

CONTROL OF EVAPORATION STATION UNDER UNCERTAINTY: INTELLECTUALISATION OF APPLICATION FUNCTIONS

A. Ladanyuk, V. Kyshenko, O. Shkolna
National University of Food Technologies

Key words:

*Evaporation station
Uncertainty
Energy saving
Entropy approach
Intelligent control systems
PID controller*

Article history:

Received 15.08.2015
Received in revised form
17.09.2015
Accepted 23.09.2015

Corresponding author:

O. Shkolna
E-mail:
evlens@ukr.net

ABSTRACT

The article describes the formation of a new modern treatment of automation in the evaporation system at the sugar refinery. The new approach is characterized by a combination of automatic control traditional methods of individual process variables and the new methods of system analysis, as well as the regulation of intellectual function. It significantly increases the quality of control process and decreases energy consumption.

УПРАВЛІННЯ ВИПАРНОЮ УСТАНОВКОЮ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ: ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИКЛАДНИХ ФУНКЦІЙ

А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, О.В. Школьна
Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто питання формування нового сучасного підходу до автоматизації випарної установки цукрового заводу. Новий підхід характеризується поєднанням традиційних методів автоматичного регулювання окремих технологічних змінних з новими методами системного аналізу й наданням системі регулювання інтелектуальних функцій, що значно підвищує якість процесу керування та призводить до зменшення енерговитрат. Використано ентропійний підхід, проаналізовано можливості застосування спеціальних регуляторів та інтелектуальних методів.

Ключові слова: *випарна установка, невизначеність, енергозбереження, ентропійний підхід, інтелектуальна системи управління, ПІД-регулятор.*

Постановка проблеми. При розгляді випарної установки цукрового заводу як складного об'єкта керування використано системні методи аналізу та інте-

лектуальні технології, що надає можливість забезпечити підвищення якості процесів керування і сприяє підвищенню якості готового продукту та зниженню питомих енерговитрат на одиницю продукції.

До найбільш енергоємних об'єктів управління цукрового заводу належить випарна установка, яка, крім забезпечення необхідними якісними кондиціями цукрового сиропу, є джерелом теплової енергії більшості технологічних установок. Важливо врахувати те, що енергоємність технологічних процесів цукрового виробництва залежить від їх продуктивності. При зниженні продуктивності енергоємність підвищується, що призводить до енергетичних втрат. Водночас, при підвищенні продуктивності може знижуватись якість продукції та, відповідно, її конкурентоспроможність. Все це сприяє вирішенню проблеми енергозбереження в цукровому виробництві шляхом організації стратегій управління в багатокритеріальній постановці та їх реалізації на основі схем компромісу. Тобто основними показниками ефективності функціонування випарної установки є енергозбереження, якість отриманого продукту і продуктивність технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із пріоритетів підвищення ефективності виробництва в цукровій промисловості є проблема енерго- і ресурсозбереження. Низька конкурентна здатність багатьох цукрових заводів пов'язана з постійним подорожчанням енергоносіїв, а також неефективним використанням паливно-енергетичних ресурсів. Відомо, що економії паливно-енергетичних ресурсів можливо досягти завдяки підвищенню коефіцієнта корисної дії енергоустановок чи за рахунок енергозбереження [1]. Одним із шляхів забезпечення енергозбереження є організація стратегій ресурсозбережного управління технологічними процесами [2].

Метою статті є розробка методів і способів підвищення ефективності функціонування випарної установки цукрового заводу за рахунок нових підходів, заснованих на системному аналізі та інтелектуальних методах.

