

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

На правах рукопису

ПОЛУПАН ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 681.5: 664.1.03

**АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ СТАНЦІЇ ДЕФЕКОСАТУРАЦІЇ НА
ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ
РІШЕНЬ ТА МЕТОДІВ КООРДИНАЦІЇ**

Спеціальність 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Сідлецький Віктор Михайлович,
Національний університет харчових технологій,
м. Київ,
доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Осадчий Сергій Іванович,
Центральноукраїнський національний технічний університет,
м. Кропивницький,
завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів.

кандидат технічних наук,
Баган Тарас Григорович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ,
доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів.

Захист відбудеться «12» червня 2019 року о 15-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «10» травня 2019 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 26.058.05,
к. т. н., доцент

Л. О. Власенко

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Одним з основних процесів очистки цукрового соку є процес defeкоcатурації, який забезпечує очищення дифузійного соку і в значній мірі забезпечує якість очищеного соку. Поточний стан автоматизації станції defeкоcатурації цукрового заводу характеризується використанням сучасних мікропроцесорних систем керування. Такі системи надійно підтримують регламентовані значення основних технологічних параметрів. Але такі системи не завжди можуть враховувати численні зв'язки підсистем керування між собою а також вплив зовнішніх збурень, що значно знижує технікоекономічні показники функціонування автоматизованих ТК.

В складі станції defeкоcатурації можна виділити окремі підсистеми, кожна з яких має свої критерії керування, та обмеження. Ці підсистеми мають численні зв'язки між собою за матеріальними та енергетичними потоками, а також за впливом на якість очищеного соку. Таким чином при прийнятті рішень для виконання оптимізації роботи станції defeкоcатурації необхідно враховувати взаємні зв'язки між підсистемами. Відсутність координації їх роботи значно знижує технікоекономічні показники функціонування.

При вирішенні задачі координації складних підсистем виникає ряд специфічних задач, які досліджувались та опубліковані в роботах: Месаровича М., Мако Д., Фрідмана О.В., Фрідмана О.Я., а для умов харчової промисловості: Ладанюка А.П., Ладанюка О.А., Заєць Н.А., Шумигай Д.А. та інші.

Таким чином робота з розв'язання задач координації є актуальною при керуванні складною ділянкою цукрового заводу і дає можливість оперативно приймати рішення при виникненні множини нештатних ситуацій.

Розробка інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для координації підсистем роботи станції defeкоcатурації дозволить підвищити якість продукції, збільшити продуктивність, що є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій «Інноваційні підходи до розробки і впровадження мікропроцесорних комп'ютерно-інтегрованих систем управління» (номер державної реєстрації 0113U007690) та «Розробка програмного забезпечення верхнього рівня з підсистемами аналізу технологічного процесу та формування управляючих діянь для підвищення ефективності роботи ділянок цукрового заводу» (номер державної реєстрації 0116U008129).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення показників функціонування станції defeкоcатурації шляхом розробки та впровадження автоматизованої підсистеми підтримки прийняття рішень та методів координації з урахуванням основних властивостей об'єкта, який функціонує в умовах невизначеності.

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

1. Аналіз експериментальних даних функціонування для виявлення основних властивостей та поведінки станції дефекасації як складного об'єкта керування (ОК).
2. Постановка та розв'язання задачі координації підсистем керування станції дефекасації.
3. Розробка статичних моделей для оцінки показників якості та продуктивності функціонування підсистем станції дефекасації.
4. Розробка інтелектуальних алгоритмів керування станції дефекасації, які дозволять підвищити якісні показники.
5. Побудова інтелектуальної системи автоматизованого керування станції дефекасації на основі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та методів координації.
6. проведення імітаційного моделювання запропонованих технічних рішень та впровадження їх у виробництво.

Об'єктом дослідження є масообмінні, теплообмінні і фізико-хімічні процеси, що відбуваються в станції дефекасації цукрового заводу.

Предметом дослідження є системи, моделі та методи автоматизованого керування та алгоритми оцінки стану станції дефекасації та її суміжних ділянок.

Методи дослідження. Методи, що використовуються для розв'язання поставлених задач, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, методах системного аналізу, ідентифікації, статистичного аналізу, багатокритеріальної оптимізації, імітаційного моделювання.

Наукова новизна:

При розв'язанні поставлених задач одержані нові наукові результати:

- вдосконалено структуру автоматизованої системи керування станції дефекасації шляхом застосування інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень з модифікованим генетичним алгоритмом для методів координації та аналізу ретроспективних даних, що підвищує показник якості очищеного соку та продуктивність установки;
- знайшли подальший розвиток алгоритми розв'язання задачі координації підсистем станції дефекасації, як компромісу за Парето між забезпеченням якісних показників соку та продуктивністю об'єкта керування, що в свою чергу призводить до покращення якості очищеного соку та продуктивності установки;
- вперше досліджено ефективність алгоритмічного та програмного забезпечення інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень станції дефекасації, на основі генетичного та гібридного генетичного алгоритму, яке дає можливість розв'язувати поставлену задачу координації;
- набули подальшого розвитку регресійні моделі підсистем станції дефекасації, шляхом використання регресійних дерев прийняття рішень,

необхідних для розрахунку показників продуктивності та якості роботи станції дефекосатурації;

– проведене імітаційне моделювання та виробничі випробовування запропонованих технічних рішень, які показали підвищення продуктивності станції та показник якості очищеного соку в різних режимах функціонування і виробничих ситуаціях;

Практичне значення та реалізація отриманих результатів. За результатами проведених досліджень розроблено програмне та алгоритмічне забезпечення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на основі методів координації та аналізу ретроспективних даних.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на ТДВ «Шамраївський цукровий завод», а також використовуються в навчальному процесі Національного університету харчових технологій на кафедрі інтегрованих автоматизованих систем управління.

Особистий внесок здобувача. В публікаціях у співавторстві особистий внесок автора полягає в наступному: в [1] наведено підходи, що реалізуються для розподіленого рівня керування технологічними процесами; в [2] використання імітаційного моделювання на віртуальних машинах реалізованих на імітаторах ПЛК; в [3] підхід до розробки структури системи розширеного керування ділянками цукрового заводу, як поєднання методів підтримки прийняття рішень, методів координації та аналізу ретроспективних даних; в [4] розробка типової структури та об'єктів для програм ПЛК та SCADA/HMI; в [5] підхід та вимоги до розробки структури модуля координації автоматизованої системи керування станції дефекосатурації; в [6] підхід до розробки модуля адаптивної системи оптимального керування з використанням генетичного алгоритму; в [7] дослідження адаптивної системи оптимального керування роботою апарата II сатурації; в [8] дослідження модифікованого генетичного алгоритму з додаванням в класичний генетичний алгоритм гібридної функції.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: 8th Central European Congress on Food, 23-26 May 2016, Food Science for Well-being (CEFood 2016), 82 International scientific conference of young scientist and students, 13-14 April 2016 NUFT, 2 Міжнародній науково-технічній Internet-конференції "Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами", (Київ, 2015); Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами: IV міжнародна науково-технічна Internet - конференція, (Київ 2017); Автоматика-2016 (Суми 2016); Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК: IV Міжнародна науково-практична конференція (Київ 2016); Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: III Міжнародна науково-технічна Internet-конференція (Київ 2016).

