МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет *Автоматизації і комп'ютерних систем*
Кафедра *Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління ім. А.П. Ладанюка*

«До захисту в ЕК»	**«До захисту допущено»**
Декан факультету	Завідувач кафедри
_____ *Андрій ФОРСЮК*	_____ *Ярослав СМІТЮХ*
(підпис) (ім'я та прізвище)	(підпис) (ім'я та прізвище)
«__» *грудня* 2024 р.	«__» *грудня* 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності *174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»*
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми *«Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління»*

на тему: *Сценарне керування технологічним комплексом спиртзаводу*

Виконав: здобувач *2* курсу, групи *АВ-2-2М*

Ціленко Олександр Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник *Кишенько Василь Дмитрович* _____
(прізвище , ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач_____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _Автоматизації і комп'ютерних систем _____
Кафедра __Інтегрованих автоматизованих систем управління ім. А.П. Ладанюка_____
Освітній ступінь__Магістр_____
Спеціальність_174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_Ярослав СМІТЮХ_____
"____" _____20___року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____Циленко Олександр Вікторович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _Сценарне керування технологічним комплексом спиртзаводу
керівник роботи__професор, кандидат технічних наук Кишенько Василь Дмитрович_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від "___"_____20__року №_____
2. Строк подання здобувачем роботи_____
3. Вихідні дані до роботи Апаратурно-тетехнологічна схема основного відділення. Організаційна, технічна та інформаційна структура існуючих ІАСУ та АСУТП. Вимоги до системи автоматизації, що проектується.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Титульний аркуш. Завдання на проектування. Анотація (державною, російською та англійською мовами). Зміст. Вступ 1.1 Аналіз структур існуючих автоматизованих систем керування як в Україні, так і в інших країнах. 1.2 Аналіз існуючих алгоритмів інтелектуального керування подібними процесами та підсистемами в цілому. 1.3 Питання горизонтальної (між підсистемами одного рівня) та вертикальної (підсистемами різного рівня) інтеграції механізмів інтелектуальної обробки даних. 1.4 Принципи вибору необхідних методів інтелектуальної обробки даних та керування. 1.4.1 Дослідження особливостей застосування нелінійних моделей керування. Розділ 2 – Загальносистемні рішення.2.1 Загальний опис об'єкту та системи.2.2. Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання. 2.3 Схема функціональної структури.2.4. Опис функцій, що автоматизуються (ПЗ). 2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.6 Опис інформаційного забезпечення АСУТП виробництва та основного відділення. Розділ 3 – Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням). 3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня. 3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS. 3.3 Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації. 3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж. Розділ 4 – Спеціальне завдання. 4.1. Опис алгоритму. 4.2. Опис спеціального програмного забезпечення. 4.3 Розробка людино-машинного інтерфейса оператора технолога. Розділ 5 - Сценарно-синергетичне керування технологічним комплексом.
5. Перелік графічного матеріалу
1) Схема функціональної структури; 2) структурна схема КТС; 3) схема автоматизації; 4) схеми електричні принципові; 5) проектне компонування пункту управління зі схемою компонування ПЛК та RIO; 6) схеми зєднань та підключень проводок мереж; 7) схема інформаційної

структури ІАСУ; 8) зображення мнемосхем; 9) алгоритми та лістинг програми їх реалізації._____

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт ка
	Розробка функціональної структури		
	Розробка комплексу технічних засобів		
	Розробка схеми автоматизації та вибір технічних засобів		
	Розробка принципових схем		
	Проектне компонування пункту управління зі схемою компонування ПЛК та засобів розподіленої периферії		
	Розробка схем з'єднань і підключень проводок мереж		
	Розробка інформаційного забезпечення		
	Розробка алгоритмів і програм для ПЛК		
	Розробка проекту SCADA/HMI		

Здобувач _____ Ціленко О.В._
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кишенько В.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана магістерська робота розроблена на тему: «Сценарне керування технологічним комплексом спиртзаводу ”.

В роботі було проаналізовано основні способи діагностики ТЗА, та обраний метод сценарно-синергетичного управління для оперативної діагностики та прогнозування. Розроблена інтелектуальна система управління процесом роботи брагоректифікаційної установки спиртзаводу, 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.

ANOTATION

This master's thesis is developed on the topic: "Scenario control of the technological complex of a distillery".

The work analyzed the main methods of diagnosing TZA, and selected the method of scenario-synergetic control for operational diagnostics and forecasting. An intelligent system for controlling the process of operation of the distillery's brago-rectification unit, a decision support system based on fuzzy logic, was developed.

A knowledge base of fuzzy logic was developed, linguistic approximation of input and output variables was carried out, membership functions of input and output values were created. A rule base for a fuzzy system was developed.

Зміст

Зміст 1
Вступ 2
Мета і завдання дослідження 3
Наукова новизна одержаних результатів 4
Розділ 1. Стан проблеми управління СПИРТОВИМ ЗАВОДОМ як складним об'єктом управління 5
1.1. Особливість спиртового заводу як складного об'єкта управління 5
1.2. Аналіз сучасного стану автоматизації відділень спиртового заводу 12
1.3. Принципи та методи управління складними технологічними комплексами 15
1.4. Проблеми автоматизованого управління відділеннями спиртового заводу 22
1.5 Постановка задач дослідження 30
Розділ 2. Розробка Моделей в задачах автоматизованого управління ВІДДІЛЕННЯМИ СПИРТОВОГО ЗАВОДУ 32
2.1. Опис процесу виробництва спирту. 32
2.2. Математичний опис статики та динаміки процесів виробітки спирту. 37
2.3. Виявлення атрактивних зон. 41
2.5. Моделі прогнозування поведінки змінних процесу в умовах невизначеності та ризику 42
2.6. Побудова статистичних моделей на основі методу найменших квадратів 48
Висновки 52
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ВІДДІЛЕННЯМИ СПИРТОВОГО ЗАВОДУ. 53
3.1. Формування сценаріїв розвитку процесів виробництва спирту. 53
3.2. Алгоритми динамічного аналізу ситуації на основі моделей розпізнавання поточної інформації 86
3.3 Алгоритми пошуку оптимальних багатоцільових рішень по управлінню відділеннями. 90
3.4. Ідентифікація параметрів імітаційної моделі 108
Висновки 115
Бібліографічний список 116

Вступ

Виробництво спирту характеризуються значною енергомісткістю, складністю процесів масообміну, нестабільністю технологічних параметрів. Існуючі системи автоматизації, які забезпечують стабілізацію основних змінних процесів виробництва спирту, не дають можливостей для своєчасного реагування на різноманітні технологічні ситуації, викликані змінюванням якісних характеристик сировини, значним рівнем невизначеності поведінки об'єкта, кооперативним впливом діючих збурень. Спиртові заводи є складними технологічними об'єктами, які характеризуються багатоцільовою поведінкою, причому пріоритетність цілей і згортка критеріїв, що відображують цілі, є змінними і залежними від обстановки, яка склалася в поточний момент на об'єкті управління. В таких умовах значно знижується ефективність управління через велику розмірність задачі синтезу управляючої дії в реальному масштабі часу.

При цьому зростає завантаженість оператора Бродильного та Браго-Ректифікаційного відділень, який на основі виробничого досвіду та знань повинен в умовах дефіциту часу та інформації оперативно змінювати технологічні режими для забезпечення успішного функціонування об'єкта, що часто приводить до нераціональних витрат енергоресурсів і зменшення продуктивності виробітки. Розв'язати таку проблему можливо за рахунок створення сценаріїв розвитку об'єкта управління, що являють собою комплекс моделей мережевого типу, які з доцільною дискретністю відтворюють процеси змінювання обстановки в об'єкті управління в різних часових та просторових координатах – ситуаційно значущих зонах. Розробка сценаріїв розвитку об'єкта і на їх основі алгоритмів управління з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій, сучасних досягнень теорії та практики управління (синергетичний підхід та інтелектуальні механізми) дозволять підвищити ефективність управління брагоректифікаційними установками спиртового виробництва, що є актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення техніко – економічних показників функціонування спиртового заводу та зменшення витрат енергоносіїв шляхом створення автоматизованої системи управління на основі сценарного підходу з урахуванням основних властивостей відділень спиртового заводу..

Основні задачі, що забезпечують досягнення мети роботи, полягають у наступному:

- побудова багаторівневої математичної моделі та її дослідження;
- статистичний аналіз експериментальних даних функціонування і побудова на їх основі алгоритмів сценарного управління;
- вирішення задачі прогнозування параметрів станів відділень та реалізація підсистеми прогнозування з використанням нейронних мереж;
- розробка алгоритмів багатоцільового управління спиртовим заводом в умовах невизначеності на основі сценарного підходу, які дозволять підвищити якість продукції та продуктивність установки із забезпеченням мінімальних питомих витрат ресурсів;
- розробка сценаріїв управління, які забезпечують організацію ефективних стратегій управління на основі інтелектуального аналізу ситуацій та динамічної пріоритетності критеріїв управління; .

Об'єкт дослідження - процеси вироблення спирту, які реалізовані на установках спиртових заводів.

Предметом дослідження є системи автоматизованого управління відділень спиртових заводів.

Методи дослідження. Методи, що використовуються для вирішення поставлених задач, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, методах системного аналізу, нелінійної динаміки і хаосу, ідентифікації, вейвлєт – аналізу, інженерії знань, багатокритеріальної оптимізації, імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів

При вирішенні поставлених задач одержані нові наукові результати:

- на основі факторно – цільового та ситуаційного аналізу функціонування БРУ вперше розроблені сценарії управління процесами спиртового заводу, які забезпечують організацію ефективних стратегій управління відділеннями в різних умовах функціонування об’єкта;
- поставлена і вирішена задача векторної оптимізації процесів виробництва в умовах невизначеності з урахуванням ситуаційної пріоритетності критеріїв та лінгвістичних обмеженнях;
- розроблена структура та комплекс алгоритмів системи управління відділеннями з використанням інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень та динамічного аналізу ситуацій.

Практичне значення одержаних результатів

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень здійснена розробка системи автоматизованого управління відділеннями на основі сценарного підходу.

Розділ 1. Стан проблеми управління СПИРТОВИМ ЗАВОДОМ як складним об'єктом управління

1.1. Особливість спиртового заводу як складного об'єкта управління

Предметом дослідження, для розробки системи автоматизованого управління, в даній роботі є відділення Бродильне та БРУ (1.2), що широко використовується на діючих спиртових заводах. Система складається з таких основних структурних технологічних одиниць: бражної колони (БК), епюраційної колони (ЕК), колони концентрації домішок (ККО), ректифікаційної колони (РК), а також допоміжного обладнання (дефлегматорів, конденсаторів, підігрівача бражки та холодильника спирту, а також внутрішніх структурних елементів (нижньої частини БК та РК, яка називається кубовою частиною)).

Кожна з чотирьох перерахованих колон характеризується складними масообмінними, теплообмінними та гідродинамічними процесами(в даній дисертаційній роботі сукупність перерахованих процесів назвемо однією назвою - процесами брагоректифікації).

Ціль управління спиртовим заводом як складним об'єктом управління (ОУ) полягає в досягненні деякого прийнятого показника заданого критерію управління [1, 2, 4], який відповідає деякій цільовій функції управління (детальний розгляд критеріїв, що відображають цілі керування буде наведений в розділі 2).

Важливим показником, що характеризує роботу кожної колони є флегмове число, яке визначається через співвідношення кількості флегми (зрошення колони) до кількості дистиляту, що відбирається [3, 4].

З точки зору аналізу та синтезу систем автоматизованого управління, відділення спиртових заводів є складними ОУ, що характеризуються багатомірністю [1, 2, 3], багатозв'язністю [2, 5] та нестаціонарністю і розглядаються як об'єкти з послідовно-паралельною структурою.

Властивість багатозв'язності проявляється в складному взаємозв'язку управляючих параметрів та вихідних змінних стану. Підтримка необхідних режимів роботи потребує врахування узгодженості управління регульованими

змінними, оскільки зміна однієї вхідної змінної в більшості випадків приводить до зміни всіх або декількох вихідних змінних. Така властивість відносить відділення спиртового заводу до класу багатозв'язних об'єктів управління [1, 2, 3]. Виходячи з вказаної властивості при синтезі системи управління необхідно врахувати можливість виділення ведучих керуючих змінних технологічного процесу (ТП) виробництва спирту (параметрів порядку) [6].

Особливість керуючих змінних полягає в тому, що вони є залежними: зокрема, витрати охолоджувальної води пов'язані з витратами пари та умовами виконання теплових балансів; в свою чергу відбори M_1, M_2,, M_3 визначаються умовами виконання матеріальних балансів, це обумовлене тим, що рівні B_1, B_2, B_3 змінюються в невеликих межах в зв'язку з конструктивними особливостями. В деяких випадках можуть використовуватись інші не вказані вище змінні, зокрема, при управлінні режимом бражної колони або спільно бражна з епюраційною в якості управляючої змінної використовується витрата бражки F_1; в свою чергу для управління роботою ректифікаційної колони використовується витрата епюрату F_3. Необхідність розгляду нових підходів до синтезу управління процесом виробництва спирту обумовлюється ще й тим, що незалежні змінні можуть зазнавати впливу збурень, і через властивість багатозв'язності параметрів зміна однієї або декількох незалежних змінних приводить до зміни багатьох залежних величин. Досягнення нормального режиму може бути здійснено за рахунок певних управляючих та координуючих дій на процес брагоректифікації [1, 2, 7].

В багатьох випадках враховуючи властивість багатозв'язності БРУ при синтезі системи управління основний акцент ставлять на непрямі показники, які однозначно пов'язані з відповідними якісними параметрами [2]. Наприклад, регулюючи температуру на контрольній тарілці можливо однозначно впливати на якісні показники етилового спирту.

Процес приготування спирту піддається дії контрольованих та неконтрольованих збурень зі сторони сировини, що надходить, енергоресурсів,

температури в колонах і т. п. [2, 3, 7]. Це створює суттєві проблем при підтримці заданих режимів. Визначення джерела збурень часто займає значний відрізок часу та спряжено з аналізом виробничої ситуації.

До неконтрольованих збурень слід віднести:

- втрати тепла в оточуюче середовище, що є практично майже незмінними і не перевищують 1 - 3%;
- зміна ефективності тарілок, теплообмінників і т. п. може бути наслідком таких причин (”загоряння” ковпачків, забруднення трубок дефлегматорів, зміна теплопровідності стінок теплообмінників і т.д.).

До контрольованих збурень слід віднести:

- витрата та концентрація живлення колон, що залежить від первинної сировини (меляси, зерна і т.д.);
- термодинамічні параметри гріючої пари (тиск, ентальпія і т. п.);
- температура охолоджувальної води має випадковий характер зміни, в більшості випадків залежить від пори року;
- температура флегми, що подається на зрошення епюраційної та ректифікаційної колон, коливається незначно, тому що після дефлегматорів флегма не встигає охолоджуватись і подається на верхні тарілки колон при температурі, близькій до парової фази;
- складна гідродинамічна обстановка в апараті має турбулентний характер поведінки, що зумовлено складною внутрішньою конструкцією колон [1, 3, 8].

Як показує практика, значна частина збурень є збуреннями процесу і змінюються незначно навіть на протязі великих проміжків часу і можуть прийматися незмінними, але таке припущення є важливим і не відповідає тим вимогам, які ставляться при розробці сучасних систем управління, оскільки ці змінні здійснюють суттєвий вплив на управління установкою [2]. До таких змінних відносяться термодинамічні параметри пари, температура охолоджувальної води, температура флегми.

Збурення по каналам витрати пари та охолоджувальної води мають суттєвий

вплив на процеси брагоректифікації. Ці збурення мають випадковий характер зміни і, як показує практика, надходять з середньою частотою $\omega \le (0{,}01 - 0{,}02)\ \ c^{-1}$, та в середньому з амплітудою 25% своїх номінальних значень. При цьому термодинамічні параметри пари також мають випадковий характер і в середньому змінюються в таких межах:

- при використанні "м'ятої" пари: тиск $-0{,}6 \pm 0{,}2$ $кгс/см^2$ ($5{,}88 \cdot 10^4 \pm 1{,}96 \cdot 10^4$ Па), температура - $115 \pm 5\ \ ^0C$;
- при використанні "гострої" пари: тиск $-3{,}0 \pm 0{,}5$ $кгс/см^2$ ($2{,}94 \cdot 10^4 \pm 4{,}9 \cdot 10^4$ Па), температура - $135 \pm 7\ \ ^0C$.

Слід виділити та проаналізувати групу найбільш впливових збурень:

- збурення по каналу витрати живлення на колони, суттєво впливає на режими роботи колон, тобто при зменшенні F зменшується концентрація спирту у верхніх та нижніх продуктах ректифікації. При перевантаженні колон збільшується відсоток спирту в верхніх продуктах, але при цьому можуть з'явитись втрати спирту з бардою та лютерною водою, також при цьому змінюються поля температури та тиску в колонах. В такій ситуації стабілізувати режим роботи БРУ можна за рахунок зміни витрати пари на колони, або флегмового числа;
- збурення по вмісту спирту в живленні колон суттєво впливають на зміну температури, тиску, складу рідинної та парової фази в колонах. Компенсувати таке збурення можна за рахунок зміни витрати пари на колони та, якщо розглядати режим роботи РК, змінювати витрату флегми. Певною "позитивною" особливістю є те, що збурення по вмісту спирту в живленні колон змінюється порівняно повільно;
- збурення по температурі живлення колон, як і попередньо розглянуте, змінюється порівняно повільно, але все таки вносить суттєвий вплив на процеси брагоректифікації, тобто якщо живлення не нагріте до температури кипіння, то в зоні тарілки живлення збільшується конденсація парів, а в нижній частині колони рідинний потік;

Вказані зміни приводять до небажаних змін тиску в колоні та температури і в зв'язку з цим змін концентрації спирту та домішок в нижній частині колони. В такій ситуації необхідно змінювати витрату пари в колону, що суттєво погіршує економічні показники процесу брагоректифікації;

- збурення по швидкості парів в колонах, як попередньо було сказано, має випадковий характер зміни. Суттєві зміни на швидкість парів вносяться режимами роботи дефлегматорів – конденсаторів, менш суттєві зміни вносять рівні рідини на тарілках, та опір тарілок, тому що вони змінюються порівняно повільно. Для тарільчатих колон [3, 7], процеси розділення покращуються з підвищенням швидкості парів, але існує певна допустима швидкість парів в колоні, перевищення якої приводить до небажаних результатів, а саме зменшення інтенсивності тепло-масообміну на тарілках. Така особливість зумовлюється явищем "захльобування" колони, при якому потік пари зменшує потік стікаючої рідини по тарілках, та збільшує бризковинесення з зони найбільш інтенсивнішого тепло-масообміну. Для виходу на нормальний режим роботи (усунення явища "захльобування" колони) необхідно зменшувати швидкість парів, тобто зменшувати тиск пари на вході в колони. В проблемних ситуаціях, які виникають при пуску та роботі БРУ, збурення в зв'язку з непередбачуваним падінням тиску пари можуть призвести до зупинки БРУ та внести дизбаланс в підтримку необхідних значень координат стану: так зване явище "провалу" колон. Таке збурення вноситься нестабільністю роботи котельної установки (особливо в тих випадках, коли котельна установка працює на декілька споживачів, що вже підтверджено практичним досвідом роботи на Узинському спиртзаводі).

Робота окремих відділень спиртового заводу підпорядковується інтересам всієї технологічної системи. Названа особливість враховується в постановці задачі розробки системи автоматизованого управління (САУ). Проте наявність змінних параметрів ускладнює задачу оптимізації роботи ОУ, збільшуючи її розмірність через появу великої групи змінних параметрів, що характеризують режим проведення кожної технологічної операції, а також у зв'язку з появою додаткових умов, що накладаються технологією на ці величини та зв'язки між ними.

Відносно велика автономність окремих підсистем по основному технологічному потоку забезпечується за рахунок наявності проміжного технологічного обладнання, але схеми водопостачання та енергопостачання єдині для всього технологічного процесу, що викликає необхідність координації управління окремими підсистемами БРУ.

Практичні умови проведення процесу брагоректифікації дозволяють виділити ще один метод зменшення багатомірності процесів брагоректифікації. Річ у тім, що аналіз практичної сторони процесів брагоректифікації дозволяє зробити припущення з наближенням, достатнім для цілей управління. Суть цього припущення полягає в розгляді процесів в колонах як ректифікації псевдобінарної системи "етиловий спирт – вода". Умови такого припущення полягають в наступному [2, 3, 7]:

1. Процеси брагоректифікації принципово можна вважати бінарними, оскільки в результаті їх в кожній колоні проходить розділення вихідної суміші на два основні продукти – верхній і нижній.

2. Концентрації домішок в продуктах брагоректифікації невеликі, тому фізико-хімічні властивості сумішей визначаються властивостями бінарної системи "етиловий спирт – вода".

3. Багаторічною практикою встановлено, що технологічні характеристики колон брагоректифікаційних установок, розраховані при допущенні про бінарну суміш, майже співпадають з характеристиками тих же колон в реальних умовах.

В випадку бінарної ректифікації поле концентрації в колонах однозначно визначається розподілом по тарілках концентрації одного компоненту – етилового спирту. Аналізуючи правило фаз [4, 6] можна зробити висновок, що в бінарній ректифікації при стабілізації одного з трьох вказаних полів, два інших однозначно визначають одне одного.

Важливою особливість БРУ являється те, що цей об'єкт є вибухонебезпечним. Цех брагоректифікації відноситься до приміщень класу В-1А. Тому необхідно враховувати підвищені вимоги до безпеки, проектуючи

систему автоматизованого управління БРУ і обираючи необхідний перелік технічних засобів (ТЗ) автоматизації, що будуть встановлюватись за місцем.

Підводячи підсумок вищесказаного, можна зробити висновок, що БРУ як складний ОУ характеризується такими узагальненими особливостями:

- багатоцільовою поведінкою, причому пріоритетність цілей та згортка критеріїв, що відображують цілі, є змінними і залежними від ситуації, яка склалася в поточний момент на об'єкті управління;
- наявністю значної кількості підсистем та рівнів ієрархії, що пов'язані між собою складними структурними та функціональними співвідношеннями та мають взаємовплив між собою;
- процеси брагоректифікації, що проходять в кожній підсистемі, є складними та багатофакторними що характеризуються великою кількістю взаємозв'язаних координат стану;
- необхідність врахування різних критеріїв оптимізації при роботі підсистем, що приводить до задач векторної оптимізації;
- необхідність врахування змінюваних у широкому діапазоні властивостей сировини (бражки та продуктів її виготовлення);
- наявність ієрархічної структури, що зумовлено існуванням глобальної мети системи та частинних цілей підсистем;
- за способом функціонування БРУ відноситься до неперервних ОУ [3, 7];
- з точки зору інформаційної потужності, БРУ в цілому відноситься до ОУ невеликої інформаційної потужності (з числом вимірюваних змінних до 100) [15].

Визначаючи особливості відділень, необхідно враховувати також велику розмірність загальної задачі оптимізації, що обумовлено великою розмірністю координат стану, вихідних змінних, збурень та управлінь. При управлінні в реальному масштабі часу, тобто при оперативній оптимізації, виникає необхідність змінювати матеріальні або енергетичні потоки між підсистемами.

Розглянуті особливості відділень спиртового заводу як складного ОУ

накладають суттєві проблеми при розробці ефективних систем управління, ціль вирішення яких поставлена в даній роботі, та визначають доцільність розробки автоматизованої системи управління, ґрунтуючись на нових підходах сучасної теорії автоматичного управління, зокрема сценарному підході.

1.2. Аналіз сучасного стану автоматизації відділень спиртового заводу

На сучасному етапі розроблені системи автоматизованого управління процесом брагоректифікації, що реалізують вирішення задач [1, 2]:

- стабілізації заданої продуктивності БРУ, при впливу збурень пов'язаних з змінами якісних показників бражки (поздовжня стабілізація технологічного потоку);
- мінімізації енерговитрат на БРУ, при допустимих регламентом втратах спирту з вторинними продуктами брагоректифікації;
- контролю теплотехнічних і аеродинамічних параметрів, визначених правилами техніки безпеки і технологічним регламентом.

Аналіз розробок сучасних автоматизованих систем управління процесами брагоректифікації [1 - 7] показав, що практично в усіх випадках використовується класичний підхід, в основі якого лежить припущення про бінарність процесів ректифікації [2]. В основі даного підходу покладено так зване правило фаз, з якого випливає, що в бінарній ректифікації при стабілізації одного з трьох полів (вказаних в пункті 1.1: поля тиску, поля концентрації, поля температури), два інших однозначно визначають одне одного. Наприклад один з основних прийомів, що використовується згідно з вказаним підходом при управлінні колонами, заключається в стабілізації тиску $P=const$, тоді температура на і-тій тарілці буде функцією концентрації спирту на i-тій тарілці [1, 2, 3, 7].

В наш час на деяких спиртових заводах брагоректифікаційні відділення обладнані системами автоматизації на базі мікропроцесорних контролерів та підключених до них, за допомогою спеціальних інтерфейсів електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) (в більшості випадків в якості ЕОМ використовуються звичайні персональні комп'ютери (ПК), але бувають випадки,

коли для реалізації людино-машинного інтерфейсу використовують промислові дисплейні панелі, або спеціальні ЕОМ (промислові комп'ютери), що мають підвищений захист до умов навколишнього середовища). Функції ЕОМ або дисплейних панелей в даному випадку полягають в організації активного людино-машинного інтерфейсу, який може створюватись практично з нуля за допомогою сучасних мов високого рівня (Delphi, Visual C++, Visual Basic та інших), або ж за допомогою спеціальних інструментальних середовищ з уже готовими розробленими наборами функцій для автоматизації розробки активних інтерфейсів між людиною та машиною - так звані SCADA програми [17] (Factory View, Trace Mode, Monitor Pro, iFix та інші). Таким чином, створюються автоматизовані робочі місця (АРМ) оператора відділення брагоректифікації. Як правило, такі системи дозволяють, окрім організації активного діалогу машини та людини, здійснювати запис значень контрольованих змінних в спеціальні бази даних (БД) для можливості їх перегляду в подальшому (реєстрація найбільш відповідальних параметрів виконується самописними приладами на твердих носіях). АРМи оператора можуть працювати автономно або можуть об'єднуватися в спеціальні промислові мережі, що дозволяють об'єднувати всі мікропроцесорні контролери та АРМ операторів всіх відділень спиртзаводу, а також здійснювати інтеграцію рівня автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) спиртзаводу та рівня автоматизованої системи управління підприємством, яка також включає в себе управління бізнес-процесами спиртового виробництва.

Основною задачею таких САУ є зменшення контурів управління, що контролюються людиною. Основні задачі по управлінню процесом виконує мікропроцесорна САУ, яка допускає декілька режимів управління технологічним процесом, в тому числі активний вплив оператора на ТП, але такий підхід не усуває ті недоліки, за які йшла мова вище.

Таким чином, засоби автоматизації, створені для підвищення ефективності проходження процесів брагоректифікації, лише частково вирішують задачу по зниженню енергоспоживання і втрат спирту, підвищення якісних показників

продукту на виході. Але основна роль в управлінні процесом належить оператору. Це пов'язано з особливостями просторового розміщення основного технологічного обладнання, вибухонебезпечністю процесу, великою кількістю контрольованих параметрів [1, 2] та специфікою БРУ як складного ОУ. Управління процесом брагоректифікації в складних конфліктних ситуаціях повністю засновано на інтуіції і досвіді оператора, який, виходячи з результатів суб'єктивних спостережень, аналізує величини температури і тиску в контрольних точках обладнання, приймає оперативні рішення по управлінню процесом. Але так як на процес постійно діють випадкові збурення (зміна вмісту спирту в бражці на вході, тиску пари і т. п.), то в такому випадку є велике запізнення в контурі регулювання якості вихідного продукту. Оператор БРУ не може оперативно сприйняти і обробити цей потік інформації і прийняти оптимальне рішення по управлінню процесом: виникає так звана невизначеність у вирішенні поставленої задачі. Оператор зобов'язаний аналізувати множину інформаційних параметрів і приймати управляючі рішення інколи в умовах недостатньої інформації і дефіциту часу.

В критичних ситуаціях людина не здатна справитися з великим потоком інформації і часто помиляється при ідентифікації ситуації, що виникає. Розпізнавання ситуації на рівні засобів локальної автоматики, та й навіть мікропроцесорної техніки (в програмне забезпечення, якої закладені класичні підходи до управління БРУ) не є можливою, так як необхідний аналіз параметрів системи в цілому, або її окремих функціонально - пов'язаних укрупнених частин. Все це знижує оперативність і якість прийняття рішень, робить їх багато в чому залежними від досвіду і особистих характеристик людини-оператора.

Виходячи з вищесказаного можна виділити дві узагальнені стадії управління, що лежить в основі сучасних підходів до автоматизації БРУ:

1) оцінка початкових умов процесу:

- якість бражки;
- температура охолоджувальної води;
- параметри пари;

- конструктивні особливості БРУ.

2) задання необхідних режимів роботи для забезпечення управління у відповідності з поставленим критерієм:

- максимізація продуктивності на виході з БРУ;
- забезпечення відповідних якісних показників вихідної продукції;
- мінімізація втрат спирту в барді та недопущення втрат в лютерній воді;
- зниження енергоспоживання.

Для БРУ виконані роботи по створенню САУ різного рівня і призначення [1,2], в яких вирішувалися проблеми знаходження оптимальних значень змінних (режимних параметрів) і навантажень для всіх технологічних операцій, але задача розробки САУ БРУ, що будується на сучасних теоретичних основах синтезу систем управління, зокрема на основі сценарного підходу до синтезу систем управління, в цілому не розглядалась. Тому доцільним напрямом автоматизації процесу брагоректифікації є синтез систем автоматизації, які здійснюють вирішення задач невластивих системам автоматизованого управління, що будуються на розповсюджених класичних принципах.

1.3. Принципи та методи управління складними технологічними комплексами

Розглядаючи БРУ складним технологічним комплексом (ТК) і при розробці системи автоматизації для нього виконують декомпозицію на ієрархічні рівні, які в свою чергу складаються з певної сукупності підсистем.

При розробці систем управління ТК БРУ необхідно виділити найбільш вагомі ознаки, що враховуються при синтезі систем управління для складних технологічних комплексів [17]:

- за кількістю підсистем, для яких існують підзадачі оптимального управління з їх необхідними ресурсами: малозадачні та багатозадачні. До перших відносяться, для яких існує не більше двох підзадач оптимізації, до других — три і більше;

- за кількістю підсистем, які координуються: мало- та сильнокоординовані. До перших відносяться з двома підсистемами, що координуються, до других — з трьома і більше;

- за трудомісткістю підзадач оптимізації і координації: з низькою та значною трудомісткістю управління. До першої групи відносяться такі, для яких трудомісткість задач координації значно менша за трудомісткість задач оптимізації, до другої — коли трудомісткість підзадач оптимізації та координації мають приблизно одне значення, або коли підзадача координації перевищує за трудомісткістю підзадачі оптимізації. Кількісною оцінкою є час розв'язання підзадач або кількість машинного часу.

Для аналізу процесу функціонування та формування і розв'язання задач оптимізації підсистем визначальне значення мають характер зв'язку між ними та взаємний вплив режимів або навантажень.

На сучасному етапі синтезу та розробки систем управління складними ОУ необхідними передумовами є вивчення таких властивостей ОУ, які дали б змогу об'єктивно підійти до створення ефективних систем управління [18].

Так ТК БРУ спиртових заводів представляються як дворівневі ієрархічні системи. Нижнім рівнем таких ієрархічних систем є САУ режимними параметрами (стабілізації температури, тиску, і т. п.), а верхнім – забезпечення кінцевих показників якості (чистота, концентрація, тощо).

Сучасні автоматизовані системи управління складними ТК є комп'ютерно-інтегровані системи управління (КІСУ), основна метою яких є вирішення задач оперативно-диспетчерського управління виробничим комплексом, оптимізація організації технологічного процесу, облік, контроль, аналіз виробництва та оперативне управління в умовах, коли дестабілізація ситуації виникає у зв'язку з порушенням процесу виробництва переважно з внутрішніх причин, які можна передбачити заздалегідь.

Глобальна ціль систем управління ТК враховує частинні цілі підсистем, що виникають в результаті декомпозиції ТК на ієрархічні рівні [17, 18].

Аналізуючи вимоги до сучасних систем автоматизації ТК БРУ (їх надійності, ефективності, безпеки, автономності, тощо), важливою проблемою стало підвищення якості функціонування та показників роботи системи управління, що пов’язане з тим, наскільки ефективно можливо використовувати ресурси управління технологічним комплексом при виникненні складних та аварійних нештатних ситуацій.

На основі аналізу функціонування, складних ТК, були визначені узагальнені показники, які використовуються при синтезі САУ ТК [17]:

1. Кількість інформаційних параметрів, що характеризують якісні і кількісні показники роботи ТК БРУ. Цей показник визначає конструктивну структуру САУ, ресурс пам’яті, необхідної для зберігання та обробки інформації, та значною мірою кількість прикладних функцій.