Виклад основних результатів дослідження. Традиційні системи автоматизації випарних установок (ВУ) передбачають, як правило, стабілізацію технологічного режиму та забезпечення необхідних показників готового продукту. ВУ цукрового виробництва займають одне з центральних місць у теплоенергетичному комплексі цукрового заводу і призначені для отримання сиропу заданої якості (концентрація та забарвленість). Не менш важливим призначенням ВУ цукрових заводів є забезпечення гріючим паром зовнішніх споживачів (вторинні пари різних корпусів надходять на вакуум-апарати й теплообмінники різного призначення). Враховуючи можливість використання конденсатів з гріючих камер корпусів, можна стверджувати, що ВУ займають важливе місце в теплоенергетичному комплексі цукрового заводу.

При автоматизації випарних установок забезпечуються необхідні температурні та гідродинамічні режими за рахунок подачі гріючої пари на перший корпус, а також розрідження в останньому корпусі та регулювання рівнів соку в кожному з корпусів. У традиційних системах автоматизації не враховуються такі важливі характеристики, як нелінійність, нестационарність, неповнота та неточність інформації, невизначеність виробничих ситуацій. У зв'язку з цим удосконалення систем автоматизації випарних установок може виконуватись за рахунок використання:

- адаптивних методів і регуляторів;
- робастних регуляторів;
- інтелектуальних методів, в тому числі нечітких ситуаційних моделей;
- аналізу й обробки часових рядів тощо.

Автоматизоване управління випарною установкою передбачає, також підвищення ефективності використання теплових ресурсів, зокрема на основі ентропійного підходу [3].

Так, якщо у ВУ концентрація вихідного розчину (соку) підвищується від початкової масової частки твердої речовини ω_0 до кінцевої масової частки ω_n , а масові витрати вихідного розчину (соку) та кінцевого продукту (сиропу) дорівнюють F_0 та F_n , то баланс маси твердої речовини має вигляд:

$$F_0\omega_0 = F_n\omega_n. \quad (1)$$

Загальний баланс маси багатокорпусної випарної установки включатиме всю кількість вторинної пари $\sum V_i$ з різних корпусів:

$$F_0 = \sum V_i + F_n. \quad (2)$$

З (1) та (2) отримаємо кількість вторинної пари, яку необхідно видалити для досягнення необхідної концентрації розчину (сиропу):

$$\sum V_i = F_0 \left(1 - \frac{\omega_0}{\omega_n}\right). \quad (3)$$

Кількість утвореної в першому корпусі вторинної пари пов'язана з кількістю грійочої водяної пари, що надходить у перший корпус, її термічним к.к.д. E і визначається такою залежністю:

$$V_1\Delta H_1 = EV_0\Delta H_0. \quad (4)$$

Аналогічно кількість вторинної пари, утвореної в другому корпусі, пов'язана з кількістю пари, що надійшла з першого корпусу, визначається співвідношенням:

$$V_2\Delta H_2 = V_1\Delta H_1 = E^2V_0\Delta H_0. \quad (5)$$

Таку послідовність можна продовжувати до n корпусів і потім додати окремі витрати вторинної пари:

$$\sum_{i=1}^{i=n} V_i = V_0\Delta H_0 \left(\frac{E}{\Delta H_1} + \frac{E^2}{\Delta H_2} + \dots + \frac{E^n}{\Delta H_n} \right). \quad (6)$$

Збільшення ентальпії ΔH_i вторинної пари, що утворюється в процесі випарювання в даному корпусі, не дорівнює точно її прихованій теплоті пароутворення. Якщо приховану теплоту пароутворення використовувати для оцінки ΔH в рівнянні (6), то можна легко розрахувати співвідношення кількості грійочої пари і вторинної пари для будь-якої випарної установки.

