

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

СМІТЮХ ЯРОСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 663.52-007.5

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОЮ
УСТАНОВКОЮ НА ОСНОВІ СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ**

05.13.07 - Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кишенько Василь Дмитрович,
Національний університет харчових технологій,
м.Київ,
доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно –
інтегрованих технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Хобін Віктор Андрійович,
Одеська національна академія харчових технологій,
професор кафедри автоматизації виробничих
процесів

кандидат технічних наук, доцент
Ладієва Леся Ростиславівна
Національний технічний університет НТУУ "КПІ",
м.Київ,
доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв

Захист відбудеться “12” грудня 2007 р. о 14 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 в Національному університеті харчових
технологій, за адресою: 01033, Київ-33, вул.Володимирська, 68, ауд. А-311

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету
харчових технологій за адресою: 01033, м.Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий “07” листопада 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

В.М. Філоненко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. Процеси брагоректифікації є завершальною стадією виробництва спирту і здійснюються на брагоректифікаційних установках (БРУ). БРУ характеризуються значною енергомісткістю, складністю процесів масообміну, нестабільністю технологічних параметрів. Існуючі системи автоматизації БРУ, які забезпечують стабілізацію основних змінних процесів брагоректифікації, 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. Брагоректифікаційні установки спиртових заводів 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 навантаження оператора БРУ, 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 БРУ. 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках науково – дослідної роботи Міністерства освіти і науки України «Створити наукові основи управління біотехнологічними процесами харчових виробництв на основі принципів самоорганізації та адаптації» (№ державної реєстрації 0104U000849).

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є підвищення техніко – економічних показників функціонування БРУ та зменшення витрат енергоносіїв шляхом створення автоматизованої системи управління на основі сценарного підходу з урахуванням основних властивостей БРУ як складного об'єкта управління.

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

- побудова багаторівневої математичної моделі БРУ та її дослідження;

- статистичний аналіз експериментальних даних функціонування БРУ для виявлення основних властивостей та поведінки БРУ як складного об'єкта управління (ОУ) і побудова на їх основі алгоритмів сценарного управління;
- вирішення задачі прогнозування параметрів стану БРУ та реалізація підсистеми прогнозування з використанням нейронних мереж;
- лінгвістична апроксимація основних змінних процесів брагоректифікації;
- розробка алгоритмів багатоцільового управління БРУ 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 БРУ.

Об'єкт дослідження - процеси брагоректифікації, які реалізовані на брагоректифікаційних установках спиртових заводів.

Предметом дослідження є системи автоматизованого управління брагоректифікаційними установками спиртових заводів.

Методи досліджень. Методи, що використовуються для вирішення поставлених задач, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, методах системного аналізу, нелінійної динаміки і хаосу, ідентифікації, вейвлет – аналізу, інженерії знань, багатокритеріальної оптимізації, імітаційного моделювання. Вірогідність основних теоретичних положень і результатів перевірялась з використанням математичного моделювання і експериментом у виробничих умовах.

Наукова новизна одержаних результатів. При вирішенні поставлених задач одержані нові наукові результати:

- вперше запропонована ієрархічна нелінійна модель динаміки процесів брагоректифікації, яка враховує особливості об'єкта управління в умовах нерівноважності протікання процесів;
- показана та досліджена атрактивна поведінка процесів брагоректифікації у виробничих умовах і встановлені основні показники хаотичності, що дозволило визначити управляючі параметри для змінювання якісних показників поведінки об'єкта;
- на основі факторно – цільового та ситуаційного аналізу функціонування БРУ вперше розроблені сценарії управління процесами брагоректифікації, які забезпечують організацію ефективних стратегій управління БРУ в різних умовах функціонування об'єкта;
- вперше поставлена і вирішена задача векторної оптимізації процесів брагоректифікації в умовах невизначеності з урахуванням ситуаційної пріоритетності критеріїв та лінгвістичних обмеженнях;

- розроблена структура та комплекс алгоритмів системи управління БРУ з використанням інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень та динамічного аналізу ситуацій.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблена система автоматизованого управління БРУ на основі сценарного підходу. З використанням алгоритмів сценарного управління розроблено програмне забезпечення мікропроцесорної автоматизованої системи управління БРУ, яке передано на Червонослобідський спиртзавод і це підтвержено відповідними довідками.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету харчових технологій на кафедрі автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій.

Особистий внесок здобувача. Особисто автором розроблені положення, викладені в розділі автореферату „Основні положення що виносяться на захист”. В публікаціях у співавторстві особистий внесок полягає в наступному: в [2, 9] синтезована багаторівнева ієрархічна математична модель процесів брагоректифікації; в [6] розроблена структура ситуаційної системи автоматизованого управління брагоректифікаційною установкою, яка включає в себе інтелектуальну підсистему; в [1] розроблено алгоритмічне програмне забезпечення для побудови окремих характеристик моделювання фазової рівноваги суміші етанол – вода; в [3] запропоновано модель для дослідження процесів брагоректифікації з позицій синергетичного підходу керування; в [4, 16] отримані результати обробки експериментальних виробничих даних процесів брагоректифікації та визначені основні показники хаотичності; в [5, 11, 12] запропоновано методику вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації процесів брагоректифікації на основі головних критеріїв оптимізації роботи брагоректифікаційної установки в цілому; в [7, 8, 10, 13, 14, 15, 17] запропоновані методи синтезу алгоритмів управління процесами брагоректифікації на основі сценарного підходу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях Національного університету харчових технологій в 2000 – 2006 рр.; Міжнародній конференції з автоматичного управління “Автоматика – 2004(м.Київ, 2004)” та “Автоматика – 2006(м.Вінниця, 2006)”; Міжнародній науково-практичній конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”(м. Чернівці, 2004р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 17 друкованих праць, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них 5 статей в фахових виданнях, 12 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, списку літератури з 123 найменувань і 6 додатків. Повний обсяг дисертації 282 стор., з яких зміст викладено на 164 стор. друкованого тексту, містить 68 рисунків, 14 таблиць та 6 додатків.

Основні положення, що виносяться на захист. На захист роботи виносяться результати досліджень властивостей БРУ спиртового заводу та процесів їх функціонування як складного ОУ; критерії та задачі оптимізації роботи підсистем; алгоритми прогнозування параметрів стану БРУ; математичні моделі підсистем, алгоритми, структура та параметри сценарних алгоритмів управління; алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації сценарних алгоритмів управління; функціональна структура інтелектуальної підсистеми управління БРУ.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність роботи з точки зору важливості синтезу сценарних алгоритмів управління процесами брагоректифікації з урахуванням розвитку інформаційних технологій та переходу на мікропроцесорну техніку. Сформульована мета та задачі досліджень. Визначена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присв'ячений аналізу особливостей БРУ як складного ОУ, аналізу існуючих розробок систем автоматизації БРУ, визначено перспективні шляхи вдосконалення систем управління БРУ. Проведений системний аналіз процесів брагоректифікації дозволив виділити такі властивості БРУ як складного ОУ: багатовимірність (виникає проблема визначення параметрів порядку, за допомогою яких відтворюються основні процеси брагоректифікації); багатозв'язність (необхідно оцінити такі впливові дії, які приводять до якісних змінювань в поведінці ОУ); невизначеність (здійснити лінгвістичну апроксимацію змінних об'єкта і встановити системні тенденції розвитку об'єкта в процесі функціонування БРУ).

Аналіз робіт по автоматизації БРУ показав, що незважаючи на значну кількість досліджень, залишаються проблеми управління БРУ при якісних змінюваннях поведінки об'єкта, викликаних лабільністю якісних характеристик сировини та умов масообміну. На основі сучасних принципів управління складними технологічними системами визначені перспективні шляхи удосконалення систем управління БРУ: сценарний підхід та використання інтелектуальних механізмів. Сформульовані задачі досліджень.