2. Оцінка динаміки процесів в ТК, що визначаються в процесі експериментального або імітаційного функціонування ТК, і які в свою чергу, можуть підрозділятися на такий ряд показників:

2.1. Показники інерційності технологічних процесів (сталі часу по окремих каналах, автокореляційні функції зміни технологічних величин, тощо).

2.2. Показники зміни якісних та кількісних характеристик сировини, енергоносіїв, допоміжних матеріалів та інших основних збурень на ТК.

Ці показники визначають необхідну періодичність зміни інформації, тобто ступінь завантаження задачами отримання, обробки та подання інформації, а також суттєво впливають на характер вирішуваних оптимізаційних задач (задач статичної або динамічної оптимізації). Таким чином, вони визначають вимоги до швидкодії технічних засобів і об’єму їх пам’яті, а також видів алгоритмічного і програмного забезпечення САУ.

3. Ступінь типізації технологічного обладнання ТК БРУ, яка визначається наявністю типових процесів та апаратів на однорідних ТК різних

заводів галузі. Цей показник впливає на вимоги до гнучкості функціональної, технологічної і алгоритмічної структури КІСУ БРУ.

4. Оцінку множини підсистем ТК, що в свою чергу виділяють такі кількісні показники:

4.1. показники кількості підсистем, для яких оптимізація режимів роботи має суттєве значення.

4.2. показники кількості підсистем, що потребують оперативної координації.

Ці показники є визначальними при розробці КІСУ ТК БРУ, оскільки підвищення ефективності роботи деяких підсистем суттєво впливає на підвищення ефективності роботи всього ТК БРУ.

5. Трудомісткість при вирішенні задач оптимізації та координації в реальному масштабі часу.

6. Важливими показниками є показники, що визначаються на основі структурної топології ТК:

6.1. показники геометричної топології ТК, що задають необхідну довжину ліній зв'язку, а також визначають структуру з'єднань окремих пунктів КІСУ.

6.2. показники технологічної топології, що визначають функціональність та алгоритмічну наповнюваність КІСУ.

7. Оцінка ступеню автономності окремих ТК у складі технологічного процесу брагоректифікації в цілому, яка визначає необхідність взаємозв'язку між окремими пунктами управління КІСУ, а також суттєво впливає на складність задач координації роботи окремих ТК та оптимізації режимів кожного ТК.

8. Оцінка стаціонарності характеристик ТК, тобто зміни у часі параметрів математичних моделей технологічних процесів і ОУ, що входять до складу ТК. Нестаціонарність характеристик процесів приводить до необхідності розробки задач ідентифікації параметрів та адаптації системи у реальному часі.

Неоднорідність простору перелічених вище показників викликана тим, що вони, по-перше, вимірюються у різних шкалах, по-друге, для більшості з цих

показників відсутній спосіб кількісного вимірювання. Це, з одного боку, ускладнює вимірювання цих показників, а з іншого, спрощує висновок про доцільність, чи недоцільність розробки КІСУ БРУ.

З точки зору динамічних властивостей, у складі основних ТК галузі знаходиться різноманітне обладнання. По-перше, це приводить до необхідності достатньо швидкого відображення малоінерційних змінних (в першу чергу витрат та тисків), а по-друге, визначає можливість вирішення задач статичної оптимізації, тому що вплив основних збурень, пов'язаних із якістю сировини, має суттєво більший період зміни, порівняно із часом завершення перехідних процесів за основними режимними змінними процесу [2].

Сучасні підходи та принципи управління ТК БРУ з комплексу локальних задач управління технологічними процесами та виробництвом в цілому передбачають:

- здійснення автоматичного регулювання та логіко - програмного управління процесами та агрегатами. Синтез такого роду систем в більшості випадків виконується на основі класичної теорії автоматичного управління, а також з застосуванням спеціальних тематичних напрямків синтезу систем управління, методів лінійного та динамічного програмування, багатокритеріальної оптимізації;
- моделювання та оперативну ідентифікація складних ОУ з метою оцінки їх стану, пошуку оптимальних режимів та прогнозування техніко-економічних показників функціонування;
- оперативну оптимізацію роботи в ТК БРУ реальному масштабі часу, це зумовлює необхідність змінювати не лише матеріальні та енергетичні потоки між підсистемами ТК, а й режими їх роботи;
- ситуаційне управління ТК БРУ, починаючи з початку виконання програми управління (пуску роботи всіх технологічних ОУ, переводу ОУ з одного режиму роботи на інший, вирішення проблемних конфліктних ситуацій, що виникають в процесі роботи ТК та коректного завершення роботи всіх ОУ та підсистем, що входять до ТК). Даний підхід ґрунтується на побудові КІСУ з

використанням методів штучного інтелекту, експертних систем, синергетичної теорії управління [13] та алгоритмів координації роботи підсистем.

Задачі, які ставляться перед КІСУ ТК БРУ, що розробляються на сучасному рівні, включають в себе вирішення проблеми покращання техніко-економічних показників роботи виробництва в цілому, а саме:

- збільшення випуску продукції на існуючому обладнанні при наявних ресурсах;
- зменшення простоїв виробництва;
- охоплення системами управління як технологічних процесів і комплексів, так і інших взаємопов′язаних сфер — складів, енерго- та водопостачання, підсистем технологічного та економічного моніторингу, тобто вирішення ряду бізнес-задач всього виробничого комплексу виготовлення спирту;
- прийняття рішень в умовах невизначеності. При цьому передбачається: посилення взаємозв′язків між персоналом на різних рівнях виробництва в рамках гнучких промислових мереж з динамічним обміном інформацією між користувачами на рівні підприємства як складної соціально-технічної системи [19].

В такому випадку слід виділити такі види інтеграції між кожним рівнем ієрархії ТК та сукупністю його підсистем, а саме:

- функціональної, що забезпечує єдність та узгодженість виконання технологічних і виробничо-господарських функцій (функцій бізнес-процесів);
- організаційної, що дає можливість організувати необхідну взаємодію оперативно-технологічного персоналу на різних рівнях ієрархії управління;
- програмної, що в умовах інтегрованого виробництва сприяє використанню узгодженого та взаємопов′язаного програмного забезпечення;
- інформаційної, заснованої на комплексному підході щодо створення єдиної інформаційної бази для забезпечення інформаційної взаємодії всіх компонентів у системі управління;

- технічної, що полягає у створенні єдиної структури “технологічний об′єкт — система управління” для підвищення ефективності функціонування цього автоматизованого комплексу [17].

Особливостями ТК БРУ спиртзаводу є наявність значної кількості підсистем, зв’язаних між собою складними структурними та функціональними відношеннями, що являють собою складну ієрархічну структуру.

Проблема прийняття рішень в області управління виробничими системами пов’язана не тільки з дослідженням і точним знанням стану організаційної системи, її структури та механізму функціонування, але й з вибором методів та засобів реалізації рішень по управлінню. Об’єктивні рішення можна приймати тільки в тому випадку, якщо є надійна інформація, яка точно відображає стан проблемної ситуації, поставлені цілі та задачі.

Таким чином, для КІСУ БРУ важливим є те, що підсистеми управляються окремими технологічними станціями, які забезпечують виконання всіх прикладних функцій. В той же час автономність підсистем обмежена та завжди існує необхідність координації їх роботи.

Оскільки на сучасному етапі аналізу ТК будь-якої галузі промисловості виділяють по 2-3 підсистеми автоматизованого управління нижнього рівня [18] (рівень технологічних процесів), тому часто створюють розподілені мікропроцесорні системи управління, в структуру яких входить декілька АРМ оператора що об’єднуються в промислову мережу.

Поряд з розширенням інформативності і підвищенням якісних показників процесу управління, зниження інформаційного навантаження на оператора, КІСУ БРУ можуть контролювати обстановку в цілому і аналізувати ситуацію, що склалася, але тільки за умови, якщо для цього є необхідне спеціалізоване програмне забезпечення. Як було вказано в (пункті 1.2), сучасні КІСУ ТК дозволяють здійснювати запис інформації про хід ТП в бази даних (БД), а також здійснювати запис найбільш відповідальних параметрів самописними приладами на тверді носії. При цьому аналіз режимів роботи ТК по записаним даним утруднений, особливо, коли розглядається довгий період (неділя, місяць, квартал).

Роль людини в таких системах зводиться до спостереження за процесом управління, прийняття управлінських рішень в масштабі всього ТК виробництва спирту, своєчасному розпізнаванні і усуненню аварійних ситуацій, виконання функцій, що не є можливими для САУ побудованих на відомих підходах [1-7].

З сучасного рівня теорії автоматичного управління складними ОУ, можна зробити висновок, що для розробки систем управління, які забезпечували б високі показники якості управління роботою ТК існують загальні основи, але для кожної окремої задачі необхідно проводити спеціальні дослідження кожного об'єкта управління, що входить в ТК БРУ, для виявлення характерних ознак його функціонування.

1.4. Проблеми автоматизованого управління відділеннями спиртового заводу

Основні проблеми управління пов'язані з особливостями збурень та їх характером впливу на процеси виробництва спирту (основні особливості збурень були проаналізовані в пункті 1.1). Оскільки процеси приготування спирту піддаються дії випадкових збурень зі сторони сировини, що надходить, енергоресурсів, температури в колонах. Слід виділити основні проблеми при управлінні спиртовим заводом, що можуть виникати при його експлуатації.

Важливою проблемою при управлінні відділенням є визначення джерела збурень, що часто займає значний відрізок часу та спряжено з аналізом виробничої ситуації. В таких умовах значно знижується ефективність управління через високу розмірність задачі синтезу управляючої дії в реальному масштабі часу.

Розроблені алгоритми управління процесом виробництва спирту по режимним параметрам, що знайшли широке промислове застосування, мають низьку надійність в зв'язку, з великим запізненням контролюючих параметрів та властивостями багатомірності і багатозв'язності ОУ.

Виходячи з аналізу існуючих типів автоматизованих систем управління відділенням слід виділити наступні недоліки [2] в різного роду системах:

В системах першого типу, структура зображена на рис. 1.1. Система складається з трьох локальних САР, що пов’язані тільки через процес, а саме через потоки проміжних продуктів. В якості регульованих величин взяті непрямі параметри. Система управління БК складається з трьох одноконтурних систем, що здійснюють стабілізацію перегонки бражки по наступним трьом каналам: витрата пари - тиск низу БК, витрата бражки - температура верху БК, витрата охолодної води - температура відходячої води.

Система управління епюраційною колоною складається з двох одноконтурних систем, що керують по каналам: витрата пари - тиск в нижній частині колони, витрата охолоджувальної води – температура води після дефлегматора.

Система управління ректифікаційною колоною складається з контурів регулювання тиску в нижній частині колони, регулювання теплового режиму конденсатора дефлегматора, а також, характерної тільки для РК, каскадної системи управління відбором спирту ректифікату. В даному підході найбільш впливовою та характерною величиною є температура на контрольній тарілці $Q_{кт}$, по якій здійснюється аналіз концентрації етанолу.

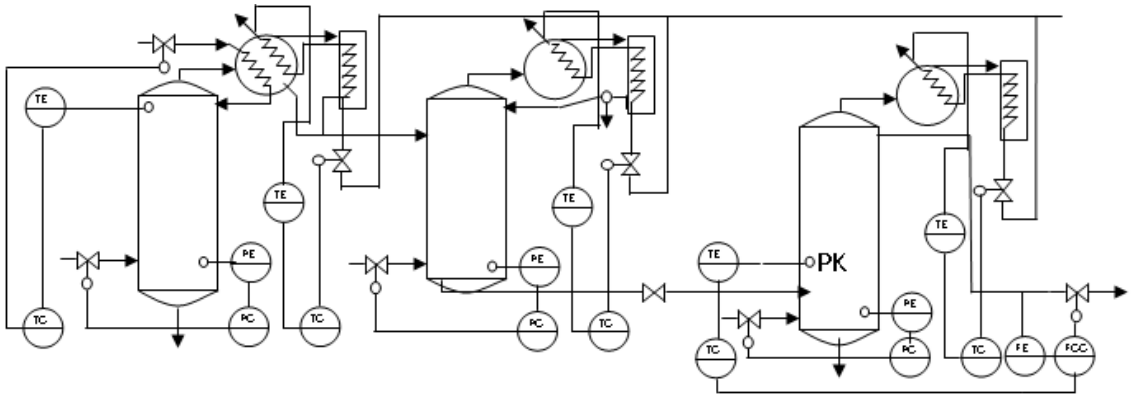


Рис.1.1. Схема автоматизації БРУ систем першого типу

Принциповими недоліками є те, що:

- узгодженість режимів роботи колон задає оператор, що накладає певні суб’єктні недоліки при управлінні процесом, негативно впливає на стабілізацію технологічного потоку;
- не враховується ступінь зв’язку множини взаємозв’язаних параметрів.

В системах другого типу (рис.1.2, рис.1.3) може розглядатися як система для поздовжньої стабілізації при завданні продуктивності по вихідній сировині – бражці.

Перевагами такої системи є те що, вона враховує концентрацію етанолу в бражці.

Витрата бражки стабілізується за допомогою одноконтурної системи 1, у випадку переходу на іншу продуктивність по бражці легко здійснюється шляхом зміни завдання регулятора подачі бражки. Збурення по концентрації етанолу компенсуються за допомогою, суміщеного на схемі, каскадного регулятора 2. Принциповим недоліком даного підходу є те що, як і в системах попереднього типу, не враховується інформаційний зв'язок між колонами.

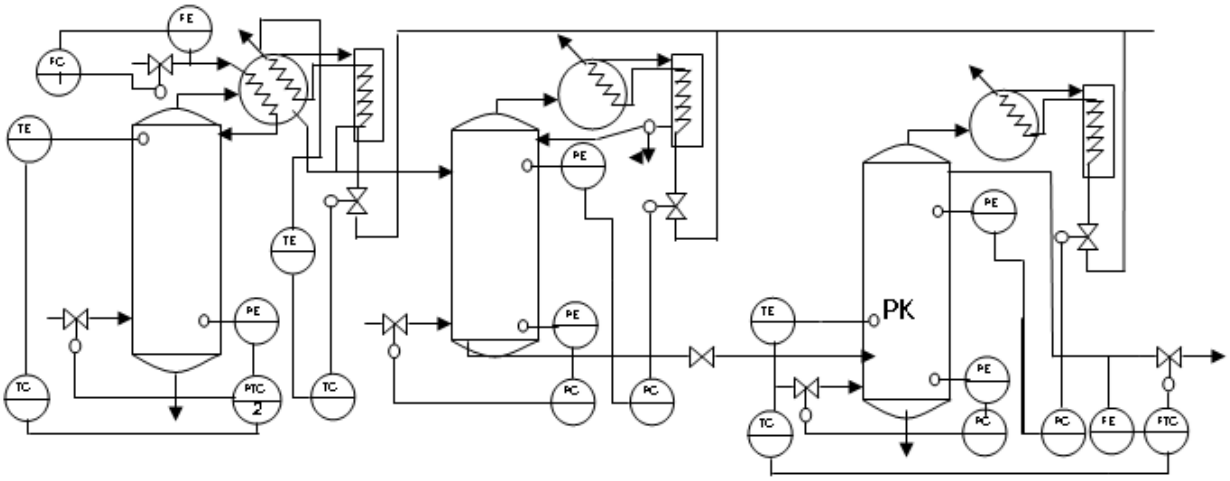


Рис. 1.2. Система другого типу

- відсутність автоматичного узгодження режимів роботи різних колон, що накладає суттєве збурення на стабілізацію параметрів в нештатних ситуаціях.

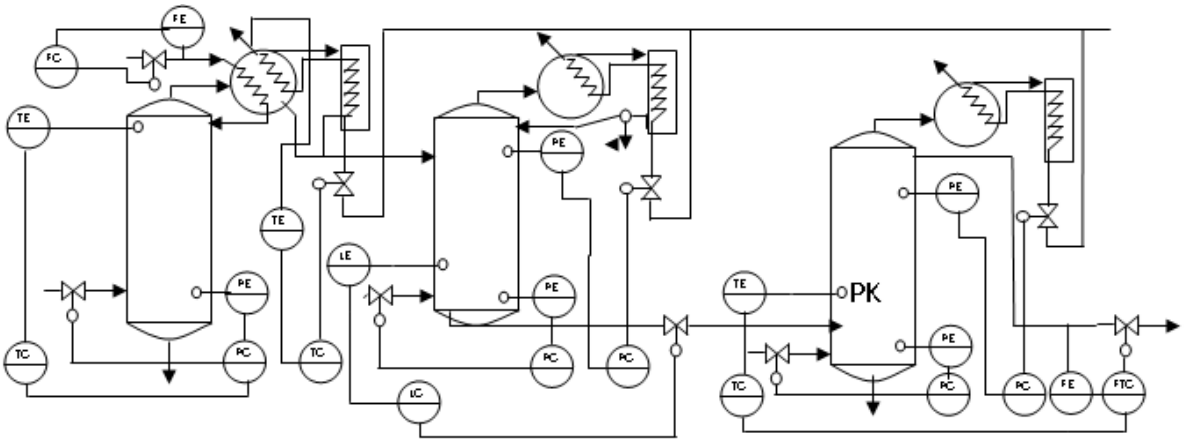


Рис. 1.3. Варіант системи другого типу з первинним перетворювачем рівня епюрату

Узагальнюючи основні властивості збурень (пункт 1.1) з точку, зору проблем управління БРУ, слід виділити, що збурення по витраті та температурі бражки, швидкості пари та тиску пари, а також збурення по витраті охолоджувальної води на дефлегматори – конденсатори в деяких ситуація та при певних умовах роботи БРУ слід розглядати як особливо небезпечні для сучасних САУ БРУ. Така особливість пояснюється властивістю багатозв'язності БРУ: бражка перед надходженням до БК обігрівається парами в підігрівачі БК, а охолоджувальна вода, що подається на дефлегматор-конденсатор РК, спочатку проходить через холодильник. Такі зв'язки покращують енергетичні характеристики БРУ, але сворюють суттеві проблеми при управлінні процесом брагоректифікації, що будуються на розповсюджених класичних принципах.

До проблем управління процесами брагоректифікації слід виділити питання, що пов'язані з збуреннями по концентрації спирту в живленні. Вирішення такого роду задач має певні труднощі особливо для тих систем, які побудовані на основі регулювання непрямих показників [2], оскільки через запізнення проходження процесів масообміну реакція датчиків тиску та температури суттєво запізнюється: така особливість суттєво впливає на підтримку заданих режимів роботи БРУ.

Важливою проблемою, що виникає при управлінні БРУ, є компенсація збурення в зв'язку з недогрівом живлення, яке приводить до небажаних змін тиску та температури в колоні, що в свою чергу зумовлює небажані зміни спирту та домішок, особливо в нижній частині колони. В такому випадку САУ БРУ збільшує витрату пари на колони, що створює проблему іншого характеру, пов'язану з погіршенням техніко-економічних показників роботи БРУ. Такий підхід має конфліктний характер, що потребує залучення методів вирішення конфліктних ситуацій.

Суттєвим збуренням для систем управління, які побудовані на звичайних законах регулювання, є підвищення швидкості парів по колоні, що пов'язано

режимами роботи дефлегматорів-конденсаторів. В багатьох випадках через велике запізнення по каналу управління це може стати причиною явища “захльобування” колони (пункт 1.1). При стабілізації швидкості пари в колоні за допомогою локальних регуляторів, або мікропроцесорної системи управління не вдається досягнути необхідних якісних показників перехідних процесів. У випадках, коли здійснюють перехід з автоматичного на ручний режим регулювання подачі пари, підтримати необхідну швидкість пари в колоні практично неможливо. Тому для попередження явища “захльобування” зменшують швидкість пари, що зумовлює зниження ефективності процесів розділення [2]. Така ситуація, як і в попередньому випадку, має конфліктний характер.

Важливою особливістю роботи САУ БРУ, що приводить до певних проблем, пов’язаних з підтримкою заданих режимів роботи установки, є недоврахування в алгоритмах управління збурень по концентрації деяких небажаних домішок в потоках живлення колон, особливо епюраційної та ректифікаційної, в яких проходять процеси очистки етилового спирту від домішок. Зокрема, мова йде про концентрацію метанолу в бражному дистиляті та епюраті. Особливості такого збурення розглянуті в роботі [7].

Однією з важливих проблем управління БРУ є координація роботи БРУ в сукупності з котельними установками. Ця проблема є важливою особливо в тих випадках, коли котельна установка має більше одного споживача (пункт 1.1). При цьому, коли виникає ситуація, що необхідно підвищити витрату пари на установку, а ресурси управління по каналу подачі пари не вистачає, як наслідок, даної ситуації може стати явище “провалу” колон. Таке явище супроводжується дестабілізацією режимів роботи кожної з колон, як наслідок, БРУ, що в цілому це приводить до погіршення якісних та техніко-економічних показників роботи установки. У випадку нескоординованих дій САУ та неправильного вирішення поставленої проблеми оператором це може привести не тільки до погіршення якісних та техніко-економічних, показників, а також стати причиною зупинки БРУ.

В більшості випадків ситуації, що виникають в зв’язку з перерахованими проблемами, мають складний конфліктний характер і потребують залучення сучасних методів та алгоритмів, які здатні вирішити проблеми, що виникають в процесі управління спиртовим заводом.

Однією з найхарактерніших рис відділень спиртового заводу як складного об’єкта управління є багатозв’язаність. На результати функціонування більшості багатозв’язних систем впливає водночас багато взаємозв′язаних перехресними зв’язками вихідних змінних. Тому для таких систем проблема побудови оптимальної САУ зводиться до екстремізації функціоналу, що залежить водночас від багатьох вихідних величин у їх взаємозв’язку.

При розв’язку задач оптимізації управління багатозв’язним ОУ виникає додаткова проблема великої розмірності ОУ. На теперішньому етапі не розроблені науково обгрунтовані методи вирішення висвітлених проблем управління, а традиційні методи управління не дають очікуваного результату. Тому однією із найважливіших проблем у сфері управління складними ОУ є розробка методів побудови інтелектуальних систем управління на основі сценарного підходу [15].

До синергетики (теорії самоорганізації) [13], як до науки, що вивчає поведінку нелінійних систем вдалині від положення рівноваги при зміні деяких керуючих параметрів, найбільш близька по своїй ідеології прикладна теорія управління. У цьому зв'язку представляється досить перспективним для розвитку сучасної теорії управління здійснити спробу переносу описаних вище властивостей синергетичних систем на досліджувані системи керування нелінійними технічними об'єктами.

Складність технологічних схем ускладнює вирішення поставленої проблеми, виходячи з теорій та законів, що виражаються в кількісній формі, і вимагає додаткове використання інформації описового характеру. З вдосконаленням програмної бази інструментальних середовищ розробки та ростом обчислювальних потужностей ЕОМ дозволить здійснити вирішення поставленої проблеми, та здійснити розробку прикладної інтелектуальної САУ спиртового заводу на основі сценарного підходу.

При створенні інтелектуальної системи управління спиртовим заводом завжди виникає необхідність розв’язання кількох взаємозв’язаних задач:

- аналіз структури спиртового заводу, виділення підсистем в складі ОУ;
- формування функціональної структури відділень;
- вибір методу декомпозиції загальної задачі управління;
- формалізація локальних та глобальної задач у вигляді, зручному для їх чисельного розв’язання;
- формування технічної структури як відображення функціональної на множині технічних засобів;
- розробка алгоритмів розв’язання задач функціональної структури, програмного забезпечення інтелектуальної САУ.

Для умов харчової промисловості побудова та дослідження такого роду систем управління не проводилась.

Можна стверджувати, що впровадження інтелектуальних САУ без алгоритмів інтелектуальної обробки даних неможливе, крім того нові напрямки в штучному інтелекті дозволяють з успіхом вирішувати задачі, що мають проблемний характер.

На кожному з етапів розробки автоматизованої системи управління виникає проблема перевірки існуючих методологій та підходів до розробки складових підсистем автоматизованої системи управління. Зокрема, на початкових етапах розробки, інформація про об’єкт управління та методи розробки системи управління, має високий рівень невизначеності. Окремою проблемою є визначення та використання різних критеріїв для дослідження об’єкта управління та формування фреймових структур сценарію управління. Тут зустрічаються різні підходи: як використання комплексних показників, так і частинних. Одним з важливих питань є врахування ролі людини в кожному з контурів управління.

З практичної точки зору задача ефективного управління відділенням зводиться до формулювання його як задачі верхнього рівня системи автоматизації. При цьому ця задача не в повній мірі враховує ті властиві для процесу виробництва спирту характерні особливості, які є ключовими в

управлінні, а саме мова йде про параметри порядку, які є ведучими для всіх інших режимних параметрів [20].

Виділення цієї частини змінних виконується на основі комп'ютерного експерименту, та аналізу впливу різних змінних на якісні показники спирту та оптимальні режими роботи відділення БРУ в цілому. Тоді на верхньому рівні, у відповідності з поставленим критерієм, яким може бути: (максимізація продуктивності БРУ, зниження втрат спирту в барді, зменшення енергоспоживання БРУ, тощо), обирається відповідний сценарій. Однією з головних складових сценаріїв є математичні моделі, що описують окремі сторони процесів брагоректифікації.

В залежності від зміни ситуації на ОУ, визначається образ ситуації та множина допустимих управлінь у відповідності із згорткою критеріїв управління та цільовими функціями. Згортка критеріїв в даному випадку має однозначний зв'язок з визначенням початкових умов та цілей управління. В такому випадку статична та динамічна оптимізація відділень дозволяє здійснити стабілізацію роботи.

Сценарій слугує для встановлення необхідних режимів роботи установки, а також стабілізації режимних параметрів, які не увійшли в загальну задачу, а в свою чергу, є веденими.

Таким чином, необхідно обрати методи вирішення задачі управління починаючи з найнижчого рівня ієрархії процесу ректифікації шляхом декомпозиції, а також розподілу прикладних функцій між рівнями та між підсистемами в межах системи управління відділеннями.

Виходячи з загальної постановки задачі автоматизації відділень спиртового заводу можна вважати, що загальна задача управління складається з двох основних частин:

1. задачі створення підсистем управління процесами на кожному з рівнів ієрархії управління технологічними агрегатами.
2. вирішення задачі координації їх роботи в загальному комплексі.

Така постановка ставить нову задачу, що полягає в оптимальному

розділенні технологічного комплексу БРУ та Бродилки на окремі ієрархічні рівні. В такому випадку слід врахувати, що в БРУ існують також зв'язки особливого типу між підсистемами, які визначаються їх призначенням та фізичною природою. Це відрізняє БРУ від великих багатомірних ОУ інших типів.

Складність задачі управління процесами брагоректифікації обумовлена її високою розмірністю, складною структурою математичної моделі та кількістю взаємних зв'язків між підсистемами.

Таким чином, для вирішення поставленої задачі доцільно на першому етапі формалізований опис процесу ректифікації розділити на ієрархічні рівні, представити процес у вигляді загальної ієрархічної математичної моделі брагоректифікаційної установки. На другому етапі здійснюється узгоджений розв'язок задач приведення складного просторово часового опису поведінки розподілених середовищ кожного з рівнів ієрархії математичної моделі, що мають велику кількість степенів вільності, до адекватного опису нелінійною системою невеликої розмірності [21].

Вирішення поставленої проблеми дасть змогу визначити параметри порядку у відповідності з вимогою досягнення екстремуму загальним критерієм для БРУ. Отримані результати дозволять створити сценарій розвитку об'єкта управління, що являє собою комплекс моделей мережевого типу, які відтворюють процеси змінювання обстановки в об'єкті управління в різних часових та просторових координатах з доцільною дискретністю – ситуаційно значущих зон. Розробка сценарію розвитку об'єкта і на їх основі алгоритмів управління з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій, сучасних досягнень теорії та практики управління (синергетичний підхід та інтелектуальні механізми) дозволять підвищити ефективність управління брагоректифікаційними установками спиртового виробництва, що є безумовно актуальною задачею.

1.5 Постановка задач дослідження

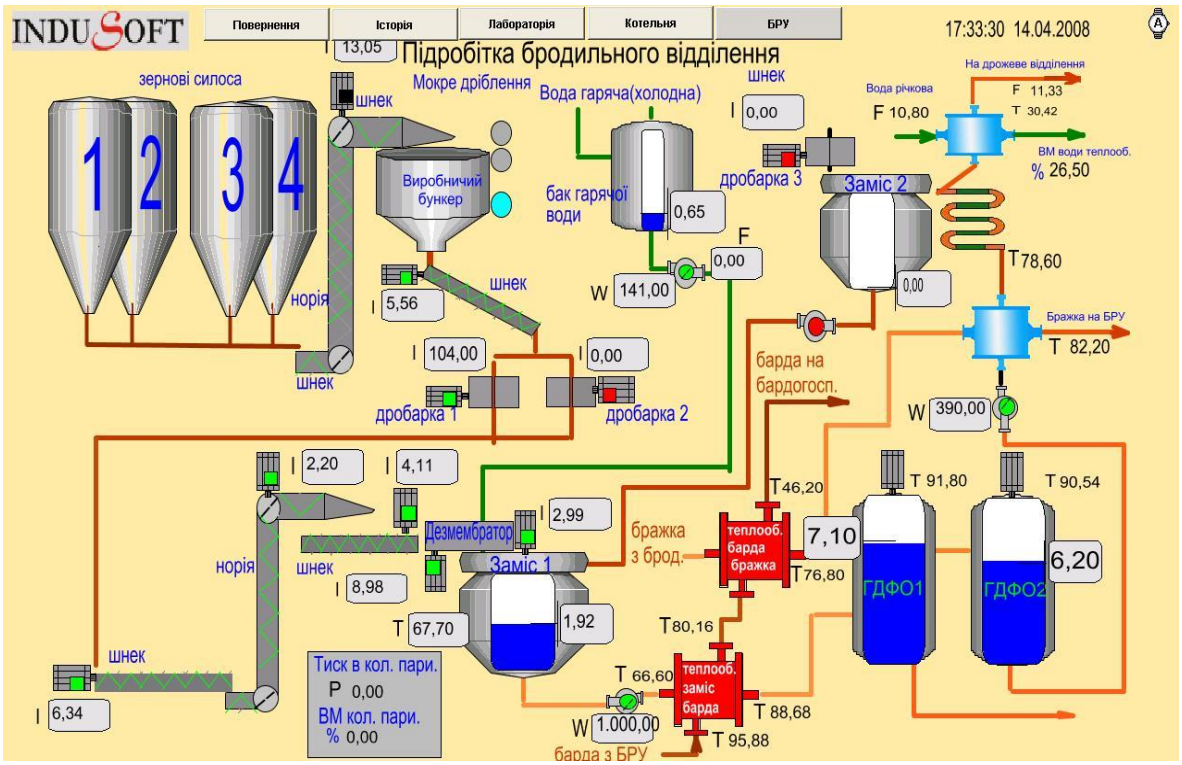
У відповідності з поставленою метою необхідно провести наступні дослідження та вирішити такі задачі:

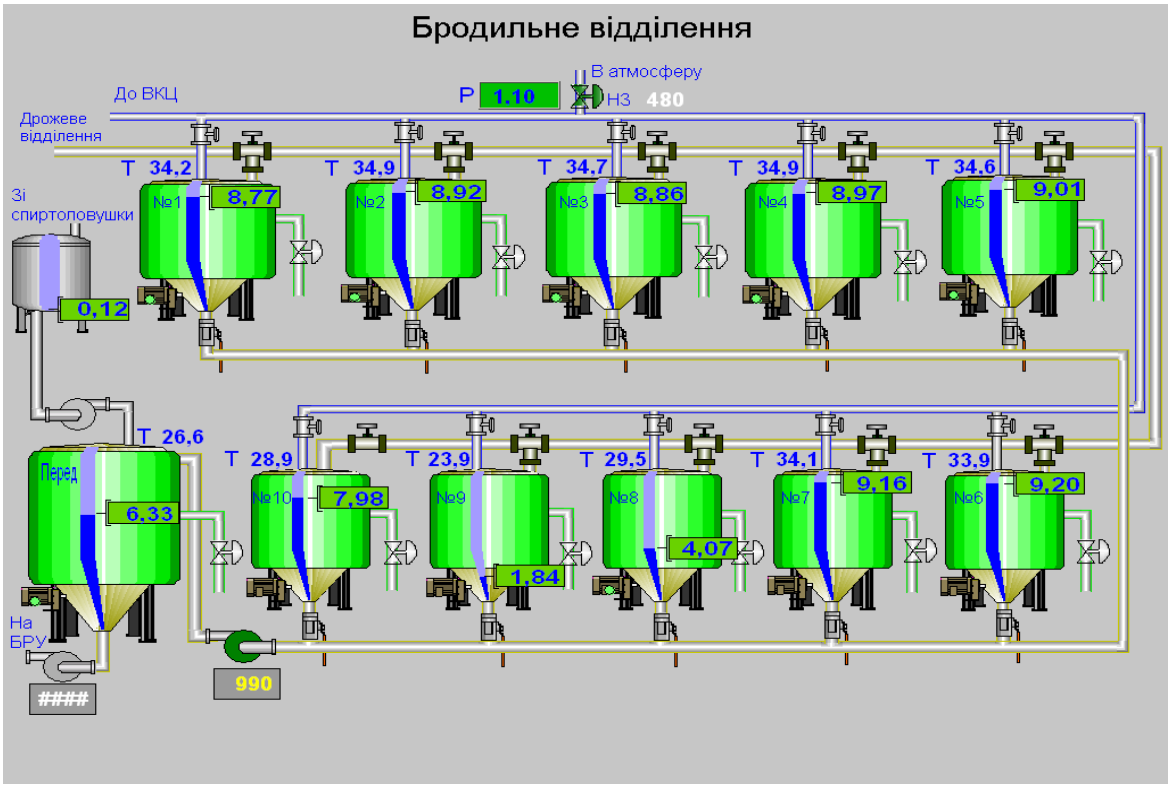
- побудова багаторівневої математичної моделі спиртового заводу та її дослідження;
- статистичний аналіз експериментальних даних функціонування спиртового заводу для виявлення основних властивостей та поведінки як складного об’єкта управління (ОУ) і побудова на їх основі алгоритмів сценарного управління;
- розробка алгоритмів багатоцільового управління відділеннями в умовах невизначеності на основі сценарного підходу, які дозволять підвищити якість продукції та продуктивність установки із забезпеченням мінімальних питомих витрат ресурсів;
- розробка сценаріїв управління, які забезпечують організацію ефективних стратегій управління на основі інтелектуального аналізу ситуацій та динамічної пріоритетності критеріїв управління;
- побудова інтелектуальної підсистеми автоматизованого управління сиртовим заводом.