Точний контроль якості кінцевого продукту є складовою частиною будь-якої програми економії енергії. Для ефективного регулювання якості кінцевого продукту ВУ (сиропу) необхідно враховувати чутливість системи автоматичного регулювання до збурень. Вносити збурення в роботу ВУ можуть

зміни кількості підведеного тепла, зміни витрати або складу вхідного розчину (соку). У виведених вище балансах маси й енергії наявна вся необхідна інформація для оцінки чутливості якості кінцевого продукту ВУ (сиропу) до зазначених збурень. Розв'яжемо рівняння (3) стосовно якості продукту:

$$\omega_n = \frac{\omega_0}{1 - \sum V_i / F_0} \quad (7)$$

Диференціювання по $\sum V_i / F_0$ дозволить оцінити чутливість концентрації сиропу до змін відношення кількості гріючої пари до кількості вхідного соку:

$$\frac{d\omega_n}{d(\sum V_i / F_0)} = \frac{\omega_0}{(1 - \sum V_i / F_0)^2} = \frac{\omega_n^2}{\omega_0} \quad (8)$$

Вираження диференціала через концентрацію полегшує порівняння чутливостей до різних умов роботи. Крім того, завдяки перетворенню знаменника у відношення кількості гріючої пари до кількості вхідного соку оцінка не залежить від числа корпусів ВУ:

$$\frac{d\omega_n}{d(\sum V_i / F_0) / (\sum V_i / F_0)} = \frac{\omega_n (\omega_n - \omega_0)}{\omega_0} \quad (9)$$

Для прикладу візьмемо ВУ цукрового заводу, що концентрує дифузійний сік із 13 % до 60 % сухих речовин, і визначимо вплив зміни витрати гріючої пари або вхідного дифузійного соку на 1 % на концентрацію кінцевого продукту ВУ:

$$\frac{d\omega_n}{d(\sum V_i / F_0) / (\sum V_i / F_0)} = \frac{0,6(0,6 - 0,13)}{0,13} = 2,17.$$

Отже, зміна витрати гріючої пари або вхідного дифузійного соку на 1 % може викликати відхилення концентрації сиропу від необхідних 60 % на $\pm 2,17$ %.

Для регулювання якості продукту можна регулювати або витрату гріючої пари, або витрату дифузійного соку при заданій пропускній здатності по другій витраті. Проте у будь-якому випадку необхідно, щоб поведінка цих двох змінних була узгоджена.

Рівняння (7) можна також диференціювати за концентрацією соку. Незважаючи на те, що концентрація соку не використовується для регулювання, вона може змінюватись і таким чином порушувати нормальні умови роботи установки:

$$\frac{d\omega_n}{d\omega_0} = \frac{1}{1 - \sum V_i / F_0} = \frac{\omega_n}{\omega_0} \quad (10)$$

З рівняння (10) випливає, що чутливість концентрації сиропу до змін концентрації соку навіть вища, ніж чутливість до змін відношення витрати гріючої пари і вхідного дифузійного соку. Так, для вищезазначеного прикладу зміна на 1 % концентрації вхідного дифузійного соку викличе зміни виходу випарної установки на 4,6 %.

Варто відмітити ще декілька важливих для регулювання нюансів:

- зміни концентрації вхідного дифузійного соку не можуть коливатись у такому широкому діапазоні, як зміни його витрати;

- зміна витрати гріючої пари повинна послідовно вплинути на всі поверхні теплообміну перед тим, як вона повністю вплине на якість кінцевого продукту ВУ;

- зміни витрати гріючої пари та витрати соку мають бути узгоджені.

Одним із підходів підвищення ефективності функціонування випарної установки є розробка і впровадження сучасних інтелектуальних інформаційно-керувальних систем, які дозволяють оперативно здійснювати пошук, синтез та реалізацію таких стратегій, що мінімізують енерго- і ресурсоспоживання в динамічних режимах в умовах невизначеності, забезпечуючи також раціональний рівень продуктивності установки та якості продукції.

Під інтелектуальною інформаційно-керувальною системою слід розуміти сукупність технологічних, програмних та інформаційних засобів, що забезпечують розв'язання задач аналізу й синтезу управління в режимах роботи випарної установки та зв'язаного з нею теплового господарства цукрового заводу в реальному масштабі часу без участі особи, що приймає рішення (ОПР). Інтелектуалізація системи управління полягає в алгоритмізації синтезу управлінь у різноманітних режимах функціонування об'єкта управління, включаючи і нештатні ситуації.