Публікації. Основні результати роботи викладено у 18 друкованих працях, з яких – 8 статей у фахових виданнях, із них 4 входять до наукометричних баз: Web of Science, Universal Impact Factor, Google Scholar, Ulrichs Web, FSTA, InfoBase Index, ERIH PLUS, Index Copernicus, EBSCO (ISSN 1729-4061), та 10 тез доповідей.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (101 найменування) і додатків. Загальний обсяг становить 196 стор., з яких зміст викладено на 139 стор. тексту і включає 77 рисунків, 2 таблиці та 3 додатки.

Основні положення, що виносяться на захист: результати досліджень станції дефекосатурації як складного об'єкта; комплекс математичних моделей, що характеризують якість перебігу технологічного процесу, продуктивність станції дефекосатурації по підсистемах зонах керування; алгоритми координації підсистем керування станції дефекосатурації; структура та параметри системи керування матеріальними потоками станції дефекосатурації; алгоритмічне та програмне забезпечення системи автоматизованого керування станції дефекосатурації на основі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та методів координації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Наведена актуальність роботи, в якій обумовлюється питання розробки підсистеми, основна задача якої зводиться до вибору раціональних рішень в складних ситуаціях, що виникають при функціонуванні АСУ реального часу, на основі координації роботи різних підсистем станції дефекосатурації між собою. Визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладені основні положення, новизна наукових та практичних результатів, публікації результатів та структура роботи.

Перший розділ присвячений аналізу технологічних процесів цукрового виробництва як складного об'єкта керування, оцінці рівня систем автоматизації станції дефекосатурації. Розглянуто основну структуру управління станцією дефекосатурації та суміжних станцій, а саме випарного відділення, випалювального відділення і дифузійного відділення. Узагальнено результати робіт в області автоматизації цукрового виробництва таких вчених, як Ладанюка А.П., Сідлецького В.М., Зігунова О. М., Сіліна С.П., Лисянського В.М., Олійника І.А., Горячева Г.В., Заєць Н.А., Шумигая Д.А. та ін.

За останніми тенденціями, системи керування будуються як ієрархічні системи, тому якість функціонування системи в цілому залежить від ефективного функціонування підсистем кожного рівня, а також від якості взаємодії підсистем між собою. Показано, що розглядаючи станцію дефекосатурації у якості досліджуваного об'єкта можна виділити такі проблеми і відхилення, які виникають і вирішуються всередині досліджуваного об'єкта, а також можуть виникнути проблеми, які не пов'язані напряму з роботою станції дефекосатурації, а які виникають внаслідок порушень режимів роботи суміжних відділень. Обґрунтовано, що система керування повинна бути

адаптована до змін цілей, наборів і точності значень параметрів, а особливо при зміні режимів роботи однієї ділянки та вплив її на роботу інших. Тому для системи керування необхідно використовувати сучасні підходи при моделюванні технологічного процесу та формуванні управляючих діянь.



Рис.1. Структурна схема управління а також матеріальні потоки станції defeкоcатурації і суміжних ділянок

У другому розділі проводиться вибір критеріїв керування для станції defeкоcатурації. Проведений аналіз типової технологічної схеми станції defeкоcатурації дозволив провести структуризацію і розглядати локальні технологічні процеси підсистем станції defeкоcатурації як об'єкти керування. Дана процедура дала можливість визначити задачі керування для окремих технологічних процесів.

В результаті аналізу методів оцінки ефективності функціонування станції defeкоcатурації цукрового заводу, було сформовано критерії керування для кожної з підсистем та глобальний критерій керування.

Наприклад прибуток всього цукрового заводу:

$$\Pi = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (B \cdot C_0 + G_m \cdot C_m + G_{жс} \cdot C_{жс} - \sum_{i=1}^8 3_i) \cdot d\tau \quad (1)$$

де Π - прибуток, грн; B - вихід товарного цукру т / год; $C_0, C_m, C_{жс}$ - ціна цукру, меляси та жому відповідно, грн/т; $G_m, G_{жс}$ - втрати меляси і жому, т/год;

$\sum_{i=1}^8 3_i$ - сумарні втрати, грн / год. А економічність станції defeкоcатурації:

$$E_2 = \int_{t_1}^{t_2} ((G_{CT} C_{CX} - G_C C_{CX}) C_0 - \frac{0,8 \Pi_\phi G_{CO}}{100 C_{CX}}) + \\ + G_{C0} (1 + K_1) \frac{1 - \frac{D\delta_2}{K_2 K_3}}{\frac{D\delta_1}{K_2 K_3}} C_{\Pi} + G_{C0} (C_0 - C_m) \frac{1 - K_4}{100 - D\delta_m} D\delta_m + \frac{G_B}{100} K_5 C_B) dt \quad (2)$$

де: G_{CO}, G_C - відповідно витрати очищеного та дифузійного соку, мЗ/год; $Пж, П_\phi$ - втрати цукру з фільтраційним осадом та невраховані втрати, %; K_i - умовно-постійні коефіцієнти; $Дб_M, Дб_{ДС}, Дб_0$ - відповідно доброякісність меляси; дифузійного соку; соку після очистки.

Розглянуто методи декомпозиції, які дали змогу виділити підсистеми станції дефекосатурації цукрового заводу, та описані особливості функціонування виділених підсистем. Проведено постановку та розглянуто особливості задачі координації в ієрархічних системах, які працюють в умовах невизначеності. Встановлено, що задачу координації розв'язують з використанням принципу прогнозування взаємодій підсистем на основі ітераційного алгоритму (рис. 2).

Третій розділ присвячений формуванню статичних математичних моделей підсистем функціонування станції дефекосатурації, оцінці їх адекватності та аналізу основних властивостей. Розглянуто різні підходи до формування статичних моделей. Визначено основні критеріальні залежності між параметрами процесів підсистем станції дефекосатурації, які базуються на основі законів збереження тепла та маси, що застосовуються до тепло - і гідротехнічних процесів.

