МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

СТЕЦЕНКО ДМИТРО ОЛЕКСІЙОВИЧ

УДК 663.52-007.5

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОЮ УСТАНОВКОЮ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ

05.13.07 – Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Смітюх Ярослав Володимирович,
Національний університет харчових технологій,
м.Київ,
доцент кафедри автоматизації та
інтелектуальних систем керування

Офіційні опоненти: доктор техн. наук, професор
Шевчук Дмитро Олегович,
Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України, с.н.с., професор кафедри автоматизації та енергоменеджменту

доктор технічних наук, професор
Лисенко Віталій Пилипович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І.І.Мартиненка

Захист відбудеться "22" березня 2017 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 в Національному університеті харчових технологій, за адресою: 01033, Київ-33, вул. Володимирська, 68, ауд. _А311

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

Автореферат розісланий "10 " лютого 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К 26.058.05,
к. т. н., доцент О. М. М'якшило

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи полягає в тому, що з точки зору аналізу та синтезу систем автоматизованого керування (САК), брагоректифікаційні установки (БРУ) спиртових заводів є складними об'єктами керування (ОК) та характеризуються багатомірністю, багатозв'язністю та нестаціонарністю і розглядаються як об'єкти з послідовно-паралельною структурою. Такі властивості об'єкта керування приводять до ускладнення практичного синтезу ефективної САК відомими традиційними методами.

Існуючі розробки систем автоматизації БРУ не дають достатньо високої ефективності з точки зору сучасних вимог та стандартів якості етилового спирту, а також енергоефективності. Це зумовлено несвоєчасністю прийняття рішень в складних нештатних ситуаціях та неможливістю комплексного аналізу лабораторної та виробничої інформації внаслідок недосконалого програмно-технічного та алгоритмічного забезпечення, що спричиняє складність в дотриманні основних критеріїв функціонування.

Вирішити коло таких питань можливо за рахунок використання сучасних підходів у галузі створення інтелектуальних систем та програмно-технічних рішень для формування основних функцій майбутньої САК. Така методика дозволить підвищити ефективність прийняття рішень по керуванню брагоректифікаційною установкою, що є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування Національного університету харчових технологій «Теоретичні основи розробки робастно-оптимальних систем керування складними технологічними об'єктами та комплексами в умовах невизначеності» (номер державної реєстрації 0115U000379) та «Наукові основи створення інтелектуальних систем автоматизації технологічних об'єктів з використанням робастно – оптимальних та енергозбережних методів» (номер державної реєстрації 0116U001531).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення техніко-економічних показників функціонування БРУ, зменшення вмісту домішок у спирті до допустимих значень та зменшення витрат енергоносіїв, шляхом створення автоматизованої системи керування на основі інтелектуальних алгоритмів з урахуванням поведінки об'єкта в умовах невизначеності.

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

– системний аналіз БРУ з використанням часових рядів, для виявлення основних властивостей, статистичної оцінки та поведінки БРУ, як нестаціонарного об'єкта керування (ОК) і побудова на їх основі інтелектуальних алгоритмів керування;

– адаптація математичної моделі БРУ та її дослідження як об'єкта керування;

– розробка методів прогнозування параметрів стану БРУ та реалізація підсистеми прогнозування з використанням нейронних мереж;

– виявлення провісників кардинальних змін стану часових рядів БРУ використанням флікер-шумової спектроскопії;

– ідентифікація брагоректифікаційної установки з використанням інтелектуальних методів ідентифікації;

– розробка інтелектуальних алгоритмів керування БРУ в умовах невизначеності, які забезпечують підвищення якості продукції та продуктивність БРУ, а також зменшення питомих витрат ресурсів;

– розробка алгоритмів керування, які забезпечують організацію ефективних стратегій на основі інтелектуального аналізу виробничих ситуацій та зміни критеріїв керування;

– побудова автоматизованої системи керування БРУ на основі інтелектуальних методів.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування та керування брагоректифікаційною установкою спиртового заводу.

Предметом дослідження є системи автоматизованого керування брагоректифікаційними установками спиртових заводів, алгоритми інтелектуального керування БРУ, методи, моделі та алгоритми, які можуть бути покладені в основу створення підсистеми підтримки прийняття рішень в автоматизованій системі керування.

Методи дослідження. Методи, що використовуються для вирішення поставлених задач, базуються на положеннях сучасного системного аналізу, теорії автоматичного керування, інтелектуальних систем, методах системного аналізу, флікер-шумової спектроскопії, вейвлет-аналізу, інженерії знань, багатокритеріальної оптимізації, імітаційного моделювання. Вірогідність основних теоретичних положень і результатів досліджень підтверджувалась шляхом використання математичного моделювання та експериментальних даних.

Наукова новизна:

При вирішенні поставлених задач одержані нові наукові результати:

– адаптовано нелінійну модель динаміки процесів брагоректифікації з використанням методу UNIQUAC, що дозволило з необхідною точністю описати пароріднинну рівновагу складних спиртових сумішей в умовах нерівноважності протікання процесів;

– подальший розвиток отримали дослідження атрактивної поведінки процесів брагоректифікації у виробничих умовах і встановлено основні показники хаотичності, що дозволило визначити важливі змінні, які є ключовими для змінювання якісних показників поведінки об'єкта;

– вперше запропоновані алгоритми прогнозування розвитку об'єкта керування з різною глибиною прогнозу на основі інтелектуальних підходів;

– вперше вирішено задачу оптимізації процесів керування БРУ в умовах ситуаційної невизначеності з урахуванням вибору критеріїв функціонування БРУ;

– вдосконалено методи синтезу структури та комплексу інтелектуальних алгоритмів системи керування БРУ з використанням інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень (ППРП) та аналізу виробничих ситуацій.

Практичне значення та реалізація отриманих результатів.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень використано інтелектуальні методи та побудовані алгоритми керування БРУ для синтезу АСК БРУ.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Сумського коледжу харчової промисловості Національного університету харчових технологій, на кафедрі автоматизації та інтелектуальних систем керування НУХТ та на підприємстві ДП «Наумовський спиртовий завод».

Особистий внесок здобувача.

Дисертація є самостійною роботою автора. Автором було проаналізовано наукову літературу з даної проблеми, зроблено висновки, сформульовано задачі досліджень. У публікаціях у співавторстві особистий внесок автора полягає в наступному: в [1] представлено принципово нові підходи до автоматизованого керування БРУ з використанням інтелектуальних алгоритмів; в [2] було розглянуто використання інтелектуальних алгоритмів для реалізації ефективних стратегій керування процесами брагоректифікації з використанням елементів нечіткої логіки; в [3] запропоновано методику автоматичного виявлення основних факторів впливу на проходження технологічних процесів та знаходження прихованих взаємозв'язків між вхідними та вихідними змінними на основі експериментальних даних функціонування БРУ; в [4] здійснений аналіз та класифікація ситуацій за допомогою самоорганізуючих карт Кохонена; в [5] розроблено структуру системи автоматизованого інтелектуального керування процесом виробництва спирту з використанням ЛІМС; в [6] розглянуто методику прогнозування поведінки складних об'єктів керування в умовах невизначеності; в [7] запропоновано алгоритми на основі лінгвістичного прогнозування; в [8] розглянуто особливості поведінки процесів брагоректифікації та методи прогнозу критичних ситуацій; в [9] автором представлено алгоритми Мамдані для керування БРУ; в [10] досліджено методику обробки інформації за допомогою ANFIS-технології; в [11] автором представлено методику формування ефективних алгоритмів керування БРУ; в [12] автором використано метод UNIQAC для обчислення коефіцієнтів активності спиртової суміші; в [13] застосовано методику оптимізації автоматизованого керування брагоректифікаційною установкою; в [14] використано метод узагальненого керування з передбаченням при автоматизації БРУ; в [15] запропоновано використання нового MPC-підходу керування об'єктом, для покращення якісних показників перехідних процесів; в [16] представлено метод кваліметрії для оцінки якості спирту; в [17] застосовано методи флікер-шумової спектроскопії для прогнозування кардинальних змін динамічної системи; в [18] здійснено обробку часових рядів процесів брагоректифікації та оптимізацію з використанням генетичних алгоритмів; в [19] застосовано методи фільтрації інформації на основі вейвлетного та фрактального аналізу; розроблені методи зменшення невизначеностей у вхідній інформації, яка надходить від вимірювальних приладів та заводської

лабораторії за рахунок видалення аномальних вимірювань, використано методи аналізу систем ЛІМС.