При розробці математичного й алгоритмічного апарату аналізу та синтезу стратегій оптимального ресурсозбережного управління в багатокритеріальній постановці виникають значні труднощі внаслідок неналежної формалізації технологічних процесів цукрового виробництва. Це призводить до необхідності використання методів штучного інтелекту [4, 5]. Як недостатня теоретична підготовка користувачів, так і недостатнє використання знань та досвіду експертів у даній предметній галузі вимагають інтелектуалізації прикладних функцій системи управління випарною установкою, тому розвиток методологій розробки інтелектуальних систем оптимального багатопільового управління випарною установкою, що дозволяють синтезувати і реалізувати в реальному часі ефективні стратегії управління, є актуальним завданням.

Інтелектуальна система здатна приймати рішення, коли [6]:

- необхідно здійснювати обробку та проводити аналіз великої кількості інформації;

- існує великий рівень невизначеності;

- існує значна багатомірність об'єкта;

- наявна багатогранна поведінка об'єкта управління;

- притаманна суттєва нелінійність і нестационарність об'єкта управління;

- здійснена формалізація знань експертів з використанням моделей представлення знань;

- проведений синтез систем інтелектуального управління на основі принципів самоорганізації, самонавчання й адаптації.

Згідно з принципом IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence — збільшення рівня невизначеності зі зростанням інтелектуальності завдань [4], інтелектуальна система управління повинна мати ієрархічну багаторівневу структуру, що включає такі концептуальні рівні: організатор, координатор, виконавець. При структурному синтезі системи інтелектуального управління важливим є розв'язання задачі розподілу прикладних функцій системи за

програмно-апаратними засобами так, щоб вибрана цільова функція досягала свого екстремуму з урахування існуючих умов.

На виконавчому рівні використовуються інтелектуальні регулятори, які реалізують прикладні функції регулювання.

При неповноті та неточності інформації про об'єкт управління в нелінійних системах, ідентифікація яких є досить складним завданням, а також коли зручно використати знання експерта, застосовується нечітке управління (управління на основі методів теорії нечітких множин) [7].

Нечітка логіка в ПІД-регуляторах використовується для побудови самого регулятора та/або для організації налаштування коефіцієнтів ПІД-регулятора. Одну з найбільш поширених структур нечіткого ПІ-регулятора зображено на рис. 1.

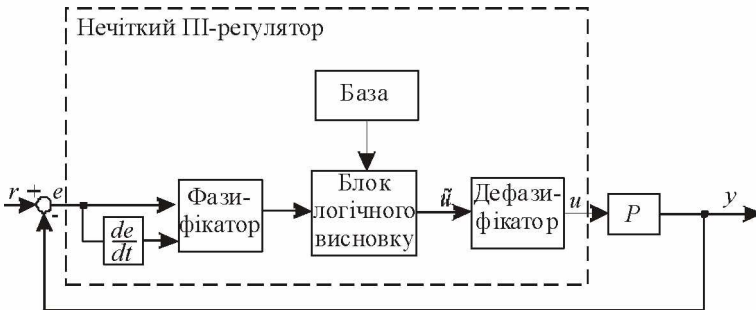


Рис. 1. Структура нечіткого ПІ-регулятора

На вхід регулятора надходить помилка e , яка використовується також для розрахунку похідної за часом de/dt . Обидві величини спочатку піддаються операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні), потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого логічного висновку для отримання керуючого впливу на об'єкт, яке після виконання операції дефазифікації (зворотного перетворення нечітких змінних в чіткі) надходить на вихід регулятора у вигляді керуючого впливу u .