Так наприклад для апарату II сатурації зменшення концентрації іонів кальцію C в соку II сатурації супроводжується зменшенням рН соку, тому, враховуючи можливість вимірювання рН у виробничих умовах, ця величина використовується як змінна стану. При цьому концентрація іонів Ca та рН соку, як і електропровідність X та рН соку взаємопов'язані нестационарною екстремальною залежністю. Дрейф цих характеристик має ту особливість, що мінімум обох кривих завжди відповідає однаковому значенню рН. Це дає можливість перейти до нового критерію управління – електропровідності відсатурованого соку, тому що безпосередній вимір концентрації іонів Ca зараз неможливий через відсутність відповідних датчиків. Тоді мета і критерій керування процесом II сатурації, враховуючи покрокову процедуру вирішення задачі, має такий вигляд:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (pH_{opt.i} - pH_i)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

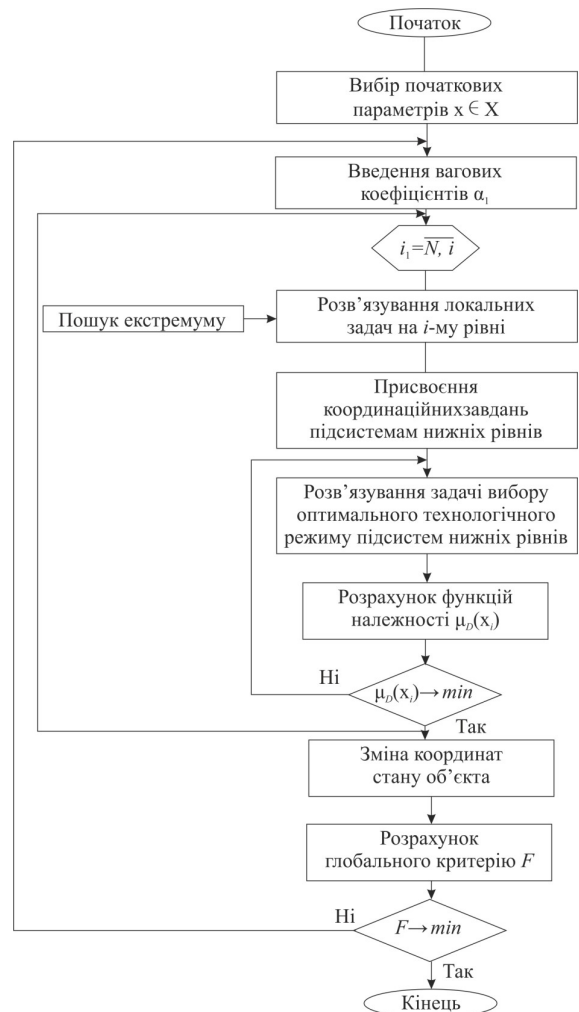


Рис. 2 Блок-схема алгоритму координації роботи підсистем

де n – кількість визначень pH_{opt} через однакові проміжки часу Δt упродовж достатньо великого часу $TIME$ реалізації процесу $n = TIME/\Delta t$.

Отримано регресійну модель, що описує залежність значення pH , од. pH від витрати сатураційного газу (F_{c2} , м³/год), температури дифузійного соку (T_{dc} , °C), густини вапняного молока (C_{CO2} , кг/м³), витрати вапняного молока (F_{CaO} , м³/год), густини сухих речовини (C_{CP} , %) $pH(F_{c2}, T_{dc}, C_{CO2}, F_{CaO}, C_{CP})$.

Також отримано регресійну модель, що описує продуктивність установки (F_{dc} , м³/год), від витрати сатураційного газу (F_{c2} , м³/год), температури дифузійного соку (T_{dc} , °C), густини вапняного молока (C_{CO2} , кг/м³), витрати вапняного молока (F_{CaO} , м³/год), густини сухих речовини (C_{CP} , м³/год) $F_{dc}(F_{c2}, T_{dc}, C_{CO2}, F_{CaO}, C_{CP})$.

Регресійні моделі отриманні методом машинного навчання і структурно представляють собою регресійне дерево прийняття рішень (рис. 3). Аналіз поверхонь відгуку даних моделей (рис. 4) показує що збільшення продуктивності установки призводить до погіршення якісного показника функціонування pH . Тому, необхідно постійно знаходити компроміс між значеннями даних показників.

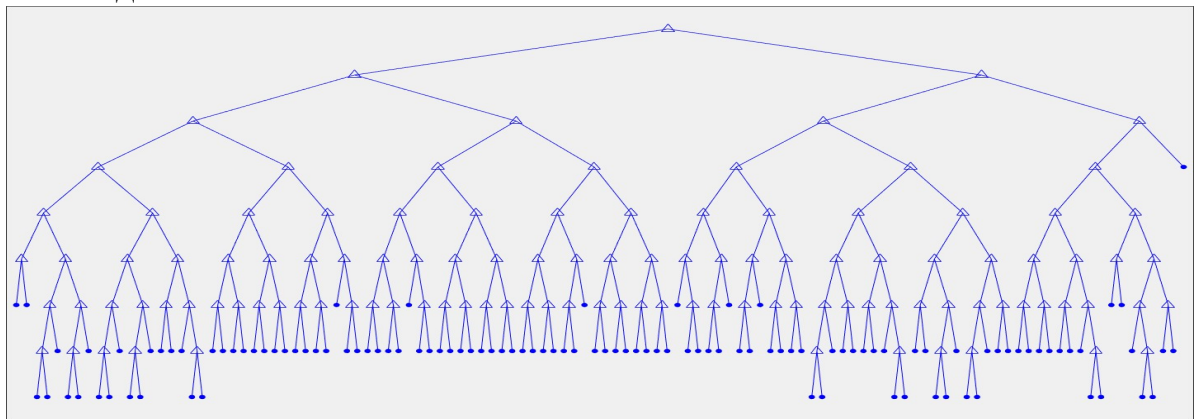


Рис. 3 Фрагмент візуалізації регресійної моделі показника pH апарату II сатурації

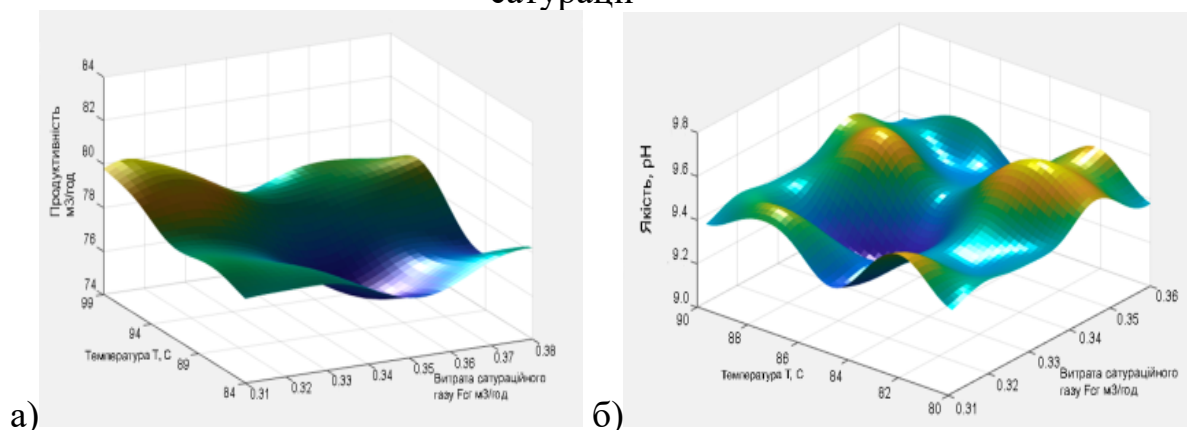


Рис. 4. Поверхня відгуку моделі для якісного показника (а) та показника продуктивності (б) апарату другої сатурації

Четвертий розділ присвячений розробці алгоритмічного забезпечення для розв'язання поставлених задач.