Планування основних напрямів роботи, обговорення результатів та підготовка публікацій проходили за участю наукового керівника Я.В.Смітюха.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях Національного університету харчових технологій в 2011 – 2016 рр.; Міжнародній конференції з автоматичного керування «Автоматика – 2012 (м. Київ, 2012)» та «Автоматика – 2015 (м. Одеса, 2015)»; V Міжнародній конференції студентів і молодих науковців «Сучасні інформаційні технології 2015 (м. Одеса, 2015), IV Міжнародній науково-практичній конференції AIST-2016 (м. Суми, СумДУ, 2016).

Публікації.

По темі дисертації опубліковано 21 друковану працю, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них 4 статті у фахових виданнях, 1 стаття в іноземному журналі, 16 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (133 найменування) і додатків. Загальний обсяг становить 201 стор., з яких зміст викладено на 178 стор. тексту і містить 55 рисунків, 8 таблиць, 5 додатків.

Основні положення, що виносяться на захист: на захист роботи виносяться результати досліджень властивостей БРУ спиртового заводу та процесів функціонування як складного ОК; критерії та задачі оптимізації роботи підсистем; алгоритми прогнозування параметрів стану БРУ; математичні моделі підсистем, інтелектуальні алгоритми, генетичні алгоритми ; алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації інтелектуальних алгоритмів керування; функціональна структура системи автоматичного керування БРУ.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

Перший розділ присвячений аналізу особливостей БРУ як складного ОК, аналізу існуючих розробок систем автоматизації БРУ, визначено перспективні шляхи вдосконалення систем керування БРУ. Узагальнено результати робіт у галузі автоматизації спиртового виробництва таких вчених, як Ладанюк А.П., Смітюх Я.В., Кишенько В.Д., Пупена О.М., тощо.

Якість харчового етилового спирту визначається наявністю в ньому домішок, наприклад ізопропанолу та ін., які негативно впливають на його фізико-хімічні та органолептичні показники. При дослідженні технологічного процесу виробництва спирту визначено, що основна маса домішок формується на етапі приготування бражки, а на стадії брагоректифікації відбувається їх

вилучення. У зв'язку з великою кількістю неконтрольованих факторів, які виникають на етапах приготування бражки, практично неможливо забезпечити стабільний склад домішок у зрілій бражці. Отже, вилучення домішок у брагоректифікаційних установках відбувається за різної якості бражки. Пояснено, що зміна технологічного обладнання або технології процесу може покращити якість спирту, проте не може забезпечити її стабільність без надмірних втрат, тому проблема може бути вирішена шляхом розробки нових інтелектуальних алгоритмів керування. Підтвержено, що на сьогодні мають найбільше практичне використання такі основні підходи до побудови систем автоматизованого керування БРУ:

– незалежна стабілізація режимів роботи БРУ;

– поздовжня стабілізація режимів роботи БРУ в залежності від якості бражки;

– поздовжня стабілізація режимів роботи БРУ «з хвоста» процесу;

Кожен з цих підходів має свої переваги та недоліки, але жоден з них повністю не відповідає вимогам виробництва в сучасних економічних умовах. Аналіз робіт з автоматизації БРУ показав, що незважаючи на значну кількість досліджень, залишаються проблеми керування БРУ при якісних змінюваннях поведінки об'єкта, викликаних нестабільністю якісних характеристик сировини та умов масообміну.

<u>У другому розділі</u> представлено адаптовану математичну модель процесу ректифікації, яка враховує особливості спиртових сумішей. Реалізовано три етапи розрахунку. Перший етап – метод незалежного розрахунку розподілення концентрацій компонентів по висоті колони. Другий етап – метод розрахунку процесу брагоректифікації з урахуванням взаємовпливу компонентів при постійних потоках парів і рідин по висоті колони. Третій етап – це метод опису процесу брагоректифікації, що враховує взаємовплив всіх компонентів суміші та зміни витрат пари і рідини по висоті колони.

Результати обчислень використовуються в якості першого наближення для розрахунку процесів брагоректифікації з урахуванням взаємовпливу компонентів, при постійних потоках парів і рідини по висоті колони. Моделювання ректифікаційної колони починається з розрахунку бінарної суміші «етанол-вода». Використовуючи метод Льюіса-Матісона, визначається профіль розподілу етилового спирту і води по висоті колони, для бінарної суміші етанол-вода. Остаточні результати обчислень – масиви значень температури кипіння сумішей $T_{кип\ i,j}$, коефіцієнтів фазової рівноваги етилового спирту і води $k_{i,j}$, концентрацій етилового спирту і води в рідкій $x_{i,j}$, та паровій $y_{i,j}$ фазах на всіх тарілках колони для бінарної суміші (n=2). Такі дані використовуються в якості першого наближення в розрахунку процесу ректифікації багатокомпонентної спиртової суміші, за методом незалежного розрахунку розподілу концентрацій.

На (рис. 1) представлена структурна схема ректифікаційної колони. Потоки в паровій фазі позначені пунктирними лініями, потоки в рідкій фазі – суцільними лініями. Вхідні і вихідні потоки: F, G_0, W –витрати відповідно, живлення, гострої пари і кубового залишку, (кмоль/год.); В1, В2, В3, В4 –

бокові відбори, відповідно: сивушних масел, сивушних спиртів, ректифікованого спирту (кмоль/год); D – витрата непастеризованого спирту (головна фракція), кмоль/год. Номера тарілок введення живлення та бокових відборів відповідно: $nf, nB1, nB2, nB3, nB4$.

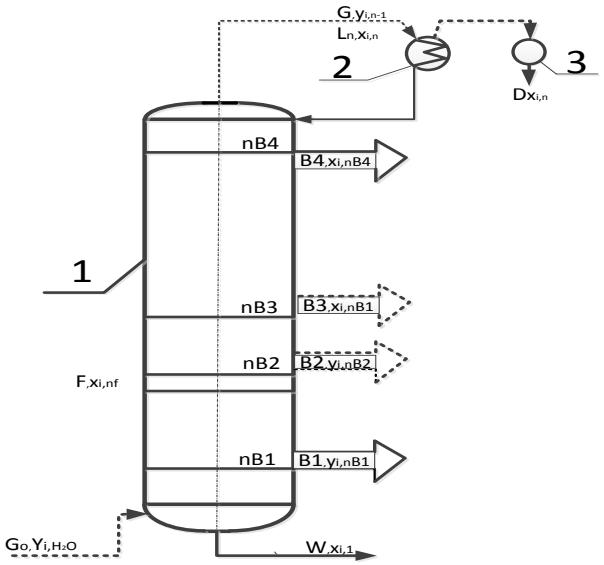

Рис. 1. Розрахункова схема ректифікаційної колони, 1 – колона ректифікації, 2 – дефлегматор, 3 – конденсатор

Враховано, що спиртові суміші є складними неідеальними системами, тому головну проблему при розрахунку рівноважних складів пари і рідини, в таких сумішах, являє визначення коефіцієнта активності, що входить в рівняння рівноваги. Рівняння Вільсона, NRLT, UNIQAC та інші – це методи «локальних» складів. Ці методи характеризуються достатньою надійністю і можуть точно описувати навіть занадто неідеальні суміші. Для спиртових сумішей такі дані часто відсутні. Було використано дані прогнозування, одержані за допомогою методу UNIFAC. Метод UNIFAC і ASOG належать до другої групи методів – методів групових складових.