У процесі фазифікації діапазон зміни змінної e розбивається на множини NL (*Negative Large* — велике від'ємне), NM (*Negative Meant* — середнє від'ємне), NS (*Negative Small* — мале від'ємне), Z (*Zero* — нуль), PS (*Positive Small* — додатне мале), PM (*Positive Meant* — додатне середнє), PL (*Positive Large* — додатне велике), в межах кожної з яких будується функція приналежності змінної e кожній із множин. Кількість множин може бути довільною, як і кількість змінних (термів). Сукупність нечітких правил і нечітких змінних використовується для знаходження нечіткого логічного висновку, результатом якого є керувальна дія на об'єкт управління. Нечіткий висновок формується на основі правил експерта типу «якщо $e = \dots$ та $de/dt = \dots$, то $\tilde{u} = \dots$ ». Щоб отримати значення \tilde{u} на виході нечіткого регулятора, необхідно знайти функцію приналежності \tilde{u} множині, що утворилась у результаті виконання операцій висновку над множинами, які входять у систему правил. Результуюча функція приналежності керувальної дії \tilde{u} визначається формулою:

$$\mu(\tilde{u}) = \max\{\mu_{\Pi_1}(\tilde{u}), \mu_{\Pi_2}(\tilde{u}), \dots, \mu_{\Pi_n}(\tilde{u})\}. \quad (11)$$

Конкретне значення керувальної дії розраховують за формулою [7]:

$$u = \frac{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \tilde{u} \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}. \quad (12)$$

Щодо застосування нечіткої логіки для налаштування параметрів ПД-регулятора, то воно може бути виконано оператором на підставі евристичних правил або автоматично за допомогою блоку нечіткої логіки (рис. 2). Блок нечіткої логіки (фазі-блок) використовує базу правил і методи нечіткого виводу. Фазі-налаштування дозволяє зменшити перерегулювання, знизити час встановлення і підвищити робастність ПД-регулятора.

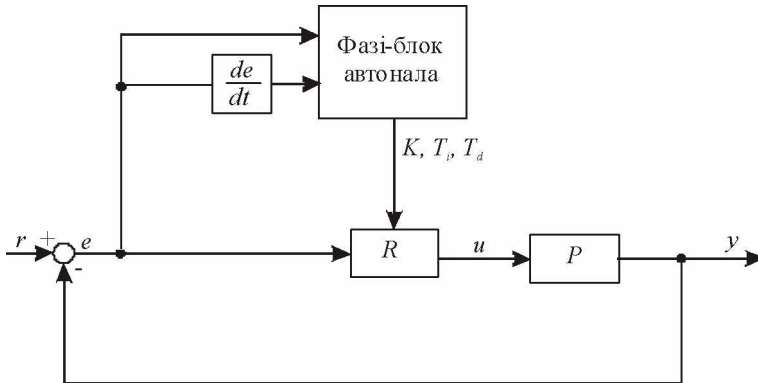


Рис. 2. Структура ПД-регулятора з блоком автоналаштування на основі нечіткої логіки

Нейронні мережі, як і нечітка логіка, використовуються в ПД-регуляторах двома шляхами [7]: для побудови самого регулятора і для побудови блоку налаштування його коефіцієнтів. Особливістю нейронної мережі є здатність до «навчання», що дозволяє передати нейронній мережі досвід експерта. Регулятор з нейронною мережею схожий на регулятор з табличним керуванням, однак відрізняється спеціальними методами налаштування («навчанням»), розробленими для нейронних мереж, і методами інтерполяції даних.

На відміну від нечіткого регулятора, де експерт повинен сформулювати правила налаштування в лінгвістичних змінних, при використанні нейронної мережі від експерта не вимагається формулювання правил, достатньо, щоб він кілька разів сам налаштував регулятор у процесі «навчання» нейронної мережі.

Штучний нейрон являє собою функціональний блок з одним виходом y і n входами x_1, x_2, \dots, x_n , який реалізує в загальному випадку нелінійне перетворення:

$$y = F\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right), \quad (13)$$

де w_i — вагові коефіцієнти (параметри) при вхідних змінних x_i ; b — постійний зсув; $F(\bullet)$ — функція активації нейрона.