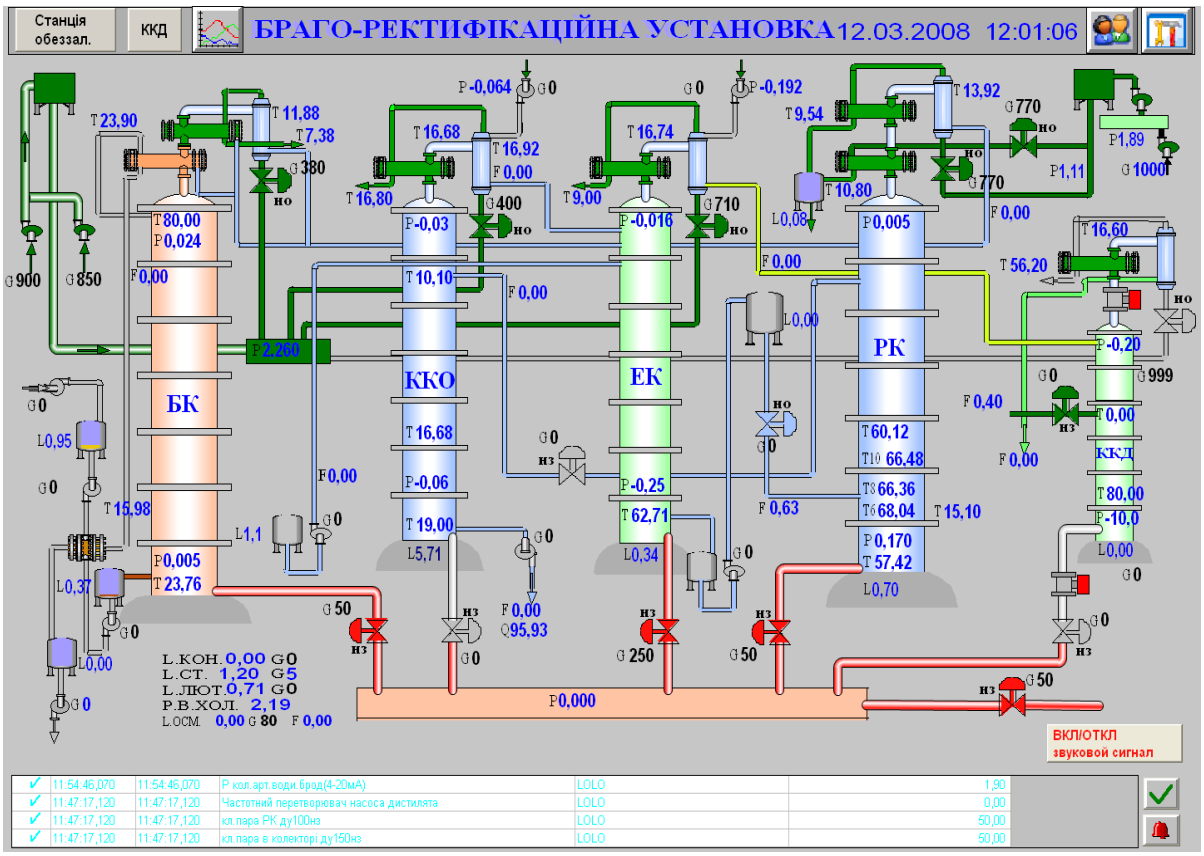
Розділ 2. Розробка Моделей в задачах автоматизованого управління ВІДДІЛЕННЯМИ СПИРТОВОГО ЗАВОДУ

2.1. Опис процесу виробництва спирту.

Процес починається з дроблення початкової продукції та попадання її до чанків замісу, де змішується з водою та ферментом, перекачується в ГДФО, де проходить оцукрювання. Після перекачки до теплообмінників сусло попадає до бродильних чанів. Після проходження цих процесів бражка потрапляє на брагоректифікацію. Процеси, які протікають в брагоректифікаційних установках мають на меті виділення легколетючого компоненту – етилового спирту з браги. Виділення спирту досягається багаторазовим випаровуванням і конденсацією в колонах БРУ. При синтезі системи управління на основі сценарного підходу базовим варіантом брагоректифікаційної установки була обрана трьохколонна установка, яка складається з трьох колонн, а саме бражної колони БК, епюраційної колони ЕК, ректифікаційної колони РК.




Бродильне відділення
До ВКЦ
В атмосферу
Р 1,10
НЗ 480
Дрожеве відділення
Зі спиртоловушки
0,12
Т 34,2
№1 8,77
Т 34,9
№2 8,92
Т 34,7
№3 8,86
Т 34,9
№4 8,97
Т 34,6
№5 9,01
Т 26,6
Перед 6,33
Т 28,9
№10 7,98
Т 23,9
№9 1,84
Т 29,5
№8 4,07
Т 34,1
№7 9,16
Т 33,9
№6 9,20
На БРУ
990
###


Станція обеззал.
ККД
БРАГО-РЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА
12.03.2008 12:01:06
БК
ККО
ЕК
РК
ККД
ВКЛ/ОТКЛ звуковой сигнал

Суттєва особливість процесу ректифікації складається з того, що сукупність складових його явищ носить детерміновано-стохастичну природу, що проявляється в накладенні стохастичних особливостей гідродинамічної обстановки в апараті на процеси масо-теплообміну та хімічних перетворень. Це пояснюється випадковими взаємодіями складових компонентів фаз, або випадковим характером геометрії граничних умов в апараті.

Подібного роду система характеризуються надзвичайно складною взаємодією фаз та компонентів, внаслідок чого вивчення їх з позицій класичних детермінованих законів переносу та збереження є неможливим.

Ключ до вирішення цієї проблеми дає метод математичного моделювання, що базується на стратегії системного аналізу, та теорії самоорганізації, що досліджує процеси утворення складних структур в процесі міжфазного переносу та нерівноважних фазових переходів. Такий підхід дозволяє вирішити проблему з підвищення якості та ефективності управління БРУ. На даний час ця проблема є актуальною і потребує подальших досліджень.

На початковому етапі розробки автоматизованої системи управління БРУ необхідним є розгляд комплексу математичних моделей, які відображають статику та динаміку процесів брагоректифікації. Такий підхід дозволить здійснити дослідження процесів брагоректифікації шляхом комп'ютерного експерименту та розробку програмної підсистеми імітаційного функціонування БРУ.

Необхідною основою побудови сценаріїв управління процесами брагоректифікації є спосіб вибору оптимальних управлінь на основі статичних та динамічних математичних моделей мережевого типу. Таким чином, даний підхід дозволить на основі існуючих методів статичної та динамічної оптимізації побудувати оптимальну послідовність управляючих дій, виходячи з аналізу тих ситуацій, які мають конфліктний характер.

Отримання математичної моделі являє собою вирішення задачі ідентифікації, тобто опис властивостей ОУ за допомогою математичних

залежностей та отримання відповідних статичних та динамічних характеристик, а також оцінку адекватності отриманої моделі.

Множина рівнянь опису між входами та виходами БРУ фактично є формалізований опис математичної моделі. Відсутність однозначного правила формування множини фактично приводить до висновку, що можна на основі математичних моделей, які описують різні сторони та властивості процесів, визначити, множину моделей для всестороннього дослідження ОУ, (множину моделей в дисертаційній роботі назвемо множиною - Σ). Така множина формує математичну модель, як багагаторівневу ієрархічну модель, що в максимальній мірі відтворює всі сторони ОУ БРУ.

Практичні цілі поставленої задачі синтезу автоматизованого управління БРУ на основі сценарного підходу формують необхідність виділення в існуючих моделях брагоректифікації та ректифікації суттєвих взаємозв'язків, тобто вводити в множину Σ підмножину $\Sigma 1 \subset \Sigma$, таким чином визначається, що модель Σ більш повніша ніж модель $\Sigma 1$. Такого роду математична модель має ієрархічну структуру. Спосіб, за яким здійснюється опис ієрархічних структур, називається стратифікованим описом [40]. За допомогою такого способу буде створюватись математична модель БРУ.

Страта являє собою математичний опис одного рівня ієрархії БРУ. Вибір кількості рівнів опису залежить від поставленої задачі та цілей дослідження. Чим нижчий рівень ієрархії, тим детальніше описуються певні сторони БРУ; і навпаки чим вищий, тим більш ясніше відображаються основні взаємозв'язки між основними процесами [41].

Опис процесів теплообміну, масообміну та гідродинаміки на нижніх рівнях ієрархії БРУ, в даному пункті теоретичний математичний опис враховуючи близьку подібність процесів в колонах, буде показаний на прикладі РК. На більш вищих рівнях ієрархії опис буде охоплювати всі технологічні структурні одиниці БРУ. Враховуючи застосований метод зменшення багатомірності та

багатозв’язності БРУ будемо розглядати кожну колону із своїм дефлегматором та конденсатором як окремий ОУ [2].

В нашому випадку для опису статики та динаміки БРУ сформована ієрархічна структура з п’яти рівнів [19]:

1. опис фаз на молекулярному рівні в колонах БРУ;
2. опис обміну між рідкою та паровою фазами;
3. опис тепло - масообміну певної ділянки колони;
4. опис статики окремо взятої колони;
5. економічна модель з виділенням критерію оптимізації.

Етапи створення математичного опису процесів брагоректифікації:

- визначення основних властивостей БРУ;
- опис властивостей БРУ за допомогою канонічних законів опису окремих явищ (масообміну, теплообміну, гідродинаміки тощо);
- обчислення коефіцієнтів моделей для мінімізації критерію адекватності математичних моделей реальній в статичних та динамічних режимах роботи БРУ;
- дослідження моделі в області зміни вхідних параметрів за допомогою отриманих статичних та динамічних характеристик.

Всі перераховані задачі вирішуються за допомогою комп’ютерного експерименту.

Таким чином, для вирішення задач на кожному з етапів використовують:

- методи розробки математичних моделей;
- методи знаходження коефіцієнтів моделі;
- методи отримання експериментального даних, необхідних для здійснення коректування математичної моделі;
- методи знаходження коєфіцієнтів рівняння моделі, що мінімізують критерій адекватності;
- методи розрахунку та побудови потрібних статичних та динамічних характеристик.

Для проведення комп'ютерного експерименту та графічної побудови статичних та динамічних характеристик будемо використовувати можливості середовища MATLAB.

2.2. Математичний опис статики та динаміки процесів виробітки спирту.

З точки зору задач управління та синтезу системи управління на основі сценарного підходу, ціллю отримання статичних характеристик є визначення оптимальних цільових функцій управління в різних режимних областях функціонування ОУ, а також визначення основних взаємозв'язків між різними координатами стану ОУ в статиці [1].

Статичні моделі процесу виробітки спирту, включають рівняння балансів енергії та речовини, рівняння фазової рівноваги та рівняння кінетики процесу [1, 2, 3, 4, 7]. Як правило, такі моделі описуються лінійними алгебраїчними рівняннями, або їх системами. Комп'ютерні дослідження на базі статичних моделей дозволять здійснити визначення оптимальних статичних режимів роботи БРУ.

Основу динамічних моделей, що описують процеси виробітки спирту складають, як і моделей статики, на основі законів збереження речовини та енергії, рівнянь фазової рівноваги та залежностей, які описують кінетику процесів брагоректифікації. Динамічні моделі основних процесів ректифікації та брагоректифікації описані в роботах [10, 13, 16, 22]. На відміну від статичних моделей моделі динаміки описуються диференційними рівняннями в звичайних та часткових похідних. З точки зору сучасної теорії автоматичного управління оцінка динаміки необхідна для розв'язку задач: самоорганізаційного управління основними процесами брагоректифікації, оперативної оптимізації та координації ОУ в реальному масштабі часу, стійкості роботи системи управління, вибору відповідних характеристик дії регуляторів, визначення оптимальних настройок регулювання, складання алгоритмів та сценаріїв управління відділеннями [13, 18, 27].

Для виведення рівнянь, що описують перехідні процеси, система розбивається на простіші ланки з мінімальним числом ступенів вільності.

Для кожної ланки пишеться вихідне диференціальне рівняння на основі фізичного закону, що характеризує перехідний процес в ланці.

Найчастіше використовується один з основних фізичних законів. Наприклад, для опису перехідних процесів в системах регулювання швидкості потоку, рівня, тиску, концентрації, використовується закон збереження матерії, а для опису систем регулювання температури – закон збереження енергії.

Диференціальні рівняння є математичним виразом фізичного закону, який характеризує даний процес. Рівняння всіх ланок, які складають математичний опис, в цілому описують перехідні процеси в системі.

В загальному варіанті для ректифікаційної колони:

- куб колони:

$$y_0 = y^*(x_0);$$

(2.18)

$$\frac{dH_0 x_0}{dt} = L_1 x_1 - M x_0 - V_0 I_0;$$

(2.19)

$$M^j = L_1 - V_0.$$

(2.20)

- розрахунок витрати пари по тарілкам проводимо за такою залежністю:

$$V_i = \begin{cases} V_i, & i = 1,2,....16; \end{cases}$$

(2.21)

$$V - \frac{V-D}{n-16}(i-16), \qquad i = 17,18,....n.$$

- визначення динаміки зміни кількості спирту на тарілці:

$$\frac{dH_j x_i}{dt} = L_{i+1}x_{i+1} - L_i x_i + V_{i-1}y_{i-1} - V_i y_i + Ax_p; \tag{2.22}$$

$$A_i = \begin{cases} 0, & i = 1,2,....16; \\ F_p, & i = f_p. \end{cases} \tag{2.23}$$

де, V_i - витрати пари через i - ту тарілку, *кмоль/год*; n - кількість тарілок; x_i - концентрація спирту в рідкій фазі на i - тій тарілці, *моль %*; y_i - концентрація спирту в паровій фазі на i - ті тарілці, *моль %*; H_0 - кількість рідини в кубі, *кмоль*; D - кількість дистиляту, *кмоль/год*; L_i - витрата рідини через i -ту тарілку, *кмоль/год*; x_0 - концентрація спирту в кубовому залишку, *моль %*; I - ентальпія пари, *Дж/кг*; V - витрата пари на колони, *кмоль/год*; f_p - номер тарілки живлення; x_p - концентрація спирту в бражці, *моль %.*; F_p - витрата бражки, *кмоль/год*; M^j - витрати кубового залишку (барда = 15 м^3/год; лютерна вода = 4.8 дал/год) (j -тої колони БК, РК) ; α - експериментально встановлений коефіцієнт, який має наближене значення $\approx 0{,}8$; S - ефективна площа тарілки визначається виходячи з конструктивних параметрів для насадкових тарілок ≈ 2.2 м^2.

Дана модель є справедливою на множині змінних, які описуть основні процеси брагоректифікації з огляду роботи кожної колони.

На основі наведених теоретичних основ, для дослідження кожної з колон було розроблено спеціальне програмне забезпечення в середовищі Delphi (рис. 2.4):

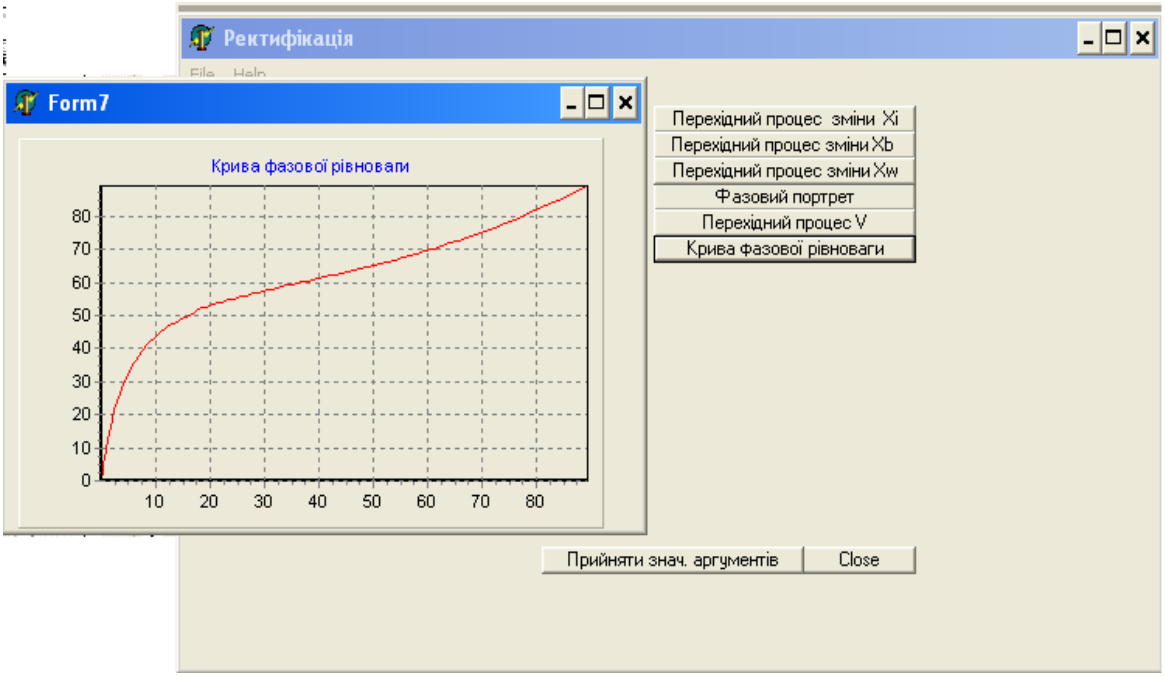


Рис. 2.4. Результат моделювання кривої фазової рівноваги (фрагмент інтерфейсу з авторської програми Смітюха Я.В.)

П’ятий рівень є економічна модель, в якій наведена основна залежність між прибутком та чинниками, що формують цей прибуток. В свою чергу ця модель входить в критерій оптимізації процесів брагоректифікації (в основу розрахунку моделі покладені виробничі ціни:1 м^3 пари =3,5 грн;1 тонна барди = 36 грн; 1 м^3 води = 0.7 грн).

.

$$N_i = 3.5V_i + 36M^j x_0 + 0.7B_i; \qquad (2.24)$$

$$E = 40D - \sum_i N_i . \qquad (2.25)$$

де, N_i - виробничі витрати на процес в i - тій колоні, *грн/год*; V_i - витрати пари на i-ту колону (i=1, 2, 3), *м^3/год*; $M^j x_0$ - втрати цільового продукту розділення з кубовою рідиною(j=1, 3, (тільки для БК та РК)), *м^3/год* ; E – прибуток від функціонування БРУ, *грн/год*; D - витрати(відбір) спирту ректифікату, *дал/год*; B_i - витрати води на дефлегматори, *м^3/год*.

2.3. Виявлення атрактивних зон.

Для вияву характерних атрактивних зон притягнення використовуємо часові ряди.

При дослідженні експериментальних даних виявлені характерні зони притягнення, змінних координат БРУ рис.2.10.

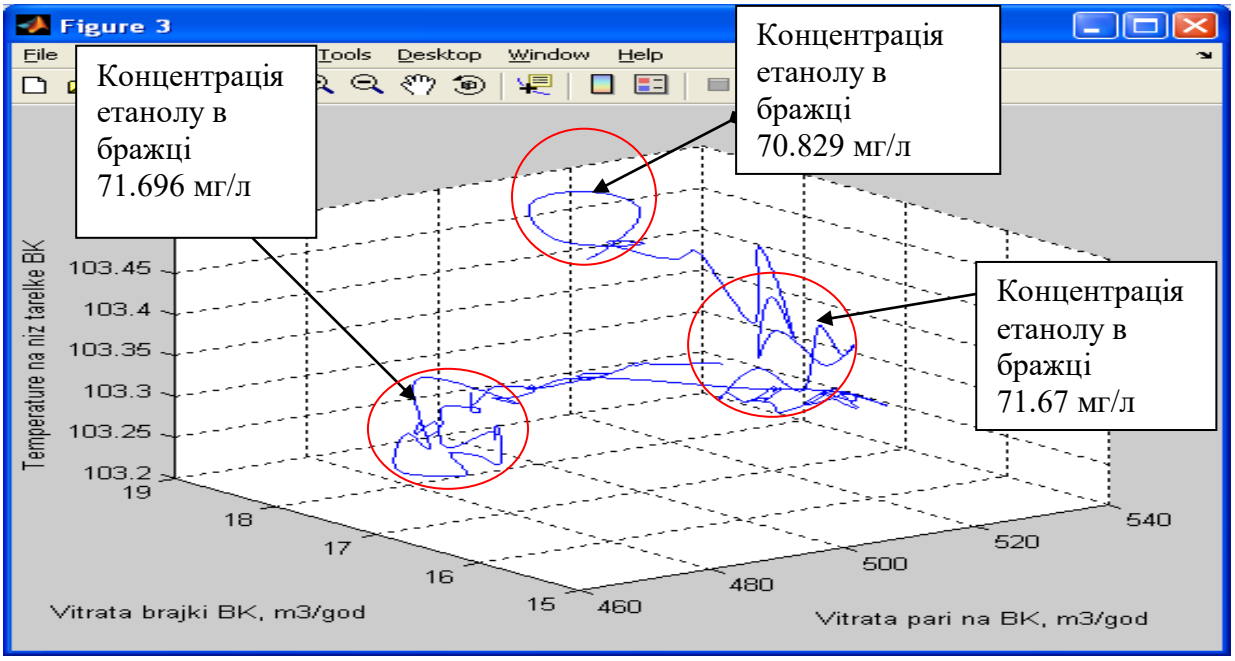


Рис. 2.10. Атрактивна поведінка процесів брагоректифікації на прикладі зміни температури на нижній тарілці бражної колони(час спостереження 24 години)

Встановлено, що змінювання атракторів визвано змінюванням концентрації етанолу у вхідних продуктових потоках бражної та ректифікаційної колон. Була висунута гіпотеза про хаотичність та фрактальність отриманих часових рядів основних змінних процесу брагоректифікації.

Інші результати будуть наведені в додатку А. На основі отриманих характеристик(фазових траєкторій зміни) здійснюємо аналіз та побудову сценаріїв управління відділеннями, а саме мова йде про алгоритми управління спиртовим заводом в цілому.

2.5. Моделі прогнозування поведінки змінних процесу в умовах невизначеності та ризику

Для прогнозування поведінки процесів, та класифікації ситуацій в даній роботі використовується підхід, побудований на моделях нейронних мереж (НМ), та описані алгоритми навчання мереж, а також програмна реалізація функціонування нейроних мереж для прогнозування та класифікації ситуацій.

В процесі досліджень було перевірено три види нейроних мереж на предмет їх ефективності при вирішенні задачі прогнозування.

Для вирішення поставленої задачі використовуються кілька моделей, побудованих на основі штучних нейронних мереж, вибір моделі прогнозування відбувається на стадії конфігурування системи управління, в програмній реалізації системи передбачається використання найбільш оптимального алгоритму.

Широке коло задач, розв'язуваних НМ, не дозволяє в даний час створювати універсальні, могутні мережі, змушуючи розробляти спеціалізовані НМ, що функціонують по різних алгоритмах [64].

Найбільш відомих є багатошарова структура, у якій кожен нейрон довільного шару зв'язаний із всіма аксонами нейронів попереднього чи шару, у випадку першого шару, із усіма входами НМ. Такі НМ називаються повнозв’язними. Коли в мережі тільки один шар, алгоритм її навчання з учителем досить очевидний, тому що правильні вихідні стани нейронів єдиного шару свідомо відомі, і підстроювання синаптичних зв'язків йдуть у напрямку, мінімізуючому помилку на виході мережі [64].

Моделі НМ можуть бути програмного й апаратного виконання. Надалі мова йтиме про перший тип.

В дослідженнях задач прогнозування порівнювалась робота п’яти різних мереж.

Як показує практика досліджень, кожна з мереж має, як свої переваги, так і свої недоліки.

Для реалізації алгоритмів підсистеми прогнозування (побудова предиктора за основу вхідних векторів бралася вибірка з десяти останніх значень цільового вектора, а в якості цільового вектора, вибірка експериментальних даних брагоректифікаційної установки (кожний вектор даних був відфільтрований від шумів за допомогою вейвлєт фільтру).

В якості цільових векторів пропонується оцінка та прогноз тиску низу бражної, ректифікаційної колони, температури на контрольній тарілці, при необхідності можна, такі алгоритми використати і для інших змінних, які необхідно спрогнозувати. За основу були взяті дані роботи брагоректифікаційної установки за одну добу роботи БРУ на Червонослобідському спиртовому заводі.

Зокрема, на першому етапі досліджень було запропоновано використання лінійної нейронної мережі.

Така мережа була побудована в середовищі Matlab. В якості основи запропоновано використати алгоритм проектування нового лінійного шару, що дозволяє на основі матриць вхідних та вихідних векторів методом найменших квадратів визначати ваги та зміщення лінійної нейронної мережі [64].

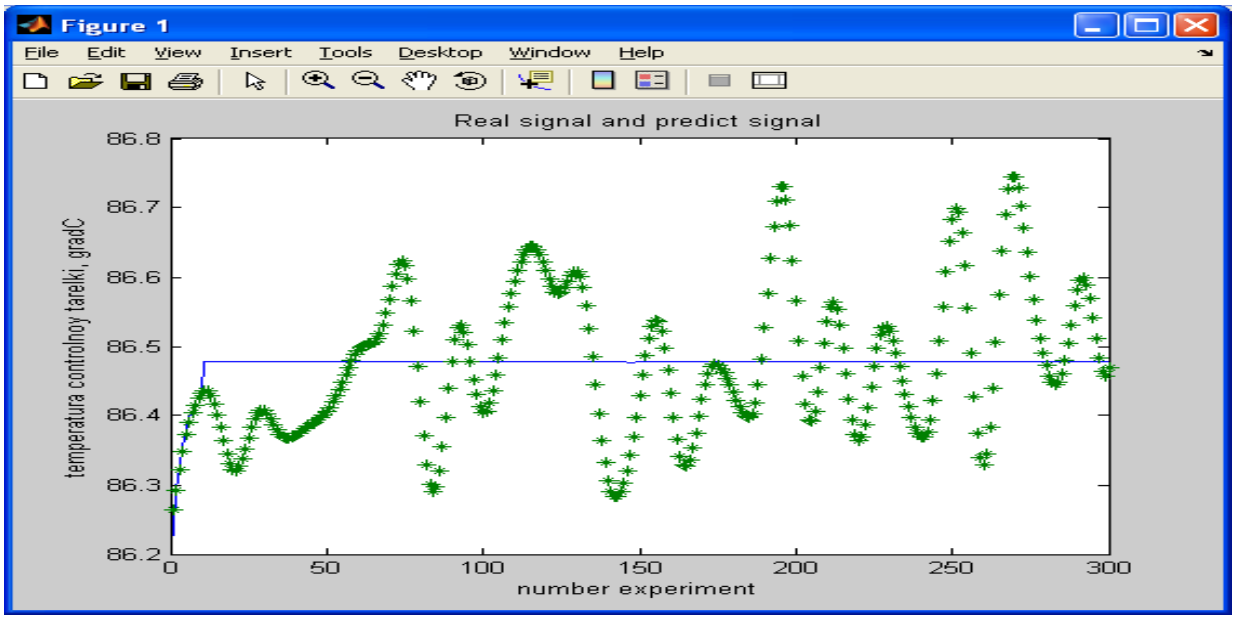


Рис.2.11. Прогноз температури на контрольній тарілці

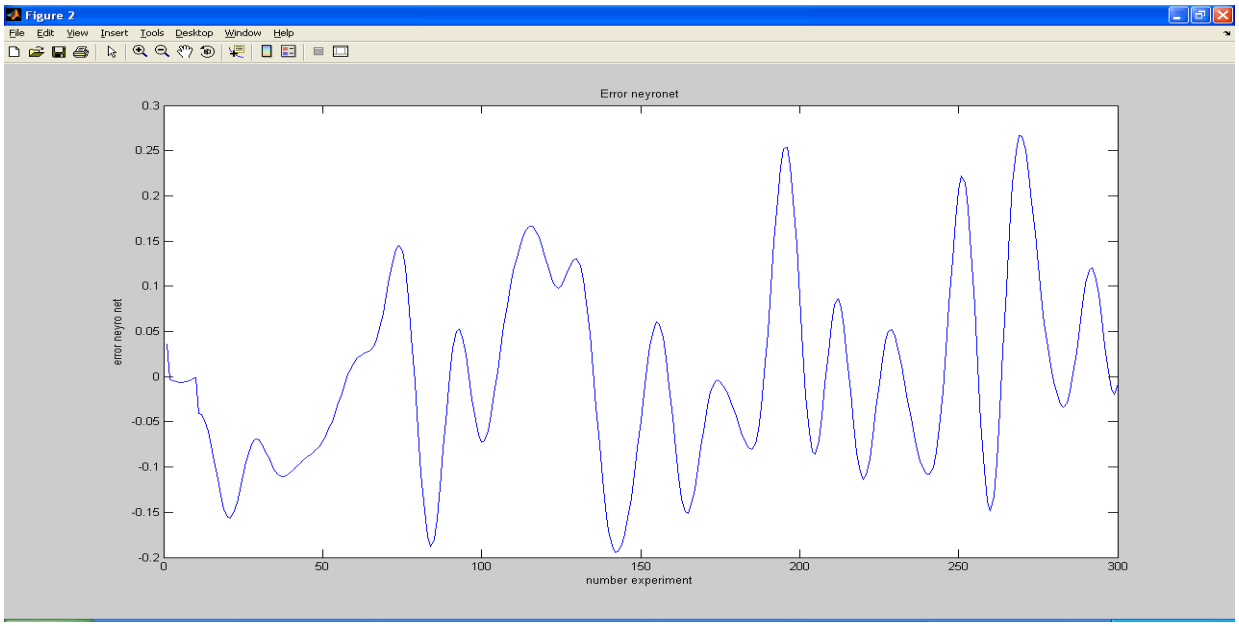


Рис.2.12. Зміна похибки мережі

На рис. 2.13. показані результати роботи нейронної мережі. Для прогнозування температури на контрольній тарілці за основу взятий вектор з 300 експериментальних даних. З отриманих результатів можна зробити висновок про незадовільну роботу мережі.

Наступний експеримент пов'язаний з аналогічною конфігурацією мережі, але в якості цільового вектора взятий вектор, який складається з 2838 значень.

На основі даного вектору були проведені такі дослідження на предмет прогнозування.