Для вирішення даної задачі було побудовано інтелектуальну систему пошуку рішень, структурна схема якої наведена на рис. 5а.

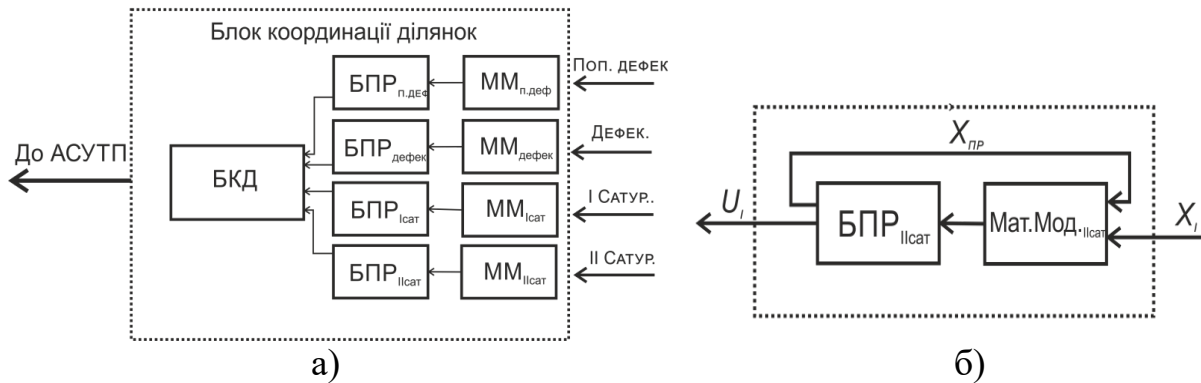


Рис. 5. Розроблена структура блоку координації станції дефекосатурації

На вхід блоку надходять дані з відповідної підсистеми станції дефекосатурації. Модуль БКД – працює за алгоритмом рис. 2 і розв’язує загальну задачу координації для підсистем станції дефекосатурації цукрового заводу. Блок математичної моделі *Мат.Мод.* (рис. 5б), на вхід якого надходять дані про стан технологічного процесу X_i від датчиків системи керування, та блока пошуку рішень *БПР*, що розраховує значення $pN_{\text{опт}}$ та $F_{\text{дс опт}}$ та передає розраховані дані на блок координації ділянок U_i .

При розробці основних програмних модулів, системи керування, були використані методики класичного та гібридного генетичного алгоритму, що дозволило розробити систему автоматичного пошуку цільових значень критеріїв.

Для більш ефективного досягнення мети було проведено вибір розміру популяції. На рис. 6 зображена залежність кількості обчислень функції пристосованості для знаходження максимуму унімодальної функції від розміру популяції. Видно, що існує оптимальний розмір популяції. Якщо популяція мала, то при заданому обмеженні кількості обчислень функції пристосованості вона встигне створити більшу кількість поколінь, але найімовірніше передчасно зійдеться. Занадто велика популяція повинна знайти рішення, але вона може не встигнути досягти цього моменту, так як їй відведено мала кількість поколінь.

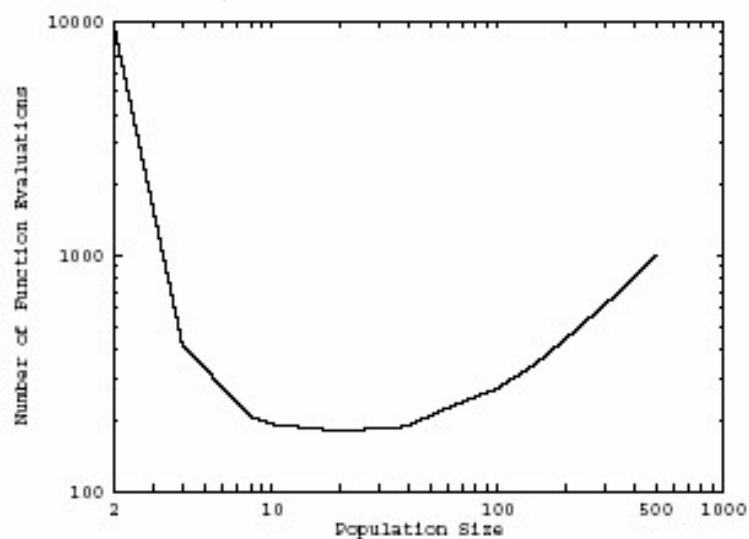


Рис. 6 Залежність розміру популяції від кількості поколінь

Також аналіз налаштувань алгоритму показав, що налаштування параметру ймовірності переходу і мутації добре підходять у широких діапазонах 0,65–0,80

і 0,03–0,10 відповідно. Незважаючи на те, що оптимальне рішення отримано над цими діапазонами, кількість ітерацій, необхідних для досягнення оптимального рішення, зменшується, коли ймовірності кросовера і мутації приймаються близько 0,75 (рис. 7а) і 0,05 (рис. 7б), відповідно.

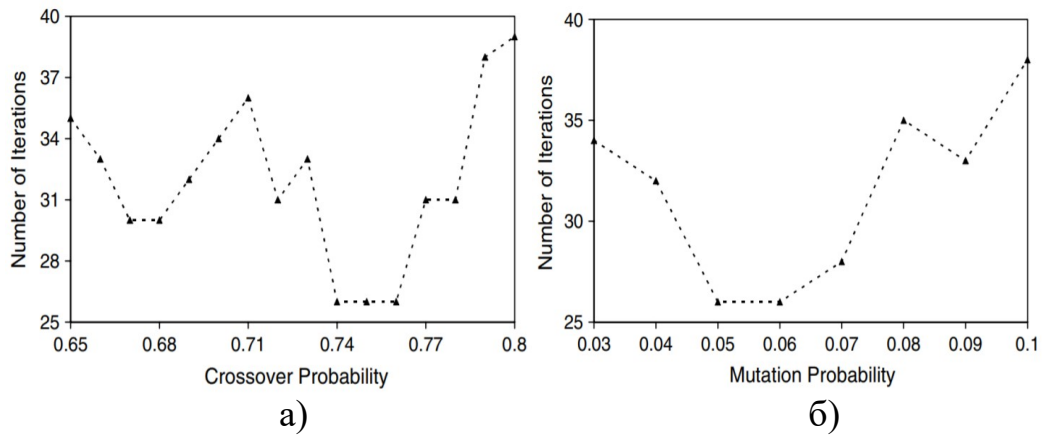


Рис. 7. Значення ймовірності кросовера (а), значення ймовірності мутації (б)

Наступним кроком дослідження роботи генетичного алгоритму стало дослідження використання гібридної функції.

Ідея гібридних алгоритмів (hybrid algorithms) полягає в поєднанні генетичного алгоритму з деяким іншим методом пошуку, що підходить до даного завдання. На кожному поколінні кожен отриманий нащадок оптимізується цим методом, після чого виробляються звичайні для ГА дії. При використанні гібридної функції виходить, що кожна особина досягає локального максимуму, поблизу якого вона знаходиться, за допомогою цієї гібридної функції, після чого піддається відбору, схрещуванню і мутації.