Другий розділ присв'ячений побудові багаторівневої математичної моделі процесів брагоректифікації, проведенню статистичного аналізу технологічних змінних підсистем.

Для опису статистики та динаміки БРУ сформована ієрархічна структура з п'яти рівнів:

- 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 статистики окремо взятої колони;
- 5) економічна модель з виділенням критерію оптимізації.

Акцентуючи увагу на кожному з рівнів ієрархії, слід виділити такі аналітичні моделі, які слугують для опису кожного з рівнів:

На першому рівні для опису парової фази:

Загальна кількість молекул спирту, що перетинають одиницю площі s за одиницю часу:

$$J = bskT \exp\left(-\frac{U^e}{kT}\right) / r \quad (1)$$

де, r - кількість молей пари в одиниці об'єму; $v_{\min}$ - мінімальна швидкість, що необхідна молекулі для того, щоб покинути рідину, м/с; $U^e = \frac{m^e v_{\min}^2}{2}$ - енергія виходу молекули етилового спирту, Дж; b - кількість молекул спирту в одиниці об'єму рідини; k - постійна Больцмана; T - температура, К.

Для аналітичного опису другого рівня розглянемо міжфазний обмін: Нехай на i -ту тарілку надходить r_i молей пари, а покидає її r_{i+1} молей.

$$\Delta r = r_i - r_{i+1} = k_y (y_i - y^*) \quad (2)$$

де, k_y - коефіцієнт масопередачі, м/с; x , y - концентрація легколетючого компонента в рідинній та паровій фазах відповідно, %моль; y^* - фазова рівноважна концентрація по довжині колони:

$$y^* = \frac{1}{a + bx^{1.5} + c/x} \quad (3)$$

де, $a = 0.01513$, $b = -0.00000159$, $c = 0.0765$;

$$y^* = a + bx + cx^{1.5} + dx^{0.5} + ex \quad (4)$$

$a = -56.3447$; $b = -5.809$; $c = 0.314$; $d = 42.025$; $e = -191.377$; x - молярна частка етанолу в рідині, %; y - молярна частка етанолу в парі, %.

Перше рівняння описує криву фазової рівноваги в діапазоні молярних часток 0.004...31.47 %, друге – від 16.77 до 89.41%.

В дисертаційній роботі особлива увага була акцентована на математичному описі процесів масообміну. Враховуючи основні припущення, динамічні властивості бражної та ректифікаційної колон, як об'єкта з розподіленими параметрами описуються рівняннями:

$$\begin{cases} H_j \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) + L \left(\frac{\partial x}{\partial l} \right) = k_y (y^* - y) \\ H_p \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right) - V \left(\frac{\partial y}{\partial l} \right) = k_y (y - y^*) \end{cases} \quad (5)$$

де, x_i , y_i – концентрації компонента відповідно в рідині та в парі, моль %; L , V – потоки рідини та пари, кмоль/год; H_j , H_p – кількість рідини та пари на тарілці, кмоль; y^* , x^* – рівноважні концентрації, моль %, l – довжина ділянки колони, м.

Числове моделювання проводилось за такими початковими даними:

Кількість пари над тарілкою $H_p = 10$ кмоль; кількість рідини над тарілкою $H_j = 20$ кмоль; витрата рідини $L = 60$ кмоль/год; витрата пари $V = 12$ кмоль/год; відносна летючість етилового спирту $\alpha = 0.7$; коефіцієнт масопередачі $k_y = 0.59$ м/с; кількість тарілок $n = 70$; крок $h = l/n$; початкова концентрація спирту в рідині

$x_p=0.01$ моль %; початкова концентрація спирту в парі $y_p=0.01$ моль %; n – кількість кроків.

Для коректного вирішення рівняння необхідно перейти за допомогою методу прямих до представлення рівнянь у вигляді похідних першого порядку. Задаючи відповідні значення змінних та після певних перетворень переходимо до системи диференціальних рівнянь із зосередженими параметрами, що описують динаміку процесу масообміну в окремо взятій ділянці колони:

$$\frac{dx_i}{dt} = 3.53(x_i - x_{i-1}) - 0.0295(0.7x_i / (1 - 0.3x_i) - y_i) \quad (6)$$

$$\frac{dy_i}{dt} = 0.059((1 - 0.3x_i) - y_i) + 2.004(y_i - y_{i-1}) \quad (7)$$

При розгляді опису четвертого рівня акцентується увага на описі рівнянь, що узагальнюють основні процеси, які відбуваються в колонах. В узагальненому варіанті для ректифікаційної колони: куб колони:

$$y_0 = y^*(x_0) \quad (8)$$

$$\frac{dH_0x_0}{dt} = L_1x_1 - Mx_0 - V_0i_0 \quad (9)$$

$$M_0 = L_1 - V_0 \quad (10)$$

розрахунок витрати пари по тарілках проводимо за такою залежністю:

$$V_i = \begin{cases} V_i, & i = 1, 2, \dots, 16 \\ V - \frac{V - D_b}{n - 16} (i - 16) & i = 17, 18, \dots, n \end{cases} \quad (11)$$

визначення динаміки зміни кількості спирту на тарілці:

$$\frac{dH_jx_i}{dt} = L_{i+1}x_{i+1} - L_ix_i + V_{i-1}y_{i-1} - V_iy_i + Ax_p \quad (12)$$

$$A = \begin{cases} 0 & i = 1, 2, \dots, 16 \\ F_p & i = f_p \end{cases} \quad (13)$$

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_b - 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*.

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 м³ пари = 3,5 грн; 1 тонна барди = 36 грн; 1 м³ води = 0.7 грн).

$$N_i = 3.5V_i + 36M_i x_{0i} + 0.7B \quad (14)$$

$$E = 40D - \sum_i N_i \quad (15)$$

де, N_i - виробничі витрати на процес в i -тій колоні, грн; V_i - витрати пари на i -ту колону ($i=1, 2, 3$), $\text{м}^3/\text{год}$; $M_i x_{0i}$ - втрати цільового продукту розділення з кубовою рідиною ($i=1, 3$), кмоль, тонн; E - прибуток від функціонування БРУ, грн; D - витрати(відбір) спирту ректифікату, $\text{дал}/\text{год}$; B - витрати води на дефлегматор, $\text{м}^3/\text{год}$.

На основі рівнянь Фокера – Планка і Ланжевена проведений аналіз процесів брагоректифікації як синергетичної системи. Визначено, що в такій системі можлива реалізація режимів самоорганізації, які протікають спочатку з виділенням колективної моди, яка визначає параметри порядку при фазових переходах з подальшим формуванням дисипативної структури.

Експериментальні дослідження були проведені в умовах Червонослобідського спиртзаводу. Отримані часові ряди всіх основних технологічних змінних процесів брагоректифікації(16 змінних) в різних умовах функціонування БРУ. Для фільтрації експериментальних даних було застосовано вейвлет – перетворення з жорстким трешолдингом.

Обробка експериментальних даних дозволила визначити атрактивну поведінку БРУ по основним змінним.

На рис. 1. наведений приклад змінювання атракторів температури на нижній тарілці бражної колони.