Типова структура системи автоматичного регулювання з ПД-регулятором і нейронною мережею як блоку автоналаштування показана на рис. 3.

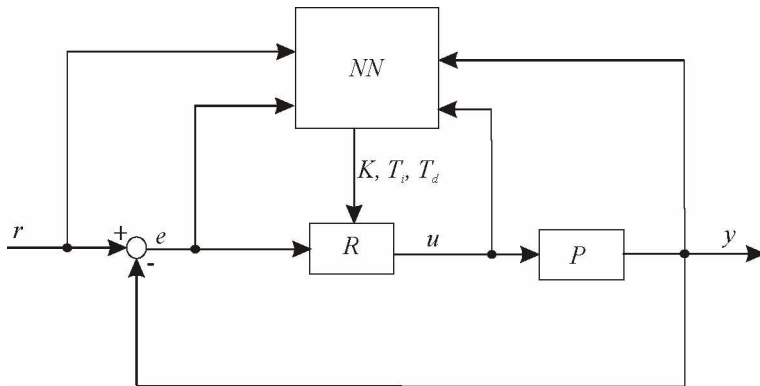


Рис. 3. Структура ПІД-регулятора з блоком автоналаштування на основі нейронної мережі NN

Висновки

Визначені шляхи вдосконалення систем автоматизації випарних установок цукрових заводів і проведений аналіз особливостей об'єкта управління (випарної станції) дали змогу визначити прикладні задачі управління випарною установкою. Встановлено, що суттєве підвищення ефективності управління випарною установкою можливе за умови застосування методів штучного інтелекту на всіх рівнях управління цукровим виробництвом. Проведений аналіз сучасних підходів до інтелектуалізації прикладних функцій управління дозволив розробити методологію синтезу сучасних інтелектуальних інформаційно-керувальних систем управління випарною установкою цукрового заводу, яка забезпечує реалізацію в реальному часі ефективних енергоощадних стратегій управління при забезпеченні компромісного раціонального рівня якості продукції та продуктивності виробництва.

Література

1. *Аджиев М.Э.* Энергосберегающие технологии / М.Э. Аджиев. — М.: Знание, 1990. — 64 с.
2. *Аракелов В.Е.* Методические вопросы экономии энергоресурсов [Текст] / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 192 с.
3. *Шински Ф.* Управление процессами по критерию экономии энергии / Ф. Шински: перевод с английского под редакцией к.т.н. Е.К. Масловского. — М.: Мир, 1981. — 389 с.
4. *Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды* / В.А. Геловани, А.А. Башпыков, В.Б. Бритков, Е.Д. Вязилов. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 304 с.
5. *Денисенко В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М.: Горячая линия-Телеком, 2009. — 608 с.
6. *Воинов Б.С.* Информационные технологии и системы: поиск оптимальных, оригинальных и рациональных решений / Б.С. Воинов, В.Н. Бугров, Б.Б. Воинов. — М.: Наука, 2007. — 730 с.
7. *Денисенко В.* ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В. Денисенко // Журнал «Современные технологии автоматизации». — 2007. — № 1. — С. 78—88.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРИКЛАДНЫХ ФУНКЦИЙ

А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Е.В. Школьная

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматриваются вопросы формирования нового современного подхода к автоматизации выпарной установки сахарного завода. Новый подход характеризуется сочетанием традиционных методов автоматического регулирования отдельных технологических переменных с новыми методами системного анализа и предоставлением системе регулирования интеллектуальных функций, что значительно повышает качество процесса управления и приводит к уменьшению энергозатрат. Использован энтропийный подход, проанализированы возможности использования специальных регуляторов и интеллектуальных методов.

Ключевые слова: *выпарная установка, неопределенность, энергосбережение, энтропийный подход, интеллектуальная система управления, ПИД-регулятор.*