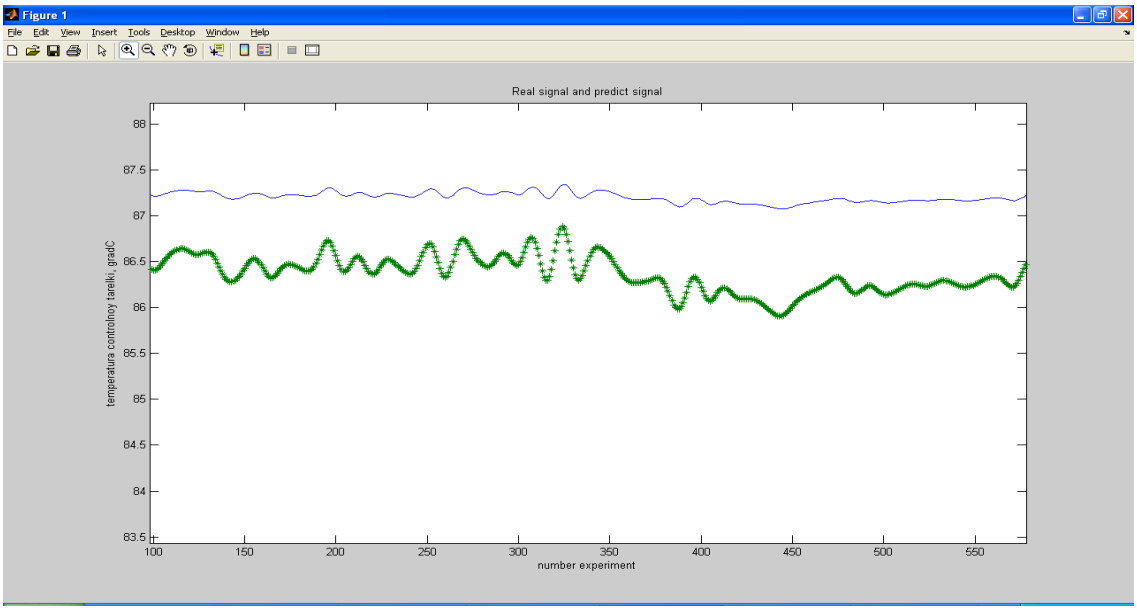


Рис. 2.13. Прогноз температури на контрольній тарілці

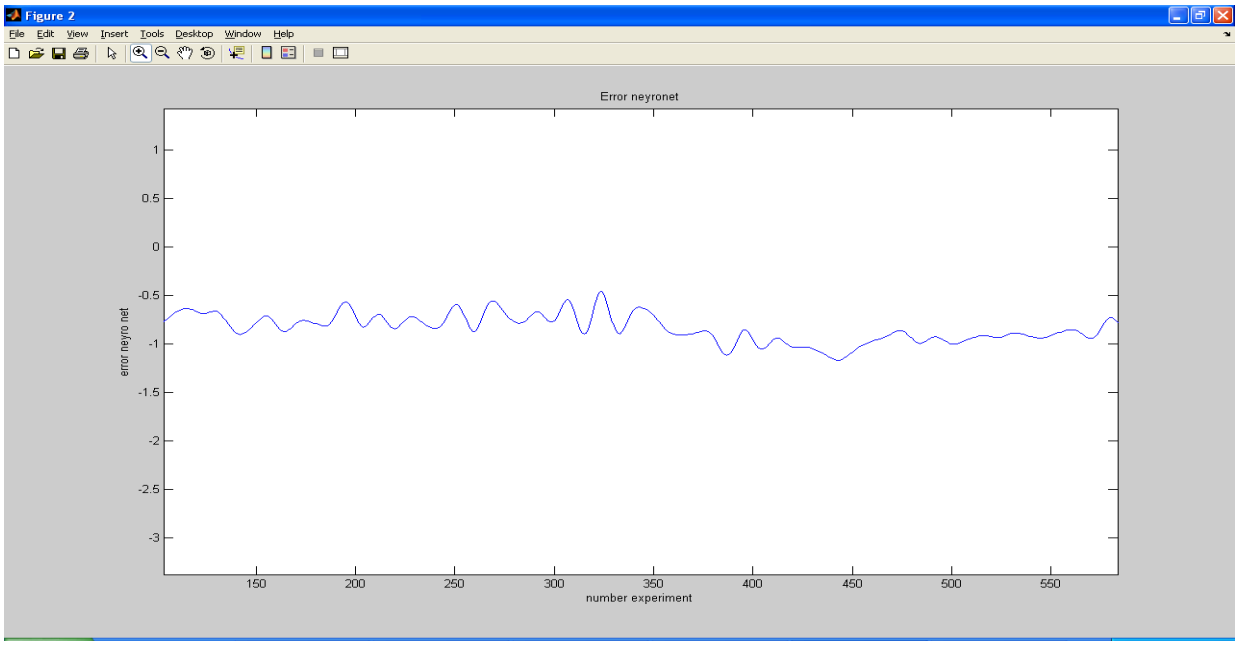


Рис.2.14. Зміна похибки мережі

На рис.2.13. та рис.2.14. показаний більш задовільний результат роботи нейронної мережі.

На наступному етапі слід використати наступний тип прогнозуючої мережі, з проведених дослідів слід обрати мережу побудовану на радіальних базисних елементах Radial Basis Network (RBF) [64]. В основі такої мережі лежить структура, яка складається з двох шарів без зворотних зв'язків, що має закритий шар радіально симетричних нейронів (шаблон). Для того шаблонний шар був радіально – симетричним, необхідно виконаня наступних умов:

- наявність центру, представленого у вигляді вектора у вхідному просторі, як правило, такий вектор зберігається в просторі вагів від вхідного шару до шару шаблонів;
- наявність способу вимірювання відстані вхідного вектора від центра, як правило, це стандартна евклідова відстань;
- наявність спеціальної функції проходження від одного аргумента, яка визначає вихідний сигнал нейрона шляхом відображення функції відстані. В такому випадку, як правило, використовується функція Гауса:

$$\varphi(s) = \exp\left(-\frac{s^2}{2}\right). \qquad (2.55)$$

Іншими словами, вихідний сигнал шаблонного нейрона – це функція тільки від відстані між вхідним вектором X та збереженим C (2.56).

$$f(X) = \varphi\left(\frac{\|X - C_i\|}{\delta_i}\right). \tag{2.56}$$

Вихідний шар мережі є лінійним, оскільки виходи мережі визначаються виразом:

$$y_i = \sum_{i=1}^{K} w_{ij}\varphi\left(\frac{\|X - C_i\|}{\delta_i}\right);\ j = 1,2,...,m, \tag{2.57}$$

де, C_i-центри, δ_i-відхилення радіальних елементів, ω_{ij}-ваги синапсів, X - входи мережі, y – виходи мережі.

Навчання мережі Radial Basis Network (RBF) проходит в такі етапи:

1. Визначаються центри відхилень для радіальних елементів.

2. Оптимізуються параметри ω_{ij} вихідного лінійного шару.

Розміщення центрів реально повинно відповідати кластерам, реально існуючим у вихідних даних.

Для побудови нейронного предиктора за основу було взято цільовий вектор статистичних даних температури, при навчанні нейронної мережі було задано середньоквадратичне відхилення 0,1:

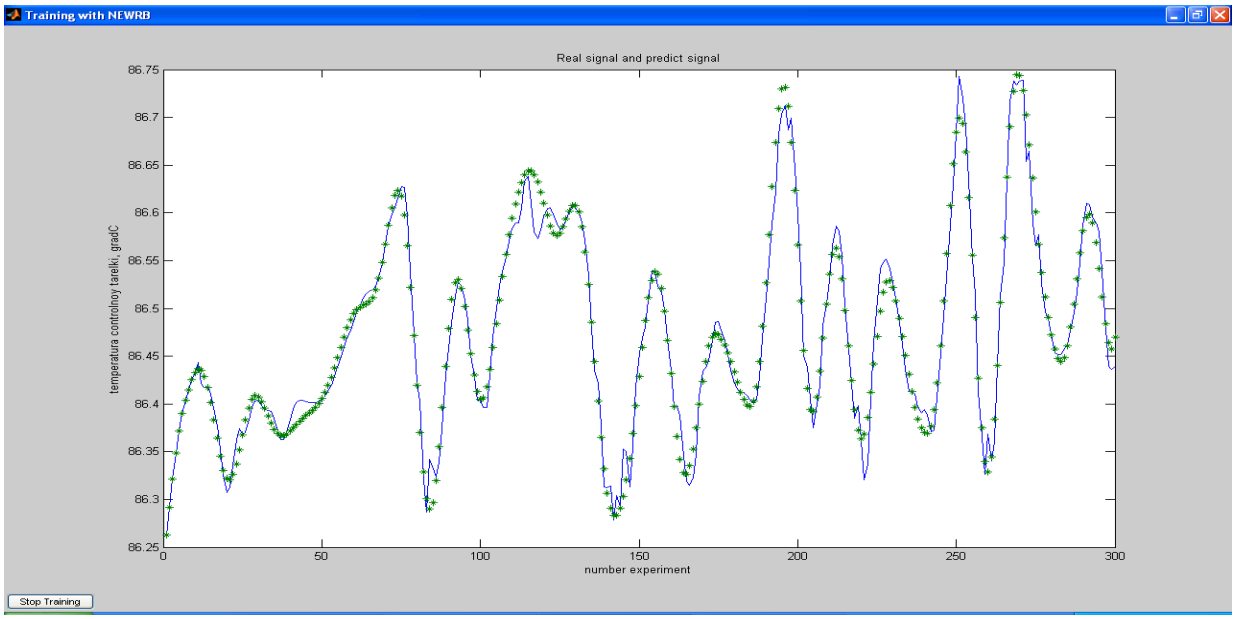


Рис. 2.15. Прогнозування зміни температури на контрольній тарілці РК на основі RBF мережі

З отриманих результатів (рис. 2.15, рис. 2.16) можна зробити висновок, що даний підхід дає задовільний результат для прогнозування характеру зміни температури на контрольній тарілці, що може бути використано для побудови прогнозуючої підсистеми.

Після того, як виявлено розміщення кластерів, потрібно знайти відхилення. Величина відхилення визначає наскільки гострою буде гаусова функція, що визначає її перенавчання або недонавчання. В нашому випадку було використано явний метод задання відхилення користувачем [64].

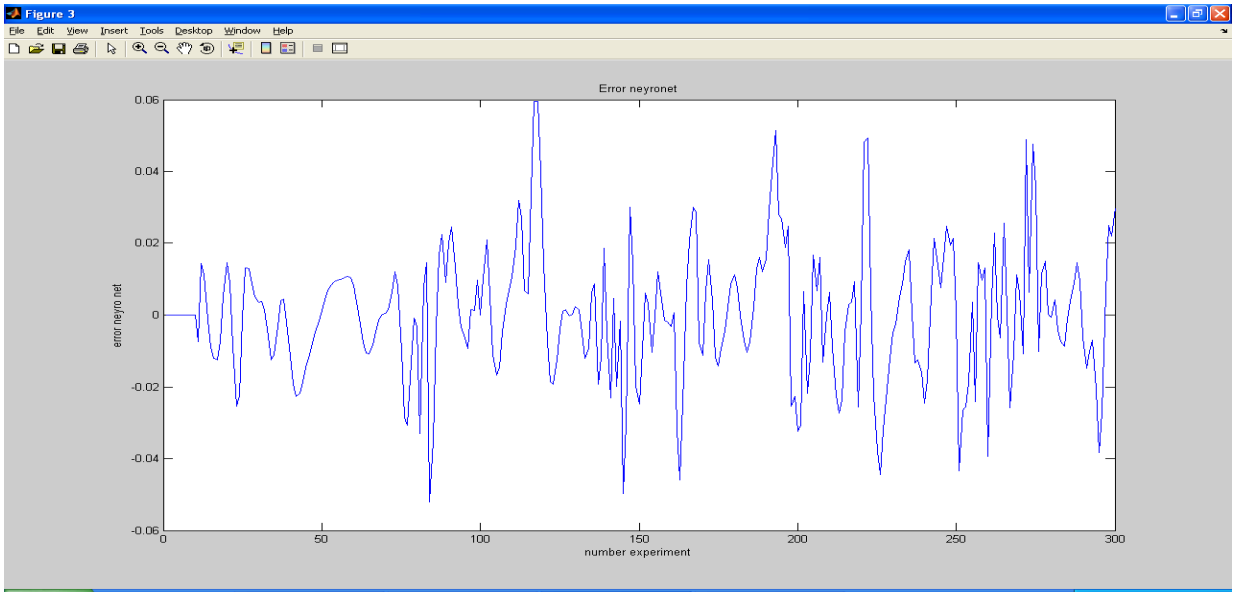


Рис.2.16. Зміна похибки мережі

Після того як обрані центри відхилення, параметри вихідного шару оптимізуються за допомогою стандартного методу лінійної оптимізації – алгоритму псевдообернених матриць (сингулярного розкладення).

Підхід до розробки САУ БРУ з використанням моделей прогнозування дозволить значно підвищити ефективність роботи системи управління в ситуаціях, не передбачених при розробці бази знань.

2.6. Побудова статистичних моделей на основі методу найменших квадратів

З метою отримання оціночних аналітичних залежностей та їх використання при побудові сценаріїв управління є отримання математичних моделей статики на основі пасивного експерименту.

Методика пасивного експерименту полягає в тому, що на основі отриманих експериментальних даних та використанні методу найменших квадратів отримуються поліноміальні залежності між основними змінними, які характеризують проходження процесів брагоректифікації.

Для розробки математичних моделей використовується базовий набір експериментальних даних, які дозволяють забезпечити точний контроль та здійснити оптимізацію процесів виробництва спирту на основі уточнених моделей.

При постановці задачі передбачається, що структура математичної моделі відома, з теоретичних основ та основних гіпотез про механізми явищ, які проходять в процесах бродіння брагоректифікації. Зокрема, поставлена задача полягає у визначення основних цільових функцій на основі побудови регресійних рівнянь.

Ціль даного дослідження – отримання оцінок параметрів β моделей по експериментальних даних.

Оцінка моделі здійснювалась на основі алгоритму розрахунку середньоквадратичного відхилення, а також інших критеріїв [65].

В основу методу покладений пасивно - статистичний метод, який дозволяє

отримати моделі зв’язку між основними змінними.

Для коректного представлення комплексу моделей при певних варіаціях необхідно діапазон зміни змінних процесів бродіння та брагоректифікації розбити на певні інтервали та представити як певні варіації та відповідні моделі, які описують ці варіації.

Для ідентифікації моделі скористаємось методом Гауса-Н’ютона, який грунтується на методі найменших квадратів [65].

Як приклад, розглянемо побудову моделі для деяких основних контрольованих змінних процесів брагоректифікації.

Слід відмітити, що вказана модель узгоджується з теоретичними представленнями про процес та адекватно описується в області змін параметрів БРУ нечіткого поняття температура на контрольній тарілці РК “норма”.

$$Q_{kt} = f(V_3, D, x_d), \qquad (2.58)$$

де, x_d - (спирт Люкс) не менше 96.3 %об згідно ДСТУ 4221:2003 по спирту етиловому; V_1 - витрата пари на ректифікаційну колону в області зміни (215 – 235 $м^3/год$); D - відбір бражного дистиляту (92.5 – 113) дал/год.

$$Q_{kt} = 0.0008D^2 - 0.0049V_3^{\,2} + 0.004V_3D + 1.79V_3 - 1.06D - 61.13. \qquad (2.59)$$

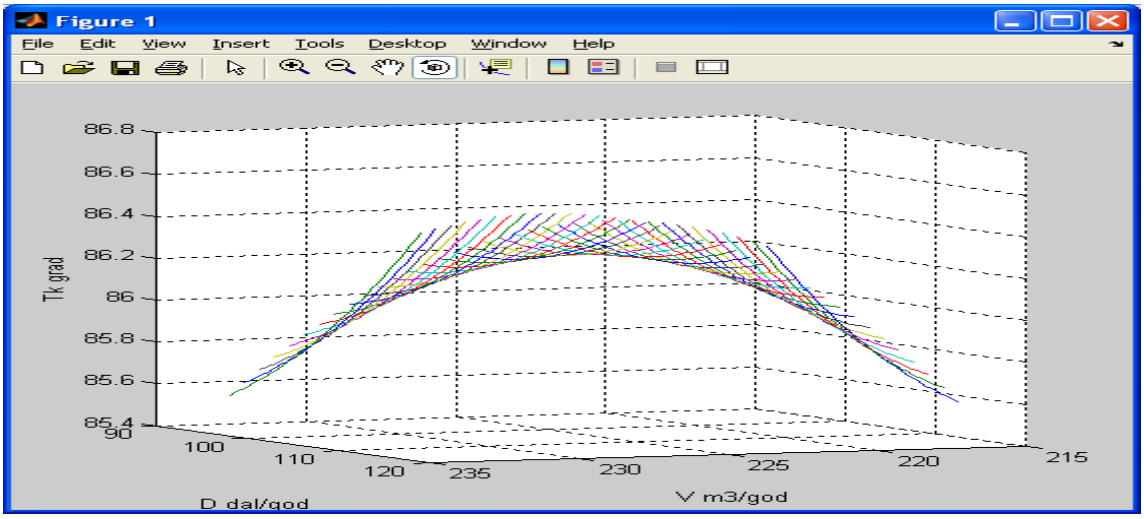


Рис 2.17. Температура на контрольній тарілці РК в залежності від витрати спирту та витрати пари на РК

Для фільтрованих даних за допомогою вейвлет – перетворення отримаємо таку рис. 2.18.

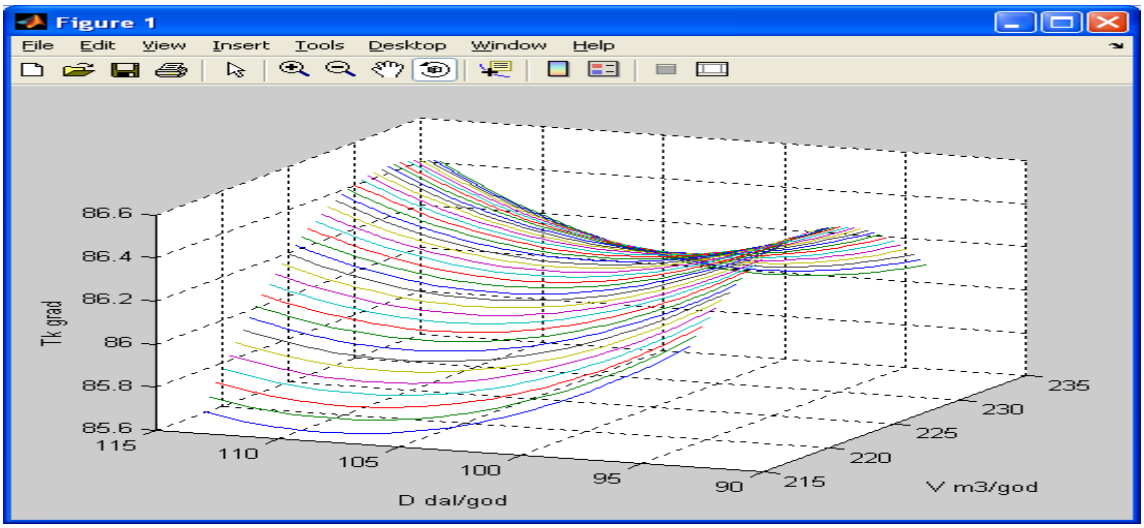


Рис. 2.18. Графічна залежність за аналітичною залежністю (2.59) (для фільтрованих даних

$$Q_{kt} = 0.0019D^2 - 0.0065V_3^{\ 2} + 0.0035V_3D + 2.58V_3 - 1.206D - 143.75,$$

(2.59)

де, x_d - (спирт Люкс) не менше 96.3 %об згідно ДСТУ 4221:2003 по спирту етиловому; V_3 - витрата пари на ректифікаційну колону в області зміни (215 – 235 $м^3/год$); D - відбір бражного дистиляту (92.5 – 113) дал/год.

Отримана залежність слугує цільовою функцією для підтримки необхідних режимних параметрів контрольної тарілки.

Середньоквадратичне відхилення дорівнює 2,8 ºС.

Побудуємо аналітичну залежність відбір спирту від витрати пари та температури 8 тарілки РК (вказана залежність будується для максимального виходу спирту при необхідних якісних показниках (згідно вимог до регламенту).

$$D = f(V_3, t_{8tar}, x_d). \qquad (2.60)$$

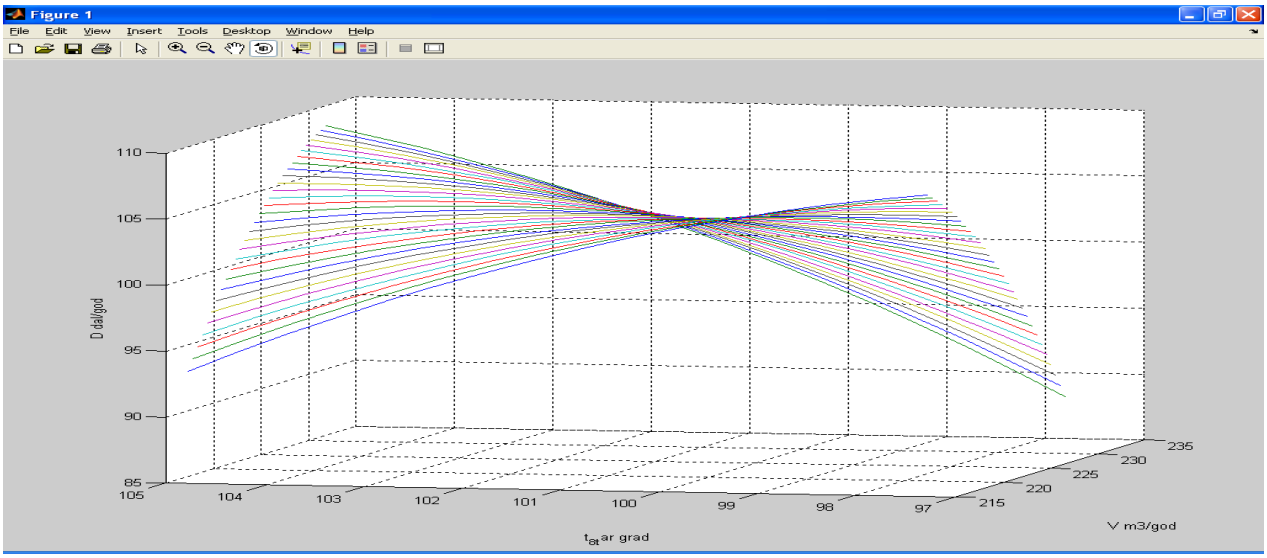


Рис. 2.19. Залежність витрати спирту з РК від витрати пари на РК та температури 8 (сивушної) тарілки

Аналітична залежність має такий вигляд:

$$D = -0.04V_3^2 - 38.04t_{8tar} + 0.31V_3 t_{8tar} - 11.99V_3 + 3358.27, \quad (2.61)$$

де, x_d - (спирт Люкс) не менше 96,3 *%об* згідно ДСТУ по спирту етиловому; V_3 - витрата пари на ректифікаційну колону в області зміни (215 – 235 $м^3/год$); D_1 - відбір бражного дистиляту (92.5 – 113) дал/год; t_{8tar} - температура 8 тарілки (97,5 – 105) ºС.

Наступна рівність, яку отримаємо, буде відтворювати залежність температури низу БК від витрати бражки та витрати пари (2.62).

Залежність для цільової функції:

$$Q_{нбк} = f(V_{1,} F_{br}). \quad (2.62)$$

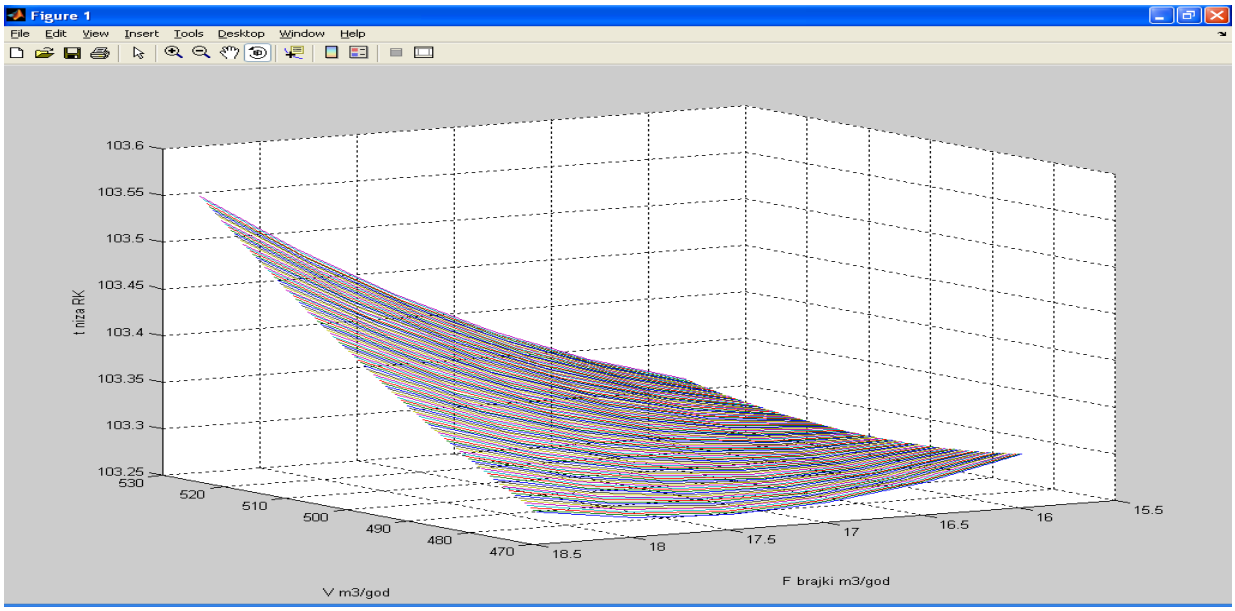


Рис. 2.20. Залежність температури низу від витрати бражки на БК та витрати пари на РК

$$Q_{нбк} = 0.0178F_{br}^{\ 2} + 0.0019V_{bk}F_{br} + 0.53V_{bk} - 1.52F_{br} + 128.58 \qquad (2.63)$$

середньоквадратичне відхилення дорівнює 0,01 ºС.

Отримана залежність з достатньою адекватністю описує режими роботи БК в області зміни параметрів: V_1 витрата пари змінюється в межах $(473 - 527)$ $м3/год$; витрата бражки F_{br} - $(15.9 - 18.4)$ $м3/год$.

Отримані моделі з достатньою достовірністю відтворюють статичні характеристики процесів брагоректифікації.

Висновки

1. Експериментальні дослідження виявили особливості атрактивної поведінки процесів бродіння та брагоректифікації в різних умовах функціонування, які викликаються змінюванням характеристик бражки та спирту. Проведений аналіз часових рядів основних змінних процесу брагоректифікації методами нелінійної динаміки дозволив визначити показники хаотичності, на основі яких визначена глибина прогнозування розвитку об'єкта.

2. Аналіз існуючих моделей для прогнозування параметрів стану та ідентифікації ситуації показав, що найбільш оптимальним вибором такого роду

інтелектуальної обробки даних є нейромережева модель побудована на радіально – базисних елементах.

4. Отримані статичні математичні моделі процесів виробництва спмрту по основним змінним процесів бродіння та брагоректифікації з достатньою імовірністю відтворюють характер зміни контрольованих величин в залежності від керуючих змінних.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ВІДДІЛЕННЯМИ СПИРТОВОГО ЗАВОДУ.

3.1. Формування сценаріїв розвитку процесів виробництва спирту.

Формування сценаріїв управління відділеннями спиртового заводу вимагає всесторонього розгляду можливих підходів формування самоорганізаційних структур з урахуванням ризику та невизначеності.

Важливим чинником формування стратегії управління з урахуванням ситуаційної невизначеності є включення механізмів синтезу управляючих сценаріїв поведінки.

Врахування такого роду характеру поведінки процесів дозволяє побудувати множину стратегічних сценаріїв управління.

При цьому розглядаються система моделей, що описує процеси зміни параметрів та умов функціонування відділень, дискретно фіксуючи принципові з точки зору розробника інформаційної системи моменти переходу на новий якісний рівень функціонування та режимів роботи. При розробці інтелектуальної підсистеми слід розрізняти сценарії управління і сценарії поведінки об’єкта. Перший формується в залежності від цілі управління і правил вибору управляючих дій, в той час коли другий орієнтується на дескриптивне дослідження ОУ. Основна різниця між ними полягає в тому, що в сценарії управління присутня особа, яка приймає рішення, приймаючи активну участь в досягненні поставленої цілі управління.

Формування сценарію управління будується на суб’єктивно- об’єктивній схемі, яка застосовується в процесі аналізу та прийняття рішень, тобто спочатку

формуємо розширений фазовий простір $Z = X \times Y$, в якому здійснюється дослідження поведінки параметрів процесу. На наступному етапі розбиваємо простір Z на підмножини, які характеризують якісно експертно значущі властивості. При цьому експертним шляхом визначаємо робочу область $Z^0 \subseteq Z$, в якій розглядається функціонування об'єкта.

В основі експертного опису поведінки процесів виробництва спирту лежить поняття експертно значущої розбивки (ЕЗР) Q_r простору Z та експертно значущих подій (ЕЗП) Q_p, що проходять в послідовності, вказаній в системі впорядкування S_{vp}, яка визначається об'єктивними законами природи (фізикою проходження самого процесу).

Представивши ЕЗР заданим набором показників (характеристик s_p) встановлюється центр елементарної розбивки, який задає нормальний стан виділених показників об'єкта, формуємо як стандартний стан деякої векторної згортки розширених фазових координат (наприклад, фазовий простір зміни координат системи).

Наступним кроком генерування сценарію є визначення зв'язків між елементами ЕЗР. Процедура розвитку ЕЗП може бути оцінена з різних точок зору. Виділяють дві крайні можливості:

1. слідування екзогенним шляхом (синергетичний підхід).
2. слідування ендогенним шляхом, яке ґрунтується на детальному описі перехідних процесів (в окремому випадку це можуть бути процеси управління з бажаною ціллю), які лежать в основі атрактивного підходу.

Між цими точками зору лежить цілий спектр можливих варіантів моделей. Для побудови сценарію формально пропонується використання двох часових шкал:

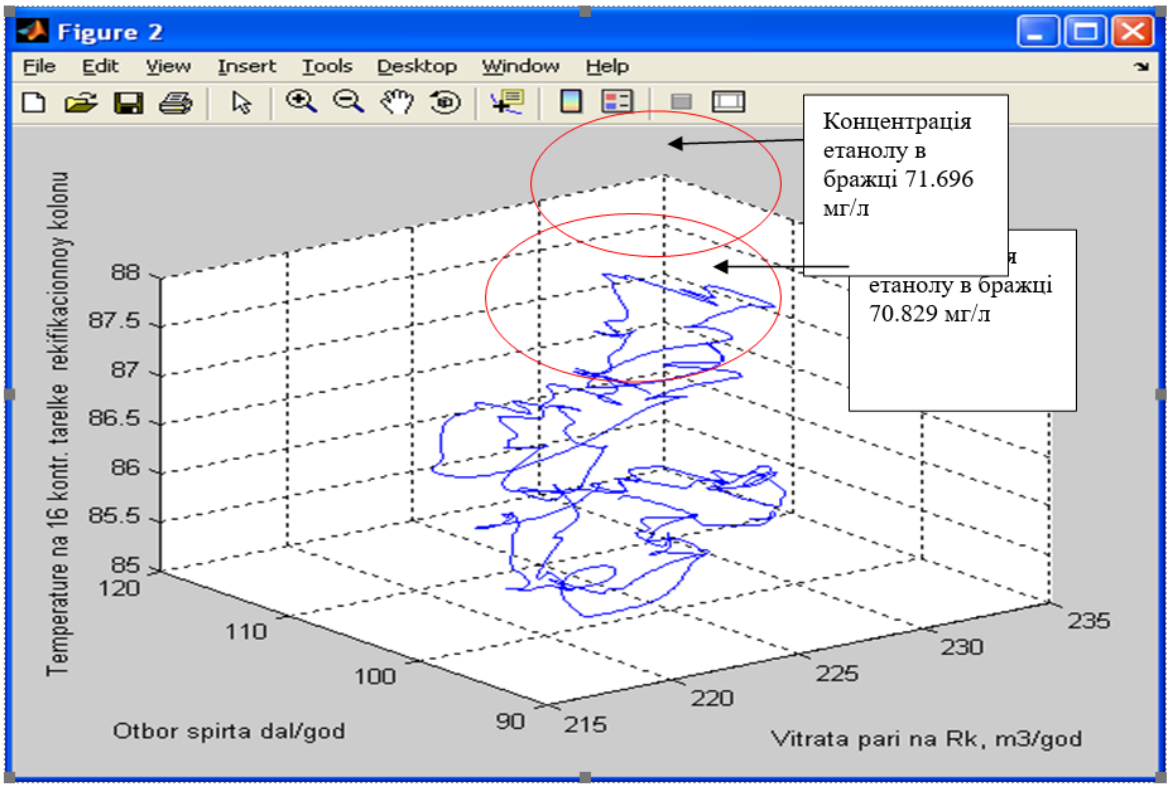
1. шкала Z_t, за допомогою якої описуються динамічні траєкторії ОУ розширеного фазового простору Z (як правило, це шкала безперервного часу).

2. шкала R_t дискретного часу, у відповідності з якою проходять всі події сценарію, що формується.

При формуванні сценарію послідовно виділяються фактори невизначені $a \in N_0$ і випадкові $b \in B_0$. Далі визначаються поняття умовне рішення $R = (a,b) \in \Gamma_0 = N_0 \times B_0$, очікувана подія $J^i(x^{(i)}(t_i), y^{(i)}(t_i), t_i)$ в момент часу $t_i \in Z_t$, образ ситуації $S(t)$, образ обстановки $I(t_i)$ в момент часу $t \in Z_t$.

Ефективним методологічним прийомом при визначенні елементів сценарію поведінки системи може слугувати магістральний підхід до аналізу проблеми, зміст якого полягає в тому, що визначаються окремі спеціальні багатообрази (зони стійкості фазових портретів) фазового простору, які описують ефективні з точки зору заданих цільових функцій траєкторії розвитку системи. Визначення таких елементів дозволяє здійснити синтез оптимального управління і вказати відповідні оптимальні траєкторії проходження процесів бродіння та брагоректифікації, це є характерно показано на рис.3.1.

Дослідження атрактивних зон основних змінних процесів.



На прикладі фазових портретів в результаті дослідження характерних властивостей процесів були виявлені характерні ситуаційно значущі зони.