Такий вид розвитку називається Ламарковою еволюцією, при якій особина здатна навчатися, а потім отримані навички записувати в свій генотип, щоб потім передати їх нащадкам. І хоча такий метод погіршує здатність алгоритму шукати рішення за допомогою відбору гіперплощин, однак часто гібридні алгоритми виявляються дуже вдалимими. Це пов'язано з тим, що зазвичай велика ймовірність того, що одна з особин потрапить в область глобального максимуму і після оптимізації виявиться розв'язком завдання.

Генетичний алгоритм здатний швидко знайти у всій області пошуку гарні розв'язки, але він може зіштовхнутися із труднощами в отриманні з них найкращих.

У даному дослідженні у якості гібридної функції було використано метод рою часток (МРЧ).

Блок-схема розробленого гібридного алгоритму представлено на рис. 8. Модуль-А є частиною ініціалізації алгоритму, де виконується первинний збір вихідних даних для розрахунку, генерація вихідних частинок для МРЧ випадковим чином. У запропонованій моделі випадкові числа формуються з використанням функції густини ймовірності. Модуль-В має шість етапів. Вони призначені для виконання алгоритму МРЧ. Після виконання якого відбувається перехід до класичного генетичного алгоритму. Якщо в результаті виконання

було досягнуто мети, то виконання завершується; у протилежному випадку алгоритм переходить на нову ітерацію.

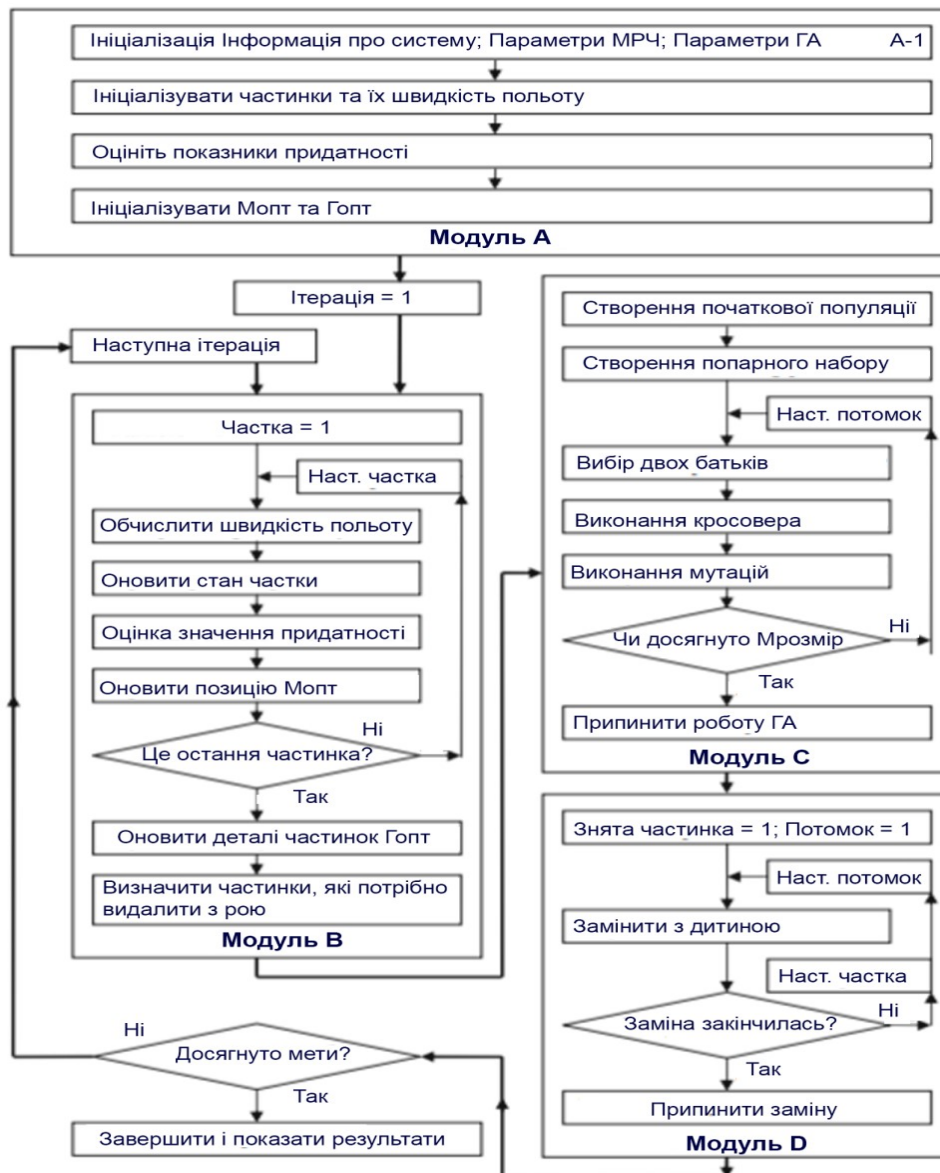


Рис. 8. Блок-схема модифікованого генетичного алгоритму

Порівняння роботи класичного і гібридного генетичного алгоритму показано на рис. 9.

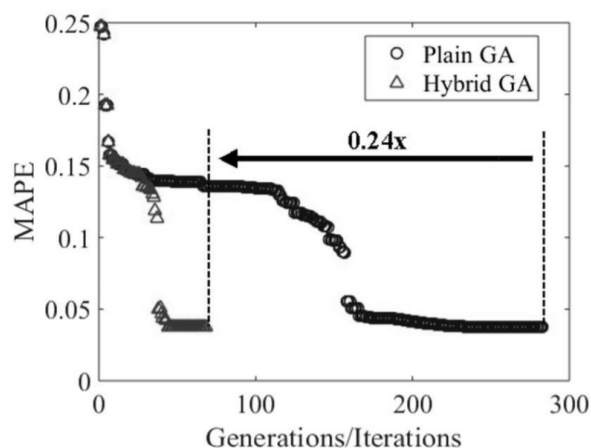


Рис. 9. Результати виконання алгоритму

Як видно, додавання в класичний гібридній функції МРЧ дозволило значно скоротити кількість ітерацій, необхідних для розв'язання задачі оптимізації. При цьому отримані результати як при класичному генетичному алгоритмі так і при гібридному алгоритмі збігаються.

Для дослідження ефективності розробленої автоматизованої системи керування станції дефекосатурації на основі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та методів координації було проведено імітаційне моделювання (рис. 10).