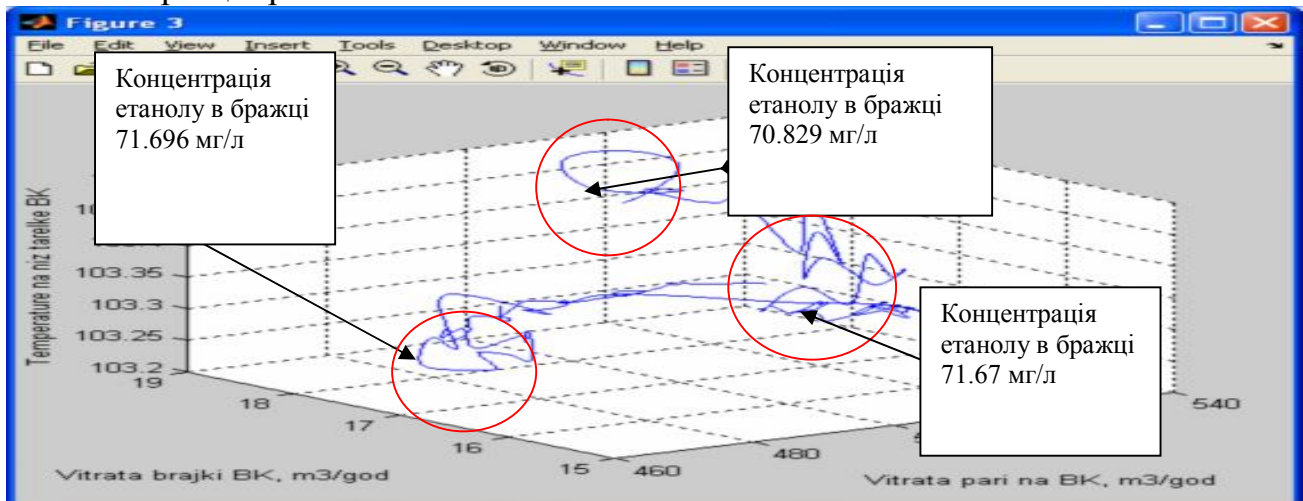


Рис.1. Атрактивна поведінка процесів брагоректифікації на прикладі зміни температури на нижній тарілці бражної колони(час спостереження 24 години)

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 просу брагоректифікації. Для доведення цієї гіпотези був застосований метод Херста і визначені значення фрактальної розмірності та кореляційного інтегралу часових рядів. Встановлено, що показник Херста для змінних, що аналізувались, змінювався в межах $0.72 < H < 0.86$, при цьому фрактальна розмірність дорівнювала $1.14 < D < 1.28$. Отримані

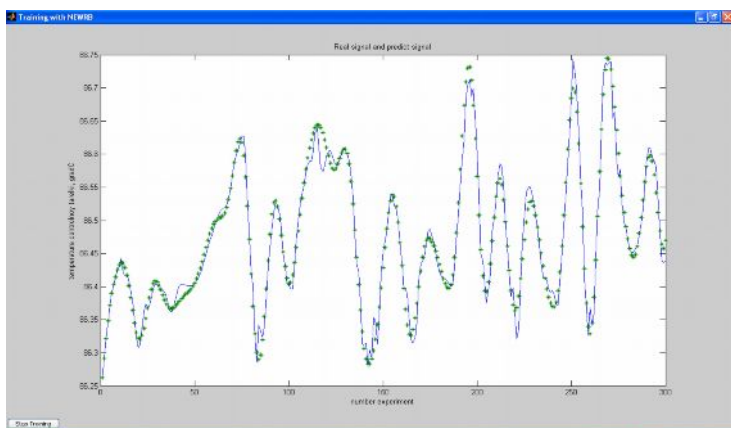


Рис.2. Прогнозування зміни температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони (РК)

елементів;

б) оптимізуються параметри ω_{ij} вихідного лінійного шару.

Для побудови нейронних предикторів за основу було взято цільові вектори статистичних даних технологічних змінних, при навчанні нейронної мережі було задано середньоквадратичне відхилення 0,1. На рис. 2 наведений приклад прогнозування зміни температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони. Для ідентифікації моделі використовувався метод найменших квадратів. На основі експериментальних даних були побудовані статичні моделі БРУ в різних умовах її функціонування (ситуаційно значущих зонах, які визначаються встановленими атракторами поведінки БРУ). Як приклад, наведена математична модель залежності відбору спирту від витрати пари та температури восьмої тарілки РК(вказана залежність будується для максимального виходу спирту при необхідних якісних показниках):

$$D_{спирту} = f(V_{rk}, t_{8tar}, x_d) \quad (16)$$

Аналітична залежність має такий вигляд:

$$D_{спирту} = -0.04V_{rk}^2 - 0.15t_8 + 0.31V_{rk}t_8 - 11.99V_{rk} - 37.89t_8 + 3358.27 \quad (17)$$

при x_d - (спирт Люкс) не менше 96.3 %об згідно ДСТУ 4221:2003 по спирту етиловому.

де, V - витрата пари на ректифікаційну колону в області зміни (215 – 235 $m^3 / год$); D - відбір бражного дистилату (92.5 – 113) дал./год; t_{8tar} - температура 8 тарілки (97.5 – 105) град С.

В третьому розділі представлена методика побудови сценаріїв управління та вирішується задача оптимального управління БРУ.

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

результати свідчать про те, що процеси брагоректифікації є персистентними, тобто їх можна прогнозувати.

Для прогнозування поведінки процесів брагоректифікації, визначення глибини прогнозу та класифікації ситуацій використовували мережі RBF.

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

а) визначаються центри відхилень для радіальних

$$S_w = \sum_{i=1}^n S_i + \sum_{j=1}^m S_j + \sum_{k=1}^p S_k \quad (18)$$

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:

$$S_w \rightarrow \Omega S_l \rightarrow \text{деталізація процедур.} \quad (19)$$

Важливим чинником при формуванні стратегій управління є використання елементів синергетики у механізмі синтезу сценаріїв управління процесів брагоректифікації.

Сценарії управління БРУ будуються за допомогою А та С сценарію. В основі А - сценарію лежить макропредставлення послідовності управлінь атрактивного характеру для досягнення поставлених цілей управління БРУ, а в основі С сценарію лежить представлення деталізації цієї послідовності.

Для цього виділяємо множину факторів, цілей та атрибутів, і здійснюємо факторно – цільовий аналіз роботи БРУ, при цьому, встановлюючи ранги атомарних зовнішніх цілей, вибираємо з них найбільш впливові.

Якщо розглядати БРУ як складний ОУ ззовні, то можна виділити множину цілей, а також множину факторів впливу на підтримку поставлених цілей управління БРУ. Обрані цілі та фактори є в свою чергу структурованими, тобто мають свою характерну побудову, а саме складаються з своїх підцілей та підфакторів. В процесі аналізу БРУ отримали список зовнішніх цілей та факторів, кожний елемент, який входить в список має свою вагу та свій пріоритет (рис.3). Значення кожної ваги та пріоритету визначається на основі факторно-цільового аналізу.

Таблиця 1

Позначення основних факторів

Ф9	концентрація спирту в епюраті	Ф17	температура на контрольній тарілці
Ф10	тиск низу епюраційної колони (ЕК)	Ф18	тиск низу РК
Ф11	тиск верху ЕК	Ф19	тиск верху РК
Ф12	температура низу ЕК	Ф20	температура низу РК
Ф15	температура в кубі ЕК	Ф21	температура верху РК
Ф16	міцність дистиляту РК	Ф22	концентрація спирту в лютерній воді

В таблиці 1 описані основні фактори, які впливають на ступінь досягнення цілей.