Так, в розрізненні технологічна ситуація $S(t)$ як образ описується вектором ознак, що характеризують відповідний об'єкт, та визначається деяким відношенням на множині параметрів *{Y},* яка характеризується множиною класів ситуацій $\{K_S\}$, що відображені в сценарії управління, множиною алгоритмів класифікації $\{K_A\}$, а також правилами вибору алгоритмів класифікації $\{P_K\}$.

$$\{Y\}=\{K_S,K_A,P_K\}, \tag{3.1}$$

В даній предметній області в якості образу приймається множина станів роботи Бродильного відділення та БРУ, що дозволяє однозначно ідентифікувати ситуацію і віднести її до певного класу.

Для представлення даного підходу введемо поняття сценарію, як основної структурної одиниці бази знань. Сценарієм називається формалізований опис стандартної (прийнятної в даному контексті) послідовності взаємопов'язаних фактів, що визначають типову ситуацію предметної області. Це можуть бути послідовності дій або процедур, що описують способи досягнення цілей діючих осіб.

Сценарії управління мають характерні особливостями з врахуванням семантичних закономірностей та самоорганізаційних особливостей процесів виробництва спирту.

Виходячи з особливостей процесів бродіння та брагоректифікації та їх дослідження, системи такого типу можна характеризувати наявністю русел та джокерів, які є властивими для хаотичних систем. Тому доцільним методом побудови сценаріїв є сценарний аналіз, що базується на концепції сценарного обчислення: визначення пучків сценаріїв (сценарних просторів) і відповідних їм обраним пакетам невизначеностей та стратегій. В свою чергу над кожним з сценаріїв здійснюються певні операції.

Стратегії сценаріїв управління відділенням будуються на основі стратегії особи, що приймає рішення (ОПР), в рамках повного циклу прийняття рішення та характерних властивостей процесу, визначених шляхом комп'ютерної обробки результатів експерименту.

Побудова сценаріїв управління невід'ємно пов'язана з теоретичними та практичними основами управління хаосом, і оскільки запропоновані сценарії управління будуються шляхом їх синтезу на основі мережевого підходу, такий підхід дозволить оптимізувати конструктивний синтез сценаріїв управління шляхом структурування отриманих результатів моделювання процесів бродіння та брагоректифікації, та вирішення задач багатоцільового управління в умовах невизначеності та ризику(алгоритми вирішення, яких будуть подані в пункті 3 даного розділу).

У випадку, коли при проходженні процесів бродіння та брагоректифікації виникає хаотична поведінка нелінійного поля в локалізованих областях, і поступово підпорядковує сусідні ділянки, в кінцевому випадку в середовищі встановлюється просторово - часовий хаос з однорідними, в середньому, в просторі характеристиками, що в свою чергу приводить до встановлення стаціонарного режиму перебігу процесів. Змістовну теорію просторово-часового хаосу вдається використати в першу чергу в тих ситуаціях, коли динаміку нелінійного поля можна розглядати як динаміку ансамблю взаємодіючих стабільних та метастабільних структур, які виникають в результаті проходження складних процесів масообміну. В результаті розвитку первинної нестійкості в потоці формується ансамбль динамічних елементів - вихорів пов'язаних один з одним за рахунок збурень, які розповсюджуються вниз по потоку. Індивідуальна динаміка таких вихорів може бути досить різноманітною. Якщо вихори взаємодіють між собою, то коливання можуть ускладнюватися, поки на одному з них не стануть хаотичними – утворюється дивний атрактор. При деяких спрощеннях вдається показати, що розвиток хаосу вздовж потоку здійснюється шляхом кінцевого числа біфуркацій (перебудов потоків), які розвертаються не при зміні керуючої змінної, а в просторі - вздовж ланцюга структур.

Виходячи з комп'ютерних експериментів поблизу критичної точки (точки виникнення хаосу) конкретні особливості нерівноважного середовища не відображаються на деталях того або іншого реалізованого в середовищі сценарію переходу. Кожному управляючому сценарію переходу до турбулентності відповідає деякий універсальний оператор, який не залежить від конкретного середовища, а визначається лише типом критичної поведінки. Цей універсальний оператор повинен бути нерухомою точкою, який відповідає рівнянням ренормгрупи, що є математичним виразом гіпотези про просторово - часову інваріантність в критичній точці і яка враховує інформацію про тип переходу.

Один з основних механізмів, які закладаються при розробці сценаріїв, є динамічна стратегія управління об'єктом, тобто організація послідовності управляючих діянь на БРУ представлених у вигляді сценарію.

Послідовність певних дій в сценарії має властивість причинності(каузальності), що передбачає зв'язок попередньої дії з наступною. Така послідовність дій має чітко виражену направленість, що підпорядкована стратегії управління відділенням. Каузальний сценарій (КСЦ) управління має чітко структуровану (фреймову) будову. В КСЦ можуть бути реалізовані різні типи агрегативних відношень між елементами сценарію [86], що визначаються механізмами формування причинно – наслідкових зв'язків між елементами сценарію.

Реалізація КСЦ системи управління відділенням здійснюється на основі нечіткої моделі представлення знань. Такий спосіб є достатньо гнучким та зручним для представлення логічних відношень між елементами сценаріїв.

Формування управляючої послідовності інструкцій для системи управління відділенням проходить при допомозі процедури логічного висновку на етапі роботи інтелектуальної системи управління відділенням. Основою для запуску машини висновку є виникнення ситуації і її повне розпізнання. При цьому проходить побудова деякої послідовності виду:

$$S_w = \sum_{i=1}^{n} S_i + \sum_{j=1}^{m} S_j + \sum_{k=1}^{p} S_k \ , \qquad (3.2)$$

де, i - номер блоку сценаріїв, виходячи з пріоритетної стратегії вибору, j - номер сценарію, виходячи з ознак образу ситуації; k-тий крок виконання обраного фрагмента сценарію. У основі методу побудови послідовності S_w, є принцип деталізації, який полягає у виборі альтернатив при побудові розширеного сценарію на основі укрупненої послідовності дій у відповідності з послідовністю:

$S_w \to \Omega S_l \to$ *деталізація процедур.*

Загалом система нечіткого висновку охоплює 11 вхідних змінних та 8 вихідних змінних.

Введемо поняття бази знань. Базою знань в описуваній ІС є список сценаріїв в вигляді фреймів з однаковою структурою, тому основною одиницею бази знань є фрейм. База знань представляється ієрархічною структурою таких фреймів.

Для даної предметної області пропонується виконувати такі імена структурного елементу - фрейму бази знань:

(КСЦ ім’я:

макросценарій();
ознаки ситуації ();
відношення();
управління();

(3.3)

При функціонуванні системи управління можливе виникнення кількох конфліктних ситуацій, при цьому необхідно встановити оптимальну послідовність їх вирішення (план вирішення).

Тому в базу знань введений інтегрований планувальник, що здійснює ранжування ситуацій в порядку зменшення їх важливості та терміновості. Алгоритм, за яким реалізується його робота, описаний в розділі 4.

Теоретичні схеми побудови бази знань, етапи генерування рішень, структури представлення даних знайшли своє застосування в дослідному прототипі ІС, створення якого виявилось кінцевим етапом роботи над

проектуванням інтелектуальної системи управління відділенням. На цьому етапі (виконання і тестування) здійснюється наповненням бази знань і тестуванням інтелектуальної системи управління відділенням. Враховуючи вказані властивості і переваги опису предметної області знаннями, представленими у вигляді фреймів, розглянемо механізм опису технологічних процесів брагоректифікації.

Кожну технологічну операцію виконує окрема конструкція, представлена декількома елементами та оптимізуючими функціоналами. При формуванні сценарію враховується, що кожна технологічна операція потребує управління. Сукупність таких операцій утворює функцію, а сукупність функцій – задачу управління. Таким чином задача управління технологічним процесом брагоректифікації складається із задач узгодженого вибору управляючих дій в залежності від виробничої ситуації та прямих показників цільових функцій управління відділенням.

Для побудови сценаріїв управління відділеннями будемо користуватися методологією Юдицького С.А. В основі даного підходу лежить методика побудови А та С сценарію. В основі А - сценарію лежить макропредставлення послідовності управлінь для досягнення поставлених цілей управління БРУ, а в основі С сценарію лежить представлення деталізації цієї послідовності.

Виділяємо основні впливові фактори та приписуємо їм „лінгвістичний” зміст, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Позначення основних факторів роботи заводу

Фактори впливу на протікання процесів.		
Фактор	Множина	Зміст
Ф1	Ф1.1	Концентрація спирту в бражці низька
	Ф1.2	Концентрація спирту в бражці нижче норми
	Ф1.3	Концентрація спирту в бражці в нормі
	Ф1.4	Концентрація спирту в бражці вище норми

	Ф1.5	Концентрація спирту в бражці висока
Ф2	Ф2.1	Температура бражки дуже низька
	Ф2.2	Температура бражки низька
	Ф2.3	Температура бражки нижче норми
	Ф2.4	Температура бражки норма
	Ф2.5	Температура бражки вище норми
	Ф2.6	Температура бражки висока
	Ф2.7	Температура бражки дуже висока
Ф3	Ф3.1	Тиск низу БК дуже низький
	Ф3.2	Тиск низу БК низький
	Ф3.3	Тиск низу БК нижче норми
	Ф3.4	Тиск низу БК норма
	Ф3.5	Тиск низу БК вище норми
	Ф3.6	Тиск низу БК високий
	Ф3.7	Тиск низу БК високий

Продовж. табл. 3.2

1	2	3
Ф4	Ф4.1	Тиск верху БК дуже низький
	Ф4.2	Тиск верху БК низький
	Ф4.3	Тиск верху БК нижче норми
	Ф4.4	Тиск верху БК норма
	Ф4.5	Тиск верху БК вище норми
	Ф4.6	Тиск верху БК високий
	Ф4.7	Тиск верху БК дуже високий
Ф5	Ф5.1	Температура низу БК дуже низька
	Ф5.2	Температура низу БК низька
	Ф5.3	Температура низу БК нижче норми

	Ф5.4	Температура низу БК норма
	Ф5.5	Температура низу БК вище норми
	Ф5.6	Температура низу БК висока
	Ф5.7	Температура низу БК дуже висока
Ф6	Ф6.1	Температура верху БК дуже низька
	Ф6.2	Температура верху БК низька
	Ф6.3	Температура верху БК нижче норми
	Ф6.4	Температура верху БК норма
	Ф6.5	Температура верху БК вище норми
	Ф6.6	Температура верху БК висока
	Ф6.7	Температура верху БК дуже висока
Ф7	Ф7.1	Концентрація спирту в бражному дистиляті низьк
	Ф7.2	Концентрація спирту в бражному дистиляті нижче норми
	Ф7.3	Концентрація спирту в бражному дистиляті норма
	Ф7.4	Концентрація спирту в бражному дистиляті вища норми

Продовж. табл. 3.2

1	2	3
	Ф7.5	Концентрація спирту в бражному дистиляті висока
Ф8	Ф8.1	Концентрація спирту в барді низька
	Ф8.2	Концентрація спирту в барді нижче норми
	Ф8.3	Концентрація спирту в барді норма
	Ф8.4	Концентрація спирту в барді вища норми
	Ф8.5	Концентрація спирту в барді висока
	Ф8.5	Концентрація спирту в барді висока
Ф9	Ф9.1	Концентрація спирту в епюраті низька
	Ф9.2	Концентрація спирту в епюраті нижче норми

	Ф9.3	Концентрація спирту в епюраті в нормі
	Ф9.4	Концентрація спирту в епюраті вище норми
	Ф9.5	Концентрація спирту в епюраті висока
Ф10	Ф10.1	Тиск низу ЕК низький
	Ф10.2	Тиск низу ЕК нижче норми
	Ф10.3	Тиск низу ЕК норма
	Ф10.4	Тиск низу ЕК вище норми
	Ф10.5	Тиск низу ЕК високий
Ф11	Ф11.1	Тиск верху ЕК низький
	Ф11.2	Тиск верху ЕК нижче норми
	Ф11.3	Тиск верху ЕК норма
	Ф11.4	Тиск верху ЕК вище норми
	Ф11.5	Тиск верху ЕК високий
Ф12	Ф12.1	Температура низу ЕК низька
	Ф12.2	Температура низу ЕК нижче норми

Продовж. табл. 3.2

1	2	3
	Ф12.3	Температура низу ЕК нормальна
	Ф12.4	Температура низу ЕК вище норми
	Ф12.5	Температура низу ЕК висока
Ф13	Ф13.1	Температура верху ЕК низька
	Ф13.2	Температура верху ЕК нижче норми
	Ф13.3	Температура верху ЕК нормальна
	Ф13.4	Температура верху ЕК вище норми
	Ф13.5	Температура верху ЕК висока
Ф 1	Ф14.1	Міцність ефірів ЕК низька

	Ф14.2	Міцність ефірів ЕК нижче норми
	Ф14.3	Міцність ефірів ЕК нормальна
	Ф14.4	Міцність ефірів ЕК вище норми
	Ф14.5	Міцність ефірів ЕК висока
Ф15	Ф15.1	Температура в кубі ЕК низька
	Ф15.2	Температура в кубі ЕК нижче норми
	Ф15.3	Температура в кубі ЕК нормальна
	Ф15.4	Температура в кубі ЕК вище норми
	Ф15.5	Температура в кубі ЕК висока
Ф16	Ф16.1	Концентрація спирту в дистиляті низька
	Ф16.2	Концентрація спирту в дистиляті нижче норми
	Ф16.3	Концентрація спирту в дистиляті в нормі
	Ф16.4	Концентрація спирту в дистиляті вище норми
	Ф16.5	Концентрація спирту в дистиляті висока

Продовж. табл. 3.2

1	2	3
Ф17	Ф17.1	Температура на контрольній тарілці дуже низька
	Ф17.2	Температура на контрольній тарілці низька
	Ф17.3	Температура на контрольній тарілці нижча норми
	Ф17.4	Температура на контрольній тарілці норма
	Ф17.5	Температура на контрольній тарілці вище норми
	Ф17.6	Температура на контрольній тарілці висока
	Ф17.7	Температура на контрольній тарілці дуже висока
Ф18	Ф18.1	Тиск низу РК низький
	Ф18.2	Тиск низу РК нижче норми

	Ф18.3	Тиск низу РК норма
	Ф18.4	Тиск низу РК вище норми
	Ф18.5	Тиск низу РК високий
Ф19	Ф19.1	Тиск верху РК низький
	Ф19.2	Тиск верху РК нижче норми
	Ф19.3	Тиск верху РК норма
	Ф19.4	Тиск верху РК вище норми
	Ф19.5	Тиск верху РК високий
Ф20	Ф20.1	Температура низу РК низька
	Ф20.2	Температура низу РК нижче норми
	Ф20.3	Температура низу РК нормальна
	Ф20.4	Температура низу РК вище норми
	Ф20.5	Температура низу РК висока
Ф21	Ф21.1	Температура верху РК низька
	Ф21.2	Температура верху РК нижче норми
	Ф21.3	Температура верху РК нормальна

Продовж. табл. 3.2

1	2	3
	Ф21.4	Температура верху РК вище норми
	Ф21.5	Температура верху РК висока
Ф22	Ф22.1	Концентрація спирту в лютерній воді низька
	Ф22.2	Концентрація спирту в лютерній воді нижче норми
	Ф22.3	Концентрація спирту в лютерній воді норма
	Ф22.4	Концентрація спирту в лютерній воді вища норми
	Ф22.5	Концентрація спирту в лютерній воді висока
Ф23	Ф23.1	Температура охолодної води на конд. БК низька
	Ф23.2	Температура охолодної води на конд. БК нижче норми
	Ф23.3	Температура охолодної води на конд. БК норма
	Ф23.4	Температура охолодної води на конд. БК вища норми
	Ф23.5	Температура охолодної води на конд. БК висока
Ф24	Ф24.1	Температура охолодної води на конд. ЕК низька
	Ф24.2	Температура охолодної води на конд. ЕК нижче норми
	Ф24.3	Температура охолодної води на конд. ЕК норма
	Ф24.4	Температура охолодної води на конд. ЕК вища норми
	Ф24.5	Температура охолодної води на конд. ЕК висока
Ф25	Ф25.1	Концентрація спирту в лютерній низька
	Ф25.2	Концентрація спирту в лютерній нижче норми
	Ф25.3	Концентрація спирту в лютерній воді норма
	Ф25.4	Концентрація спирту в лютерній воді вища норми
	Ф25.5	Концентрація спирту в лютерній воді висока
Ф26	Ф26.1	Температура вкладки нижче норми
	Ф26.2	Температура вкладки нормальна
	Ф26.3	Температура вкладки вище номрми

Ф27	Ф27.1	Помол продукції великий
	Ф27.2	Помол продукції малий
Ф28	Ф28.1	Середовище pH в бродильних чанах кисле
	Ф28.2	Середовище pH бродильних чанах нормальне
	Ф28.3	Середовище pH бродильних чанах лужне
Ф29	Ф29.1	Температура в передаточному чані нижче норми
	Ф29.2	Температура в передаточному чані нормальна
	Ф29.3	Температура в передаточному чані вище норми
Ф30	Ф30.1	Температура в ГДФО низька
	Ф30.2	Температура в ГДФО нормальна
	Ф30.3	Температура в ГДФО висока
	Ф30.4	Температура в ГДФО дуже висока
Ф31	Ф31.1	Вода на приготування замісу жорстка
	Ф31.2	Вода на приготування замісу нормальна
Ф32	Ф32.1	Вода після II ст.катіон.ф-тра жорстка
	Ф32.2	Вода після II ст.катіон.ф-тра нормальна
Ф33	Ф33.1	Температура води після теплообмінника замісу низька
	Ф33.2	Температура води після теплообмінника замісу нормальна
	Ф33.4	Температура води після теплообмінника замісу висока
Ф34	Ф34.1	Температура дрожанок низька
	Ф34.2	Температура дрожанок нормальна
	Ф34.3	Температура дрожанок висока
	Ф34.4	Температура дрожанок дуже висока

Сценарій управління відділення характеризується такими складовими :

- цілями управління;
- факторами впливу на процеси замісу, бродіння та брагоректифікаіції;
- операціями;
- міжопераційними зв’язками.

На наступному етапі розробки сценаріїв формується графічне представлення. Для формування А – сценарію слід виділити об’єктні потоки. Кожний елемент, який входить в список має свою вагу та свій пріоритет. Значення кожної ваги та пріоритету визначається на основі факторно-цільового аналізу.

Основні елементи, з яких складається сценарій мають такі характеристики:

1) окремі фактори, які входять в сценарій виражені лінгвістичною змінною, що характеризує його нечітку належність до певного лінгвістичного поняття(„низько”, „нижче норми”, „норма”, „вище норми”, „високо”) або в більш розширеному варіанті;
2) на основі експертного опитування вводяться бальні оцінки пріоритету цілей та експертні імовірності оцінки досягнення цілей при різних значеннях факторів впливу на протікання процесу.

В ході управління відділенням може виникнути множина ситуацій, які в свою чергу викликають необхідність розгляду та розробки алгоритмів для поточного аналізу ситуацій в реальному масштабі часу.

В ході розробки сценаріїв управління слід наголосити на понятті операції. Операція сценарію являє собою крок сценарію управління. Для повної побудови сценаріїв на першому етапі необхідно розробити абстрактний А – сценарій, а на наступному структурований С – сценарій.

Для формування А – сценарію слід виділити об’єктні потоки, що показано в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Основні об’єктні потоки.

Потік	Множина	Зміст	Ваги
1	2	3	4
P1	P1.1	Витрата води на заміс низька	0.7
	P1.2	Витрата води на заміс норма	1
	P1.3	Витрата води на заміс вище норми	0.9
	P1.4	Витрата води на заміс дуже висока	0.3
P2	P2.1	Витрата бражки низька	0.5
	P2.2	Витрата бражки нижча норми	0.7
	P2.3	Витрата бражки норма	1
	P2.4	Витрата бражки вище норми	0.7
	P2.5	Витрата бражки висока	0.4
P3	P3.1	Витрата пари низька	0.3
	P3.2	Витрата пари нижче норми	0.5
	P3.3	Витрата пари норма	1
	P3.4	Витрата пари вище норми	0.7
	P3.5	Витрата пари висока	0.5
P4	P4.1	Витрата пари на БК дуже низька	0.3
	P4.2	Витрата пари на БК низька	0.5
	P4.3	Витрата пари на БК нижче норми	0.7
	P4.4	Витрата пари на БК норма	1
	P4.5	Витрата пари на БК вище норми	0.7
	P4.6	Витрата пари на БК вище норми	0.4
	P4.7	Витрата пари на БК вище норми	0.2
P5	P5.1	Витрата пари на ЕК дуже низька	0.3

	P5.2	Витрата пари на ЕК низька	0.5
	P5.3	Витрата пари на ЕК нижче норми	0.7
	P5.4	Витрата пари на ЕК норма	1
	P5.5	Витрата пари на ЕК вище норми	0.7
	P5.6	Витрата пари на ЕК висока	0.4
	P5.7	Витрата пари на ЕК дуже висока	0.2
P6	P6.1	Витрата ЕАФ низька	0.3
	P6.2	Витрата ЕАФ нижче норми	0.7
	P6.3	Витрата ЕАФ норма	1
	P6.4	Витрата ЕАФ вище норми	0.7
	P6.5	Витрата ЕАФ висока	0.3
P7	P7.1	Витрата пари на РК дуже низька	0.3
	P7.2	Витрата пари на РК низька	0.5
	P7.3	Витрата пари на РК нижче норми	0.7
	P7.4	Витрата пари на РК норма	1
	P7.5	Витрата пари на РК вище норми	0.7
	P7.6	Витрата пари на РК висока	0.4
	P7.7	Витрата пари на РК дуже висока	0.2
P8	P8.1	Витрата охолодної води низька	0.3
	P8.2	Витрата охолодної води нижче норми	0.7
	P8.3	Витрата охолодної води норма	1
	P8.4	Витрата охолодної води вище норми	0.7
	P8.5	Витрата охолодної води висока	0.3
P9	P9.1	Витрата охолодної на дефл. БК низька	0.2
	P9.2	Витрата охолодної на дефл. БК нижче норми	0.4
	P9.3	Витрата охолодної на дефл. БК норма	1
	P9.4	Витрата охолодної на дефл. БК вище норми	0.7

	P9.5	Витрата охолодної на дефл. БК висока	0.3
P10	P10.1	Витрата охолодної на дефл. ЕК низька	0.2
	P10.2	Витрата охолодної на дефл. ЕК нижче норми	0.5
	P10.3	Витрата охолодної на дефл. ЕК норма	1
	P10.4	Витрата охолодної на дефл. ЕК вище норми	0.7
	P10.5	Витрата охолодної на дефл. ЕК вище норми	0.5
P11	P11.1	Витрата охолодної на дефл. РК низька	0.3
	P11.2	Витрата охолодної на дефл. РК нижче норми	0.7
	P11.3	Витрата охолодної на дефл. РК норма	1
	P11.4	Витрата охолодної на дефл. РК вище норми	0.7
	P11.5	Витрата охолодної на дефл. РК висока	0.3
P12	P12.1	Відбір спирту ректифікату дуже низький	0.1
	P12.2	Відбір спирту ректифікату низький	0.2
	P12.3	Відбір спирту ректифікату нижче норми	0.4
	P12.4	Відбір спирту ректифікату норма	1
	P12.5	Відбір спирту ректифікату вище норми	0.5
	P12.6	Відбір спирту ректифікату високий	0.3
	P12.7	Відбір спирту ректифікату дуже високий	0.2
P13	P13.1	Відбір непастеризованого спирту низький	0.3
	P13.2	Відбір непастеризованого спирту нижче норми	0.7
	P13.3	Відбір непастеризованого спирту норма	1

	P13.4	Відбір непастеризованого спирту вище норми	0.7
	P13.5	Відбір непастеризованого спирту високий	0.3
P14	P14.1	Витрата бражного дистиляту дуже низька	0.3
	P14.2	Витрата бражного дистиляту низька	0.5
	P14.3	Витрата бражного дистиляту нижче норми	0.7
	P14.4	Витрата бражного дистиляту норма	1
	P14.5	Витрата бражного дистиляту вище норми	0.7
	P14.6	Витрата бражного дистиляту вище норми	0.4
	P14.7	Витрата бражного дистиляту вище норми	0.2
P15	P15.1	Витрата епюрату дуже низька	0.3
	P15.2	Витрата епюрату низька	0.5
	P15.3	Витрата бражного епюрату нижче норми	0.7
	P15.4	Витрата епюрату норма	1
	P15.5	Витрата епюрату вище норми	0.7
	P15.6	Витрата епюрату вище норми	0.4
	P15.7	Витрата епюрату вище норми	0.2
P16	P16.1	Витрата барди з БК низька	0.3
	P16.2	Витрата барди з БК нижче норми	0.7
	P16.3	Витрата барди з БК норма	1
	P16.4	Витрата барди з БК вище норми	0.7
	P16.5	Витрата барди з БК висока	0.3
P 1	P16.1	Витрата лютерної води з РК низька	0.3

	P16.2	Витрата лютерної води з РК нижче норми	0.7
	P16.3	Витрата лютерної води з РК норма	1
	P16.4	Витрата лютерної води з РК вище норми	0.7
	P16.5	Витрата лютерної води з РК висока	0.3
P18	P18.1	Витрата сив. масел з РК низька	0.3
	P18.2	Витрата сив. масел з РК нижче норми	0.7
	P18.3	Витрата сив. масел з РК норма	1
	P18.4	Витрата сив. масел з РК вище норми	0.7
	P18.5	Витрата сив. масел з РК висока	0.3

. Необхідною передумовою побудови сценаріїв є виділення атрибутів об’єктів функціонування, що показано в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Атрибути об’єктів

Клас	Позначення атрибута	Зміст атрибута
1	2	3
A1	a1.1	Температура води в чанах замісу
	a1.2	Кількість води на заміс
	a1.3	Помол первинної продукції
	a1.4	Концентрація домішок
	a1.5	Температура сусла на виході з теплообмінника
A2	a2.1	Температура в бродильних чанах
	a2.2	Температура в передаточному чані
	a2.3	Кількість домішок
	a2.4	Концентрація сусла
	a2.5	Кількість води
	a2.6	Незброженість цукру в бродильних чанах
	a2.7	Середовище pH в чанах
A3	a3.1	Концентрація спирту в бражці, %об
	a3.2	Температура бражки, °С
	a3.3	Тиск низу БК, м.в.ст.
	a3.4	Тиск верху БК, м.в.ст.
	a3.5	Температура низу БК, °С
	a3.6	Температура верху БК, °С
	a3.7	Температура підходячої холодної води на дефл. БК, °С
	a3.8	Температура відходячої холодної води з дефл. БК, °С
	a3.9	Температура бражки на вході в колону, °С

	a3.10	Концентрація домішок в бражному дистиляті, %об
	a3.11	Міцність бражного дистиляту, %об
	a3.12	Температура в кубі колони, °С
	a3.13	Міцність барди, %об
А4	a4.1	Тиск верха БК, м.вод.ст
	a4.2	Тиск низу БК, м.вод.ст
	a4.3	Температура низу БК, °С
	a4.4	Температура верху БК, °С
	a4.5	Міцність епюрата, % об
	a4.6	Міцність ефірів, % об
	a4.7	Міцність погону з кип’ятильника, % об
	a4.8	Кількість домішок, моль
А5	a5.1	Концентрація спирту в дистиляті РК, %об
	a5.2	Температура в кубі колони, °С
	a5.3	Тиск низу РК, м.в.ст.
	a5.4	Тиск верху РК, м.в.ст.
	a5.5	Температура низу РК, °С
	a5.6	Температура верху РК, °С
	a5.7	Температура охолодної води на дефл. РК, °С
	a5.8	Температура відходячої води з дефл. РК, °С
	a5.9	Домішки в дистиляті, моль

Життєвий цикл об’єктів визначається основними керуючими діями, що являють собою зміну завдань регуляторів основних контурів регулювання режимними змінними, або можливістю безпосереднього управління виконавчими механізмами. Кожна з цих змінних визначається відповідним станом та його змістом - лінгвістичною оцінкою, що показано в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Позначення основних станів

Клас	Позначення стану	Зміст стану
1	2	3
A1	S1.1	Збільшення тиску пари в колекторі
	S1.2	Зменшення тиску пари в колекторі
	S1.3	Збільшити температуру на ферментаторі
	S1.4	Зменшити температуру на ферментаторі
	S1.5	Зменшити подачу води
	S1.6	Збільшити подачу води
	S1.7	Зменшити температура води
	S1.8	Збільшити температуру води
A2	S2.1	Збільшення температури бродіння
	S2.2	Зменшення температури бродіння
	S2.3	Збільшення концентрації сусла
	S2.4	Зменшення концентрації сусла
	S2.5	Збільшення кількості домішок
	S2.6	Зменшення кількості домішок
	S2.7	Зменшення температури в передат. чані
	S2.8	Збільшення температури в передат. чані
	S2.9	Окислювання pH середовища в бродил. ч.
	S2.10	Одужування pH середовища в бродильних ч.

A3	S3.1	Збільшення подачі пари на БК
	S3.2	Зменшення подачі пари на БК
	S3.3	Збільшення подачі охолод. води на дефл. БК
	S3.4	Зменшення подачі охолод. води на дефл. БК
	S3.5	Збільшення подачі бражки
	S3.6	Зменшення подачі бражки
	S3.7	Збільшення відбору барди
	S3.8	Зменшення відбору барди
	S3.9	Збільшення відбору бражного дистиляту
	S3.10	Зменшення відбору бражного дистиляту
	S3.11	Підвищення міцності бражки
	S3.12	Зменшення міцності бражки
	S3.13	Підвищення температури бражки
	S3.14	Зменшення температури бражки
	S3.15	Збільшення температури верху БК
	S3.16	Зменшення температури верху БК
	S3.17	Збільшення тиску верху БК
	S3.18	Зменшення тиску верху БК
	S3.19	Збільшення температури низу БК
	S3.20	Зменшення температури низу БК
	S3.21	Збільшення тиску низу БК
	S3.22	Зменшення тиску низу БК
A4	S4.1	Збільшення подачі пари на ЕК
	S4.2	Зменшення подачі пари на ЕК
	S4.3	Збільшення подачі охолод. води на дефл. ЕК
	S4.4	Зменшення подачі охолод. води на дефл. ЕК
	S4.5	Збільшення подачі бражного дистиляту

	S4.6	Зменшення подачі бражного дистиляту
	S4.7	Збільшення відбору ЕАФ
	S4.8	Зменшення відбору ЕАФ
	S4.9	Збільшення відбору епюрату
	S4.10	Зменшення відбору епюрату
	S4.11	Підвищення міцності епюрату
	S4.12	Зменшення міцності епюрату
	S4.13	Підвищення міцності ЕАФ
	S4.14	Зменшення міцності ЕАФ
	S4.15	Збільшення температури верху ЕК
	S4.16	Зменшення температури верху ЕК
	S4.17	Збільшення тиску верху ЕК
	S4.18	Зменшення тиску верху ЕК
	S4.19	Збільшення температури низу ЕК
	S4.20	Зменшення температури низу ЕК
	S4.21	Збільшення тиску низу ЕК
	S4.22	Зменшення тиску низу ЕК
A5	S5.1	Збільшення подачі пари на РК
	S5.2	Зменшення подачі пари на РК
	S5.3	Збільшення подачі охолод. води на дефл. РК
	S5.4	Зменшення подачі охолод. води на дефл. РК
	S5.5	Збільшення подачі епюрату
	S5.6	Зменшення подачі епюрату
	S5.7	Збільшення відбору сив. масел
	S5.8	Зменшення відбору сив. масел
	S5.9	Збільшення відбору спирту
	S5.10	Зменшення відбору спирту
	S5.11	Підвищення міцності спирту ректифікату
	S5.12	Зменшення міцності спирту ректифікату

	S5.13	Підвищення міцності лютера
	S5.14	Зменшення міцності лютера
	S5.15	Збільшення відбору непастер. спирту
	S5.16	Зменшення відбору непастер. спирту
	S5.17	Збільшення тиску верху РК
	S5.18	Зменшення тиску верху РК
	S5.19	Збільшення температури низу РК
	S5.20	Зменшення температури низу РК
	S5.21	Збільшення тиску низу РК
	S5.22	Зменшення тиску низу РК
	S5.23	Збільшення температури охолод. води на дф.
	S5.24	Зменшення температури охолод. води на дф.

Процеси сценарного управління, що протікають в автоматизованій системі управління відділеннями, слабко формалізуються через свою недетермінованість(динаміку зміни можливих стратегій). Ця обставина приводить до складності об’єкта, що моделює логічну структуру управління цим процесом. Як інструмент для моделювання й дослідження якісних характеристик динамічних дискретних систем і процесів широко використається апарат мереж Петрі, який доцільно було закласти в реалізацію сценаріїв по управлінню відділеннями. Разом з тим, класичний апарат мереж Петрі не вільний від недоліків, що обмежують можливості рішення практичних завдань. Проблема може бути вирішена шляхом накладення деяких обмежень на клас розв'язуваних завдань, що дозволяє виділити із всієї множини мереж Петрі певний підклас із додатковими властивостями.

