

СУЧАСНІ МЕТОДИ КЕРУВАННЯ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНИМИ УСТАНОВКАМИ

Н. Г. Гриценко, асистент

А. П. Ладанюк, доктор технічних наук

Н. М. Луцька, Я. В. Смітюх, Р. Г. Кириленко, кандидати технічних наук

Національний університет харчових технологій

e-mail: gricenko.ng@gmail.com

Анотація. *Проведено аналіз характеристик та особливостей функціонування брагоректифікаційної установки непрямої дії в складі технологічного комплексу (ТК) спиртового виробництва, визначено оптимальні режими роботи складових об'єкта. Сформовано підхід комплексного керування, що полягає в синтезі методів оптимізації, адаптації, робастної стабілізації з інноваційними інтелектуальними системами, побудованими на основі робастних регуляторів, нечіткої логіки та нейронно-нечітких мереж. Для розв'язання цієї задачі створюється інформаційна система керування (ІСК), впровадження якої покращує якість готового продукту та зменшує енергоємність установки даного типу.*

Ключові слова: *брагоректифікаційна установка, енергоємність, умови невизначеності, робастне керування, нейронно-мережні регулятори, енергоощадність*

Діючі системи автоматизації вітчизняних спиртових заводів, як правило, використовують одноконтурні системи стабілізації, побудовані на основі стандартних алгоритмів керування з використанням ПІ- і ПІД- регуляторів. Такого роду підходи не задовольняють поставленим вимогам керування в умовах невизначеностей, не забезпечують оперативність прийняття рішень по керуванню і оптимізації режимів основних процесів ТК спиртового заводу, не дають можливостей для своєчасного реагування на різноманітні технологічні

ситуації, що виникають в результаті зміни основних вхідних та вихідних параметрів. Це часто приводить до нераціональних витрат енергоресурсів і зменшення продуктивності кожного відділення та ТК в цілому.

Такі системи не розв'язують головних проблем собівартості, якості та енергоємності спиртового виробництва, тому перед системами автоматизації з виготовлення етилового ректифікованого спирту стоїть задача ефективного керування технологічними процесами направлена на суттєве зменшення енерговитрат при одночасному збереженні якості готового продукту [1].

Розв'язок існуючих проблем лежить в сучасній теорії керування і можливий при використанні її адаптивних, робастних, нейронно-мережних методів та підходів.

Мета досліджень – підвищення функціональності та зменшення енергоємності БРУ непрямої дії за рахунок створення ІСК, що поєднує елементи нечіткої логіки, сучасні методи робастного та нейронно-мережного керування.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз ТК спиртового виробництва показує, що найенергоємнішими технологічними процесами є водно-теплова обробка зерна, перегонка бражки і ректифікація отриманого дистиляту [2]. Брагоректифікаційні установки (БРУ) непрямої дії, що складаються з трьох колон: бражна колона (БК), епюраційна (ЕК) та ректифікаційна колона (РК), забезпечують одержання спирту високої якості і прийняті в спиртовій галузі України як типові, попри свою простоту в експлуатації, є найенерговитратнішими. Всі колони зв'язані між собою лише рідинними потоками, тепло до кожної колони підводять з котельною парою і відводять з водою, рівень рекуперації вторинного тепла технологічних потоків у цих установках низький, а нагрівання бражки здійснюється теплом конденсації водно-спиртової пари бражної колони. Загалом на долю БРУ приходить близько 75 % всіх технологічних витрат тепла [3].

Кожна колона окремо та БРУ в цілому є багатовимірним об'єктом керування оскільки їх стан характеризується декількома вихідними змінними

(концентраціями компонентів, температурами та тиском). Для підтримання режимів роботи будь якої з колон необхідно керувати декількома регульованими змінними та одночасно впливати на множину вхідних змінних. Причому зміна однієї вхідної величини, приводить до зміни всіх або хоча б декількох вихідних величин. Саме цей аспект і робить трьохколонну БРУ непрямої дії багатовимірним, багатозв'язним, нелінійним об'єктом керування [4,5].

З урахуванням особливостей функціонування для розробки ефективної системи автоматизації необхідно виділити критерії оптимізації режиму роботи БРУ, врахувати ряд технологічних особливостей та характеристик, за якими встановлюють відповідні режими роботи кожної з колон. Для оптимального режиму роботи БК мінімізують втрати спирту з бардою та визначають концентрацію спирту в бражному дистиляті, що реалізовується за умови постійної подачі бражки при зміні подачі пари в колону і води в конденсатор з таким розрахунком, щоб при максимально можливій концентрації бражного дистиляту втрати спирту в барді були мінімальними. Для ЕК показником оптимального режиму роботи є достатньо повне виділення головних та верхніх проміжних домішок (альдегідів, метанолу та ін..) при мінімальних витратах пари. Для РК – відсутність втрат спирту з лютерною водою, задана концентрація ректифікованого спирту і чистота спирту по вмісту домішок. При роботі РК першочергово необхідно забезпечити збалансовану подачу епюрату в колону та відбір спирту (пастеризованого і непастеризованого) з колони.