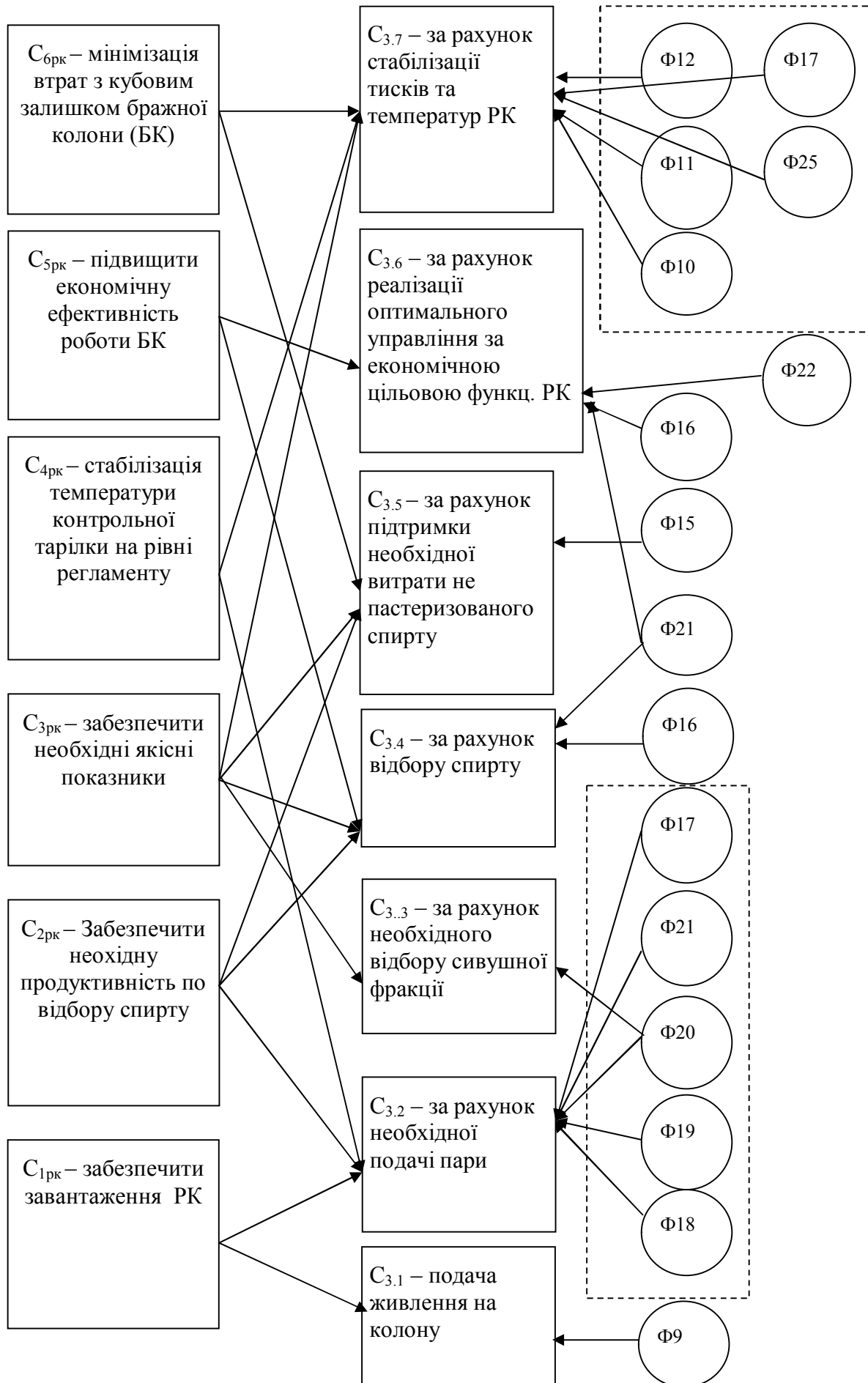


Рис.3. Факторно – цільова діаграма роботи РК

На основі вище розглянутого реалізуємо А сценарії управління БРУ.

Як приклад наведений С – сценарій максимізації продуктивності БРУ (рис 4).

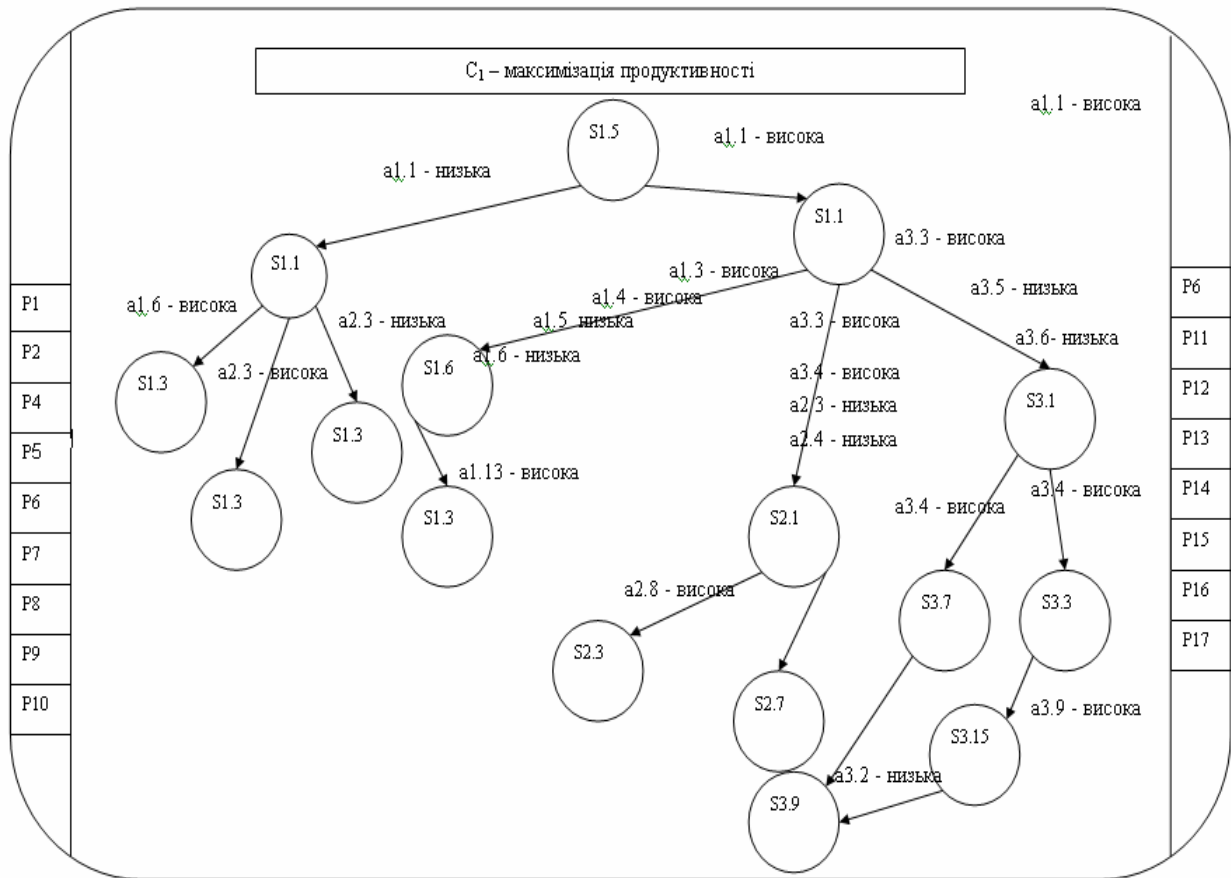


Рис. 4. Узагальнений С – сценарій максимізації продуктивності БРУ

Таблиця 2

Основні позначення С – сценарію

Позначення потоків		Позначення станів	
P1	Витрата бражки	S1.1	Збільшення подачі пари на БК
P2	Витрата пари	S1.3	Збільшення витрати холодної води на дефлегматор БК
P4	Витрата пари на ЕК	S1.5	Збільшення подачі бражки
P5	Витрата ефіро – альдегідної фракції(ЕАФ)	S2.1	Збільшення подачі пари на ЕК
P6	Витрата пари на РК	S2.3	Збільшення витрати холодної води на дефлегматор ЕК
P7	Витрата холодної води на БРУ	S2.7	Збільшення відбору ЕАФ
P8	Витрата холодної води на дефлегматор бражної колони	S3.1	Збільшення подачі пари на РК
P9	Витрата холодної води на дефлегматор ЕК	S3.3	Збільшення витрати холодної води на дефлегматор РК
P10	Витрата холодної води на дефлегматор РК	S3.7	Збільшення відбору сивушних масел

P11	Відбір спирту ректифікату	S3.9	Збільшення відбору спирту
P12	Відбір непастеризованого спирту	S3.15	Збільшення відбору непастеризованого спирту
P13	Витрата бражного дистиляту		
P14	Витрата епюрату		
P15	Витрата барди з БК		
P16	Витрата лютерної води з РК		
P17	Витрата сив. масел з РК		

Для реалізації сценарних алгоритмів управління брагоректифікаційною установкою необхідним є формалізація змінних, які характеризують процеси брагоректифікації. Для цього здійснюється вирішення задачі лінгвістичної апроксимації основних змінних.