При дослідженні часових рядів, що описують складні об’єкти такі як БРУ, з метою автоматизації процесу виявлення подій і станів таких об’єктів, сигнал спотворюється впливом найрізноманітніших шумів. До таких сигналів можливе застосування технології Data Mining. Дослідження сигналів методом Data Mining проводиться в кілька етапів, одним з таких етапів є застосувння вейвлет-аналізу, що дає уявлення про сигнал у частотно-часовому діапазоні.

Впровадження в механізми обробки даних методів вейвлет-аналізу наочно доводить здатність комплексно підходити до вирішення завдань дисертаційного дослідження. У результаті дослідження було отримано графіки та спектрограми сигналу зміни температури контрольної тарілки ректифікаційної колони з використанням вейвлету Морле, та зміни тиску низу колони, що має найбільший вплив на якість спирту, як кінцевого продукту виробництва (рис. 2).

Для аналізу періодограми було використано вейвлет Гауса, проведено синхронізацію часового ряду та отримано результат (рис. 3).

При аналізі використано дискретні значення вейвлету Гауса ψ. Проводять стискання чи розтягнення функції Гауса в залежності від значення

коефіцієнта «*a*». Було отримано вейвлет коефіцієнти методом дискретної згортки, що відповідає зсуву вейвлета в часовій області, тобто зміні коефіцієнта *b*.

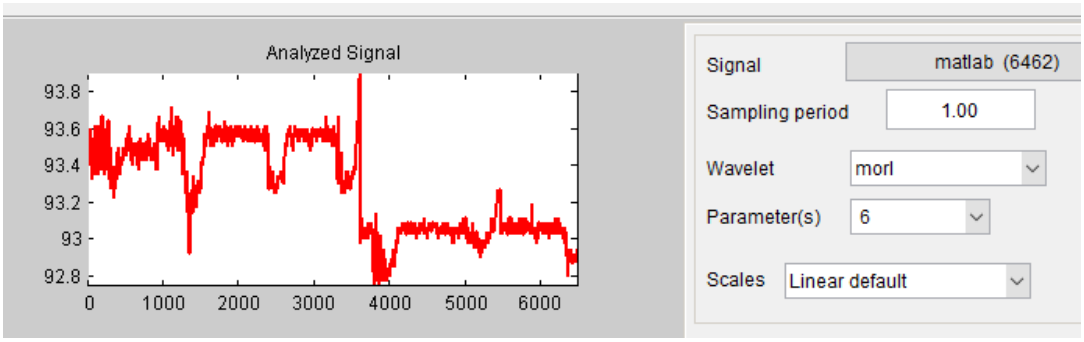

Рис. 2. Часовий ряд температури контрольної тарілки ректифікаційної колони

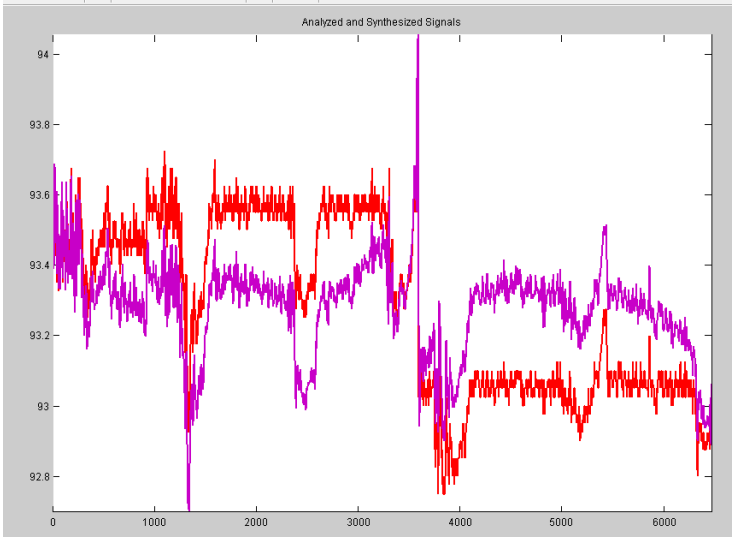

Рис. 3. Синхронізований часовий ряд температури контрольної тарілки ректифікаційної колони

Неперервне вейвлет-перетворення сигналу $f(t) \in L^2(R)$, використано для якісного частотно-часового аналізу. По суті це відповідає перетворенню Фур'є із заміною гармонічного базису exp(-jωt) на вейвлетний $\psi((t-b)/a)$:

$$W(a, b)=\langle f(t), \psi_{ab}(t)\rangle=(1/\sqrt{|a|})\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi((t-b)/a)dt,$$

$$(a, b)\in R, \quad a\neq 0. \qquad (1)$$

де коефіцієнти $W(a,b)$ – проекції сигналу на вейвлетний базис.

На (рис. 4) приведено сигнал з переміжностями та спектр вейвлета.

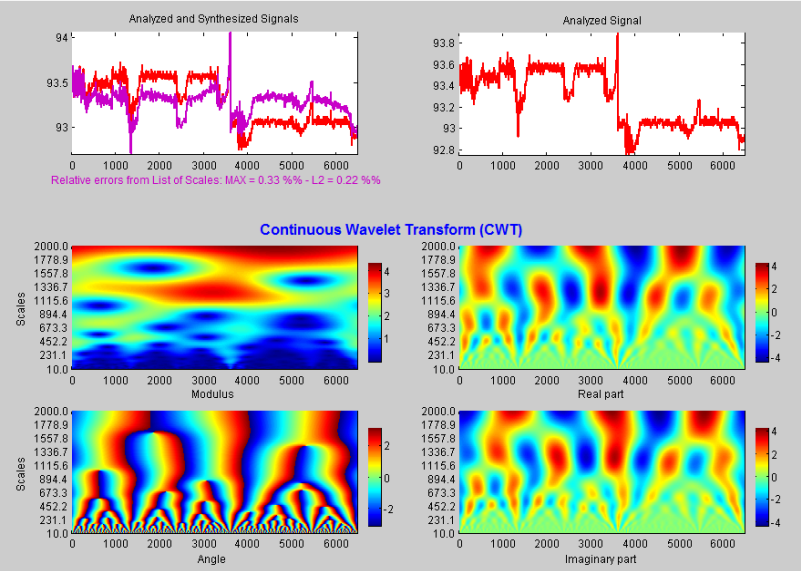

Рис. 4. Спектрограма вейвлет-перетворення сигналу температури контрольної тарілки ректифікаційної колони

Доведено, що використання вейвлет-спектру може істотно спростити пошук піків у вхідних даних БРУ. Застосування властивостей вейвлетів фільтрації вхідного сигналу дало змогу усунути перешкоди в часових рядах та провести якісний і достатньо точний аналіз технологічного комплексу.

У третьому розділі використано один з методів дослідження часових рядів БРУ – метод самоорганізованих карт Кохонена. Мережа Кохонена (рис. 7) це одношарова мережа, кожен нейрон якої з'єднаний з усіма компонентами n - мірним вхідним вектором. Вхідний вектор – це опис одного з об'єктів, що підлягають кластеризації. Кількість нейронів збігається з кількістю кластерів, яка повинна виділити мережу. В якості нейронів мережі Кохонена застосовано лінійні зважені суматори. Кожен j-ий нейрон описується вектором ваг, де m – число компонентів вхідних векторів.

У мережах Кохонена використано навчання без учителя. Для навчання мережі застосовуються механізми конкуренції. При подачі на вхід мережі вектора x перемагає той нейрон, вектор ваг якого в найменшій мірі відрізняється від вхідного вектора. Для нейрона-переможця виконується співвідношення:

$$d(x, w_j) = \min_{1 \le i \le n} d(x, w_{i)} \qquad (2)$$

де n – кількість нейронів, j – номер нейрона-переможця. Найчастіше в якості міри відстані використовується евклідова міра:

$$d(x, w_i = \|x - w_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (x_j - w_{ij})^2} \qquad (3)$$

Для вирішення завдання дослідженя часових рядів БРУ використано аналітичний пакет Deductor Studio Academic 5.1. Першим етапом побудови є завантаження та імпорт даних, а також запуск майстра обробки інформації, де необхідно присвоїти значення змінним: вхідна, вихідна, інформаційне (рис. 5). Для дослідження використано дані за добу (інтервал вимірювання 10 сек), які представлені у вигляді графіків на (рис.6).