Систему A назвемо керованою системою із двійковою логікою, якщо система A має множину компонентів $P = \{pi\ \}, i = \overline{1,n}$ з різними характеристиками; кожний з компонентів перебуває в одному із двох станів: активний або не

активний; на множині компонентів $P = \{pi\},i = \overline{1,n}$ визначена множина функцій переходу від одного стану до іншому, кожна з яких залежить від деякої системної події (стану життєвого циклу сценарію управління). Якщо серед функцій переходу є залежні від інтерактивного впливу, систему А назвемо інтерактивно керованою системою з двійковою логікою.

При формуванні сценаріїв управління відділеннями станом або *сценарієм* S_i системи A назвемо набір активних компонентів

$$S_i = \{p_i^{k1}, p_i^{k2}, ... p_i^{kr}\} \subseteq P, \tag{3.4}$$

де, для $\forall_{pi}^k \in P_{ii} p_i^k \in S_i$, якщо стан p_i^k: активний перехід від стану до стану здійснюється стрибком, за допомогою активізації іншого набору життєвих станів відділення.

Процес функціонування подібної системи є недетермінованим, оскільки заздалегідь неможливо з повною достовірністю прогнозувати який з наборів може бути активізований в *і-й* момент часу. Цей процес може бути формалізований у вигляді концептуальної моделі, побудованої на базі теорії мереж Петрі. В основі цієї моделі лежить твердження про те, що логічна структура певної системи є обмежена мережа Петрі $N = \{P, T, F, H, M_o\}$, де $p = \{p_i\},i = \overline{1,n}$ - множина позицій; $T = \{t_j\}, j = \overline{1,m}$ - множина переходів, причому $P \cap T = 0$; F_i і H - відображення $F : P \longrightarrow T; H : T \longrightarrow P$, що задають матрицями інцидентності $F : P \times T \longrightarrow \{0,1\}$ й $H : P \times T \longrightarrow \{0,1\}$, причому $F(p,t) = 1$, якщо перехід t інцидентний позиції р, $H(t, p) = 1$, якщо позиція P інцидентна переходу t; M_o де $: P \longrightarrow \{0,1\}$ - початкове маркування або розмітка.

У рамках даної моделі представлення сценаріїв множина компонентів системи є множина позицій P; стан системи визначається множиною активних компонентів; активному компоненту відповідає позначена позиція; активній

множині компонентів - деяка розмітка M_o; множині активних - множина припустимих; початковій множині активних компонентів - початкова розмітка M_o; T- множина всіх можливих переходів від одного стану системи до іншого; зміст відображень F_i і H очевидний.

Для того, щоб будь-який перехід $\forall t_{\in} \in T$ був досяжний з розмітки M_o і розмітка будь-якої позиції P_i була обмежена при функціонуванні мережі $(\forall p_i \subset P_m(p_i) \le 1)$ - досить виконання умови: $\bigcap_{j=1}^{m} \bigcup_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{m+1} \bigcap_{k=1}^{n} \left(\int_{kj} \longrightarrow h_{ik}^{*} \right) = true$, де

$\bigcap$,$\bigcup$,$\longrightarrow$ - логічні функції конъюнкції, диз'юнкції й імплікації відповідно, $f_{kj} \in F, h_{ik}^{*} \in H^{*}$- елементи матриць інцидентності, причому розширена матриця H^{*} отримана з матриці H шляхом доповнення рядком $h_{m+1,1} \ldots h_{m+1,n}$, де $h_{m+1,i} = m_o(p_i)$. Всі переходи мережі, якої досяжні з розмітки M_o , можна представити позиційно еквівалентної з розмітки M_o мережею, у якої дерево досяжності збігається з деревом досяжності вихідної мережі, а топологія задовольняє умові досяжності будь-якого переходу .

Сказане дозволяє виділити із класу обмежених мереж Петрі підклас, названий TS-мережею Петрі, яка має такі особливості .

Для формального визначення виділеного класу введемо наступні поняття:

Сценарієм S_i назвемо позначену підмножину вершин з множини P:

$$S_i = \{p_i^1, p_i^2, \ldots p_i^k\};$$

$$S_i \subset P, m_i^f(p_i^f) = 1,$$

де, $p_i^f \in P$.

Це означає, що в рамках запропонованої моделі сценарій S_i однозначно визначається розмітка $M_i = \{m_i^1(p_1), m_i^2(p_2), \ldots m_i^n(p_n)\}$, що є двійковий n -розрядний

набір, де вершина $p_j \in S_i$, якщо розмітка $m_i^f(p_j) = 1$, вершина $p_j \notin S_i$, якщо розмітка вершини $m_i^j(p1) = 1$.

Сценарії зв'язані між собою символами-переходами. Система, функціонуючи, переходить від сценарію до сценарію, причому можливість вибору чергового сценарію залежить від набору вершин поточного сценарію. Інакше кажучи, сценарій S_i, що описує стан системи в якийсь момент часу, має на увазі можливість за допомогою символу-переходу t переходу системи в інший стан, описуваний сценарієм S_j. Переходів по сценарії S_i може бути небагато, вибір кожного з них залежить від дій користувача та підсистеми автоматичної оцінки вектору змінних стану. Кожний з переходів однозначно переводить систему в стан, що відповідає обраному переходу.

В процесі синтезу та аналізу сценаріїв необхідним є виділення поняття зв'язування сценаріїв. Сценарій S_i називається зв'язаним через перехід t_k з сценарієм $S_j (S_j \xrightarrow{tk} S_j$, якщо деяка підмножина s_i^k складається з вершин, якы входять у сценарій,

$$S_i : s_i^k = \{p_i^{k1}, p_i^{k2}, ...p_i^{kr}\} \subseteq S_i, \qquad (3.7)$$

активізує деяку підмножину вершин, що входять у сценарій $S_j : \{p_j^{m1}.p_j^{m2}, ...p_j^{m5}\} \subseteq S_j$

.

Виділений клас обмежених *TS-мереж* має ряд властивостей, головними з яких є наступні:

1. В обмеженій *TS-мережі* Петрі для $\forall t_j$, дозволеного в рамках сценарію S_i, виконані дві умови:

1.1. Всі вершини $p_{i1}....p_{ik}$, що становлять сценарій *Si* і визначають спрацьовування переходу t_j або існує хоча б один інший перехід t_i такий, що вершини $p_{i1}....p_{ik}$ здобувають розмітку одночасно в результаті спрацювання цього переходу t_i.

1.2. розмітка M_i, що визначає сценарій *Si*, який збігається з вектором-стовпцем матриці *F*, що відповідає переходу t_j, $\forall p_i \in PM_i(p_i) = F(p_i, t_j)$. Причому можливо існування іншого, відмінного від t_j, переходу t_k

$$\forall p_i \in PF(p_i, t_k) = F(p_i, t_j), \tag{3.8}$$

де, $t \neq k$.

Це означає, що обмежена *TS-мережа* в процесі функціонування переходить від стану до стану в результаті послідовного спрацьовування ланцюжка переходів. Зміна станів системи спричиняє зміну сценаріїв: всі фішки, що позначили вершини сценарію *Si* в результаті спрацьовування переходу t_i перейдуть до вершин сценарію *Sj* в результаті спрацьовування дозволеного в рамках сценарію *Si* переходу.

Множина переходів в обмеженій *TS-мережі* Петрі є множина, динамічно сформована в процесі конструювання або в процесі формування структури мережі.

Розглянутий апарат обмежених TS-мереж Петрі дозволяє побудувати алгебру для адекватного логічного моделювання динамічних недетермінованих структур і процесів. У даному дослідженні обґрунтовано виділення класу мереж, що володіють деякими спеціальними властивостями, істотними для класу розглянутих завдань. Ці властивості дозволяють визначити набір операцій для конструювання коректних мереж з під мереж для реалізації сценаріїв управління.

На основі вище розглянутого реалізуємо А сценарії управління відділень.

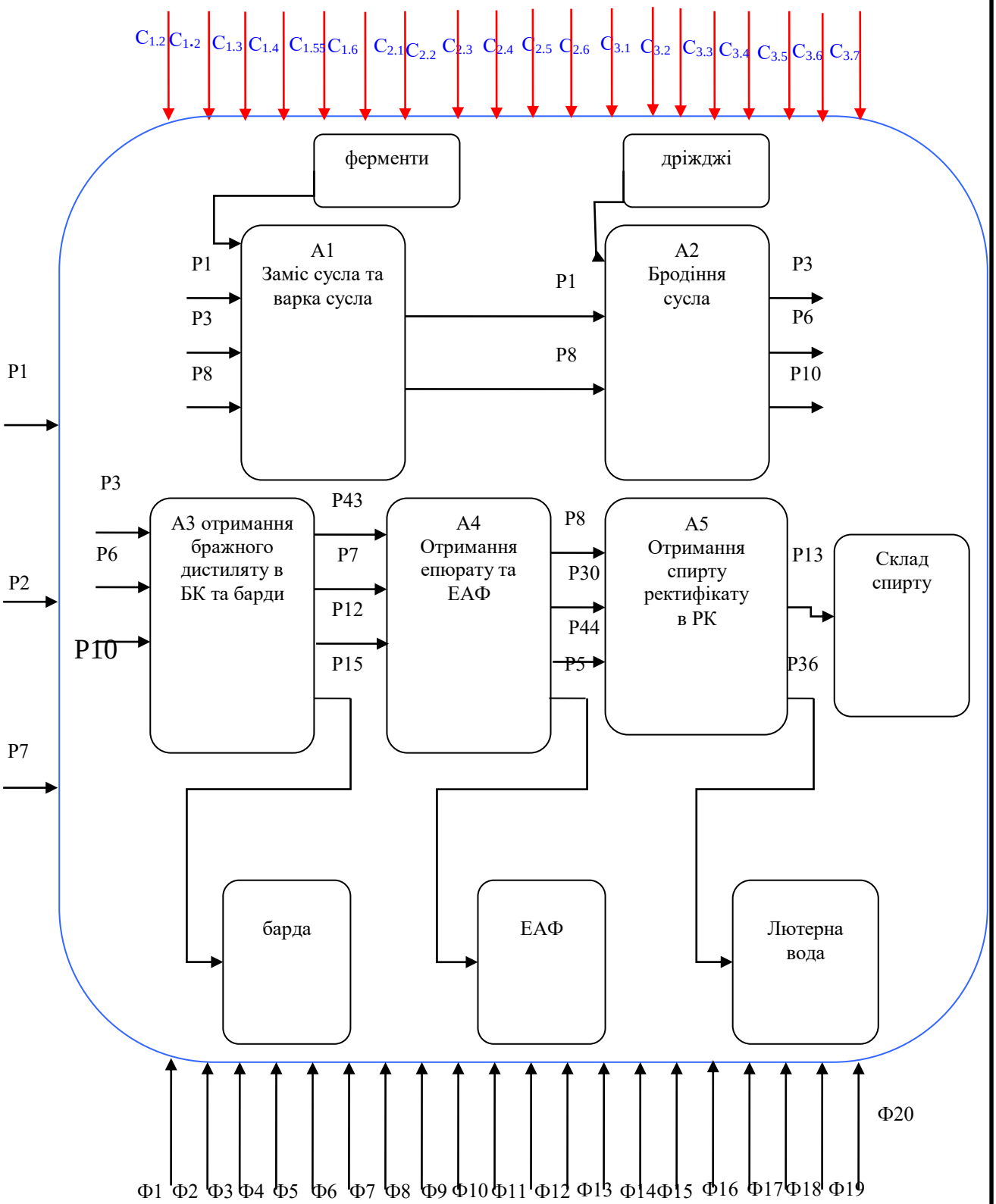


Рис. 3.2. Узагальнений А0 – сценарій проходження процесів виробництва спирту.

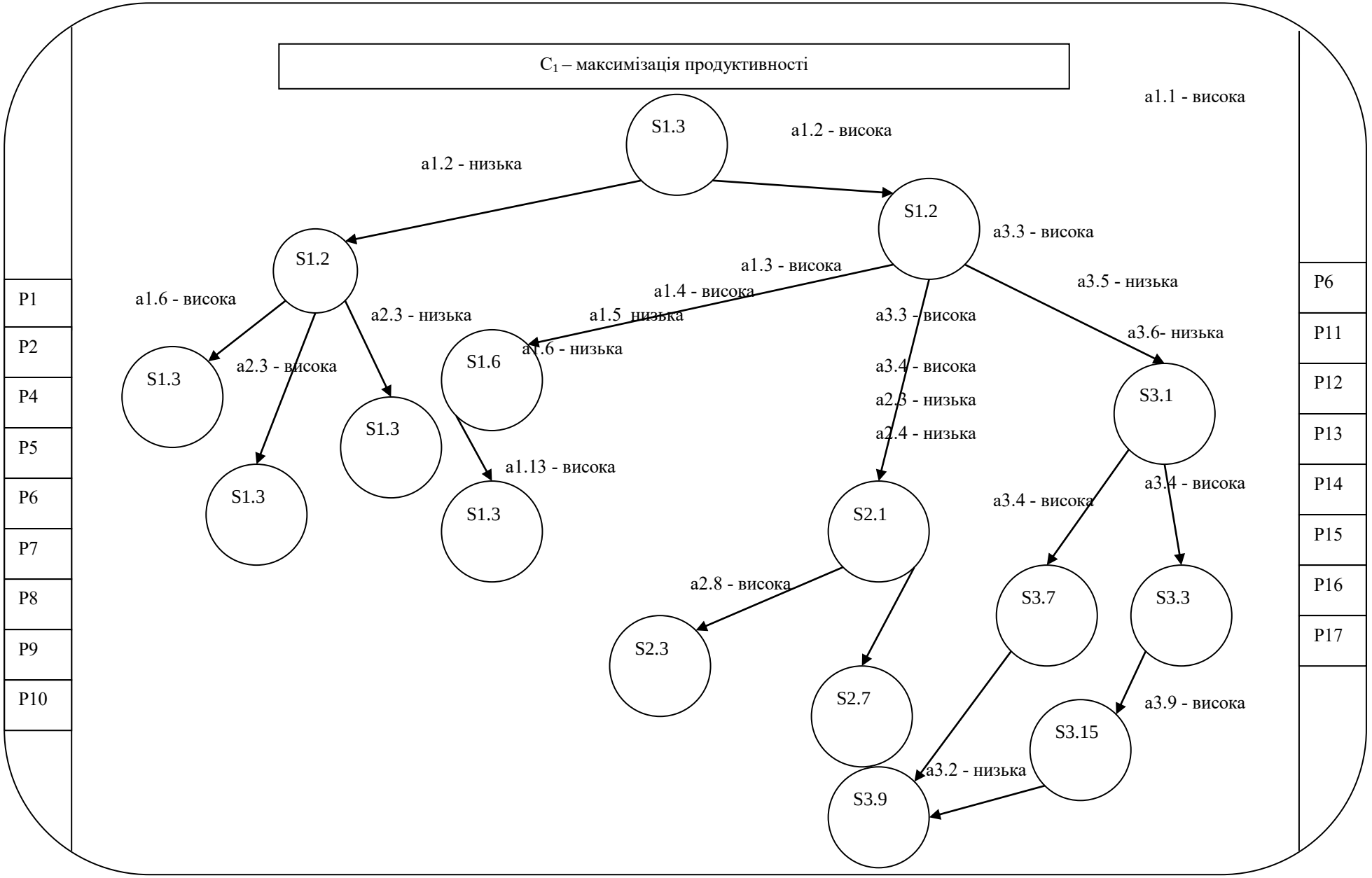


Рис. 3.3. Узагальнений С – сценарій максимізації продуктивності

3.2. Алгоритми динамічного аналізу ситуації на основі моделей розпізнавання поточної інформації

Побудова ефективних алгоритмів управління процесами варки, бродіння та брагоректифікації не може бути ефективно реалізована шляхом застосування стандартних алгоритмів класифікації.

Задача аналізу має ряд характерних особливостей, що відрізняють її від інших процедур автоматизації прийняття рішень:

- можливість ведення поняття подібності між ситуаціями прийняття рішень про віднесення ситуації до певного класу;
- наявність набору образів, класифікація яких відома і які (у вигляді формалізованого опису) можуть бути представлені алгоритму розпізнавання для настройки на задачу в процесі навчання;
- труднощі формального опису ситуацій математичними методами, так як доступна інформація про предметну область не дозволяє будувати математичні або фізичні моделі і вирішувати задачу чисельними методами, або математична модель може бути побудована, але синтез і вивчення цієї моделі пов’язані з великими затратами часу або обчислювальних ресурсів;
- наявність різнорідної, неповної, обмеженої інформації в якості вихідного вектору для розпізнавання.

Існує ряд моделей алгоритмів розпізнавання :

- моделі, що засновані на використанні принципу розділення (R-моделі);
- статистичні моделі, що засновані на використанні апарату математичної статистики;
- моделі з використанням методу потенціальних функцій (П-модель);
- моделі обчислення оцінок (Г- моделі);
- моделі, засновані на апараті алгебри логіки (Л-моделі).

Під образом ситуації розуміється структурований опис ситуації або явища, причому частинна визначеність опису є принциповою властивістю образу. Опис служить для встановлення відповідності образів, тобто доказу їх ідентичності,

подібності, що здійснюється співставленням. Співставлення образів являє собою основну задачу як розпізнавання образів, так і штучного інтелекту в цілому.

Прийняття тієї або іншої моделі алгоритму залежить в першу чергу від можливості використання результатів розпізнавання процедурами логічного виводу сценаріїв, заснованих на певному підході до опису предметної області і використанню моделі представлення даних і знань. Також важливим показником є кількість обчислень при обробці вхідної інформації для перетворення її у вигляді, необхідному для алгоритму розпізнавання. Кількість часу, що витрачається на розпізнавання ситуації прямо пропорційна кількості обчислень і кількості елементів вектору розпізнавання. Часовий фактор має важливе значення, так як САУ повинна працювати в режимі реального часу. Попередній аналіз моделі алгоритмів розпізнавання по відношенню до використання їх в даній предметній області з прийнятими методами опису даних і знань, показав, що доцільно використовувати модель обчислення оцінок (Г-модель). Задача розпізнавання ставиться таким чином: дано множина M об'єктів w; на цій множині існує розбиття на кінцеве число підмножин (класів) $\Omega_i, i = 1, m$ $M = \bigcup_{i=1}^{m} \Omega_i$. Розбиття визначене не повністю. Задана лише деяка інформація I_0 про класи Ω_i. Об'єкти w задаються значеннями деяких ознак $X_j, j=1,n$. Сукупність значень ознак X_j визначає опис $I(w)$ об'єкта w. Кожна з ознак може приймати значення з різних множин допустимих значень, наприклад $\{0,1\}$- ознака не виконання або виконання; $\{0,1,d-1\}$ – ступінь вираженості ознаки має різні градації, $d > 2$. Опис об'єкта $I(w)=(X_1(w),\ldots,X_n(w))$ називають стандартними, якщо $X_j(w)$ приймає значення із множини допустимих значень.

В основі класу алгоритмів, заснованих на обчисленні оцінок лежить природний евристичний принцип, яким користується людина - принцип прецедентності, тобто прийняття рішень за аналогією, а саме – в аналогічних ситуаціях треба діяти аналогічно.

Таблиця 3.9

Таблиця навчання $T_{N,M}$

Об'єкт	X_1	X_j	$X_{n/}$	Клас
w_1	$a_{1,1}$	$a_{1,j}$	$a_{1,n}$	Ω_1
w_i	$a_{i,1}$	$a_{i,j}$	$a_{i,n}$	Ω_i
w_m	$a_{m,1}$	$a_{m,j}$	$a_{m,n}$	Ω_m
w'	b_1	b_j	b_n	?

Алгоритм розпізнавання, заснований на принципі частинної прецедентності, порівнює опис об'єкта, що розпізнається *I(w')*, з описом об'єктів в $T_{N,M}$ і приймає рішення про те, до якого класу треба віднести цей об'єкт. Рішення виноситься на основі обчислень степені подібності розпізнаваємого об'єкта з рядками, належність яких до заданого класу відома.

Нехай задані стандартні описи об'єктів $\{w_i\}$ $(w_i \in \Omega_i), i=1,m$. Необхідно визначити належність до класу Ω_i, потрібну для розпізнання об'єкта *w'*. В найпростішому випадку узагальнена близькість прирівнюється сумі між частинами описів. В результаті характеристику

$$\Gamma(w') = \Gamma(w', \Omega_i) = \sum_{i=1}^{n} a_{i,j}$$

називають значенням функції належності об'єкта *w'* до класу Ω_i.

Для розрізнення ситуацій процесів брагоректифікації будемо застосовувати поняття опорної множини алгоритму розпізнавання. Опорною множиною є підмножина множини ознак, що описують об'єкт. Розглянемо повний набір ознак $(x_1,\ldots,x_n)$ і виділимо систему опорних множин $S_1,\ldots S_1$. Видалимо будь-який набір ознак із рядків $w_1, w_2, \ldots, w_m$ і позначимо отримані рядки через $Sw_1, Sw_2,\ldots,Sw_m$.

Правило близькості, що дозволяє оцінити схожість рядків Sw' і Sw_i, $i=1,m$ полягає в наступному. Нехай "урізані" рядки містять q перших ознак, тобто $Sw'=(b_1\ldots b_q)$ і $Sw_r = (a_1,\ldots,a_q)$, і задані пороги $\varepsilon_{1,\ldots}\varepsilon_q$.

Рядки Sw' і Sw_i вважаються подібними, якщо виконується не менше ніж δ нерівностей виду:

$$/ a_j - b_j / < \varepsilon_j, \; j = 1, q.$$

Величини $\varepsilon_{1,\ldots} \varepsilon_q$ входять в якості параметрів в модель класу алгоритмів обчислення оцінок.

Розглянемо процедуру обчислення оцінок по підмножині S_1. Перевіряється близькість рядка *Sw'* із рядками $Sw_1, Sw_2, \ldots, Sw_m$, що належать різним класам Ω. При $\delta < q$ для кожного рядка Sw_i обраховується відносна оцінка:

$$\Gamma(w', \Omega_i) = \delta_i / q_i, i = 1 < q, j = 1, m$$

Серед всіх рядків $Sw_1, Sw_2, \ldots, Sw_m$ найбільш подібним вважається рядок з найбільшою відносною оцінкою, але w' вважається не ідентифікованим і необхідно провести навчання шляхом внесення в таблицю $T_{N,M}$ ознак $(x_1, \ldots, x_n)$, що описують об'єкт *w'*.

Запропонований спосіб представлення і обробки знань має ряд переваг в порівнянні з відомими системами, заснованими на використанні сценаріїв, за рахунок компактного представлення слотів фреймів, багатоваріантного вибору початкового сценарію і його деталізації, автоматичного визначення поточної ситуації і можливості навчання в режимі роботи системи.

Класифікація ситуацій. Простір станів предметної області - це клас усіх можливих кінцевих множин об'єктної і системної предметної області.

Для опису динаміки предметної області необхідним є ідентифікація траєкторії предметної області в просторі станів.

Семантика предметної області визначається як загальна властивість усіх можливих траєкторій у просторі станів.

Ситуації, які виникають на БРУ, підлягають певній класифікації. Ця класифікація розглядає властивості як спеціальний випадок ситуацій. Одночасно вона вводить ще одне важливе поняття - поняття часу, що явно або неявно є присутнім при виділенні підкласів зазначеної ієрархії. Час виступає як множина окремих моментів і як множина

інтервалів (тимчасовий стан, негомогенний процес). У явному вигляді структури цих множин не фіксовані, хоча відношення проходження між моментами часу вважається відомим.

Варто розрізняти реальний час зовнішнього світу і його відображення в ІС і в джерелах інформації.

Усередині системи залежні від часу взаємозв'язки фокусуються тільки після їхньої реєстрації джерелами передачі повідомлень інформаційній системі.

3.3 Алгоритми пошуку оптимальних багатоцільових рішень по управлінню відділеннями.

Формування сценарної стратегії оптимального управління відділеннями будується на основі динамічної стратегії і повинно забезпечувати заданий ступінь точності та аналіз кількісної оцінки можливості попадання об’єкта управління в ризиковану ситуацію і обмежує, у випадку реалізації ризику, розмір потенційних втрат спирту.

При вирішенні задачі оптимізації управління відділенням та оцінці режимів роботи використовуються економічні цільові функції, а для оцінки динамічних (перехідних) режимів роботи – технічні цільові функції .

Для оцінки статичних режимів роботи відділень найбільш часто використовується економічна цільова функція.

В якості основних залежностей, які входить в критерій оптимізації, використовуються модель п’ятого рівня, що описана в другому розділі.

Система оптимізації процесів виробництва спирту повинна забезпечити задану якість по вихідному цільовому продукту (спирту) при заданій продуктивності та мінімумі виробничих втрат. Ці показник повинні бути досягнуті в усталених статичних режимах роботи установки.

Виходячи з задач статичної оптимізації, при виникненні такого роду збурень є необхідним зміна режиму роботи установки, тобто перехід на інші ділянки статичних характеристик у відповідності до оптимальної цільової функції управління. В такому випадку система управління має підтримувати необхідний режим роботи БРУ на протязі всього часу впливу збурення (F_j, x_{Fj}).

В цілому управління процесами варки, бродіння та баргоректифікації являє собою багатокроковий процес прийняття рішень. Кожний крок в процедурі вибору рішення пов’язаний з певною цільовою функцією управління і являє собою набір керуючих дій для j-ї колони.

Процес знаходження рішення складається з двох етапів. На першому етапі відбувається розпізнавання образу ситуації. На наступному етапі – за допомогою закладених сценаріїв здійснюється формування оптимального управління у відповідності до поставлених критеріїв управління.

При вирішенні задач оптимального управління БРУ були виділені такі множини критеріїв.

Множина агрегованих критеріїв:

$$F = \begin{Bmatrix} K_i \\ P_i \\ W_i \end{Bmatrix}_i^s \qquad \begin{array}{l} - \textit{ якість;} \\ - \textit{ продуктивність;} \\ - \textit{ витрати.} \end{array}$$

та адитивна згортка з урахуванням ситуаційної пріоритетності визначених критеріїв

$$F_i = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i F_i^j \,, \qquad (3.19)$$

де, λ_i - значення пріоритету критерію (нормоване).

В загальному випадку стратегія управляючої сторони X_i, $i = \overline{1,n}$ може бути скаляром, вектором, матрицею або ще більш складним утворенням .

Генетичний алгоритм оптимізації - це метод вирішення задачі оптимізації на основі природного добору, аналогічно тому, як це відбувається в процесі біологічної еволюції. У генетичному алгоритмі відбувається багаторазова модифікація сімейства окремих рішень. На кожному кроці в генетичному алгоритмі проводиться відбір обраних суб'єктів(рішень) з отриманого поточного рішення, названого батьківським і яке використовується для генерації наступного

дочірнього покоління. За допомогою послідовного відбору поколінь відбувається "еволюція" у напрямку до оптимального рішення. Генетичний алгоритм можна застосовувати до різноманітних завдань оптимізації, які недостатньо чітко вписуються під стандартні оптимізаційні алгоритми.

На кожному кроці для генерації наступного покоління в генетичному алгоритмі використаються наступні три основні правила:

1. Правило відбору, що відбирає об'єкти, названі батьківськими й котрі становлять основу наступного покоління з поточного рішення.
2. Правило схрещування, по якому відбувається вибір із двох батьківських і виходить дочірній об'єкт для наступного покоління.
3. Правило мутації, по якому на основі імовірнісних алгоритмів з батьківських об'єктів формуються дочірні.

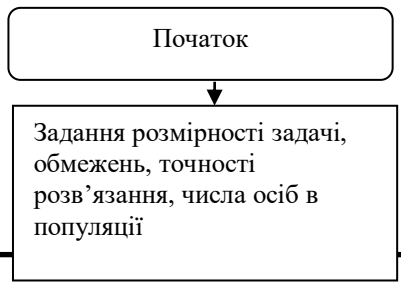
Пошук через цільову функцію придатності, яка підлягає оптимізації. У випадку стандартних оптимізаційних алгоритмів вона відома як цільова функція. Функцію придатності можна записати в М-файл і передати у вигляді якогось аргументу в основний генетичний алгоритм (рис. 3.7.(а)).

Для того, що б одержати нове покоління в генетичному алгоритмі на кожній ітерації проводиться якась серія розрахунків на основі поточного сімейства. І на основі них обирається успішне сімейство, що називається новим поколінням.

Розкидом називається середня відстань між і об'єктами індивідуумів для певного сімейства. Сімейство має високий розкид, якщо середня відстань між індивідуумами є істотно більшою, у противному випадку буде низький розкид.

Поняття розкиду є істотним для генетичного алгоритму, оскільки через нього виробляється оцінка розміру розглянутого простору.

Значення придатності об'єкта індивідуума є значення цільової функції для даного індивідуалізованого об'єкта.



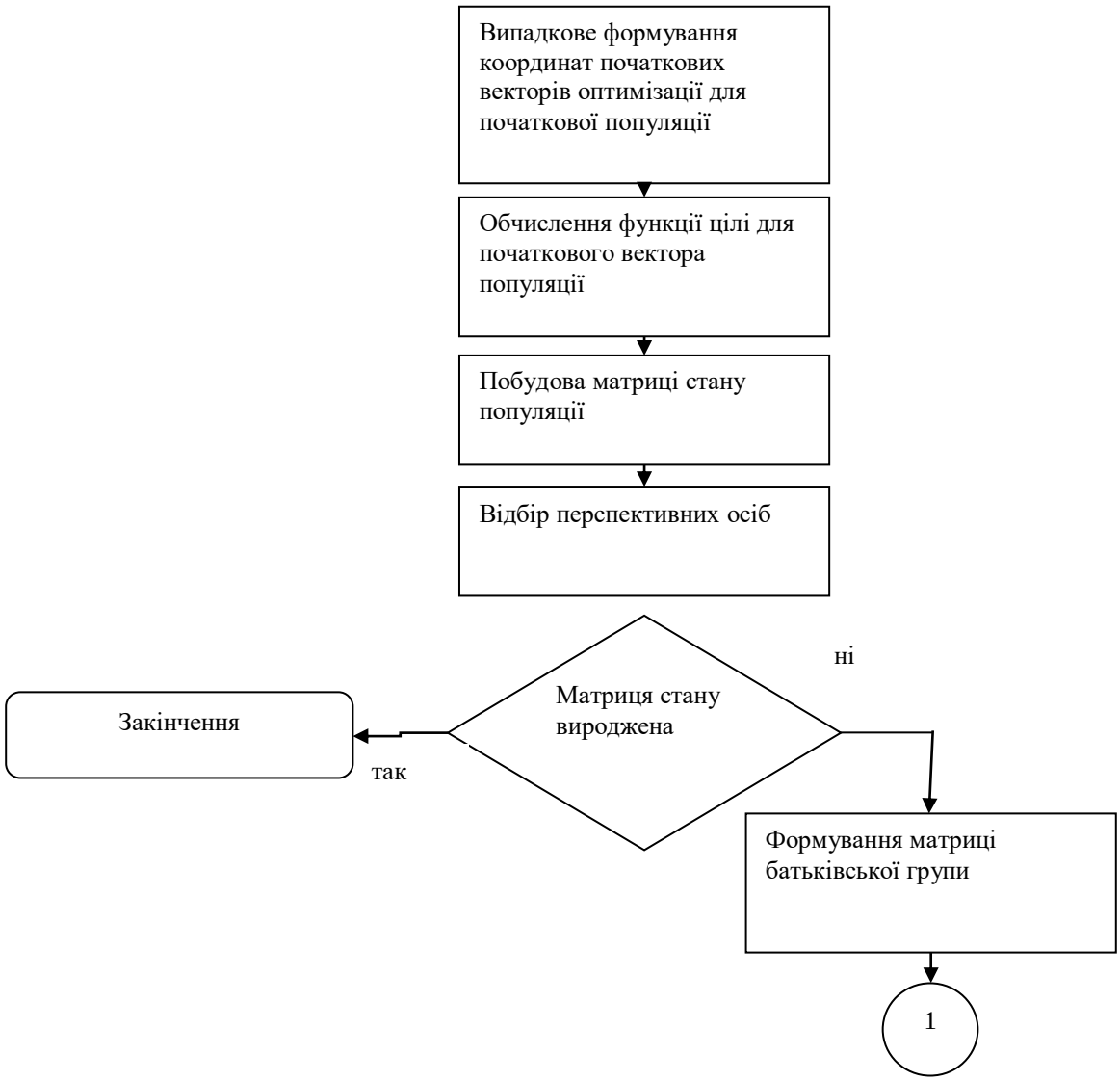


Рис. 3.7. (а) Блок – схема першої частини, що базується на генетичному алгоритмі

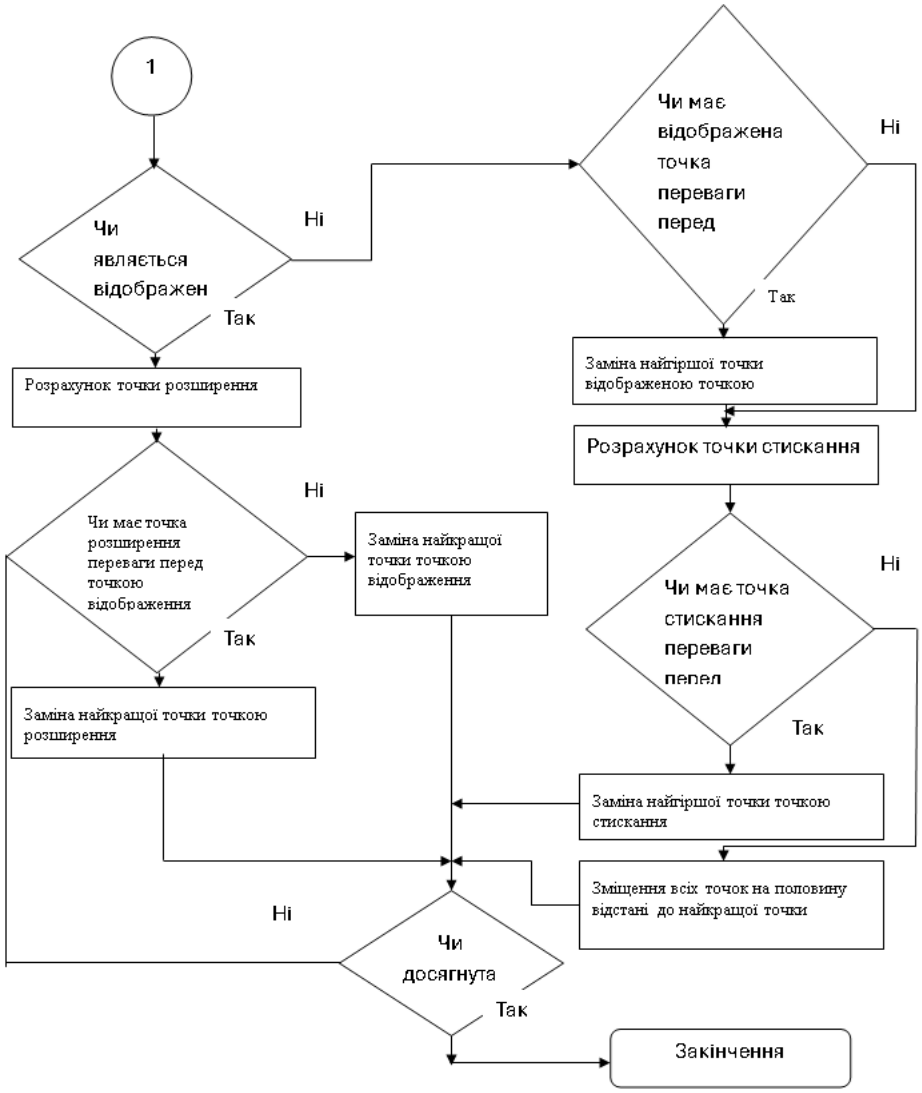


Рис. 3.7. (б) Блок – схема другої частини алгоритму, в основі, якої лежить метод Нелдера - Міда

Для того, щоб одержати наступне сімейство, у генетичному алгоритмі виробляється відбір певних індивідуалізованих об'єктів у поточному сімействі, названим батьківським і котрі далі використовуються для утворення об'єктів індивідуумів для наступного сімейства, названого дочірнім. Як правило, вибираються ті батьки, які дають більше кращих значень функції придатності.