Для лінгвістичної апроксимації змінних БРУ використовувався аналітичний підхід на основі експертної інформації, отриманої в результаті експертного опитування. На рис. 5 наведений приклад лінгвістичної апроксимації змінної – “міцність бражки”.

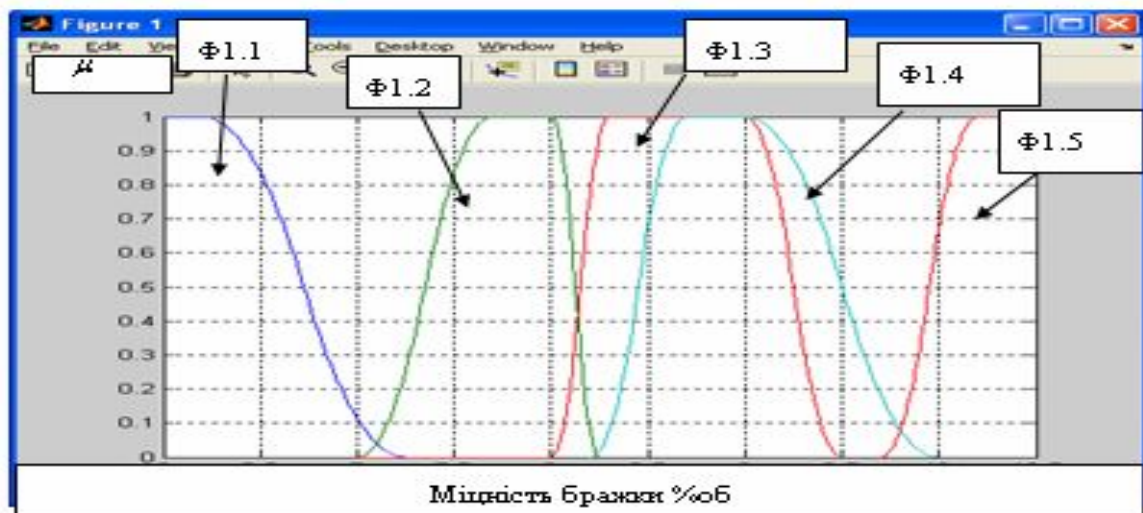


Рис. 5. Лінгвістична апроксимація міцності бражки

Таблиця 3

Характеристика термів

Позначення факторів	Концентрація спирту в бражці	Координати функції належності
Ф1.1	низька (6.0 - 7.25)	[6.0,6.0,7.0,7.25]
Ф1.2	нижче норми (7.0 – 8.25)	[7.0,7.7,8,8.25]
Ф1.3	норма (8.0 – 9.5)	[8.0,8.3,9.0,9.5]
Ф1.4	вище норми (8.2 – 10)	[8.2,8.7,9,10]
Ф1.5	висока (9.7–10.5)	[9.7,10,10.5,10.]

Постановка задачі оптимального управління БРУ визначається з умови, що ведучою буде ректифікаційна колона :

- 1) максимізувати продуктивність установки по цільовому продукту заданої якості:

$$K = \max_{u \in U} D, x_D \geq \text{“норми”}, \quad (20)$$

де, x_d - концентрація спирту в дистилаті, %об, D - витрата спирту ректифікату, дал/год.

2) виробити задану кількість цільового продукту заданої якості з мінімальними виробничими витратами:

$$W(D^*, x_D^*) = \min_{u \in U} N, x_D \geq \text{“норми”} \quad (21)$$

де, N - визначається за формулою(15).

У всіх випадках накладаються обмеження не тільки на управління, а й на вихідні величини. На основі проведених відповідних розрахунків формуємо цільові функції оптимізації для кожної колони, і в такому випадку цільова функція має такий вигляд:

$$E_N(N) = \sum_{i=1}^3 \delta_i N_i \quad (22)$$

де, δ_j - ваговий коефіцієнт з яким i – та цільова функція i – тої колони входить в загальну цільову функцію БРУ; $E_N(N)$ – прибуток від функціонування БРУ, грн.

Вказаними обставинами з усіх можливих переходів з початкового стану до кінцевого виділяють ті, які відповідають обмеженням:

$$F_1 = \text{”норма”}; x_{F_1} = \text{”норма”}; x_D = \text{”норма”} \quad (23)$$

Області допустимих проміжних продуктових станів задаються нерівностями:

$$F_{i(\min)} \leq F_i \leq F_{i(\max)}, \quad (24)$$

$$F_{i(\min)} = \text{”нижче норми”}, F_{i(\max)} = \text{”вище норми”}.$$

$$x_{Fi(\min)} \leq x_{Fi} \leq x_{Fi(\max)} \quad (25)$$

$$x_{Fi(\min)} = \text{”нижче норми”}; x_{Fi(\max)} = \text{”вище норми”}..$$

Обмеження, повністю узгоджуються з нормами регламенту підтримки режимних параметрів БРУ.

Ефективність дій оперуючої сторони оцінюється адитивною згортою сукупності локальних критеріїв роботи БРУ: K_i, P_i, W_k (якості, продуктивності та втрат), які мають коефіцієнти відносної важливості $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$. Для вирішення задачі векторної оптимізації використовується метод Нелдера – Міда в комбінації з генетичним алгоритмом пошуку: генетичний алгоритм забезпечує пошук локальних та глобальних екстремумів, метод Нелдера – Міда використовується для отримання оптимальних управлінь.

Вирішення задачі ідентифікації здійснюється двома способами. Зокрема розглядається метод типової ідентифікації процесів брагоректифікації на основі експериментальних даних шляхом побудови авто- та взаємодіючих функцій та розв'язання рівняння Вінера – Хопфа для визначення передавальних функцій об'єкта управління. Другий спосіб вирішення задачі ідентифікації базується на основі апарату нейро – нечітких мереж, в основі якого лежить лінгвістичний підхід до побудови залежностей між вихідними та вхідними змінними БРУ.

В **четвертому розділі** здійснена розробка структури системи управління на основі сценарного підходу та відповідного програмного забезпечення. При синтезі структури ситеми управління було враховано основні структурні елементи майбутньої системи та функціональність кожної структурної одиниці.