Враховуючи всі технологічні особливості, властивості багатовимірності та багатозв'язності, а також наявність неконтрольованих збурень, складність процесів масо- та теплообміну, процесів гідродинаміки цих установок, відносимо БРУ до класу складних нелінійних багатofакторних об'єктів керування (ОК).

В умовах невизначеності та нестаціонарності, за необхідності застосування методів та алгоритмів енергозбереження, об'єкти даного класу мають певну специфіку, дотримання якої дозволить досягти значного поліпшення якісних показників роботи БРУ непрямої дії.

Перш за все необхідно скористатись методом технологічної декомпозиції, за яким БРУ є слабозамкненою хіміко-технологічною системою. Ця особливість БРУ непрямої дії зумовлена тим, що продуктивний потік має тільки один зворотний зв'язок – за витратою недопастеризованого (нестандартного) спирту (НПС) (рис.1), який до того ж занадто слабкий (витрата нестандартного спирту не перевищує 2-3 % від основного технологічного потоку). Часто роблять припущення і відносять БРУ до класу розімкнених хіміко-технологічних систем, при якому з'являється можливість кожену колону (із своїм дефлегматором і конденсатором) розглядати як окремий ОК, а з точки зору системного аналізу вважати БРУ сукупністю послідовно з'єднаних підсистем, що функціонують як самодостатні складні об'єкти керування [6].

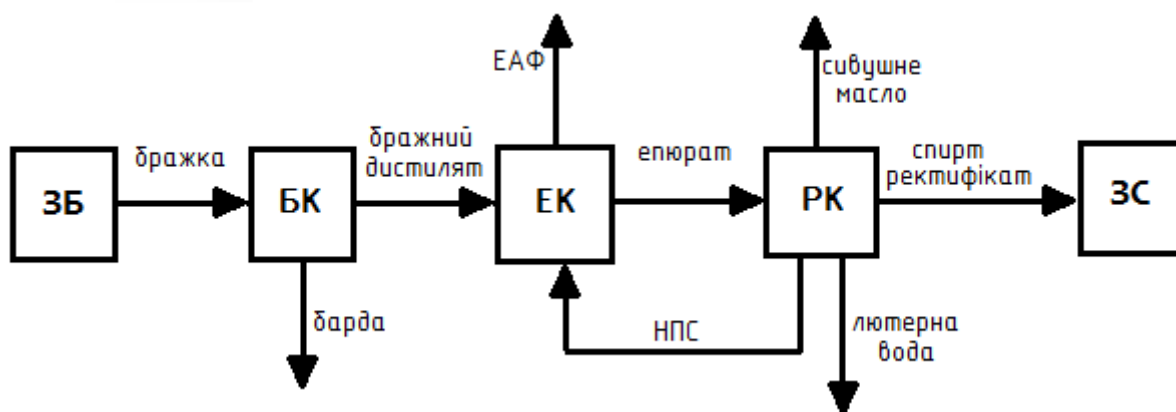


Рис.1. Узагальнена схема продуктивних потоків трьохколонної БРУ непрямої дії

Існує ряд причин, що порушують стійкість технологічного процесу (ТП) та призводять до відомого явища “провал” колони, виникнення якого, як правило, є нештатною передаварійною ситуацією на спиртзаводі, що призводить до зупинки відбору спирту, подачі бражки та до перезапуску всієї системи.

Перша і одна з основних причин криється в якісних показниках пари: тиск подачі пари з котельні нестабільний (знаходиться поза межами 3..5 бар); невідповідність відношення потужності колони до витрати пари на обігрів колони; температура пари нижча заданої; при зміні потужності колони не

враховано відповідну зміну тиску подачі пари. Друга причина пов'язана із зміною температури охолодженої води залежно від пори року, відбувається недостатня конденсація, пари не піднімаються вгору колони, а накопичуються на поверхні тарілок. До третьої причини можна віднести питання, коли з нарощенням потужностей системи не збільшується відбір побічних продуктів по колонам. Не менш вагомими причинами “провалу” колон є накопичення та неможливість виведення домішок, які зосереджуються між низом колони (відбір сивушних продуктів) та верхом колони (відбір спирту) таких як N-пропанол; зміна сировини; зменшення подачі бражки та інші.