На початковому етапі проектування вирішуються завдання:

1) прийняття рішень по формуванню цілей, поставлених перед системою управління (завдання цілеполагання):

2) розробка й аналіз способів (сценаріїв) досягнення поставлених цілей (сценарно-цільове моделювання);

3) розробка й аналіз сценаріїв руху інформаційних, матеріальних і інших потоків у середині системи й між системою й середовищем (сценарно - потокове моделювання).

Рішення зазначених завдань може виробляється на основі двох підходів. Перший з них, який будемо називати статичним, передбачає побудову множини потенційно можливих варіантів рішень і вибір з нього найкращого варіанта на основі сукупності критеріїв (багатокритеріальний вибір).

Другий підхід, що назвемо динамічним, полягає в тім, що формується прототип рішення, над яким здійснюється імітаційний експеримент. За результатами експерименту виробляється корекція прототипу, причому цей процес може повторятися багаторазово, аж до одержання прийнятного рішення.

Статичне цілеполагання полягає в послідовному звуженні множини можливих цілей системи з формуванням оптимального набору відібраних цілей - оптимальної багатоцільової альтернативи. При статичному цілеполаганні використається метод аналізу ієрархій, якісні методи прийняття рішень, методи теорії нечітких множин і т.п.

Динамічне цілеполагання передбачає вибір цільових факторів на основі аналізу тенденцій розвитку системи з урахуванням подаваних на неї керуючих впливів. Динамічне цілеполагання базується на застосуванні математичного апарата знакових графів, що відображають взаємний вплив факторів, розділених на керуючі й цільові.

Статичне й динамічне цілеполагання взаємно доповнюють один одного: їхній науково - обгрунтоване зіставлення, видимо, дає значно вагомі результати.

На користь статичного цілеполагання свідчить використання апробованих строгих методів багатокритеріального вибору, однак відсутня комплексна технологія статичного цілеполагання, що дозволяла б ефективно вирішувати реальні завдання великої розмірності в області складних об’єктів.

Статичне сценарно-цільове моделювання обговорювалось у ряді робіт з використанням методів граматики (еквівалентного їй методу, заснованого на теорії графів) , методів теорії генетичних алгоритмів та ін.

На рівні динамічного сценарно-цільового моделювання розробляються й досліджуються різні сценарії досягнення обраних цілей, які трактуються як послідовності виконання цілеспрямованих дій - операцій, вирішуються завдання реалізації сценаріїв. Динамічне сценарно-цільове моделювання опирається на математичний апарат графів операції, що представляють собою класичні (канонічні) мережі Петрі, додатково навантажені формальними вираженнями подій, що ініціюють переходи між операціями.

На сценарному рівні розроблювач оперує незрівнянно більшим обсягом знань про систему, ніж на рівні вибору цілей, тому проведений їм аналіз системи більше змістовний і інформативний.

Вищерозглянуте статичне сценарно-цільове моделювання для реальних складних об'єктів надзвичайно трудомістко (з врахуванням того, що цільовий сценарій як спосіб досягнення цілей описує складний порядок виконання операцій, включаючи можливі альтернативи, паралелізм та синхронізацію).

Виходячи із цього розвивається технологія динамічного сценарно-цільового моделювання на основі графів операцій, що включає в себе ряд нових елементів (лінійна апроксимація досяжності цілей, узагальнена алгебра подій і ін.).

Що стосується динамічного сценарно-потокового моделюванні, то відповідні методи, засновані на теорії узагальнених (розфарбованих) мереж Петрі, розглянуті в роботі.

Процедура статичного цілеполагання складається із трьох етапів.

А. Формулюється загальна (глобальна) ціль складних об'єктів. Глобальна мета, як правило, розкладається на множину цілей наступного рівня, останні розкладаються на свої складові і т.п. доти, поки не одержимо кінцеві (термінальні) мети [68]. Таким чином, формується ієрархія цілей - цільове дерево.

В. Для реальних складних технологічних об'єктах може мати місце велика кількість термінальних цілей, тому необхідно ранжувати ці мети і відібрати з них обмежене число (порядку 5...7) найбільш значущих. Ранжування й відбір виробляється по вагових коефіцієнтах на основі методу аналізу ієрархій [105] із залученням експертів.

C. Відібрані цілі трактуються як лінгвістичні змінні, що приймають якісні значення (установлювані експертами і виражають словесними формулюваннями типу низький, середній, високий і т.п.). Якісна шкала мети відображається на кількісну шкалу, на якій кожній лінгвістичній оцінці зіставляється точка, що виражає певне число балів. Множина М всіх можливих наборів бальних значень обраних термінальних цілей утворить багатокритеріальний простір цілеполагання. Точки в сформованому просторі будемо називати багатоцільовими альтернативами.

D. Множина М на основі думок експертів розбиваємо на непересічні підмножини - класи рішень, обумовлені обмеженнями на споживані ресурси складних об'єктів, у першу чергу, на матеріальні й часові ресурси. Вибираємо найкращий клас рішень, який влаштовує нас із погляду обмежень на ресурси (множина М1).

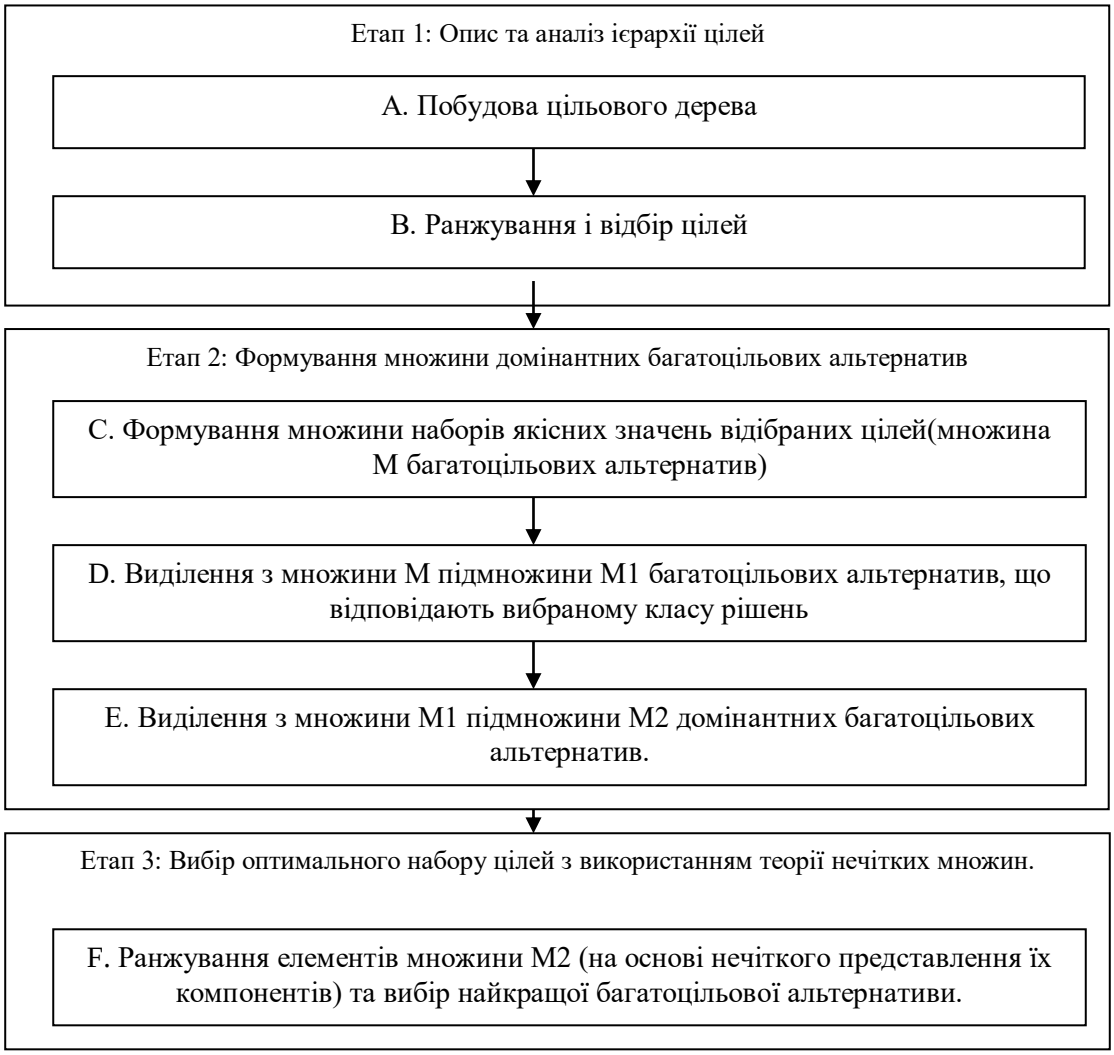


Рис. 3.8. Основні етапи процедури статичного цілеполагання

E. У множині M1 на основі відносин домінування формується підмножина M2 домінантних багатоцільових альтернатив (по термінології в роботі [103] оптимальних за Парето).

F. Для кожної домінантної альтернативи на основі подання її компонентів (цілей) у вигляді нечітких змінних [31,32] обчислюється числовий індикатор - індекс досяжності мети. Результатом процедури цілеполагання є альтернатива з максимальним значенням цього індикатора, що вказує ті значення цілей, які ми плануємо досягти при роботі складних об'єктів.

Пропонована технологія статичного цілеполагання має ряд позитивних властивостей:

• обґрунтоване скорочення числа термінальних цілей дозволяє не виходити за рамки психологічних можливостей експертів [108];

• питання, що задають експертові, максимально спрощені;

• у ході реалізації технології здійснюється постійний контроль несуперечності відповідей експертів.

Опис і аналіз ієрархії цілей (етап 1)

Нехай цільове дерево складного об’єкта має вид, показаний на рис. 3.9 (зміст цілей БРУ представлений у табл. 3.10).

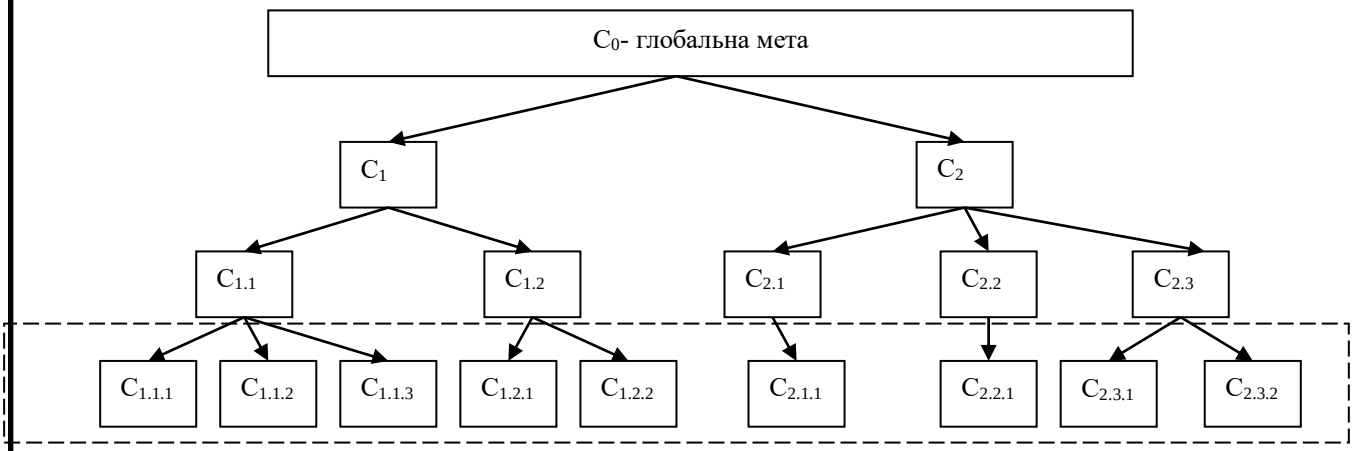


Рис. 3.9. Приклад цільового дерева складного об’єкта

Таблиця 3.10

Зміст мети цільового дерева

Позначення цілей для колон	Позначення цілей та підцілей	Позначення
1	2	3
Цілі управління	$C_{1бк}$	підвищення концентрації сусла
	$C_{2бк}$	підвищити продуктивність роботи
	$C_{3бк}$	підвищити економічну ефективність роботи

Продовж. табл. 3.10

1	2		3
	Підцілі управління підробіткою	$C_{1.1}$	зменшити витрати води
		$C_{1.2}$	стабілізація процесу оцукрювання
		$C_{1.3}$	забезпечення необхідного завантаження ферментаторів
		$C_{1.4}$	підтримка необхідної температури замісу
		$C_{1.5}$	реалізація оптимального управління за економічною цільовою функцією.
		$C_{1.6}$	стабілізація температур чанів
Цілі управління бродильного відділення	$C_{1ек}$		підвищити ефективність бродіння
	$C_{2ек}$		забезпечити необхідну температуру
	$C_{3ек}$		підвищити економічну ефективність роботи
	Підцілі управління	$C_{2.1}$	Підвищити якість бражки
		$C_{2.2}$	необхідна подачі пари (для виділення відповідних домішок)
		$C_{2.3}$	Нормована подача дріжджів.
		$C_{2.4}$	підтримка необхідної температури в перед. чані
		$C_{2.5}$	реалізації оптимального управління за економічною цільовою функцією
		$C_{2.6}$	стабілізація бродіння.
Цілі управління бру	$C_{1рк}$		забезпечити завантаження РК,ЕК,БК
	$C_{2рк}$		забезпечити необхідну продуктивність по відбору
	$C_{3рк}$		забезпечити необхідні якісні показники
	$C_{4рк}$		стабілізація температури контрольної тарілки на рівні регламенту
1	$C_{5рк}$		підвищити економічну ефективність роботи РК,ЕК,БК
1			

	$C_{6рк}$		мінімізація втрат з кубовим залишком
	Підцілі управління РК	$C_{3.1}$	подача живлення на колону
		$C_{3.2}$	Стабілізована подача пари
		$C_{3.3}$	відбір спирту
		$C_{3.4}$	необхідний відбір сивушної фракції
		$C_{3.5}$	підтримка необхідної витрати не пастеризованого спирту
		$C_{3.6}$	реалізації оптимального сценарного управління за економічною цільовою функцією РК
		$C_{3.7}$	стабілізація тисків та температур колони

Кожна ціль та підцілі визначені основі експертного аналізу функціонування відділень формують набір основних стратегій для забезпечення оптимальних техніко – економічних показників функціонування заводу.

В процесі сценарного аналізу розрізняють два види моделювання поводження системи.

На першому етапі здійснюється моделювання функціонування існуючої системи. Сценарний підхід обов'яково включає підсистему прогнозування, при різних стратегіях та оцінках змінних параметрів відділень. Вибір сценарію має здійснюватися на основі прогнозування параметрів на основі нейронного підходу.

Здійснюючи факторно – цільовий аналіз роботи відділень спиртового заводу і при цьому прорангувавши атомарні зовнішні цілі та вибравши з них найбільш впливові, розробили мережеву модель, яка базується на ідеології побудови мережі Петрі з різнокольоровими фішками, що свою чергу відображає можливі варіанти способів досягнення цілей. Апарат, який закладений в мережі Петрі, має всі механізми, щоб адекватно відобразити динаміку складних систем, також існує можливість побудови паралельних процесів.

Для визначення інтегральних оцінок впливу цілей управління, слід сформувати матрицю взаємодії цілей управління відділеннями (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Матриця взаємодії цілей управління

Ваги цілей	2	2	4	5	7	5	5	4	7	8	9	5	5	5	5	7	4	9	7	Інтегральна оцінка	Відібрані цілі
	$C_{1.1}$	$C_{1.2}$	$C_{1.3}$	$C_{1.4}$	$C_{1.5}$	$C_{1.6}$	$C_{2.1}$	$C_{2.2}$	$C_{2.3}$	$C_{2.4}$	$C_{2.5}$	$C_{2.6}$	$C_{3.1}$	$C_{3.2}$	$C_{3.3}$	$C_{3.4}$	$C_{3.5}$	$C_{3.6}$	$C_{3.7}$		
$C_{1.1}$	+1.0		+0.8	+0.1	+1.0	+0.5	+0.8	-	-	-	+0.5		+0.8	+0.7	+0.7	+0.9	+0.5	+0.3	-	9.6	+
$C_{1.2}$	-	+1.0	+0.7	-	+0.8	+1.0	+0.7	-0.1	-	-	-	-0.5	+0.5	-0.1	+0.2	+0.5	+0.1	-	-	4.8	+
$C_{1.3}$	-	-0.7	+1.0		+0.8	-0.2	+0.1	-0.1	+0.5	-	-	+0.5	+0.7	-0.1	+0.1	+0.9	+0.7	-	-0.3	3.6	+
$C_{1.4}$	-	+0.5		+1.0	+0.3	+0.5	+0.2	-	-	-	-	-	+0.1	-	-	-	-	-	-	2.6	
$C_{1.5}$	-	+0.7	+0.8	-	+1.0	+0.7	+0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	+
$C_{1.6}$	-	+0.8	+0.7	-	+0.7	+1.0	+0.7	+0.5	+0.7	+0.5	+0.7	+0.3	+0.8	+0.7	-	+0.5	+0.3	-	-	8.9	+
$C_{2.1}$	-	-	-	-	-	-	+1.0	+0.5	+0.7	+0.7	+0.9	+0.8	+0.2	-	-	+0.2	-	-	-	5	+
$C_{2.2}$	-	-0.1	-	-	-	-	-	+1.0	-	+0.7	+0.9	+0.9	+0.9	+0.4	-0.1	+0.2	+0.2	-	-	5	+
$C_{2.3}$	-	-	-	-	-	-	-	-	+1.0	+0.8	+0.9	+0.7	+0.5	-	+0.8	-	-	-	-	4.7	+
$C_{2.4}$	-	-	-	-	-	-	-	+0.7	+0.9	+1.0	+0.9	+0.8	+0.7	-	+0.3	+0.3	+0.5	+0.2	-	6.3	+
$C_{2.5}$	-	-	-	-	-	-	-	+0.8	+0.5	+0.7	+1.0	+0.2	+0.2	-	-	+0.3	-	-	-	3.7	+
$C_{2.6}$	-	-	-	-	-	-	-	+0.8	+0.7	+0.8	+0.8	+1.0	+0.8	-0.1	+0.2	+0.2	+0.3	-	+0.2	5.7	+
$C_{3.1}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1.0	+0.8	+0.7	+0.9	+0.8	+0.8	+0.8	5.8	+
$C_{3.2}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1.0	+0.8	+0.9	+0.1	+0.9	+0.8	4.5	+
$C_{3.3}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+0.2	+1.0	+0.3	+0.2	+0.8	+0.8	3.3	
$C_{3.4}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+0.7	+0.5	+1.0	+0.5	+0.9	+0.9	4.5	+
$C_{3.5}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+0.2	+0.3	+0.2	+1.0	+0.9	+0.7	3.3	+
$C_{3.6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+0.7	+0.8	+0.7	+0.8	+1.0	+0.9	4.9	+
$C_{3.7}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+0.7	+0.9	+0.7	+0.9	+0.9	+1.0	5.1	

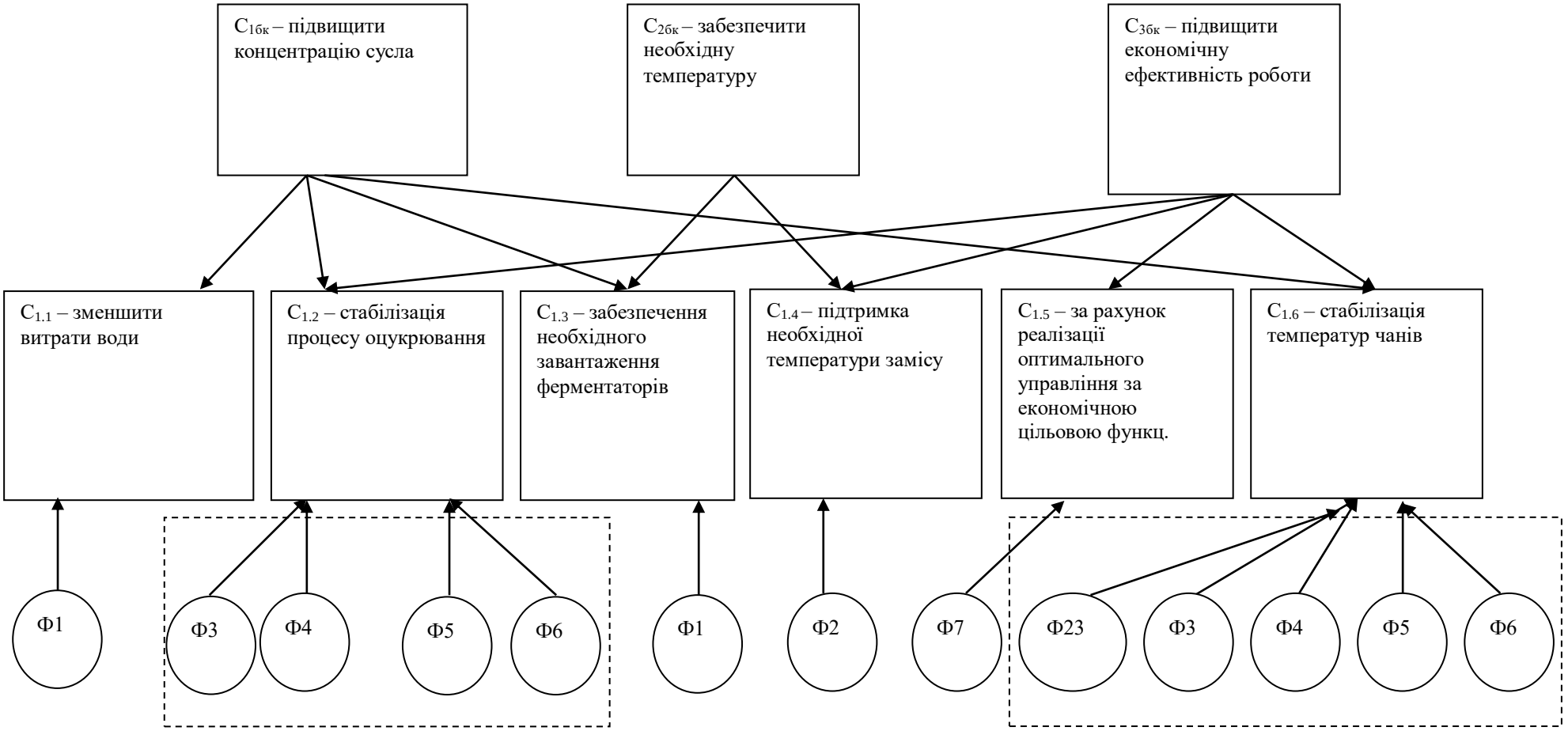


Рис. 3.10. Факторно-цільова діаграма роботи підробітки

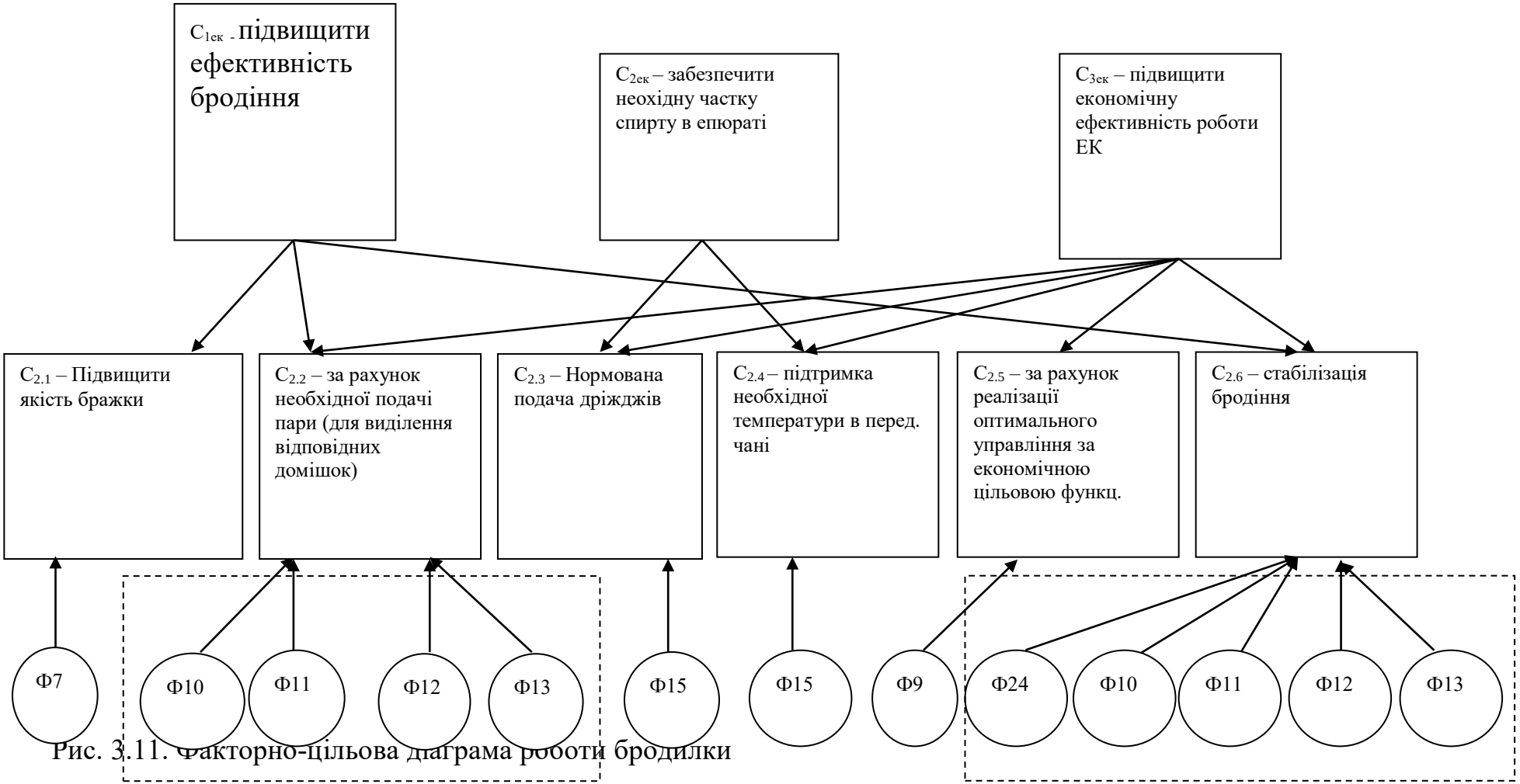


Рис. 3.11. Факторно-цільова діаграма роботи бродилки

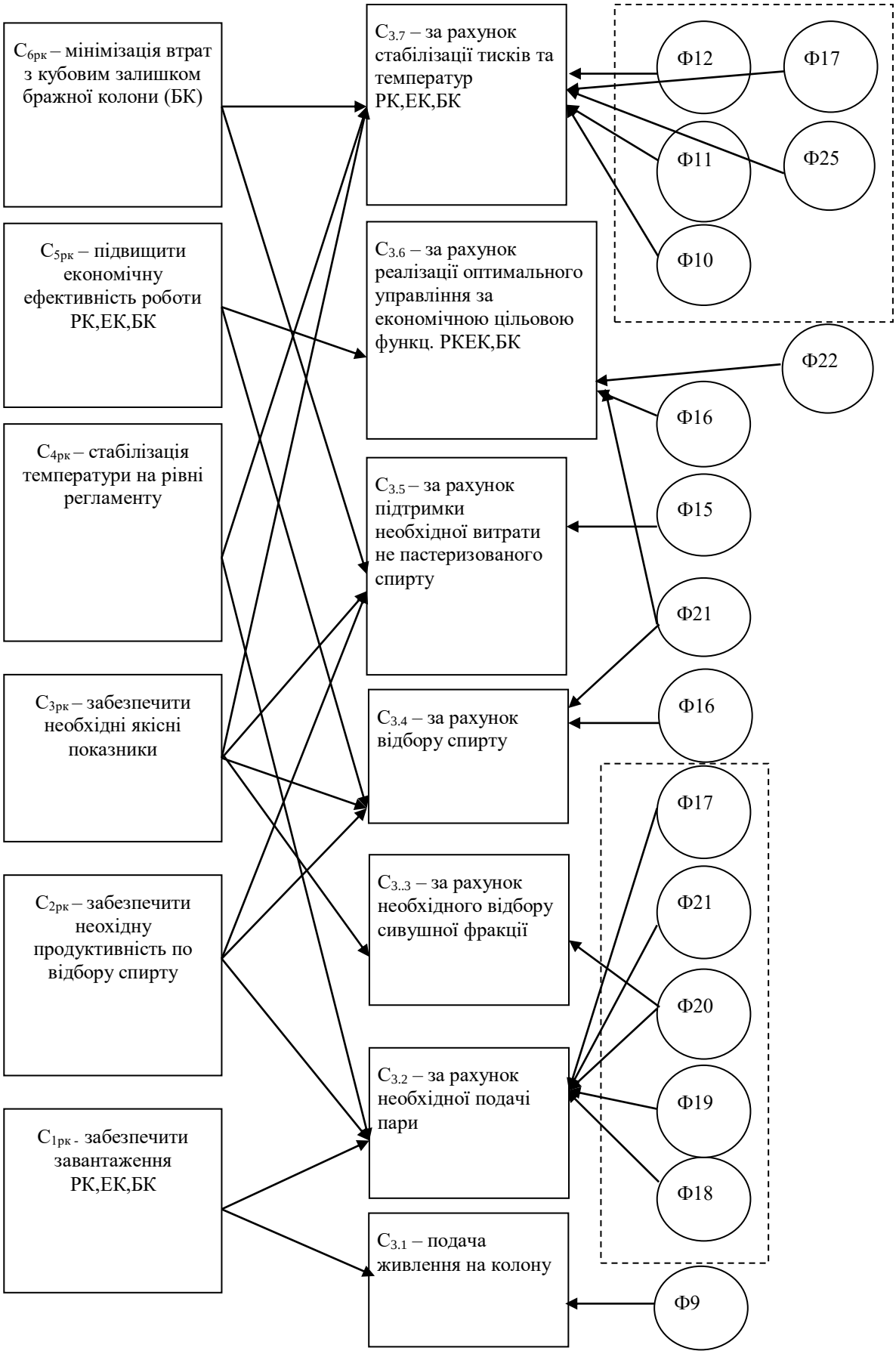


Рис.3.12. Факторно – цільова діаграма роботи БРУ

Найбільш частіше при розробці рішень приходиться мати справу з якісною інформацією. При розробці прийняття рішень до їх числа відносяться ситуації, коли дані представлені у вигляді вербальних описів, коли оцінки отримані з допомогою вербальних або вербально числових шкал, коли є інформація лише про порівняльні оцінки альтернативних варіантів. Існують також ситуації, коли отримана кількісна інформація не може бути «вписана» ні в одну з отриманих математичних моделей, також може бути проаналізована з допомогою спеціально розроблених методів якісного аналізу.