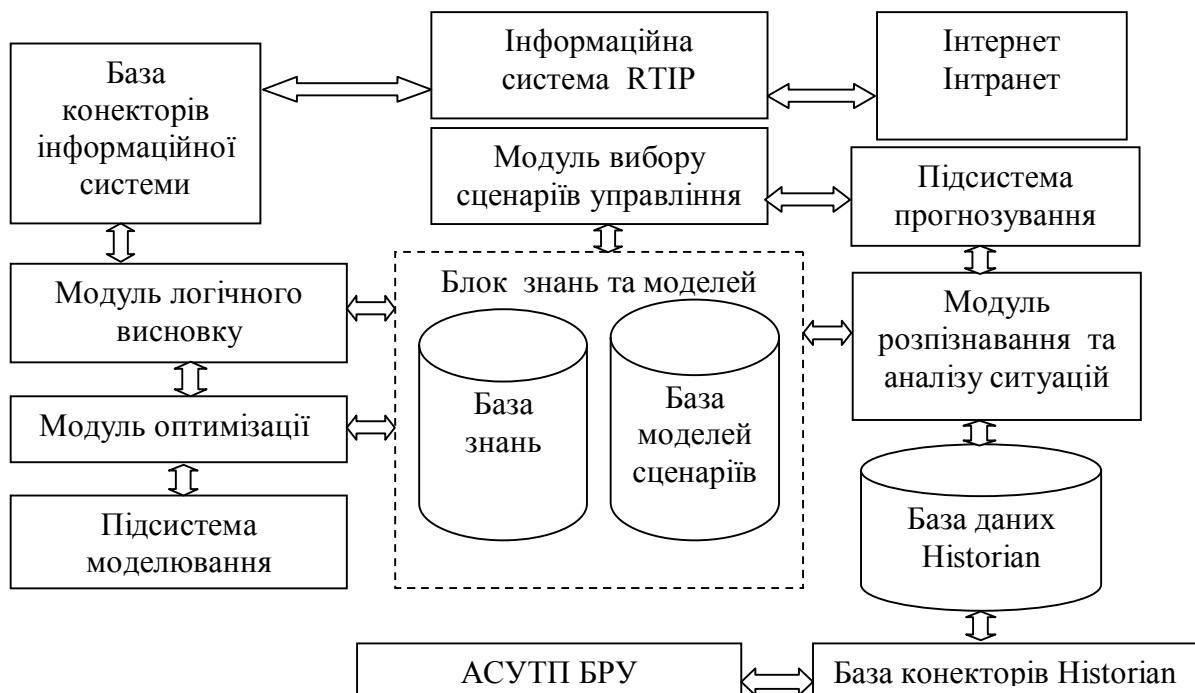


Рис.6. Структура системи автоматизованого керування БРУ на основі сценарного підходу

База знань реалізується на основі нечіткого представлення знань, її програмна реалізація здійснена в середовищі Matlab.

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

Вибір необхідного сценарію, як блоку нечіткої моделі сценаріїв, здійснюється модулем вибору сценаріїв управління із бази знань в результаті аналізу та розпізнавання ситуацій і прогнозу розвитку об'єкта. На програмному рівні кожний блок являє собою окрему автономну підсистему загальної системи бази знань, представлених за допомогою продукційних правил типу If ... then (Якщо ,ТОДІ).

Вигляд нечіткого сценарію для завантаження відповідної підсистеми бази знань, як приклад для вибору сценаріїв максимізації продуктивності, може бути записаний так:

1. *If (QvBKoth is mf1) and (Qv_BK is mf1) and (PvBK is mf2) and (PnizBK is mf2) and (QothEK is mf3) and (PvEK is mf3) and (Fep is mf3) and (X0EK is mf3) and (PvRK is mf3) and (Tcontrtar is mf3) and (TempNizRK is mf3) then (ScenarSys is mf1) mf3) (1)*

Після вибору необхідної підсистеми сценаріїв завантажується підсистема аналізу поточної ситуації, та вибудовується укрупнена послідовність дій для досягнення поставленої цілі управління.

2. *If (Scenar is mf1) then (VbrajkinaBK is mf4)(DSPIRTA is mf4)(VpariBK is mf4)(VpariEK is mf3)(VparinaRK is mf4)*

Для тестування системи проведено імітаційне моделювання в середовищі Matlab, яке дозволило випробувати та сконфігурувати систему до впровадження її у виробництво.

Для дослідження ефективності роботи системи автоматизованого управління БРУ будемо імітаційну модель в підсистемі Simulink середовища Matlab на основі аперіодичних ланок першого порядку та ланок запізнення (рис.7).

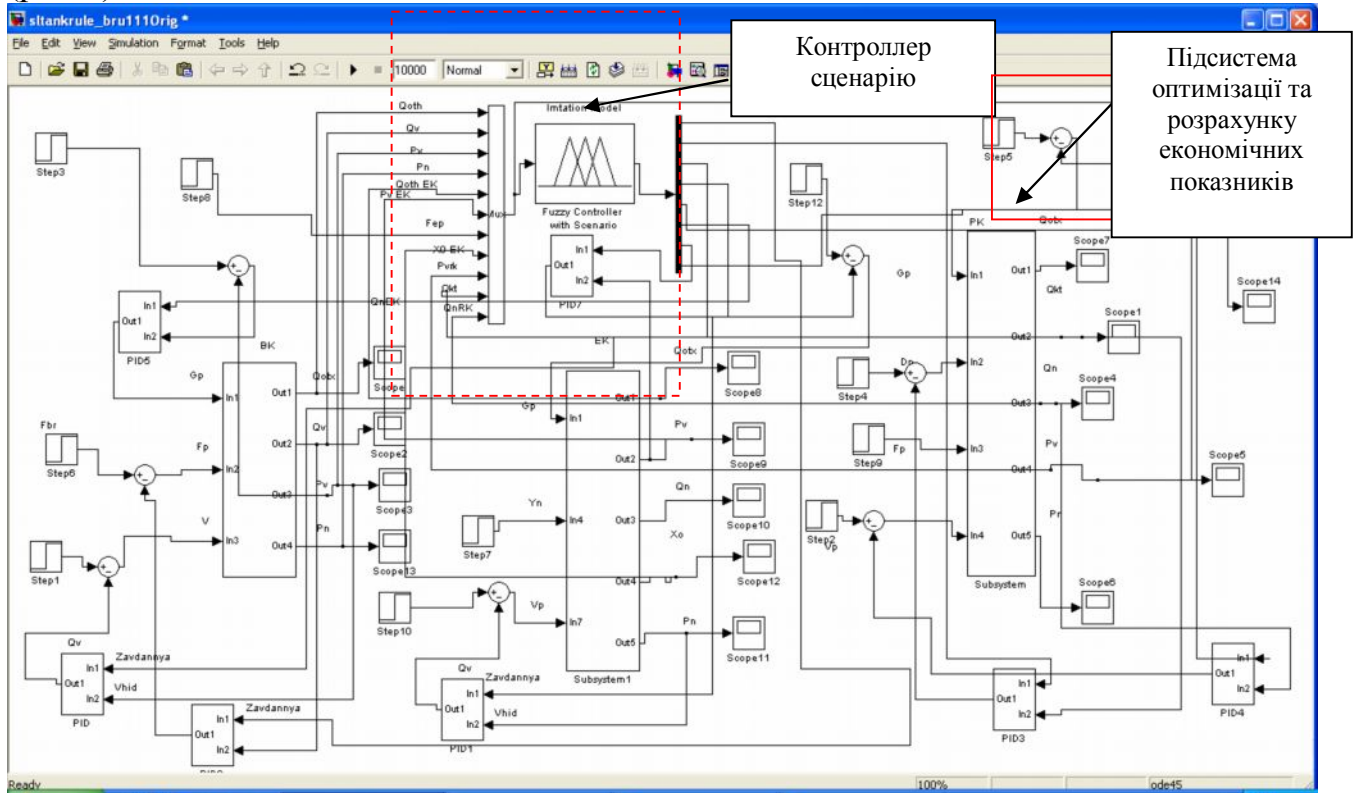


Рис. 7. Модель системи управління БРУ на основі сценарного підходу

Для реалізації задач управління запропоновано використання програмного забезпечення компанії GE_Fanuc. В цілому реалізація системи здійснюється шляхом інтеграції вказаного програмного забезпечення з середовищем Matlab та програмною системою, реалізованою в середовищі Delphi через міжпрограмні інтерфейси.

Програмне забезпечення вказаної компанії дозволяє забезпечити організацію отримання інформації з нижніх рівнів, а саме SCADA - вузлів та передачу її на рівень інформаційного аналізу та прийняття узгоджених рішень на рівні аналізу виробничих процесів.

В якості єдиної бази даних збору виробничої інформації для їх передачі на верхній будемо використовувати архів виробничої інформації Proficuity Historian, що дозволяє здійснювати архівування та накопичувати інформацію в реальному часі.

Для реалізації ефективного збору інформації на нижньому рівні передбачено, що буде використовуватися АСУТП реалізована на основі SCADA пакету FIX.

Побудова інформаційної вертикалі виробництва має на меті організацію координаційного рівня, який задовольняє всім вимогам по узгодженню всіх

ділянок виробництва. Програмне забезпечення, що реалізоване в середовищі Delphi слугує інтелектуальною надбудовою і являє собою інтелектуальну підсистему управління БРУ, яка є основним програмним інтерфейсом, через який оператор працює з всіма компонентами програмного комплексу системи автоматизованого управління БРУ.