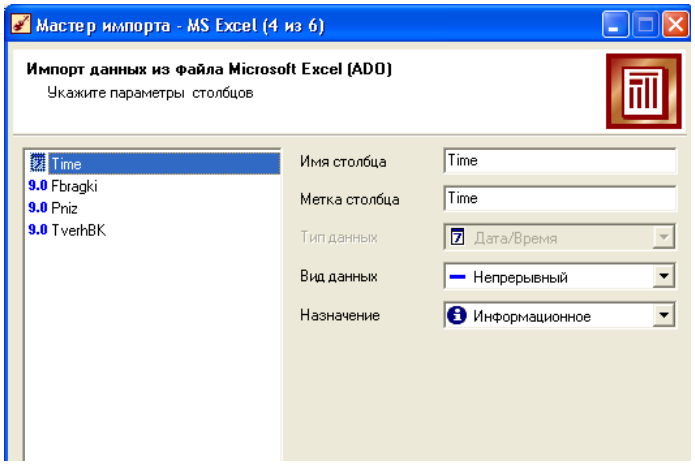

Рис. 5 . Завантаження даних в Deductor

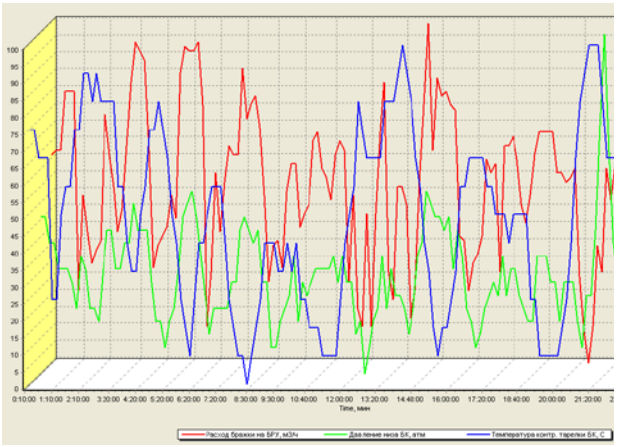

Рис. 6. Виробничі тренди технологічних змінних

Наступний крок – запуск майстра обробки і вибір із списку методу обробки «Карта Кохонена». Далі було розбито вихідну множину на навчальну, тестову і валідаційну. Здійснено процес навчання мережі, при цьому спостерігалась зміна величини похибки і відсотків розпізнаних прикладів у навчальній і тестовій множинах. У навчальній множині розпізнано 74,65% даних, а в тестовій множині 87,5% інформації. При аналізі карт входів рекомендується використовувати відразу кілька карт. Досліджено фрагмент карти, що складається з карт трьох входів, та фрагмент, який складається з декількох карт входів і матриці відстаней (рис.7).

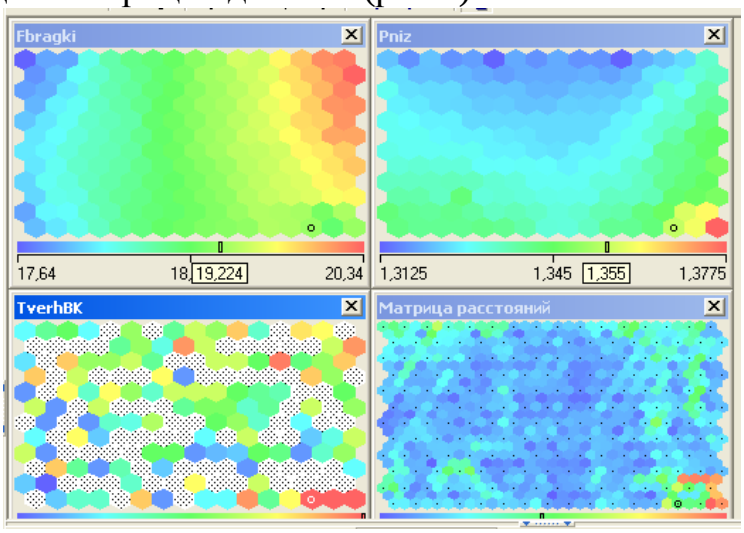

Рис. 7. Карти входів з кластерізацією

На одній з карт виділяється ділянка з найбільшими значеннями показника. На першій карті найбільші значення мають об’єкти, розташовані в правому верхньому куті (червоним кольором). Розглянуто в дисертації одночасно чотири карти, та стверджено, що ці ж об’єкти мають найбільші значення показника, зображеного на тій карті, що залишилася внизу. Як приклад, можна розглянути окремі значення часових рядів БРУ, які виходять за допустимі межі технологічного режиму. Визначивши ці об’єкти на картах Кохонена, можна прогнозувати поведінку системи в часі.

Також для дослідження показників часового ряду представлено визначення фрактальної розмірності й показника Херста. Розглянуто кілька методів визначення фрактальної розмірності для часового ряду.

Перший – це класичний клітинний метод, коли графік накривають серією сіток і визначають фрактальну розмірність так само, як і для геометричних фракталів.

Другий метод для дослідження фрактальних часових рядів був запропонований Бенуа Мандельбротом, базується на дослідженнях, проведених англійським дослідником Херстом, і зветься *R/S* методом. Він побудований на аналізі розмаху параметра (найбільшим і найменшим значенням на досліджуваному відрізку) і середньоквадратичного відхилення.

Третім є метод, заснований на зміні довжини кривої залежно від масштабу. Якщо крива близька до фрактальної, то зі зменшенням масштабу довжина кривої буде зростати ступеневим чином. Аналізуючи чергування ділянок з різною фрактальною розмірністю, можна навчитися прогнозувати поводження системи. І, найголовніше, діагностувати та прогнозувати нестабільні стани.

Істотним моментом даних підходів є наявність критичного значення фрактальної розмірності часової кривої, при наближенні до якого система втрачає стійкість і переходить у нестабільний стан, параметри швидко або зростають, або спадають, залежно від існуючої тенденції.

Проаналізовано динаміку зміни тиску пари нижньої частини бражної колони і температури на контрольній тарілці (рис. 8). Проведено визначення фрактальної розмірності зміни температури на контрольній тарілці ректифікаційної колони (рис. 9).

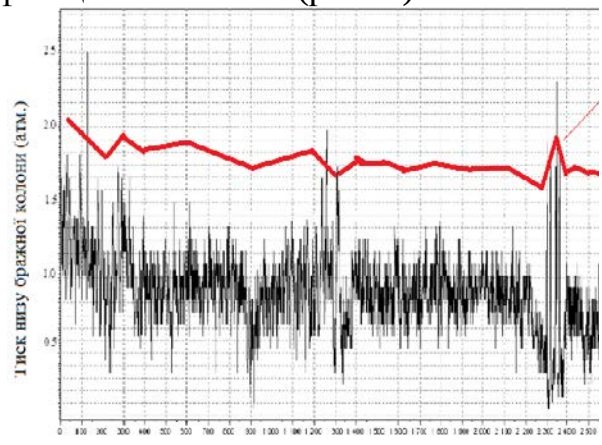

Рис. 8. Аналіз часового ряду тиску низу бражної колони

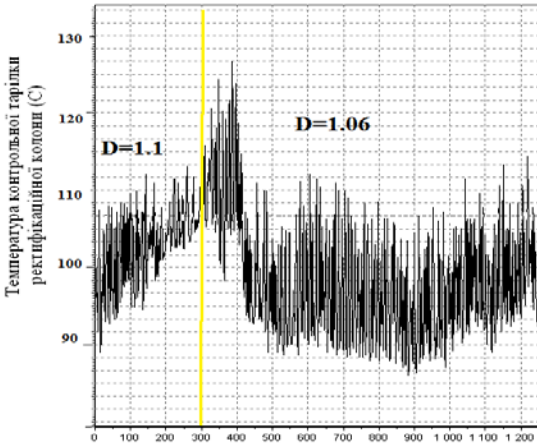

Рис. 9. Аналіз часового ряду температури контрольної тарілки ректифікаційної колони

Було визначено, що під час стабільних періодів і повільних підйомів фрактальна розмірність часового ряду залишається невисокою, у той час як у періоди різких змін сумарна фрактальна розмірність зростала.