Використаний принцип класифікації дозволяє достатньо чітко виділити чотири великі методи, причому три групи відносяться до прийняття рішень в умовах визначеності, а четверта – до прийняття рішень в умовах невизначеності. З багатьох відомих методів і підходів до прийняття рішень великий інтерес представляють ті, які дають можливість враховувати багатокритеріальність і невизначеність, а також дозволяють здійснювати вибір рішень з кількості альтернатив різного типу за наявності критеріїв, ті що мають різні типи шкал вимірювання (ці методи відносяться до четвертої групи). В свою чергу, серед методів, що утворюють четверту групу, найбільш перспективними є декомпозиційні методи теорії очікуваної корисності, методи аналізу ієрархій і теорії нечітких множин [107]. Даний вибір визначений тим, що ці методи в найбільшій мірі задовольняють вимогам універсальності, врахування багатокритеріальності вибору в умовах невизначеності з дискретної або неперервної кількості альтернатив, простоти підготовки і переробки експертної інформації.

3.4. Ідентифікація параметрів імітаційної моделі

Проблема ідентифікації складних ОУ є актуальною, виходячи з концептуальних основ складності взаємозв'язків між вхідними та вихідними змінними.

Мною пропонується вирішення цієї задачі з використанням апарату нейро-нечітких мереж.

Апарат, який закладений в основу побудови цих мереж має такі основні переваги, а саме [37]:

1) можливість гнучкої інтерпретації причинно – наслідкових зв'язків які згенеровані на основі нейрон – нечіткої структури.
2) Можливість до навчання розроблюваної структури.

Для реалізації вирішення поставленої задачі пропонується використати внутрішню підсистему середовища Matlab – підсистему розробки нейрон – нечітких структур ANFIS.

ANFIS реалізує систему нечіткого висновку Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу. Призначення шарів наступне:
перший шар - терми вхідних змінних;
другий шар - антецеденти (посилки) нечітких правил;
третій шар - нормалізація ступенів виконання правил;
четвертий шар - висновку правил;
п'ятий шар - агрегування результату, отриманого за різними правилами.

Входи мережі в окремий шар не виділяються. На рис 3.11 зображена ANFIS-мережа із трьома вхідними змінними (x_1 , x_2 та x_3) і множиною нечітких правил. Для лінгвістичної оцінки вхідної змінної x_1 використовується 7 термів, для змінної x_2 - 7 термів, для змінної x_3 7 термів.

Введемо наступні позначення, необхідні для подальшого викладу:

$x1, x2, ..., xn$ - входи мережі;

y - вихід мережі;

$R1: Якщо \quad x1 = a_{1,r} TA ... TA \quad xn = a_{n,r} \quad TO \quad y = b_{0,r} + b_{1,r} x_1 + ... + b_{n,r} xn$ - нечітке правило з порядковим номером r;

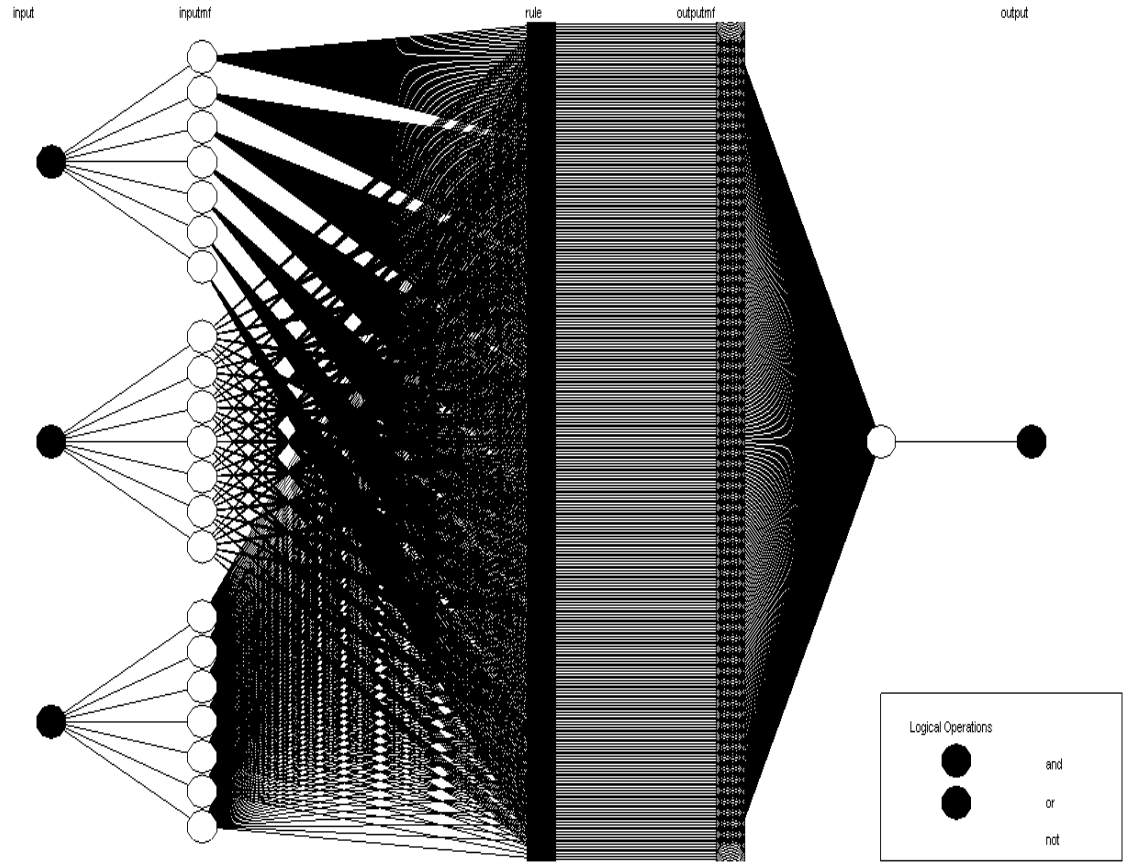


Рис. 3.17. ANFIS мережа

m - кількість правил , $r = \overline{1,m}$;

$a_{n,r}$ - нечіткий терм із функцією приналежності $\mu_r(x_i)$, застосовуваний для лінгвістичної оцінки змінної x_i в r-ом правилі $(r = \overline{1,m}, i = \overline{1,n})$;

$b_{q,r}$ - дійсні числа у висновку r-го правила $(r = \overline{1,m}), q = \overline{0,n})$.

ANFIS-мережа функціонує в такий спосіб.

Шар 1. Кожний вузол першого шару представляє одних терм із дзвіноподібною функцією належності. Входи мережі $x_1, x_2, ..., x_n$ з'єднані тільки зі своїми термами. Кількість вузлів першого шару дорівнює сумі потужностей терм-множин вхідних змінних. Виходом вузла є ступінь належності значення вхідний змінної відповідний нечіткому терму:

$$\mu_r(x_i) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_i - c}{a} \right|^{2b}}, \quad (3.42)$$

де, a, b і c – параметри налаштування функцій приналежності.

Шар 2. Кількість вузлів другого шару дорівнює m. Кожний вузол цього шару відповідає одному нечіткому правилу. Вузол другого шару з'єднаний з тими вузлами першого шару, які формують антецеденти відповідного правила. Отже, кожний вузол другого шару може приймати від 1 до n вхідних сигналів. Виходом вузла є ступінь виконання правила, що розраховується як добуток вхідних сигналів. Позначимо виходи вузлів цього шару через $\tau_r, r = \overline{1,m}$.

Шар 3. Кількість вузлів третього шару також дорівнює m. Кожний вузол цього шару розраховує відносний ступінь виконання нечіткого правила:

$$\tau_r^* = \frac{\tau_r}{\sum_{j=\overline{1,m}} \tau_j}. \quad (3.43)$$

Шар 4. Кількість вузлів четвертого шару також дорівнює m. Кожний вузол з'єднаний з одним вузлом третього шару, а також з усіма входами рис. 3.16. Вузол четвертого шару розраховує внесок одного нечіткого правила у вихід мережі:

$$y_r = \tau_r^* \cdot (b_{0,r} + b_{1,r} x_1 + ... + b_{n,r} x_n). \quad (3.44)$$

Шар 5. Єдиний вузол цього шару підсумує внески всіх правил:

$$y = y_1 + ... y_r ... + y_m. \quad (3.45)$$

Типові процедури навчання нейронних мереж можуть бути застосовані для настроювання ANFIS-мережі тому що, в ній використовуються тільки диференційовані функції. Звичайно застосовується комбінація градієнтного

спуску у вигляді алгоритму зворотного поширення помилки й методу найменших квадратів. Алгоритм зворотного поширення помилки набудовує параметри антецедентів правил, тобто функцій належності. Методом найменших квадратів оцінюються коефіцієнти висновків правил, тому що вони лінійно пов'язані з виходом мережі. Кожна ітерація процедури настроювання виконується у два етапи. На першому етапі на входи подається навчальна вибірка, і по відхиленню між бажаним і дійсним поводженням мережі ітераційним методом найменших квадратів визначають оптимальні параметри вузлів четвертого шару. На другому етапі залишковий відхил передається з виходу мережі на входи, і методом зворотного поширення помилки модифікуються параметри вузлів першого шару. При цьому знайдені на першому етапі коефіцієнти висновків правил не змінюються. Ітераційна процедура настроювання триває поки нев'язка перевищує заздалегідь установлене значення. Для настроювання функцій належності крім методу зворотного поширення помилки можуть використатися й інші алгоритми оптимізації, наприклад, метод Левенберга-Марквардта.

Розглянемо ідентифікацію першого каналу (задача поздовжньої стабілізації), а саме:

Залежність зміни витрати спирту від витрати бражки, температури бражки, витрати пари

$$D = f(F_{br}, Q_{br}, V_1) \qquad (3.46)$$

На основі задання статистичних вибірок експериментальних даних генеруємо структуру нейро-нечіткої мереж. Мережа має три входи та один вихід.

Провівши навчання ННМ на основі методу зворотнього поширення помилки та задавши 30 циклів навчання отримаємо оптимізований варіант функцій належності.

Структура новоствореної мережі представлена на рис 3.18.

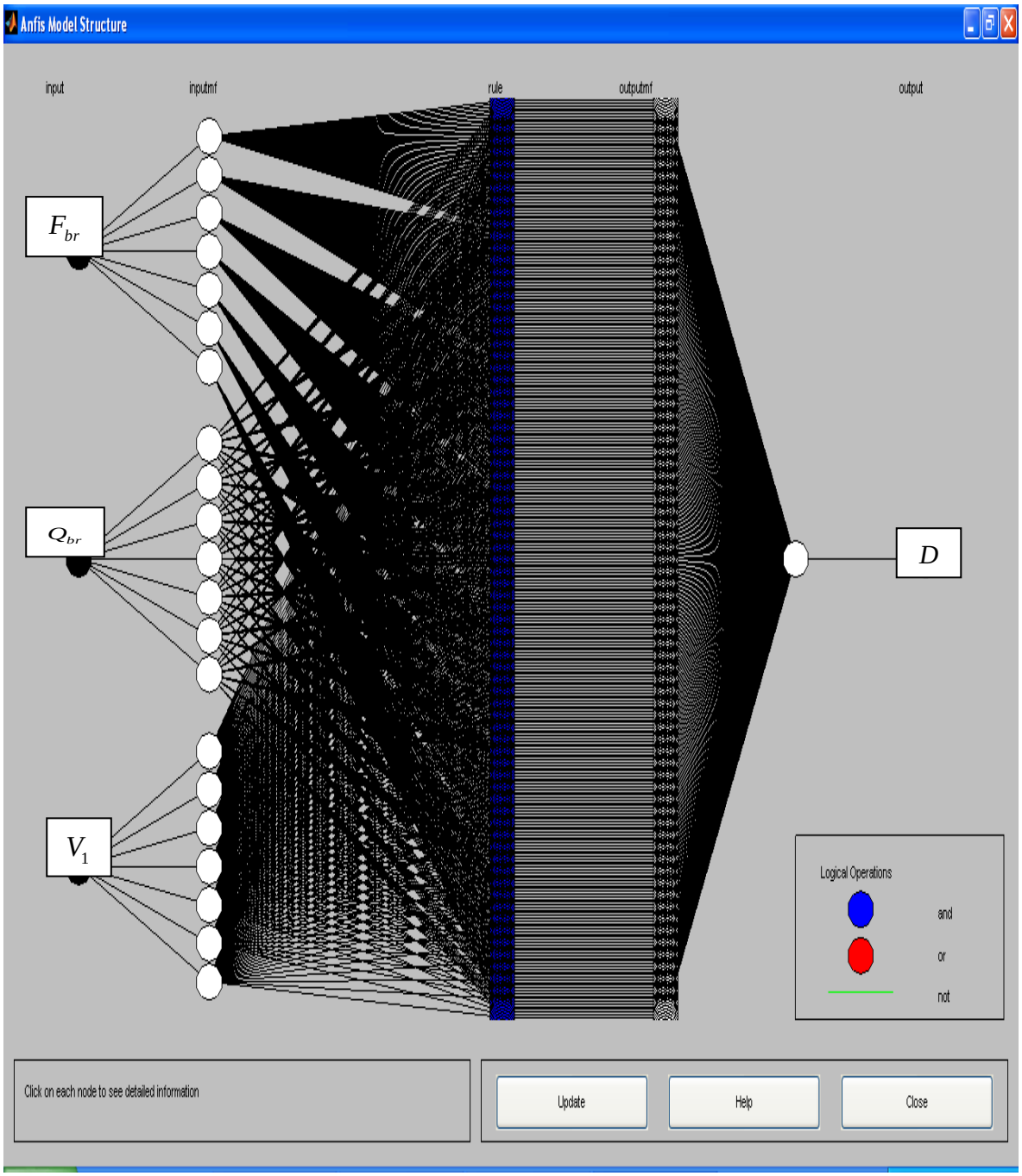


Рис 3.18. Структура нейрон-нечіткої мережі

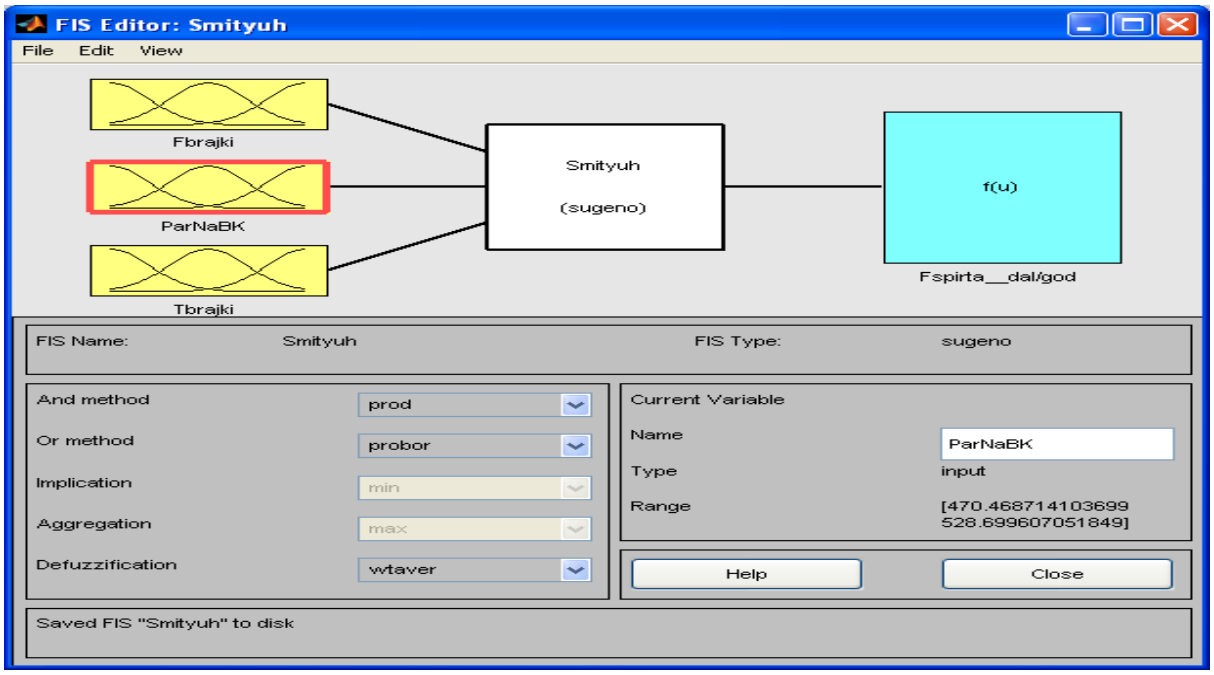


Рис. 3.19. Узагальнена архітектура нейро-нечіткої системи з підсистемою логічного висновку

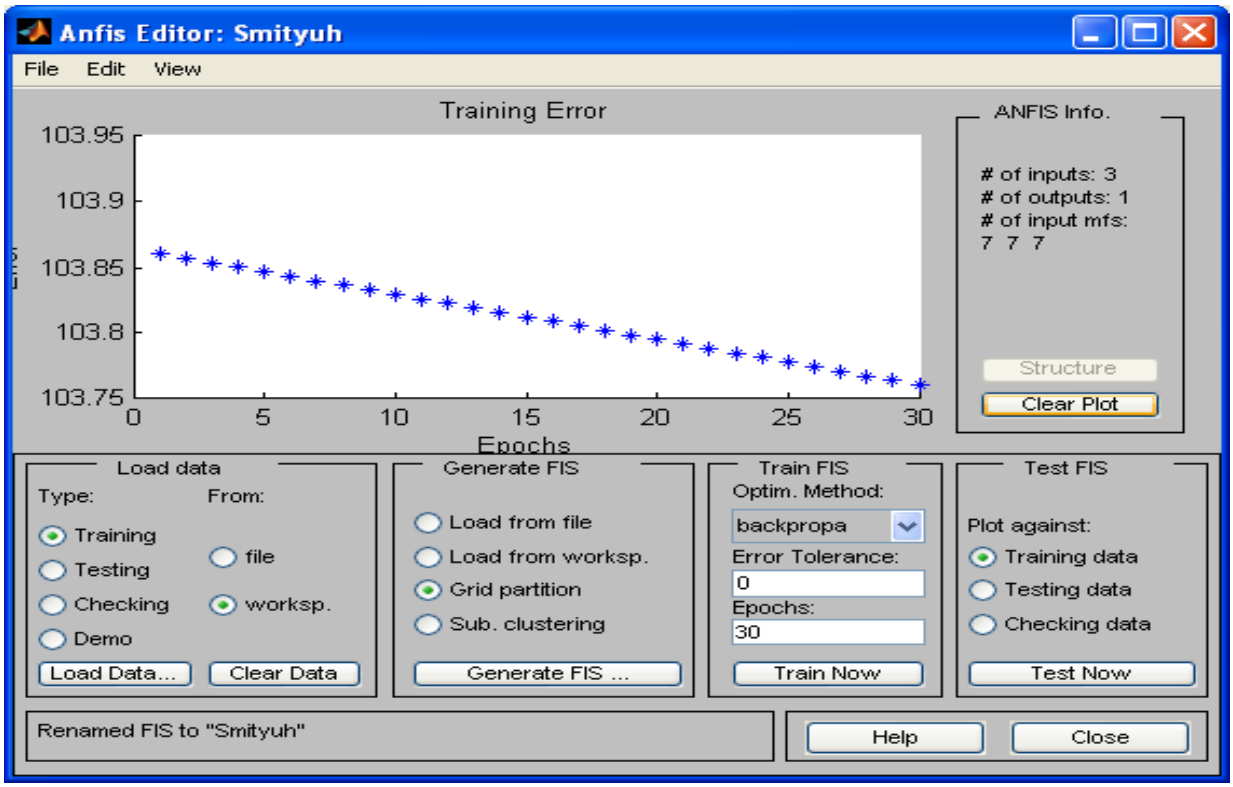


Рис 3.20. Зміна похибки навчання мережі, що свідчить до приведення її до адекватності реальному об’єкту

Після проведених навчань ННМ отримає графічну інтерпретацію відгуку бази знань.

На наступному рисунку зображена інтерпретована база знань створеної ННМ.

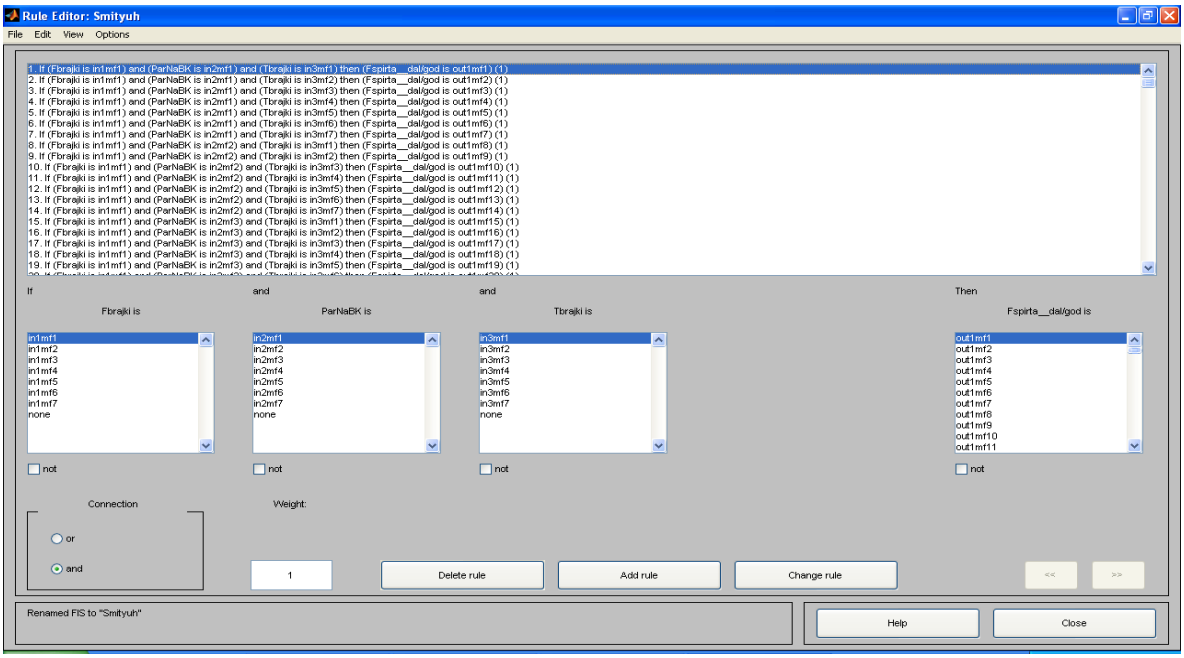


Рис 3.24. Відображення нечіткої бази знань у вигляді продукційної моделі представлення знань

Розглянутий вище підхід дозволяє спростити роботу людей - експертів для виявлення основних залежностей між вхідними та вихідними змінними ОУ, оскільки маючи лише тільки експериментальну статистику роботи окремих відділень можна на основі отриманої бази знань формувати базу знань інтелектуальної системи управління.

Висновки

1. Дослідження експериментальних даних для оцінки та визначення ситуаційно –значущих зон дозволило визначити характер поведінки процесів варки, бродіння та брагоректифікації та закласти їх в сценарії управління заводом.
2. На основі факторно – цільового аналізу та визначення множин атрибутів, потоків, факторів, життєвих станів ОУ, сформовано структури взаємодії між цілями та факторами, що дозволило визначити найбільш впливові цілі та ґрунтовно підійти до формування структур сценаріїв управління.
3. Здійснена постановка та розв’язана задача багатоцільової оптимізації з урахуванням ситуативної динамічності зміни пріоритетності критеріїв оптимізації при нечітких значеннях параметрів та змінних.
4. Вирішення задача ідентифікації на основі нейро – нечіткого підходу показало можливість встановлення причинно – наслідкових зв’язків між вхідними та вихідними змінними процесів у вигляді нечітких правил.

Бібліографічний список

1. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації / А.К.Бабіченко. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2001. – 470 с.
2. Сучасні системи управління/ Р. Дорф, Р. Бішоп – М.: Лабораторія Базових Знань, 2002. – 832 ст.
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. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч. посібник – К.: НМК ВО, 1990. – 80 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. Державний нормативний акт про охорону праці ДНАОП 1.8.10. - 1.13 – 97. “Правила безпеки при виробництві солоду, пива та безалкогольних напоїв”. К.: 1997.

12. Каталог Siemens https://www.siemens.com/ua/uk.html

13. Каталог Schneider Electric https://www.se.com/ua/uk/

14. Каталог Schneider Electric https://schneider.kiev.ua/

15. Каталог https://vipa.com.ua/

16. Глибовець М.М. Штучний інтелект [Текст]: Підручник/ М.М. Глибовець, О.В. Олецький. – К.: КМ Академія, 2002. – 366 с.

17. Дубровін В.І. Методи оптимізації та їх застосування в задачах навчання нейронних мереж [Текст]: Навчальний посібник/ В.І. Дубровін, С.О. Субботін. —Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. —136 с.

18. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем [Текст]: навчальний посібник/ Ю.П. Зайченко. — К.: Слово, 2004. — 352 с.

19. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи [Текст]: конспект лекцій для студ. напряму 0925 "Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навч./ В.Д. Кишенько – К.:НУХТ, 2008. –133 с.

20. Куссуль Н.М. Інтелектуальні обчислення [Текст]: навч. посібник/ Н.М. Куссуль., А.Ю. Шелестов., А.М. Лавренюк. –К.: “Наукова думка”, 2006. — 186 с.

21. Литвин В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [Текст]/ В. В. Литвин . — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. —240 с.

22. Ободан Н.І. Створення інтелектуальної системи [Текст]: навч. посібник / Н.І. Ободан, Н.А. Гук ; Дніпропетр. нац. ун-т. — Д., 2001. — 84 с.

24. Інтернет ресурс http://www.yahoo.com

25. Інтернет ресурс http://intl-jb.asm.org, Biotechnology and Applied

26. Інтернет ресурс http://bab.portlandpress.com)
27. Інтернет ресурс Державне підприємство "Український інститут промислової власності"
(Укрпатент) http://www.ukrpatent.org,
28. Інтернет ресурс Державний департамент інтелектуальної власності
http://www.sdip.gov.ua
29. S. Peresada, S. Kovbasa, V. Bovkunovich “Comparison study of the vector and voltage-frequency torque control in the electromechanical systems of the electrical transportation” // Proc. of the Kremenchug State University, 2009, no. 4, Vol. 1, p. 13 - 16.
30. Serre T., Wolf L., Poggio T. Object recognition with features inspired by visual cortex // Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, USA, 2005. V. 2. P. 994–1000.
31. Gujjar H.S., Siddappa M. Recognition and classification of different types of food grains and detection of foreign bodies using neural networks // International Journal of Computer Applications. 2014. P. 12–17.
[19] Yao B., Khosla A., Fei-Fei L. Combining randomization and discrimination for fine-grained image categorization // Computer Vision and Pattern Recognition. 2011. P. 1577–1584. doi: 10.1109/CVPR.2011.5995368 118
32. Ciresan D., Meier U., Schmidhuber J. Multi-column deep neural networks for image classification // Computer Vision and Pattern Recognition. 2012. P. 3642–3649. doi: 10.1109/CVPR.2012.6248110
33. Korytkowski M., Rutkowski L., Scherer R. Fast image classification by boosting fuzzy classifiers // Information Sciences. 2016. V. 327. P. 175–182. doi: 10.1016/j.ins.2015.08.030
34. Xingha Y., Weifeng L., Dapeng T., Jun C. Canonical correlation analysis networks for two-view image recognition // Information Sciences. 2017. V. 385–386. P. 338–352. doi: 10.1016/j.ins.2017.01.011
35. Panda P., Ankit A., Wijesinghe P., Roy K. FALCON: feature driven selective classification for energy-efficient image recognition // IEEE Transactions on Computer-

Aided Design of Integrated Circuits and Systems. 2017. V. PP. N 99. P. 1– 13. doi: 10.1109/tcad.2017.2681075

36. Stepinski T., Niesterowicz J., Stepinski J. Pattern-based regionalization of large geospatial datasets using complex object-based image analysis // Procedia Computer Science. 2015. V. 51. N 1. P. 2168–2177. doi: 10.1016/j.procs.2015.05.491

37. Romei A., Ruggeieri S. A multidisciplinary survey on discrimination analysis // Knowledge Engineering Review. 2014. V. 29. N 5. P. 585–638. doi: 10.1017/S0269888913000039

38. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Курс лекцій / В.Г. Трегуб. – К.: НУХТ, 2007.- 42 с.

39. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник./ О.М. Пупена, І.В.Ельперін, Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк – К.: Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.

40. Методичні вказівки до проектування принципових схем мікропроцесорних систем автоматизації при виконанні курсового проекту студентами спеціальності 21.03.05 денної та заочної форм навчання / Уклад.: В.В. Г. Трегуб, І. В. Ельперін, А. О. Карнаух. – К.:УДУХТ, 1994. – 35с.

41. Методичні вказівки до проектування пунктів управління мікропроцесорних систем автоматизації у курсовому проектуванні для студентів спеціальності 21.03.05 денної та заочної форм навчання / Уклад.: В.В. Г. Трегуб. – К.: КТІХП, 1993. – 36 с.

42. Монтаж засобів вимірювань і автоматизації: Справ. / Под ред. А. С. Клюєва. – 3 видання.

43. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: Довідка / А. С. Клюєва. – 2-ге видання 1990. – 464 с.

44. Проектування систем автоматизації. Програмне забезпечення ком-п’ютерно-інтегрованих технологій. Метод.вказівки до розробки програмного забезпечення беззахисних пунктів управління у курсовому проектуванні для студентів спец. 7.0925.01 та 7.0925.02 денної та заочної форм навчання / Уклад.: І.В.Ельперін, В.Г.Трегуб, А.П.Ладанюк, В.М.Кушков, В.В.Авдєєнко. – К.: УДУХТ, 1997. – 44 с.

45. Технічні засоби автоматизації хімічних виробництв: Справ. / В. С. Балакирев, Л. А. Барський, А. В. Бугров і др. – М.:Хімія, 1991. – 272 с.

46. Трегуб В . Г., Ладанюк А. П., Плужников Л. Н. Проектування, монтаж і експлуатація систем автоматизації в харчовій промисловості:. М.: Агропромиздат, 1991. – 352 с.

47. Трегуб В . Г., Ладанюк А. п. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації харчових виробництв. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 352 с.

48. Трегуб В . Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч. посібник – К.: НМК ВО, 1990. – 80 с.

49. Adair, J. (2003). *Effective Motivation How to Get Extraordinary Results from Everyone*. Pan Books Limited.

50. Back, K., & Back, K. (1999). *Assertiveness at Work A Practical Guide to Handling Awkward Situations*. McGraw-Hill Publishing.

51. Berne, E. (1985). *Games People Play*. Penguin UK.

Bloom, M. (2005). *The Independent Guide to Bullying and Stress in the Workplace*. First Law.

52. Bourne, M., & Bourne, P. (2003). *Change Management in a Week*. Hodder & Stoughton.

53. Brinkman, R., & Kirschner, R. (2002). *Dealing with People you Can't Stand*. McGraw Hill.

54. Browning, G. (2003). *Grass Roots Management*. Prentice Hall.

Buckingham, M., & Clifton, D. (2002). *Now, Discover Your Strengths*. Free Press.

55. Carnegie, D. (1990). *How to Stop Worrying and Start Living*. Vermilion.

Covey, S. (1999). *The 7 Habits of Highly Effective People*. Simon & Schuster.

56. Crother, C. (2004). *Catch! A Fishmongers Guide to Greatness*. Berrett-Koehler Publishers.

57. Dann, J. (2007). *Emotional intelligence*. Hodder Education.

Dell, T. (1993). *Motivating at Work - Empowering Employees to Give Their Best*. Crisp Publications.

58. Doherty, N., & Guyler, M. (2008). *The Essential Guide to Workplace Mediation & Conflict Resolution*. Kogan Page Publishers.

59. Elkin, A. (1999). *Stress Management for Dummies*. Wiley Publishing.

Field, T. (1996). *Bully in sight*. Success Unlimited.

60. Glouberman, D. (2003). *The Joy of Burnout*. Hodder.

Goldacre, B. (2009). *Bad Science*. Harper Collins Publishers.

61. Goleman, D. (1996). *Emotional intelligence; Why it can matter more than IQ*. Bloomsbury Publishing.