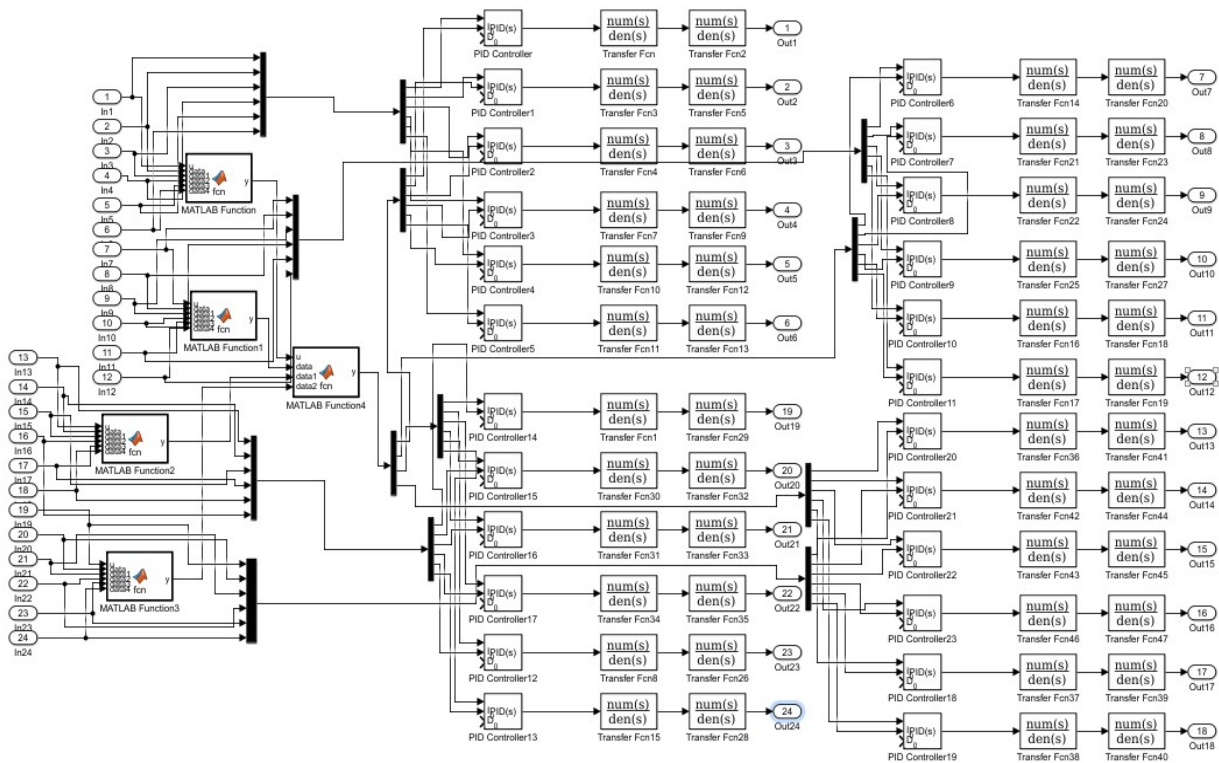


Рис. 10. Модель імітаційного моделювання роботи системи

Програма моделювання працює у такій послідовності:

- перед початком роботи вводяться вихідні дані технологічних параметрів (блоки in1-in24);
- розраховуються параметри для критеріїв кожної з підсистем;
- розраховуються параметри для глобального критерію та формуються уставки регуляторів для кожної з підсистем;
- протягом часу $T=100c$ відбувається розрахунок перехідних процесів у системі, а також відбувається оцінка якості проведеного керування.

Результати імітаційного моделювання наведено в табл.1.

Моделювання проводилось як для класичного ГА так і для ГА з додаванням гібридній функції МРЧ.

Як видно з таблиці 1, в результаті імітаційного моделювання, розроблена інтелектуальна система покращує показник якості по відношенню до роботи класичної системи керування (в середньому на 15%). В свою чергу, використання гібридній функції МРЧ прискорило роботу інтелектуальної системи (витрачений час на розрахунок параметрів майже на 50% менше для системи гібридним ГА).

Результати імітаційного моделювання

Підсистема	Існуюча система, ум. од.	Продуктивність системи керування		
				Час пошуку T, ms
		Гібридна функція	Інтелектуальна система, ум. од.	
Поп. дефек.	815	—	683	2098
		МРЧ	682	963
Дефек.	856	—	725	2321
		МРЧ	724	963
I Сатур.	902	—	793	2198
		МРЧ	791	984
II Сатур.	856	—	698	1982
		МРЧ	695	906
Загальн.	3427	—	2899	3272
		МРЧ	2892	1281

Найкращі результати функціонування, з точки зору якості та часу витраченого на розрахунки, були отримані для ГА разом з гібридною функцією МРЧ.

Створена система автоматизованої системи керування станції дефекосатурації на основі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та методів координації може бути інтегрована в інформаційну вертикаль АСУ ТП цукрового заводу (рис. 11).

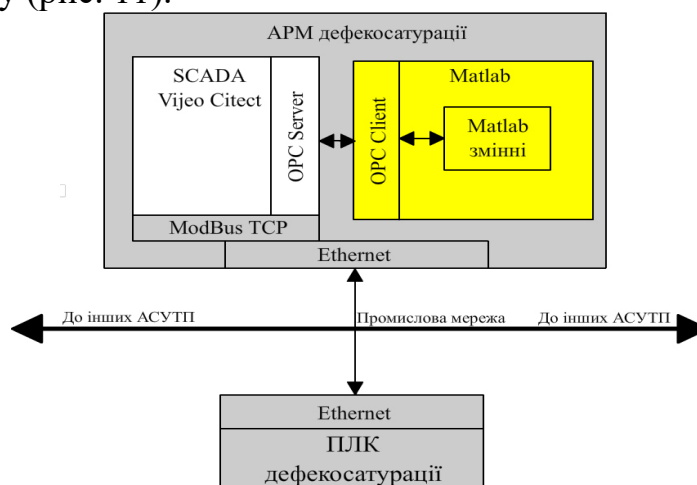


Рис. 11 Інтеграція розробленої системи в інформаційну вертикаль АСУ ТП

З рис. 11 видно, що класична схема керування складається з ПЛК на який покладені всі класичні задачі по керуванню, а також SCADA програма Vijeo Citect. В даному випадку окрім класичних задач, що виконує SCADA програма, в ній також реалізовано інтерфейс з розробленою підсистемою координації. Сама ж підсистема координації працює в середовищі Matlab. Зв'язок Matlab із інформаційним середовищем відбувається з використанням технологій OPC.

Підпрограма підтримки прийняття рішень, що виконується в SCADA програмі, використовуючи протокол OPC, формує запит на виконання координації підсистем до середовища Matlab, який проводить усі необхідні розрахунки за побудованими алгоритмами і повертає результат цих розрахунків у SCADA програму. В свою чергу SCADA програма, використовуючи отримані дані, може змінити уставки відповідних ПІД регуляторів в ПЛК в автоматичному режимі, або в режимі надання порад оператору.

Для створення SCADA (рис. 12) системи було використано систему Vijeo Citect, що дозволяє розробити розподілений АСУ ТП як єдиний проект, використовувати оригінальні алгоритми обробки та отримання сигналів, можливість графічного перегляду архівів, єдиний мережевий час. Такі інноваційні технології SCADA-системи забезпечують зручне та ефективне керування ТК та цілим заводом.