Використано метод фрактального аналізу, що базується на алгоритмі *R/S* аналізу часових рядів.

Доведено популярність такої характеристики часових рядів, як показник Херста *H*. Відомо, що він пов'язаний із традиційною «клітинною» фрактальною розмірністю *D* простим співвідношенням:

$$D + H = 2. \qquad (4)$$

Показник Херста являє собою міру персистентності – схильності процесу до трендів. Значення $H > ½$ означає, що спрямована в певну сторону динаміка процесу в минулому, найімовірніше, спричинить продовження руху в тому самому напрямку. Якщо $H < ½$, то прогнозується, що процес змінить спрямованість. $H = ½$ означає невизначеність – броунівський рух. Для визначення фрактальних характеристик хаотичних інформаційних потоків розраховувались значення показника Херста за певний період для часових рядів основних технологічних змінних БРУ спиртового заводу. Розрахунок показника Херста для вихідних часових рядів, який характеризує зміну тиску пари низу бражної колони та температури контрольної тарілки ректифікаційної колони, показано на (рис. 10) та (рис.11).

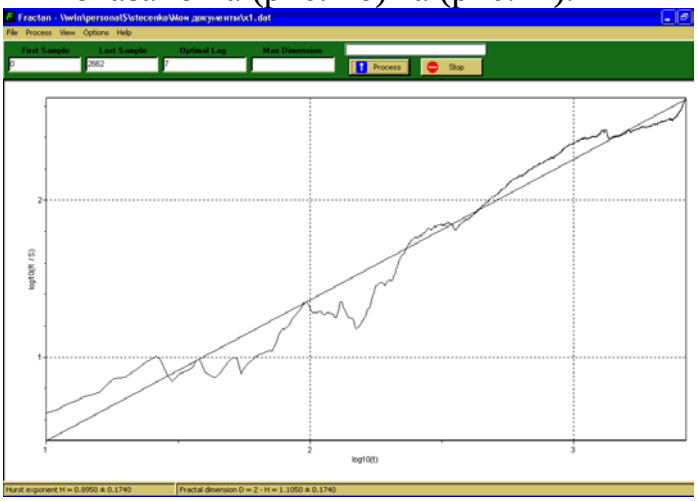

Рис. 10. Відображення рекурентної діаграми тиску низу бражної колони

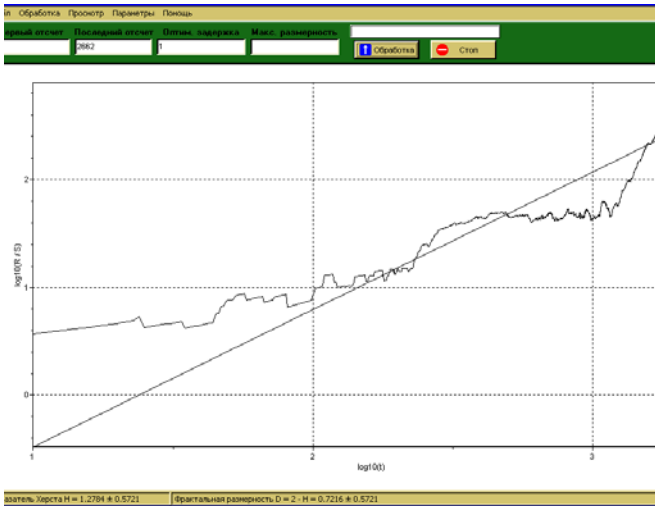

Рис. 11. Відображення текстури рекурентної діаграми температури контрольної тарілки ректифікаційної колони

Обчислені показники Херста H > 0,5, що свідчить про характерну персистентність розглянутої змінної, та можливу достатньо глибоку прогнозованість.

Для виявлення ефектів нестаціонарності в аналізованих процесах брагоректифікації застосований метод флікер-шумової спектроскопії, який є основою алгоритму виявлення «провісників» кардинальних змінювань у поведінці об’єкта. Для реалізації завдання прогнозування поведінки динамічної системи вивчається динаміка змін функцій спектра потужності $S(f)$ і різницевого моменту $\Phi^{(2)}(\tau)$ при послідовному зміщенні тестового інтервалу $[t_k, t_k + T]$, де $k = 0, 1, 2, 3, \ldots$ і $t_k = k\Delta T$, по всій довжині T_{tot}, експериментального ряду даних ($t_k + T < T_{tot}$). Феномен появи «провісника», природно пов’язаний з найбільш різкими змінами залежностей $S(f)$ (5) і $\Phi^{(2)}(\tau)$ при наближенні верхньої границі часового інтервалу усереднення t_k до моменту t_c катастрофічної події, коли в системі відбувається перебудування на всіх можливих просторових масштабах, що приводить до різкого змінювання зони нестаціонарності (рис.15).

$$S(f) = \int_{-T/2}^{T/2} \langle V(t)V(t+\tau)\rangle \exp(-2\pi i f\tau)d\tau\,, \qquad (5)$$

$$\Phi^{(2)}(\tau) = \left\langle [V(t) - V(t+\tau)]^2 \right\rangle, \qquad (6)$$

$$C(t_{k+1}) = 2 \cdot \frac{Q_{k+1} - Q_k}{Q_{k+1} + Q_k} / \frac{\Delta T}{T}, \tag{7}$$

$$Q_k = \int_0^{\tau\max} [\Phi^2(\tau)]_k \, d\tau \ , \text{ або } Q_k = \int_0^{f\max} [S(f)]_k \, df \tag{8}$$

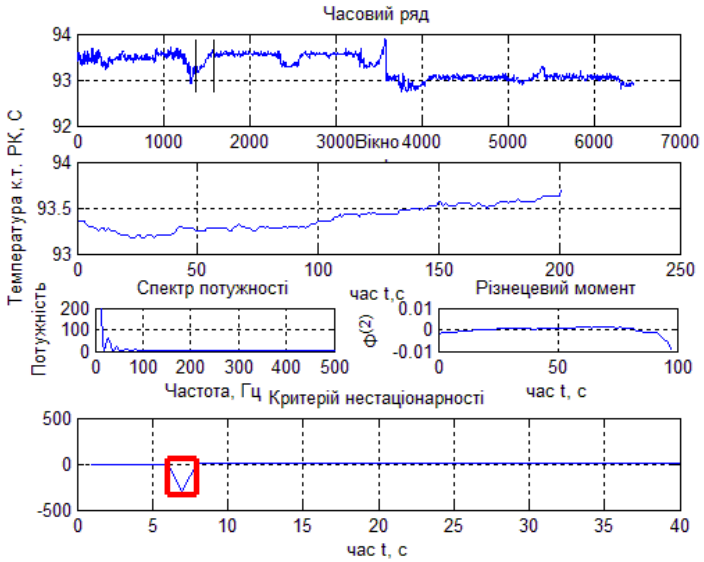

Рис. 12. Виявлення провісників системних змін динамічної системи

Вперше запропоновано для вирішення поставлених задач керування БРУ використати метод оптимізації на основі генетичних алгоритмів.

Визначено, що вказана модель узгоджується з теоретичними уявленнями про процес та адекватно описується в області змінювання температури на контрольній тарілці РК, в діапазоні лінгвістичної оцінки «норма».

$$Q_{kt} = f(V_3, D, x_d), \tag{9}$$

де, x_d – (спирт Люкс) не менше 96,3 %об згідно з 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.

