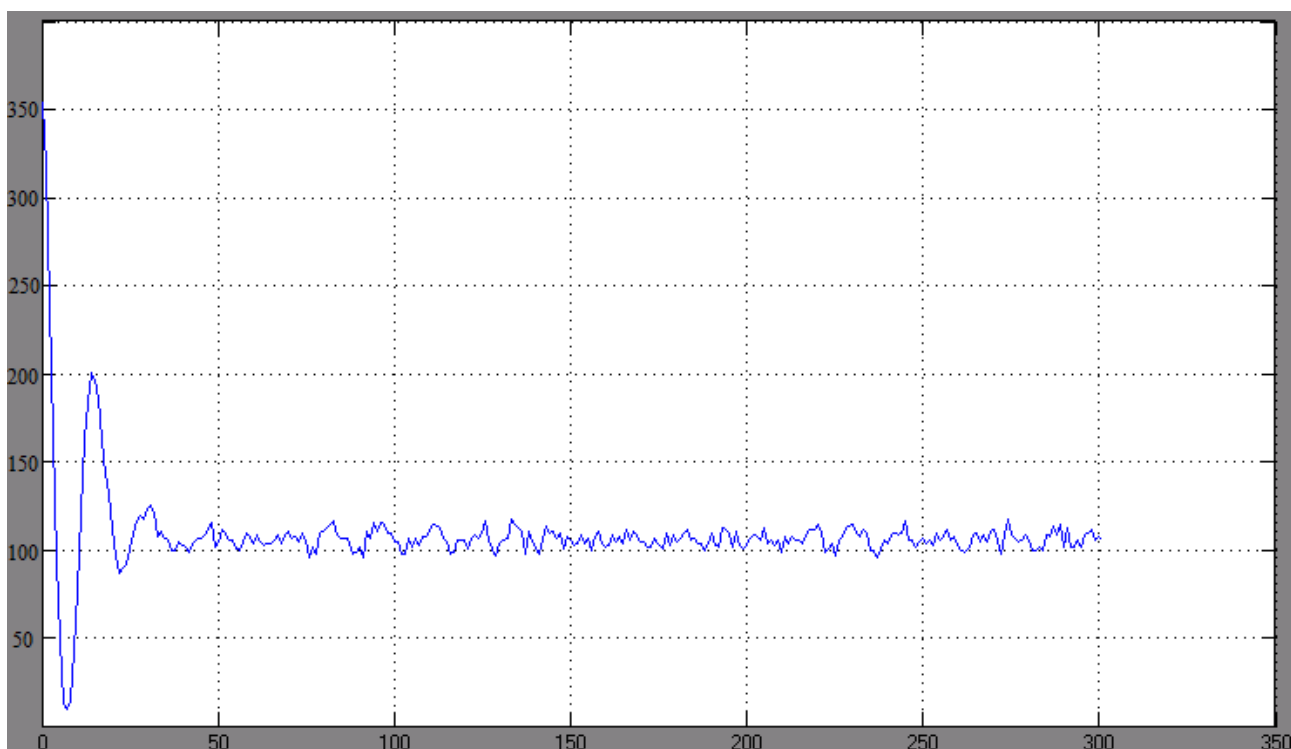


Рис.3.4.3.2 Зміна температури в залежності від завдання

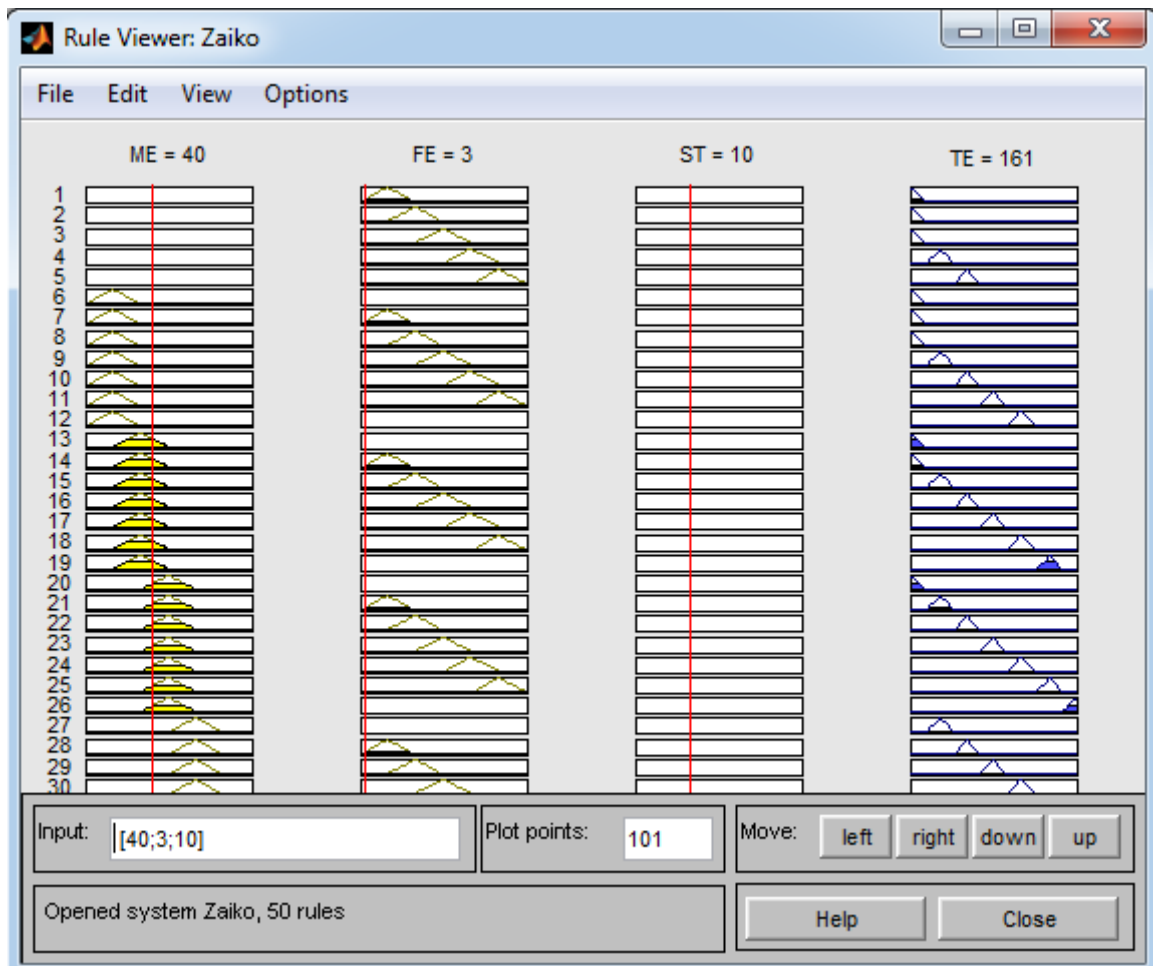


Рис. 3.4.3.3 Візуалізація нечіткого логічного виводу для системи типу Сугено

Визначено лінгвістичну апроксимацію параметрів, сформовані правила нечіткого висновку. Результат роботи відображено за допомогою графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку.

## **Висновок**

В даній роботі розроблена інтелектуальна система підтримки прийняття рішень на основі нечіткої логіки та карт Шухарта технологічного процесу випічки хліба. Контрольні карти допомагають спостерігати та вчасно реагувати на зміну параметрів технологічного процесу, які виходять за допустимі межі. Система підтримки прийняття рішень на основі нечіткої логіки дозволяє оптимально проводити процес регулювання температури в зоні випічки на основі показань значень вологості, витрати палива, та швидкості руху стрічки конвеєра. Це дає можливість оперативніше відпрацьовувати завдання регулятора температури, для досягнення і дотримання параметрів технологічного процесу.

### Список використаної літератури :

1. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації / А.К.Бабіченко. – Харків.: НТУ «ХП», 2001. – 470 с.
2. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
3. Дейнеко Л. В. Розвиток харчової промисловості України в умовах ринкових перетворень / Л. В. Дейнеко. – К. : Знання, 1999. – 331 с
4. Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К.:Вид.-во "Ліра-К", 2011. - 552 с.
5. Трегуб В. Г., Ладанюк А. П., Плужников Л. Н. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации в пищевой промышленности: Учебник для вузов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 352 с.
6. Трегуб В. Г., Ладанюк А. П. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 352 с.
7. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч. посібник – К.: НМК ВО, 1990. – 80 с.
8. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: Метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: В.Г. Трегуб. – К.:НУХТ, 2008. – 67 с.
9. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник для вузов по специальности "Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов". – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с., ил.
10. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Книга 1 / Нестеров А. Л.: – СПб. Издательство: ДЕАН. 2006. –
11. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Книга 2. / Нестеров А. Л.: - СПб. Издательство: ДЕАН. 2009. –

12. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике. Под ред. А.В.Калиниченко: М.: "Инфа-Инженерия", 2008. – 576 с.
13. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
14. Монтаж средств измерений и автоматизации: Справ. / Под ред. А. С. Ключева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 728 с.
15. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / Под ред. А. С. Ключева. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
16. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: Метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: В.Г. Трегуб. – К.:НУХТ, 2008. – 67 с.
17. Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем: Метод. вказівки до викон. курс. проекту для студ. спец. 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: О.М.Пупена К.: НУХТ, 2011. 45 с.
18. Людино-машинні інтерфейси: Метод. вказівки до виконан. курсової роботи для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. / Уклад.: В.М. Кушков. – К.: НУХТ, 2010. – 15 с.
19. Контролери та їх програмне забезпечення: Метод. вказівки до виконання курс. проекту для студ. спец. 6.092500 “Автоматизоване управління технологічними процесами” і “Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва” ден. та заоч. форм навчання /Уклад.: І.В. Ельперін, О.М. Пупена, М.Д. Місюра, С.М. Швед - К.: НУХТ, 2008.- 36 с.
20. Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности. Л.А. Широков, В. И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др; под ред. Л.А. Широков. - М: Агропромыздат, 1986.-311 с.

21. Охрана труда на предприятиях пищевой промышленности М. 1994.В. С. Никитин Бурашников В. К.
22. Державний нормативний акт про охорону праці ДНАОП 1.8.10. - 1.13 – 97. “Правила безпеки при виробництві солоду, пива та безалкогольних напоїв”. К.: 1997.
23. Автоматизация технологических процессов пищевых производств. Учебник для ВУЗов. Под редакцией Е. Б. Каприна – 2-е изд. 1989.
24. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Емельянов А. И. Капник О. В. Справочное пособие. 3-е издание Энергоиздат 1983.
25. Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности. Л.А. Широков, В. И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др; под ред. Л.А. Широков. - М: Агропромиздат, 1986.-311 с.