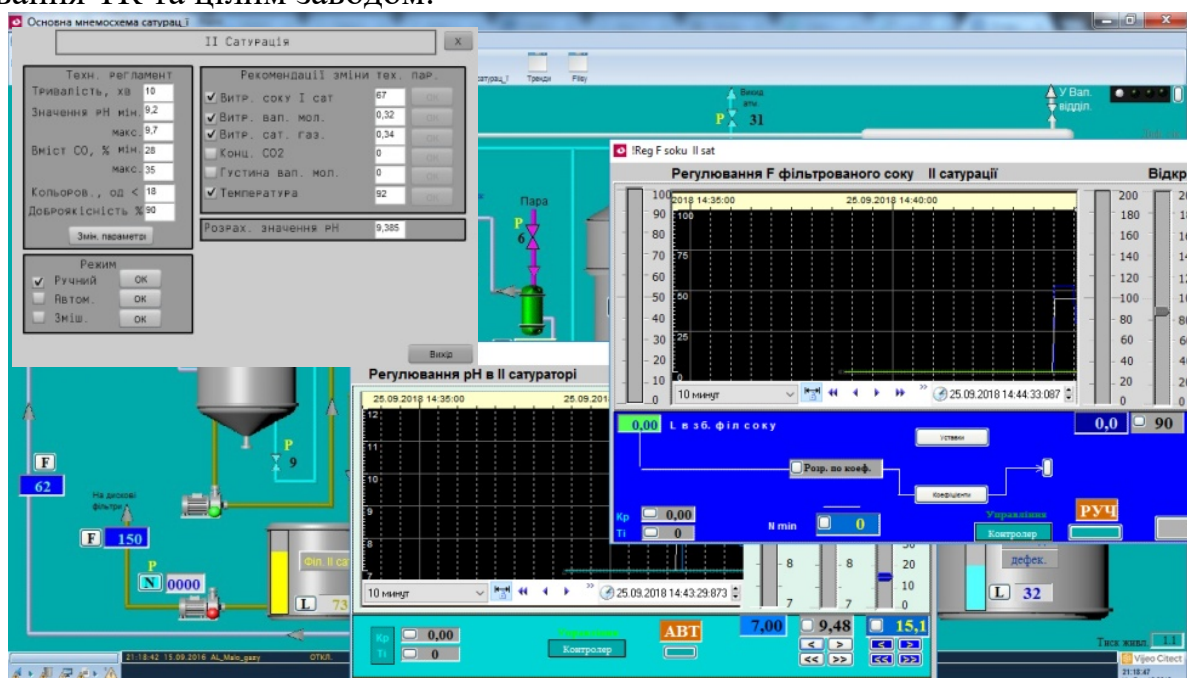


Рис. 12 інтерфейс користувача

Основні висновки та результати

В дисертаційній роботі запропоновані нові розв'язки науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування станції дефекосатурації цукрового заводу за рахунок інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та методів координації.

Отримані наступні висновки та результати:

1. В результаті аналізу експериментальних даних станції дефекосатурації як складного об'єкта керування було виявлено основні властивості та поведінку, взаємозв'язок між суміжними ділянками та підсистем станції дефекосатурації для використання в задачах аналізу та синтезу.
2. Проведено постановку та вирішення задачі координації підсистем керування станції дефекосатурації, що відрізняється від відомих використанням модифікованого генетичного алгоритму.
3. Розроблено статичні моделі для оцінки показників якості та продуктивності функціонування підсистем станції дефекосатурації з

використанням регресійних дерев прийняття рішень, використання яких дозволяє виконати розрахунок показників продуктивності та якості роботи станції дефекосатурації.

4. Вдосконалено структуру автоматизованої системи керування станції дефекосатурації шляхом застосування інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень з модифікованим генетичним алгоритмом для методів координації та аналізу ретроспективних даних, що у комплексі підвищує показник якості очищеного соку та продуктивність установки.

5. Знайшли подальший розвиток алгоритми розв'язання задачі координації підсистем станції дефекосатурації, як компромісу за Парето між забезпеченням якісних показників соку та продуктивністю об'єкта керування, що в свою чергу призводить до покращення якості очищеного соку та продуктивності установки.

6. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення процедур координації підсистем станції дефекосатурації, на основі гібридного генетичного алгоритму, що дає можливість оперативно та ефективно вирішувати поставлену задачу координації.

7. Проведене імітаційне моделювання та виробничі випробовування запропонованих технічних рішень показали середнє підвищення продуктивності станції на 1,6%, показник якості очищеного соку на 2% в різних режимах функціонування і виробничих ситуаціях.

8. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення впроваджено на ТДВ «Шамраївський цукровий завод» та використовується у навчальному процесі на кафедрі автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління Національного університету харчових технологій, що засвідчується відповідними довідками.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сідлецький, В. М. Аналіз не вимірювальних параметрів на рівні розподіленого керування для автоматизованої системи, об'єктів і комплексів харчової промисловості / В. М. Сідлецький, І. В. Ельперін, В. В. Полупан // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2016. — Т. 22, № 3. — С. 7-15. *(Здобувачем наведено підходи, що реалізуються для розподіленого рівня керування технологічними процесами. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor).*

2. Пупена О. М., Міркевич Р. М., Полупан В. В. Використання віртуальних лабораторних робіт з дисципліни «Промислові мережі та інтеграційні технології». Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2016. Т. 24. № 4. С. 7-16. *(Здобувачем запропоновано використання імітаційного моделювання на віртуальних машинах реалізованих на імітаторах ПЛК. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових*

фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: *Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor*).

3. Полупан, В. В. Структура автоматизованої системи розширеного керування для координації суміжних станцій цукрового заводу / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Наукові праці Національного університету харчових технологій.— 2017. — Т. 23, № 1. — С. 16–24. *(Здобувачем визначений підхід до розробки структури системи розширеного керування ділянками цукрового заводу, як поєднання методів підтримки прийняття рішень, методів координації та аналізу ретроспективних даних. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor)*.

4. Pupena A., Mirkevich R., Klymenko O., Polupan V. Development of the framework for the controllers of the process base management system to meet the requirements for integration with other subsystems and to implement service functions and diagnostics service. Енергетика і автоматика. 2017. Т. 34. №4. С. 78–89. *(Здобувачем розроблено типові структури та об'єктів для програм ПЛК та SCADA/HMI. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar)*.

5. Полупан, В. В. Автоматизована система управління станції дефекосатурації з модулем координації / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Цукор України. — 2017. — № 3 (135). — С. 41-46.. *(Здобувачем описано підхід та вимоги до розробки структури модуля координації автоматизованої системи керування станції дефекосатурації. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук)*.

6. Полупан, В. В. Використання генетичного алгоритму при оптимізації роботи сатуратора за допомогою адаптивної системи оптимального керування / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Цукор України. — 2018. — № 3 (145). — С. 28-32. *(Здобувачем розроблено підхід до розробки модуля адаптивної системи оптимального керування з використанням генетичного алгоритму. включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук)*.