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

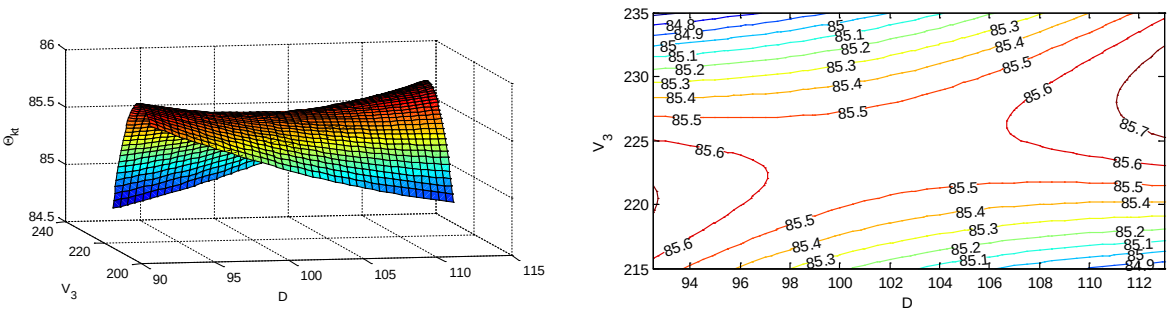

Рис. 13. Результати роботи генетичного алгоритму змінної температури контрольної тарілки ректифікаційної колони в залежності від витрати спирту та витрати пари на колону

У діапазоні зміни температури контрольної тарілки РК за допомогою алгоритму оптимізації знайдено два максимуми та два мінімуми.

У четвертому розділі, враховуючи особливості процесу брагоректифікації, були сформовані база знань і база алгоритмів, а також

визначені режими роботи САК, що забезпечує наступні функціональні можливості:

– розпізнавання аварійних та режимних ситуацій;

– реєстрація режимних параметрів;

– навчання в режимі роботи САК БРУ;

– аналіз ситуації та надання рекомендацій по прийняттю рішення у виробничій ситуації;

– режим коректування і заповнення бази знань, бази даних і списку навчання;

– режим прогнозування вирішення ситуацій в умовах невизначеності;

– режим імітаційного функціонування.

Структура системи автоматизованого керування БРУ наведена на (рис. 14).

У режимі навчання системи спеціаліст зі знань формує таблицю знань, яка має множину елементів, що становлять собою опорні множини повного набору ознак. У зв'язку з тим, що ситуацію може характеризувати декілька ознак, то інші ознаки повного набору суттєво не впливають на визначення ситуації та вибору необхідного алгоритму керування, і їх можна видалити з елементу таблиці навчання. Таблиця навчання являє собою двовимірний список і знаходиться в оперативній пам'яті під час роботи системи.

Рис. 14. Структура системи автоматизованого керування БРУ на основі інтелектуальних алгоритмів

Інтелектуальна система автоматизованого керування БРУ реалізується шляхом інтеграції середовища Matlab та розробленого програмного забезпечення в середовищі Delphi. У свою чергу здійснюється передача обробленої інформації на рівень виробничого аналізу MES - системи керування виробництвом. Опрацьована інформація через програмні інтерфейси надходить на SCADA - системи.

Для відтворення інформації на верхньому рівні - Web реалізована система Proficy Real Time Information Portal (рис. 15).

Також використано ЛІМС / LIMS (Лабораторна інформаційна менеджмент-система / Laboratory Information Management System) I-LDS

призначена для автоматизації керування, обробки та зберігання інформації про роботу лабораторії на підприємстві. ЛІМС I-LDS підвищує ефективність виконання функцій, затребуваних на підприємстві, дозволяє фахівцям заводу і споживачам виробленої продукції бути впевненими в дотриманні контролю якості на всіх етапах виробництва.

Будучи джерелом даних про якісні, кількісні результати випробувань і характеристики об'єктів керування, лабораторна інформаційна менеджмент-система I-LDS надає можливість у режимі реального часу інтегрувати дані в диспетчерські системи і системи планування ресурсів підприємства.

Впровадження ЛІМС I-LDS на спиртовому заводі направлено на підвищення якості й ефективності роботи випробувальної лабораторії (ВЛ) у всіх аспектах її діяльності, на забезпечення і підтвердження виконання вимог, що висуваються до компетентності лабораторій.

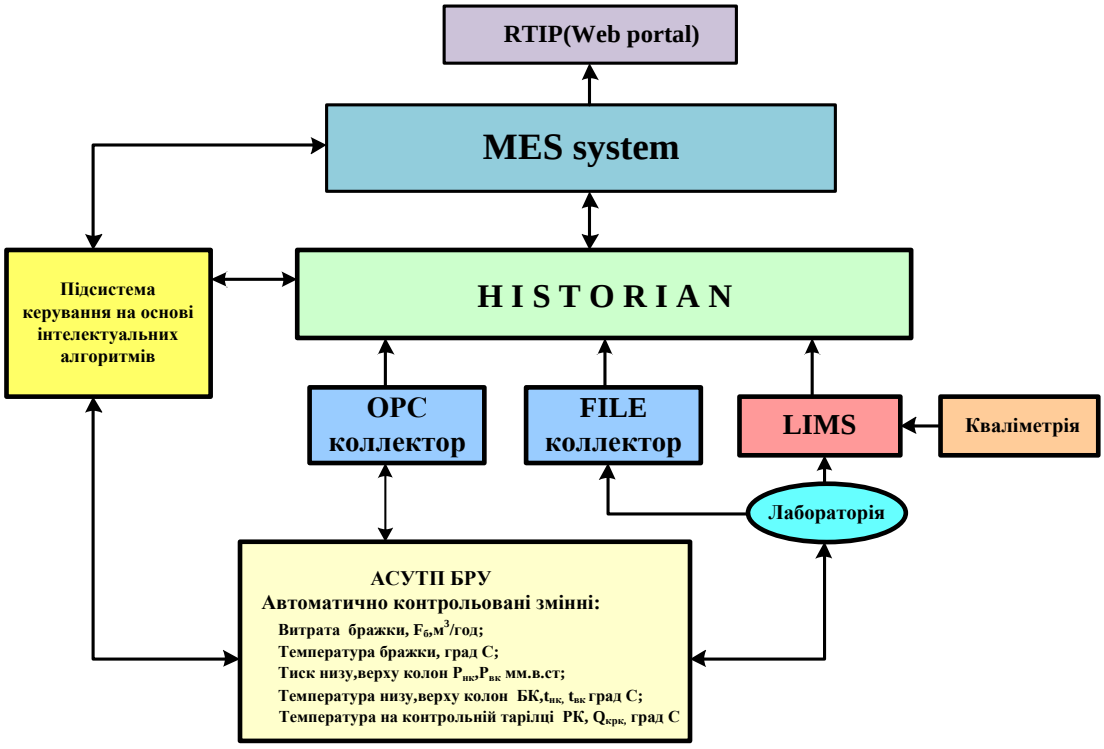

Рис. 15. Інформаційна вертикаль системи автоматизованого керування БРУ

ЛІМС I-LDS є інструментарієм для формування звітів. Паспорти ІЛ (підстава: Критерії оцінки діяльності випробувальних лабораторій (центрів), документи – форми для підготовки паспорта лабораторії: по ДСТУ (у т.ч. форми по МІ 2427-97), ДСТУ 51000.4 – вимоги для акредитації ІЛ), при цьому важливим чинником є актуалізованість інформації в режимі реального часу.

Система являє собою розподілений додаток. Для зберігання нормативно-довідкової інформації та метаданих використовується Microsoft SQL Server. Результати лабораторних досліджень зберігаються також в Microsoft SQL Server, але можуть бути паралельно збережені і на сервері даних реального часу. На даний момент підтримуються сервери: PI System компанії OSISoft, Proficy Historian компанії GE Intelligent Platforms. Перелік підтримуваних серверів може бути розширено. До складу I-LDS входять три клієнтські програми: АРМ-інженера, АРМ-лаборанта і АРМ-перегляду.