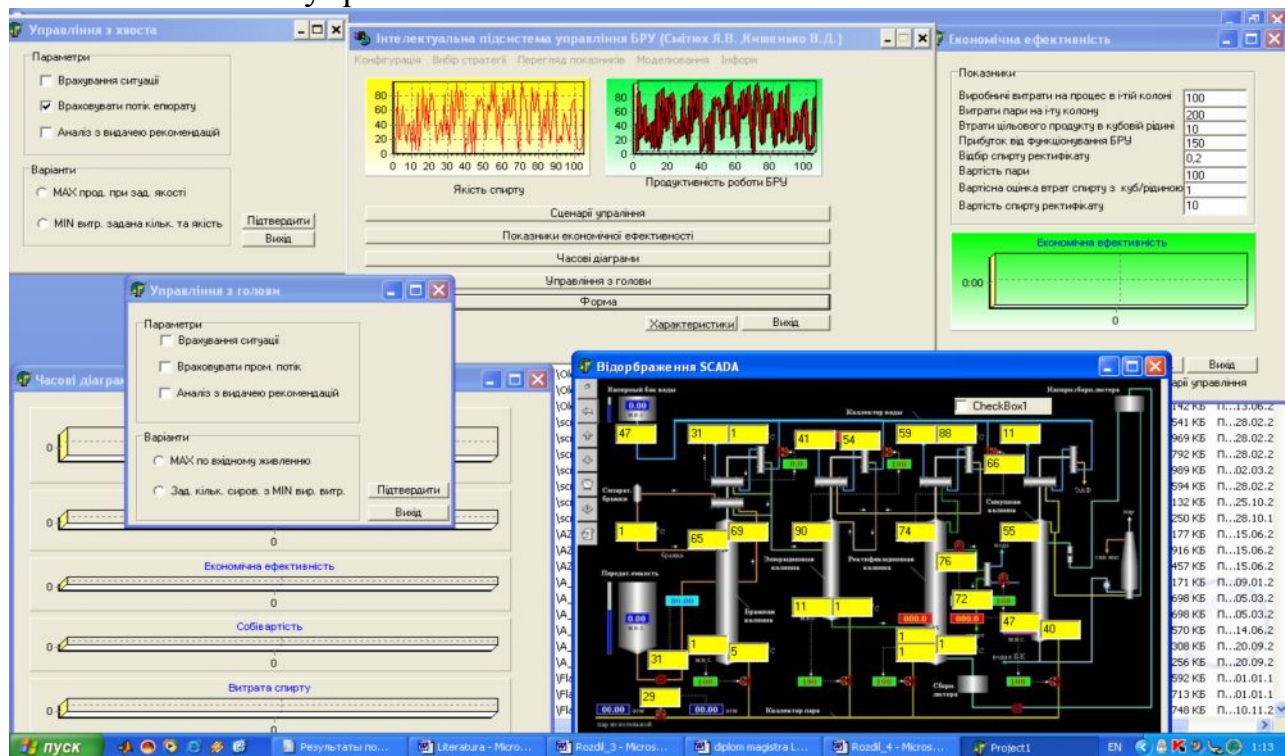


Рис. 8. Інтерфейс інтелектуальної підсистеми управління БРУ

Реалізація системи управління брагоректифікаційною установкою за попередніми отриманими оцінками, за допомогою методу гілок та меж дозволить підвищити ефективність виробництва спирту шляхом економії енергоресурсів до 8 %.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі запропоновано нове рішення задачі підвищення техніко – економічних показників функціонування БРУ та зменшення витрат енергоносіїв шляхом створення автоматизованої системи управління на основі сценарного підходу з урахуванням основних властивостей БРУ як складного об'єкта управління.

1. В результаті аналізу БРУ спиртового заводу встановлено, що такий ОУ має всі характерні ознаки складної технологічної системи: невизначеність, багатofакторність, ієрархічна структура, багатозв'язність, стохастичність та прояви системних тенденцій розвитку, що в свою чергу дає змогу передбачувати характер цільової поведінки об'єкта.
2. Експериментальні дослідження виявили особливості атрактивної поведінки процесів 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.

3. Розроблена ієрархічна нелінійна динамічна модель яка складається з п'яти рівнів:

1 - опис фаз; 2 - опис обміну між фазами; 3 - нелінійної математичної моделі масообміну на тарілці; 4 - опис брагоректифікаційної установки на рівні колони; 5 - модель розрахунку економічної ефективності процесу брагоректифікації.

4. Проведена лінгвістична апроксимація основних змінних процесів брагоректифікації на основі експертних та експериментальних даних, що дозволило описати множину змінних в термінах лінгвістичних оцінок для побудови сценаріїв управління.

5. Розроблені сценарії управління, в яких передбачено врахування стратегічних напрямків, що дало можливість комплексно аналізувати та приймати рішення в залежності від ситуації, яка складається на БРУ.

6. Здійснена постановка та розв'язана задача багатоцільової оптимізації з урахуванням ситуативної динамічності зміни пріоритетності критеріїв оптимізації при нечітких значеннях параметрів та змінних.

7. Створена імітаційна модель, в якій відтворені можливі ситуації при функціонуванні БРУ при змінюванні якісних характеристик (бражки, еспурату, спирту) як лінгвістичних змінних та збурень БРУ, що дало можливість показати ефективність управління об'єктом в порівнянні з традиційними методами управління.

8. Розроблена інтелектуальна підсистема системи управління БРУ на основі баз знань у вигляді продукційних правил, які передбачають динамічний аналіз ситуації, пошук та вибір фрагментів сценаріїв для формування та реалізації ефективних стратегій управління БРУ.

9. Проведені виробничі випробування запропонованих алгоритмів управління та обробка результатів їх застосування методом гілок та меж показали, що економія основних енергоресурсів в САУ, побудованій на основі сценарного підходу в порівнянні з традиційними системами досягає 8%.

10. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення передано на Червонослобідський спиртзавод, що підтверджено відповідними довідками і використовується в навчальному процесі.

Список праць, опублікованих за темою дисертації

1. Моделювання фазової рівноваги при ректифікації суміші етанол - вода і розрахунок кількості контактних пристроїв в ректифікаційній колоні залежно від значення флегмового числа / Ткачук Н.А., Смітюх Я.В., Малезик І.Ф., Мельник Л.М. // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2002.- №12. – С. 65-66.

2. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Модель брагоректифікаційної установки як об'єкта керування // Збірник наукових праць Кіровоградського Національного технічного університету. – 2004. – Випуск 15. – С.229 – 234.

3. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Дослідження процесу брагоректифікації з позицій синергетичного підходу керування // Харчова промисловість.— 2004. — №3. - С.142.
4. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Відновлення та оцінка атрактора на основі часових рядів роботи брагоректифікаційної установки // Восточно – европейский журнал передовых технологий. – 2006. - №3/3(21). – С.55-57.
5. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Оптимізація управління процесами брагоректифікації //Автоматика. Автоматизація. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. - №2(18). – С.117-124.
6. Пилипчук К.Г., Смітюх Я.В., Кишенько В.Д., Кофанова Н.В. Ситуаційна модель управління брагоректифікаційною установкою // Програма і матеріали 66 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. II – К.:УДУХТ, 2000. - С.77.
7. Смітюх Я.В., Первак М.В., Кишенько В.Д. Управління брагоректифікаційною установкою на базі сценарного підходу // Програма і матеріали 67 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. II – К.:УДУХТ, 2001. - С.123.
8. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою в умовах невизначеності // Програма і матеріали 68 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. II – К.:НУХТ, 2002. - С.115.
9. Смітюх Я.В., Сухоносова О.С., Кишенько В.Д. Ієрархічна модель процесу брагоректифікації // Програма і матеріали 69 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. II – К.:НУХТ, 2003. - С.128.
10. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Управління процесом брагоректифікації на принципах самоорганізації в складних системах // Програма і матеріали 70 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. II – К.:НУХТ, 2004. - С.114.
11. Кишенько В.Д., Смітюх Я.В., Місюра М.Д. Інтелектуальне управління технологічними комплексами на основі сценарного підходу // Тези доповідей учасників Міжнародної науково – практичної конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”, м. Чернівці, 2004р. - С.19-20.
12. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Оптимізація управління процесом брагоректифікації на основі теорії самоорганізації // Матеріали 11 – й міжнародної конференції по автоматичному управлінню “Автоматика - 2004”, м. Київ, 2004, Т.2. – С.55.
13. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Побудова сценарних алгоритмів управління процесом брагоректифікації на основі принципів самоорганізації в складних системах // Програма і матеріали 71 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. II – К.:НУХТ. 2005. - С.116.
14. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Синтез алгоритмів вирішення конфліктних ситуацій при керуванні брагоректифікаційною установкою // Матеріали IX міжнародної науково – технічної конференції “Нові технології та технічні

рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи”, Ч.ІІ – К.: НУХТ, 2005. - С.46.

15.Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Розробка сценарних алгоритмів управління процесами брагоректифікації на основі багатокритеріальної оптимізації // Матеріали 12 – ої міжнародної конференції по автоматичному управлінню “Автоматика - 2005”, м.Харків, 2005. – С.36

16. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Нелінійний статистичний аналіз процесів брагоректифікації // Програма і матеріали 72 – ої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Ч. ІІ – К.:НУХТ, 2006. - С.125.

17. Смітюх Я.В., Кишенько В.Д. Синтез сценарних алгоритмів управління брагоректифікаційною установкою в умовах ситуаційної невизначеності // Матеріали 13 – ої міжнародної конференції по автоматичному управлінню “Автоматика - 2006”, м.Вінниця, 2006. – С.108.

АНОТАЦІЯ

Смітюх Я.В. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою на основі сценарного підходу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2007.

Дисертацію присвячено питанням розробки сценарних алгоритмів управління процесами брагоректифікації для синтезу інтелектуальної системи автоматизованого управління брагоректифікаційною установкою. Синтезована багаторівнева ієрархічна модель процесів брагоректифікації. Проведено статистичну обробку експериментальних даних з спиртзаводу та отримано комплекс статичних моделей процесів брагоректифікації, за якими здійснюється оптимізація, також досліджено та розраховано основні показники хаотичності. Здійснена ідентифікація процесів брагоректифікації на основі нейро – нечіткої технології моделювання. Розроблено структуру системи автоматизованого керування брагоректифікаційною установкою, в якій реалізуються алгоритми сценарного управління. Розроблено інтелектуальну підсистему управління процесами брагоректифікації.

Ключові слова: технологічний об’єкт управління, математичні моделі брагоректифікації, багатокритеріальна оптимізація, показники хаотичності, сценарні алгоритми управління, нечітка логіка, нейронні мережі.

АННОТАЦИЯ

Смитюх Я.В. Автоматизированное управление брагоректификационной установкой на основе сценарного подхода. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2007.

Диссертация посвящена вопросам разработки сценарных алгоритмов управления процессами брагоректификации для синтеза интеллектуальной системы автоматизированного управления брагоректификационной установкой

(БРУ). Синтезирована многоуровневая иерархическая модель процессов брагоректификации, которая позволяет учесть особенности объекта управления в условиях неравновесности прохождения процессов. Разработанная модель позволяет глубже изучить механизмы взаимосвязи между входными и выходными переменными.

Экспериментальные исследования были проведены в условиях Червонослободского спиртзавода. При этом были получены временные ряды всех основных технологических переменных в разных условиях работы БРУ. Для фильтрации экспериментальных данных использовалось вейвлет – преобразование с жестким трешолдингом. Обработка экспериментальных данных позволила определить аттрактивное поведение БРУ. Определено, что изменение аттракторов вызвано изменением концентрации этанола в входных продуктовых потоках бражной и ректификационной колонн. Используя фильтрованные экспериментальные данные объекта управления, рассчитаны основные показатели хаотичности процессов брагоректификации, такие как: показатель Херста и значение фрактальной размерности, что позволило обосновать целесообразность разработки прогнозирующей подсистемы системы управления брагоректификационной установки и определить наличие детерминированного хаоса в основных процессах.

Для прогнозирования поведения процессов брагоректификации, определения глубины прогноза и классификации ситуаций использовались нейронные сети RBF. Для построения нейронных предикторов были взяты целевые векторы статистических данных технологических переменных.

При разработке сценариев управления был проведен факторно – целевой и ситуационный анализ функционирования БРУ, что позволило включить формирование управляющих последовательностей с учетом эффективных стратегий в интеллектуальные механизмы сценарного подхода и обеспечить автоматизацию принятия решений в сложных ситуациях.

С целью получения оценочных характеристик поведения процессов брагоректификации в ситуационно - значимых зонах был получен комплекс статических моделей на основании экспериментальных данных.

Эффективность действий системы управления оценивается совокупностью локальных критериев работы БРУ: K_i , P_i , W_i (качества, производительности и потерь), каждый из которых имеют коэффициенты относительной важности λ_1 , $\lambda_2, \dots, \lambda_k$. Для решения задачи векторной оптимизации процессов брагоректификации был использован метод Нелдера-Мида в комбинации с генетическим алгоритмом поиска экстремума.

Задача идентификации решалась на основании методов типовой идентификации и нейро – нечеткого моделирования.

Для программной реализации сценариев управления БРУ была использована нечеткая модель знаний, что базируется на производственных зависимостях. С целью повышения эффективности функционирования разработанной модели знаний, было осуществлена оптимизация ее работы путем построения ее новой внутренней структуры, что позволило улучшить структуру и выбор отдельных фрагментов сценариев управления БРУ.

Для тестирования системы проведено имитационное моделирование в среде Matlab, что позволило осуществить испытание и конфигурирование системы до внедрения ее в производство.

Разработана новая структура системы автоматизированного управления БРУ с использованием интеллектуальных подсистем принятия решений и динамического анализа ситуаций.

На этапе реализации задач управления предложено использование программного обеспечения компании GE_Fanuc. В целом реализация системы осуществляется путем интеграции указанного программного обеспечения с средой Matlab и программной средой, реализованной в среде Delphi через межпрограммные интерфейсы.

Реализация системы управления брагоректификационной установкой за полученными оценками при помощи метода ветвей и границ позволила повысить эффективность производства спирта путем экономии энергоресурсов до 8 %.

Ключевые слова: технологический объект управления, математические модели брагоректификации, многокритериальная оптимизация, показатели хаотичности, сценарные алгоритмы управления, нечеткая логика, нейронные сети.

THE SUMMARY

Smityuh Y.V. Automated management the alcohol for distillation setting on the basis of scenario approach. it is Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.13.07 – automation of technological processes is the National university of food technologies, Kiev, 2007.

Dissertation by the is devoted question of development of algorithms of scenarios of control of processes of alcohol for distillation for the synthesis of the intellectual automated control the alcohol for distillation setting system. The multilevel hierarchical model of processes of alcohol for distillation is synthesized. The statistical processing of experimental data is conducted from alcohol for distillation and the complex of static models of processes of alcohol for distillation is got which optimization is carried out after, also investigational and the basic indexes of chaoticness are expected. Authentication of processes of alcohol for distillation is carried out on basis neyro – unclear technology of design. The functional structure of the intellectual automated control of alcohol for distillation system is developed in the context of which for the algorithms of scenario management will be realized . The intellectual subsystem of control of processes of alcohol for distillation is developed.

Key words: technological object of management, mathematical models of alcohol for distillation, multicriterion optimization, indexes of chaoticness, algorithms of scenarios of management, fuzzy logic, networks of neurons.