Для ефективного автоматизованого керування кожною підсистемою та БРУ в цілому необхідно забезпечити стійкість ТП, не допустивши виникнення викладених вище причин створення нештатних ситуацій в роботі БРУ непрямої дії.

Результати досліджень. Враховуючи широке використання БРУ непрямої дії, виникла необхідність пошуку шляхів зменшення енерговитрат, що є можливим завдяки сучасним методам керування та передбачає застосування системного аналізу для дослідження множини станів функціонування системи, що має ряд особливостей, якими безумовно не можна знехтувати [7].

Існуючі методи автоматизації виробництва спиртової промисловості переважно використовують алгоритми оптимального керування узагальнених за квадратичним критерієм якості, числові значення якого визначені в дискретні моменти часу, що створюють певні труднощі керування в умовах невизначеності. У сучасній теорії керування набули широкого розвитку задачі, розв'язання яких враховує наближені оцінки зовнішніх збурень та параметрів моделі об'єкта, неточність інформації з технологічних, фізико-хімічних та технічних показників.

Інноваційною ідеєю є метод робастного керування, де за допомогою одного регулятора забезпечується стійкість та якість замкненої системи для множини об'єктів, що визначені класом невизначеності: параметричної, інтервальної чи частотної.

Для БРУ непрямої дії динамічні властивості бражної та ректифікаційної колон як об'єктів з розподіленими параметрами можуть бути записані системою рівнянь [8]:

$$\begin{cases} H_j \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) - L \left(\frac{\partial x}{\partial l} \right) = k_y (y^* - y) \\ H_p \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right) + V \left(\frac{\partial y}{\partial l} \right) = k_y (y - y^*) \end{cases} \quad (1)$$

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

При визначенні складових системи (1) враховують параметри, значення яких змінюються в процесі експлуатації колони, що означає наявність параметричної та інтервальної невизначеностей. Параметричні невизначеності задають у вигляді найбільшого відсотку d від матриці A_0 [7]:

$$A(q) = A_0 + dA_0, \quad (2)$$

де A_0 — матриця з номінальними значеннями параметрів. Для інтервального матричного сімейства:

$$A(q) = A_0 + \Delta, \quad |\Delta_{ij}| \leq \gamma, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\text{при } \Delta = dA_0 \text{ або } |da_{ij}^o| \leq \gamma$$

Методи робастного керування (робастна стійкість, робастна якість і робастна стабілізація) дають можливість враховувати також невизначеності, що пов'язані з неточністю моделі, неповнотою інформації за сигналами зовнішніх збурень, що діють на об'єкт і регулятор, похибок первинних та вторинних вимірювальних пристроїв, цифрових перетворювачів, похибок ліній зв'язку.

У процесі розвитку сучасного робастного керування широкого застосування набули регулятори H_2 -, H_∞ - методів оптимізації. Позитивною характеристикою цих регуляторів є готовність до найгіршої ситуації, яка впливає з процесів функціонування робастних регуляторів (використовувати

тільки апріорну інформацію про можливі зовнішні збурення та зберігати стійкість і якість при максимальних їх значеннях) [7].

Суттєвою відмінністю процесу брагоректифікації є стохастичні особливості гідродинамічної обстановки в апаратах, що накладаються на складні і без цього процеси масо- та теплообміну. Це можна пояснити випадковими взаємодіями складових компонентів фаз або випадковим характером геометрії граничних умов в апаратах. Можливості вирішення цієї проблеми відкриває застосування методу математичного моделювання, який оснований на стратегії розвитку нечіткої логіки та теорії нейро-нечітких мереж, що досліджують процеси утворення складних структур в процесі міжфазного переносу та нерівноважних фазових переходів [8].

Застосування нейронних мереж та нейронно-мережних регуляторів для складних процесів брагоректифікації дає можливість гнучкості інтерпретації причинно-наслідкових зв'язків, оперативного навчання нейро-нечіткої структури, що є позитивним рішенням для підвищення якості та ефективності керування БРУ непрямої дії [9].

На основі аналізу характеристик об'єкта та особливостей його функціонування сформовано підхід комплексного керування, який полягає в синтезі методів оптимізації, адаптації, компенсації збурень та запізень, робастної стабілізації з інноваційними інтелектуальними системами, побудованими на основі робастних регуляторів, нечіткої логіки та нейронно-нечітких мереж.

Для розв'язання цієї задачі створюється інформаційна система керування (ІСК), на верхньому рівні якої знаходиться підсистема підтримки прийняття рішень (ППР), де проводиться аналіз реальної ситуації, пошук та прийняття рішень на основі існуючих баз даних (БД), баз знань (БЗ) та створених для цього класу об'єктів баз моделей (БМ).