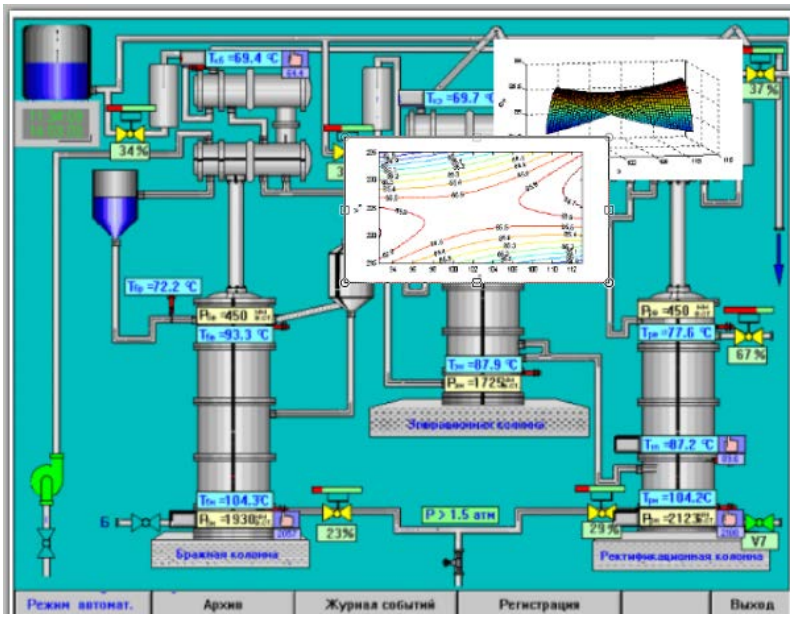

Рис.16. Відеокадр дисплейної мнемосхеми БРУ з використанням RSView32 та підсистемою оптимізації

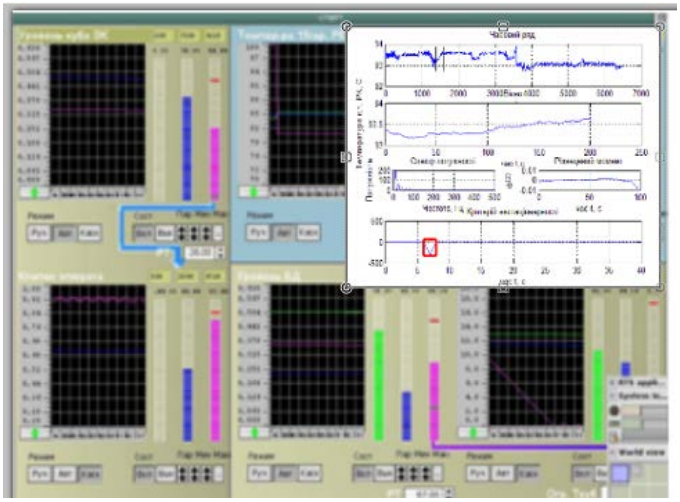

Рис.17. Відеокадр історії процесу брагоректифікації з підсистемою прогнозування

Підсистема інтелектуального керування, інтегрована в інформаційну вертикаль спиртового заводу, дозволить підвищити оперативність прийняття рішень та стабілізувати режими роботи БРУ.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі запропоновані нові розв'язки науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування БРУ спиртового заводу за рахунок використання сучасних інтелектуальних методів керування.

Здобуті наукові та практичні результати дозволяють зробити висновки:

1. У результаті системного аналізу БРУ спиртового заводу, як складного об'єкта керування, встановлено, що такий ОК має характерні риси складної технологічної системи: невизначеність, ієрархічну структуру, багатозв'язність, стохастичність та прояви системних тенденцій розвитку, що в свою чергу дає змогу прогнозувати характер його цільової поведінки.

2. Проведені експериментальні дослідження та обробка отриманих у виробничих умовах часових рядів основних технологічних змінних БРУ дозволили виявити особливості атрактивної поведінки, які викликаються змінюванням характеристик бражки та спирту, що створило сприятливі умови для прийняття якісних рішень по управлінню об'єктом.

3. Проведена лінгвістична апроксимація основних параметрів процесів брагоректифікації на основі експертних та експериментальних даних, що дозволило створити нечіткі множини змінних у термінах лінгвістичних даних для побудови бази правил керування, та отримано відповідні поверхні відгуків.

4. Запропоновані алгоритми виявлення системних нестаціонарностей в об'єкті керування, встановлення типу поведінки об'єкта за рахунок аналізу часових рядів технологічних змінних з використанням самоорганізованих карт Кохонена, аналізу та класифікації ситуацій. Це дозволило визначити інтенсивності впливу того чи іншого значення технологічного параметру на хід технологічного процесу, оцінити взаємозв'язок основних технологічних змінних.

5. Розроблені алгоритми прогнозування поведінки об'єкта на основі інтелектуальних методів аналізу даних, в тому числі прогнозування системних тенденцій розвитку об'єкта, що дало можливість визначити характерну персистентність часових рядів основних змінних, та можливу достатньо глибоку прогнозованість об'єкту.

6. Вперше для виявлення ефектів нестаціонарності в аналізованих даних процесів брагоректифікації застосований метод флікер-шумової спектроскопії, який є основою алгоритму виявлення «провісників» кардинальних змінювань в поведінці об'єкта.

7. Розроблено структуру системи автоматизованого керування БРУ на основі інтелектуальних алгоритмів та інформаційну вертикаль з використанням лабораторної інформаційної менеджмент-системи I-LDS, яка надає можливість у режимі реального часу інтегрувати дані в диспетчерські системи і системи планування ресурсів підприємства, які є джерелом даних про якісні, кількісні результати випробувань і характеристики об'єктів керування.

8. Здійснено імітаційне моделювання, а також виробничі випробовування запропонованих технічних рішень для забезпечення покращення якості спирту та зменшення до оптимального значення домішок.

9. Практичне значення результатів роботи підтверджено довідками про можливість їх використання на спиртовому виробництві та впроваджено в навчальний процес Сумського коледжу харчової промисловості, а також Сумської філії НУХТ.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Стеценко Д.О. Концептуальні основи розробки інтелектуальних алгоритмів управління брагоректифікаційною установкою [Текст] / Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх // «Енергетика і автоматика – 2013». №4. С. 91-97.

2. Стеценко Д.О. Розробка інтелектуальних алгоритмів керування брагоректифікаційною установкою [Текст] / Д.О. Стеценко // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. № 6/1 (14). С. 51-54.

3. Стеценко Д.О. Інтелектуальна обробка даних в системі автоматизованого управління технологічним комплексом брагоректифікації [Текст] / Д.О. Стеценко, О.М. Зігунов, Я.В. Смітюх // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. № 2/1 (16). С. 49-52.

4. Стеценко Д.О. Анализ функционирования процесов брагоректификации с использованием карт Кохонена [Текст] / Д.А. Стеценко, А.М. Зигунов, Я.В. Смитюх // Новый университет, Серия «Технические науки». – г. Йошкар-Ола. – 2015. № 3-4 (37-38). С. 37 – 43.

5. Стеценко Д.О. Розробка системи автоматизованого інтелектуального керування процесом виробництва спирту [Текст] / Д.О. Стеценко, А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Т.В. Савченко//Наукові праці НУХТ, 2016 – Том 22 №6. С.35 - 44.

6. Стеценко Д.О. Прогнозування поведінки складних об'єктів управління в умовах невизначеності на прикладі брагоректифікаційної установки [Текст] / Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх // Матеріали 1-ої міжнародної науково-практичної конференції AIST , 15-17 травня 2012 р.: тези доп.– К., СумДУ, 2012, С. 51- 52.

7. Стеценко Д.О. Управління брагоректифікаційною установкою на основі інтелектуальних алгоритмів та лінгвістичного прогнозування [Текст] / Д.О. Стеценко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 78-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 2-3 квітня 2012 р.: тези доп. – К.: НУХТ, 2012 – Ч. 2. – С. 271, 272.

8. Стеценко Д.О. Побудова алгоритмів прогнозування поведінки процесів брагоректифікації [Текст] / Д.О. Стеценко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 79-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 15-16 квітня 2013 р.: тези доп. – К.: НУХТ, 2013 – Ч. 2. – С. 511.

9. Стеценко Д.О. Управління брагоректифікаційною установкою на основі інтелектуальних алгоритмів [Текст]/ Д.О. Стеценко // XIX Міжнародна конференція Автоматика – 2012. – С. 336, 337.