7. Polupan V. Genetic algorithm usage for optimization of saturator operation / V. Polupan, V. Sidletskyi. // Ukrainian Food Journal. — 2018. — №4. — С. 754–762. *(Здобувачем проведено дослідження адаптивної системи оптимального керування роботою апарата II сатурації. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Web of Science, Universal Impact Factor, Google Scholar, Ulrichs Web, FSTA,).*

8. Полупан В. В. Дослідження роботи генетичних алгоритмів у системі автоматизованого управління апаратом II сатурації / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький, І. В. Ельперін. // Харчова промисловість. — 2018. — №24. — С.

138–145. *(Здобувачем проведено дослідження модифікованого генетичного алгоритму з додаванням в класичний генетичний алгоритм гібридної функції. Журнал включено до включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук).*

9. Polupan, V. Decision support systems in sugar industry / V. Polupan // Food Science for Well-being (CEFood 2016) : 8th Central European Congress on Food, 23-26 May 2016. – Kyiv : NUFT, 2016. – P. 59.

10. Polupan, V. Genetic algorithm for multi objective optimization / V. Polupan, G. Cherednichenko // Food Science for Well-being (CEFood 2016) : 8th Central European Congress on Food, 23-26 May 2016. – Kyiv : NUFT, 2016. – P. 105.

11. Polupan, V. Genetic algorithm in optimization tasks / V. Polupan, G. Cherednichenko // Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution : 82 International scientific conference of young scientist and students, 13-14 April 2016. – Part 4. – Kyiv : NUFT, 2016. – P. 206.

12. Полупан, В. В. Використання генетичних алгоритмів для вирішення задачі оптимізації процесу дифузії на цукровому заводі / В. В. Полупан // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції, 25 листопада 2015 р. – К. : НУХТ, 2015. – С. 124-126.

13. Полупан, В. В. Використання генетичних алгоритмів для вирішення задач оптимізації роботи ділянок цукрового виробництва / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали IV міжнародної науково-технічної Internet - конференції, 22 листопада 2017 р. – К. : НУХТ, 2017. – С. 199-200.

14. Полупан, В. В. Генетичний алгоритм в задачах багатокритеріальної оптимізації / В. В. Полупан // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : 82 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 13-14 квітня 2016. – Ч. 2. – Київ : НУХТ, 2016. – С. 267.

15. Полупан, В. В. Розробка структури підсистеми «Прийняття рішень» для керування станцією дефекосатурації та її суміжними ділянками / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : III Міжнародна науково-технічна Internet-конференція, 23 листопада 2016 р. – К. : НУХТ, 2016. – С. 191-192.

16. Полупан, В. В. Розробка структури розширеного керування станцією дефекосатурації цукрового заводу / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Автоматика-2016 : Матеріали XXIII міжнародної конференції з автоматичного

управління, 22–23 вересня 2016 р. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – С. 63-64.

17. Полупан, В. В. Розробка структури автоматизованої системи розширеного керування для координації суміжних станцій цукрового заводу / В. В. Полупан, В. М. Сідлецький // Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК : IV Міжнародна науково-практична конференція, 21-22 листопада 2016 р. – К. : НУБІП, 2016. – С. 96-97.

18. Polupan V. Genetic algorithm usage for optimization of saturator operation / V. Polupan // 84 International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution", April 23-24, 2018. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv., P 297.

АНОТАЦІЯ

Полупан В.В. Автоматизоване керування станції дефекосатурації на основі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та методів координації.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 «Автоматизація процесів керування». – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності цукрового виробництва шляхом створення автоматизованої системи керування станції дефекосатурації цукрового заводу.

В результаті проведеного аналізу технологічних процесів, та особливостей функціонування станції дефекосатурації в цілому, виявлена необхідність доповнення системи керування підсистемою підтримки прийняття рішень з метою координації роботи підсистем керування в межах технологічного процесу очистки цукрового соку. Для розв'язання поставлених задач використовувались методи сучасної теорії автоматичного керування, статистичного аналізу, багатокритеріальної оптимізації імітаційного моделювання та сучасні інформаційні технології в автоматизованих системах керування виробництвом.

Проведено дослідження алгоритмів розв'язання задачі координації підсистем станції дефекосатурації. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення процедур координації підсистем станції дефекосатурації, на основі гібридного генетичного алгоритму. Розроблено статичні моделі для оцінки показників якості та продуктивності функціонування підсистем станції дефекосатурації з використанням регресійних дерев прийняття рішень. Вдосконалено структуру автоматизованої системи керування станції дефекосатурації шляхом застосування інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: цукрове виробництво, станція defeocosатурації, автоматизована система, координація, підтримка прийняття рішень, генетичний алгоритм, імітаційне моделювання, регресійне моделювання.

ABSTRACT

Polupan V.V. Automated control of the juice purification station based on intellectual decision support system and methods of coordination.

Dissertation for obtaining Ph. D. (candidate of technical sciences) by specialty 05.13.07 – automation of control processes. – The National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

In the dissertation the new scientific and technical task solutions of increasing the defeocosaturation station efficiency on the sugar plant are proposed at the expense of the intellectual decision support system and coordination methods.

As an analysis result of technological processes and defeocosaturation station functioning features in general, the need to supplement the control system with the decision support subsystem in order to coordinate the control subsystems work within the technological process of sugar juice cleaning was identified. To solve the tasks, methods of modern theory of automatic control, statistical analysis, multicriterion optimization of simulation model and modern information technologies in production automated control systems were used.

As an analysis result of the defeocosaturation station experimental data as a complex control object, the main properties and behavior, the interconnection between the adjacent sections and the subsystems of the defeocosaturation station were revealed. The formulation and solution of the defeocosaturation station control subsystem coordination task is distinguished from the known by use of the modified genetic algorithm.

The algorithms research for solving the defectosaturation station subsystems coordination problem as a Pareto compromise between the quality juice indicators provision and the controlled object productivity, which in turn leads to improved juice quality and the plant productivity.

The possibility of using the classical hybrid algorithm for solving problems has been checked. Selected settings for the genetic algorithm. Also added to the classic genetic algorithm of the hybrid function of the PSO.

The algorithmic and software of the defeocosaturation station subsystem coordination procedures, based on the hybrid genetic algorithm, has been developed, which makes it possible to solve the coordination set task in an efficient and effective manner. Static models were developed for the defeocosaturation station subsystems quality estimation and productivity performance by using regression decision trees, the use of which made it possible to calculate defeocosaturation station productivity and quality performance. The automated control system structure of the defeocosaturation station has been improved by applying an intelligent decision support subsystem.

As a theoretical and experimental researches result, the structure, algorithmic and software of the defecosaturation station automated control system was developed on the basis of intelligent decision support systems and coordination methods.

The developed algorithmic and software was implemented at the Shamraev Sugar Plant and is used in the educational process at the Department of Integrated Automated Control Systems of the National University of Food Technologies, which is certified by appropriate acts and certificates.

Key words: sugar production, defecosaturation station, automated system, coordination, decision support, genetic algorithm, simulation modeling, regression modeling.