На нижньому рівні такої системи розміщено об'єкт керування (ОК), який складається в цьому випадку з підсистем окремо взятої бражної колони (БК), бражного відділення (БВ) та котельні (рис.2). Такий поділ ОК зумовлений тим,

що основними чинниками впливу на якість спирту-ректифікату є якісні показники пари (мінімальна величина парового потоку, необхідного для проведення розділення фаз в БК; оптимальна величина надлишку пари; витрата пари на обігрів БК; витрата пари на обігрів БК; температура пари; тиск подачі пари) та якісні показники бражки (кількість незброджених редукуючих речовин (РР), зокрема нецукрів; кислотність бражки; концентрація спирту в бражці (міцність)).

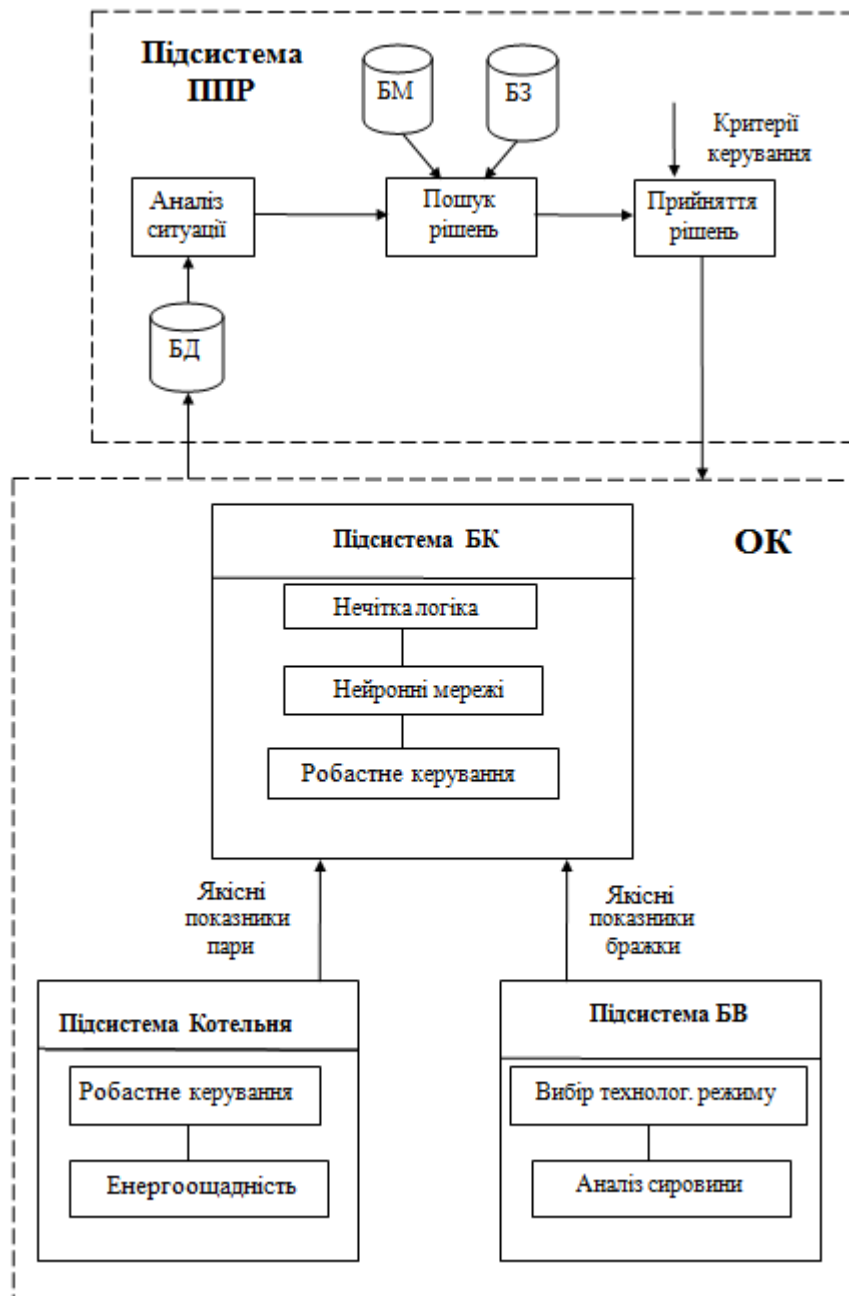


Рис.2. Загальна структурна схема інформаційної системи керування (ІСК)

Регулювання якісних показників бражки та пари, підтримання на заданному рівні необхідних для цього технологічних змінних (температура, тиск, концентрація) здійснюється на нижньому рівні за допомогою робастних регуляторів, використання яких дозволить зберегти стійкість та якість системи керування в умовах певного класу невизначеностей (2, 3).