10. Стеценко Д.О. Дослідження методів обробки інформації в підсистемі інтелектуального керування брагоректифікаційною установкою [Текст] / Д.О. Стеценко, О.І. Лістратенко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 80-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 10-11 квітня 2014 р.: тези доп. – К.: НУХТ, 2014 – Ч. 1. – С. 422-424.

11. Стеценко Д.О. Формування ефективних алгоритмів управління брагоректифікаційною установкою спиртового заводу [Текст] / Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх //Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості: Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю

Національного університету харчових технологій, 13-16 жовтня 2014 року.: тези доп.– К.: НУХТ, 2014 – С. 275.

12. Стеценко Д.О. Використання методу UNIQAC для обчислення коефіцієнтів активності спиртової суміші при побудові імітаційної моделі брагоректифікаційної установки [Текст] / Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами: Міжнародна науково-технічна конференція, 27 листопада 2014 р.: тези доп.– К.: НУХТ, 2014. – С. 95.

13. Стеценко Д.О. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою з використанням прогнозуючої моделі. [Текст] / Д.О. Стеценко, А.І. Гарченко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 81-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 23-24 квітня 2015 р.: тези доп. – К.: НУХТ, 2015 – Ч. 2. – С. 325.

14. Стеценко Д.О. Використання методу узагальненого управління з передбаченням при автоматизації брагоректифікаційної установки [Текст] / Д.О. Стеценко // V Міжнародна конференція студентів і молодих науковців «Сучасні інформаційні технології 2015», 21-22 квітня 2015 р.: тези доп. – Одеса: ОНПУ, 2015 – С. 93, 94.

15. Стеценко Д.О. Керування брагоректифікаційною установкою з використанням МРС-підходу [Текст]/ Д.О. Стеценко, Я.С. Кільмар // XXII Міжнародна конференція Автоматика – 2015. – С. 42, 43.

16. Стеценко Д.О. Використання методу кваліметрії для оцінки якості спирту [Текст]/ Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх // II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», 6-9 жовтня 2015 р: тези доп.– Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – С. 74, 75.

17. Стеценко Д.О. Виявлення передвісників кардинальних змін технологічних параметрів брагоректифікаційної установки з використанням флікер-шумової спектроскопії [Текст]/ Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх // II Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» 25 листопада 2015 р.:тези доп – К: НУХТ, 2015. – С.88, 89.

18. Стеценко Д.О. Інтелектуальна обробка даних процесів брагоректифікації з використанням генетичних алгоритмів [Текст] / Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 82-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 13-14 квітня 2016 р.: тези доп. – К.: НУХТ, 2016 – Ч. 2. – С. 308.

19. Стеценко Д.О. Intellectual data analyzing using wavele ttransformation / Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх [Текст] // Матеріали 4-ої міжнародної науково-практичної конференції AIST, 25-27 травня 2016 р.: тези доп.– К., СумДУ, 2012. – С. 51, 52.

20. Смітюх Я.В. Створення багаторівневих систем автоматизованого керування технологічними комплексами харчової галузі/ Я.В. Смітюх, Д.О. Стеценко [Текст] // IV Міжнародна науково-практична конференція: Проблеми

та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК, 21-22 листопада 2016 р.: тези доп.– К.,НУБІПУ,2016. – С. 85, 86.

21. Смітюх Я.В. Побудова інформаційної вертикалі системи автоматизованого керування брагоректифікаційною установкою/ Д.О. Стеценко, Я.В. Смітюх [Текст] // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами: Міжнародна науково-технічна конференція, 23 листопада 2016 р.: тези доп.– К.: НУХТ, 2016 – С. 265, 266.

АНОТАЦІЯ

Стеценко Д.О. Автоматизоване керування брагоректифікаційною установкою на основі інтелектуальних методів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2017.

Дисертацію присвячено питанням підвищення ефективності брагоректифікаційної установки спиртового заводу шляхом використання інтелектуальних методів керування та автоматизованої системи прогнозування і підтримки прийняття рішень відділення брагоректифікації. На основі сучасних методів аналізу складних систем розроблені ефективні алгоритми обробки вхідної інформації, виявлення структурних перетворень системи, прогнозування кардинальних змін. Розроблено та проаналізовано багаторівневу структуру керування технологічним комплексом, відділенням БРУ спиртового заводу. Розроблено структуру автоматизованої системи керування «АСУТП БРУ» спиртового заводу з використанням інтелектуальних механізмів, генетичних алгоритмів. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи керування відділенням брагоректифікації з підсистемою прогнозування та підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: спиртове виробництво, відділення брагоректифікації, прогнозування поведінки, інтелектуальний алгоритм, математична модель, аналіз динамічних систем, підсистема підтримки прийняття рішень.

АННОТАЦИЯ

Стеценко Д.А. Автоматизированное управление брагоректификационной установкой на основе интеллектуальных методов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2016.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности брагоректификационной установки спиртового завода путем использования интеллектуальных методов управления и автоматизированной системы прогнозирования и поддержки принятия решений отделения брагоректификации. В диссертации использованы технологии Data Mining для обработки данных и создания системы принятия решений в технологических комплексах, на примере брагоректификационной установки. Основной целью исследования является разработка методов и систем автоматического поиска

скрытых закономерностей или взаимосвязей между переменными, в больших массивах необработанных данных, определены задачи классификации, моделирования и прогнозирования. Также в работе рассмотрено основные факторы влияния на прохождение технологических процессов и выявления скрытых взаимосвязей между входными и выходными переменными на основе экспериментальных данных функционирования БРУ. Одним из таких подходов является нейро-нечеткая технология формирования знаний. Для достижения поставленной цели была получена статистическая информация о функционировании объекта управления, построена параметрическая структура нейро-нечеткой модели функционирования БРУ, сформирована нечеткая модель базы знаний, и получены поверхности отклика, как графические зависимости для поддержки принятия решений оператором. Использован метод карт Кохонена для обработки входящей информации, выявлены структурные преобразования системы, спрогнозированы кардинальные изменения в объекте с помощью методики фликкер-шумовой спектроскопии. Осуществлена фильтрация часовых рядов основных переменных с помощью вейвлет-анализа. Разработана и проанализирована многоуровневая структура управления технологическим комплексом, отделением брагоректификации спиртового завода с использованием ЛИМС-технологии и методики квалиметрии. Разработана структура автоматизированной системы управления «АСУТП БРУ» спиртового завода с использованием интеллектуальных механизмов, генетических алгоритмов и др. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение системы управления отделением брагоректификации с подсистемой прогнозирования и поддержки принятия решений.

Ключевые слова: спиртовое производство, отделение брагоректификации, прогнозирование поведения, интеллектуальный алгоритм, математическая модель, анализ динамических систем, подсистема поддержки принятия решений.

THE SUMMARY

D. Stetcenko. Automated management the alcohol for distillation setting on the basis intellectual methods. – Manuscript.

The dissertation submitted to a competition for a scientific degree Candidate Technical sciences, specialty 05.13.07 – automation of control. – National University of Food Technologies, Kyiv, 2016.

Thesis is devoted to improve the efficiency of the installation bragorektifikatsionnyh distillery through the use of intellectual control algorithms and automated system of forecasting and decision-support solutions bragorektifikatcii department. On the basis of modern methods of analysis of complex systems designed efficient algorithms for processing incoming information, to identify structural changes of the system, forecasting major changes. Develop and analyze complex multi-level process management structure, branch BRS distillery. The structure of the automated control system «PCS BRU» distillery using intellectual mechanisms, genetic algorithms, and others. Developed algorithms and software control system department bragorektifikatcii subsystem of forecasting and decision support.

Keywords: alcohol production department for distillation, predict the behavior, an intelligent algorithm, a mathematical model, the analysis of dynamical systems, decision support subsystem.

Підп. до друку 03.02.2017. Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.
Обл.- вид. арк. 0,9. Наклад 100 пр. Вид. № 65.

Віддруковано у ВВП «Мрія-1».
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 36 від 19.04.2000.

40000, м.Суми, вул.Кузнечна,2.
Тел.22-13-23, 22-15-05, 67-92-15.