Запропонована структура ІСК призначена для підвищення якості функціонування, покращення якісних показників роботи системи керування. Отже, комплекс прийнятих рішень направлений на покращення якості готового продукту, на зменшення енергоємності установки даного типу, а також на зменшення відсотку відходів в спиртовій галузі.

Висновки

1. Показано, що для нестационарного, нелінійного, багатовимірного складного ОК, яким є БРУ непрямої дії, синтез робастного та нейронно-мережного регуляторів дає можливість гнучкого та оперативного керування в умовах невизначеності, це дозволяє оперативно оцінювати виробничі ситуації та формувати ефективні сигнали керування.

2. Передбачено можливість ефективного використання ресурсів керування ТК в умовах складних та близьких до аварійних нештатних ситуацій, а також можливість вирішення проблем енергозбереження, пов'язаних з хіміко-технологічними особливостями БРУ непрямої дії.

Список літератури

1. Жолнер І. Основні напрямки енерго- та ресурсозбереження в спиртовому виробництві / І. Жолнер, В. Сосницький, І. Гулий, А. Українець, П. Шиян,

В. Артюхов, А. Михайлів // Харчова і переробна промисловість. – 2003. – №7. – С.4–6.

2. Українець А.І. Спиртова галузь України на шляху до інноваційного розвитку / А.І. Українець, Л. Хомічак, П.Л. Шиян, С.Т. Олійнічук // Харчова і переробна промисловість. – 2007. – №12. – С.16–19.

3. Кизюн Г.О. Современное состояние внедрения энергосберегающих технологий в спиртовой отрасли Украины / Г.О. Кизюн, О.С.Мищенко, В.О. Берестецкий // Энергосбережение. – 2012. – №4. – С. 16–18.
4. Технологія спирту / [В.О. Марченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян] та ін.; за ред. проф. В.О. Маринченка. – В.: Поділля - 2000, 2003. – 496 с.
5. Стабников В.Н. Ректификация в пищевой промышленности. Теория процесса, машины, интенсификация / В.Н. Стабников, А.П. Николаев, М.Л. Мандельштейн. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 232с.
6. Мандельштейн М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации / М.Л. Мандельштейн. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 240 с.
7. Луцька Н.М. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами : монографія / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Видавництво Ліра-К, 2015. – 288 с.
8. Смітюх Я.В. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою на основі сценарного підходу: дис. на здобуття наук.ступеня к.т.н.: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / Я.В. Смітюх. – Київ, 2007. – 282 с.
9. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / [А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх]. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫМИ УСТАНОВКАМИ

Н.Г. Гриценко, А.П. Ладанюк, Н.Н. Луцкая, Я.В. Смитюх, Р.Г. Кириленко

Аннотация. *Проведен анализ характеристик и особенностей функционирования брагоректификационной установки непрямого действия в составе комплекса спиртового производства, определены оптимальные*

режимы работы составляющих объекта. Сформирован подход комплексного управления, который заключается в синтезе методов оптимизации, адаптации, робастной стабилизации с инновационными интеллектуальными системами, построенными на основе робастных регуляторов, нечеткой логики и нейронно-нечетких сетей. Для решения этой задачи создается информационная система управления (ИСУ), внедрение которой улучшает качество готового продукта и уменьшает энергоемкость установки данного типа.

Ключевые слова: *брагоректификационная установка, энергоемкость, условия неопределенности, робастное управление, нейронно-сетевые регуляторы, энергосбережение*

MODERN METHODS OF MANAGEMENT BRAHOREKTYFIKATSIYNOYU INSTALLATION

N. Gricenko, A. Ladanyuk, N. Lutska, Y. Smityuh, R. Kirilenko

Annotation. *The analysis of the characteristics and features of the functioning brahorektyfikatsiynoyi installation indirect action as part of the complex process of alcohol production and optimal modes of components of the object. Formed a comprehensive management approach that is the synthesis optimization techniques, adaptation, robust stabilization of innovative intelligent systems that are based on robust controllers, fuzzy logic and neural-fuzzy networks. To solve this problem created management information system (MIS), which is the top level of decision support systems and at the bottom of the object control (OC), which in turn is divided into subsystems technological nature. Implementing MIS improves the quality of the finished product and reduces energy installation type.*

Key words: *grout rectification installation, energy, conditions of uncertainty, robust control, neural-network controllers, conservation energy*