

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Нездвецька І. В.

Житомирський національний агроекологічний університет

Запропоновано систему автоматизації технологічного процесу сушіння рослинної сировини на основі нечіткого контролера.

**Постановка проблеми.** При реконструкції існуючого і проектуванні нового сушильного обладнання важливим завданням є забезпечення високої продуктивності технологічного процесу, зниження енергетичних витрат при забезпеченні якості готової продукції на максимально можливому рівні. Це завдання вирішується з використанням сучасного обладнання із комбінованим впливом теплової енергії на об'єкт сушіння, де системи автоматики існують як неодмінна складова.

Наразі відомі методики математичного опису процесів тепло- і масообміну, на підставі яких створені достатньо адекватні математичні моделі [1,2]. Проте, у зв'язку із складністю структури біологічних об'єктів, створити достатньо точні математичні моделі процесів видалення вологи із рослинних матеріалів під час сушіння дуже складно і практично неможливо. Самі методи керування зводяться, в основному, до стабілізації режимних параметрів по окремим контурам, що, звичайно, спрощує процес керування, проте не завжди виконуються вимоги щодо якісних показників кінцевого продукту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Характерним недоліком існуючих систем автоматизації є неможливість оперативного коригування технологічних параметрів процесу сушіння сировини без участі оператора, що призводить до втрати якісних показників висушеної сировини. Усунення зазначеного недоліку дозволить стабілізувати якість продукції, що випускається і підвищити продуктивність роботи технологічного обладнання. Параметрична схема процесу сушіння, наведена на рис. 1.

Для управління процесом сушіння використовуються математичні моделі втрати маси сировини за результатами вимірювання зміни маси [2]. У режимі постійної продуктивності доцільно керувати процесом сушіння за допомогою зміни параметрів теплоносія. Останні коригуються за контрольними вимірами маси сировини так, щоб досягався необхідний вологовміст в кінці технологічного процесу при відсутності явних дефектів (підгоряння, нерівномірності ступені сухості, розтріскування і т.п.).

Структура моделі динаміки середньооб'ємного вологовмісту матеріалу описується залежністю виду:

$$W(\tau) = A \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) + C, \quad (1)$$

де  $A, T, C$  – коефіцієнти ідентифікації, що залежать від умов процесу;  $\tau$  – поточний час.

Якість процесу керування оцінюється за:

$$J(\tau) = \Delta W - \left(\frac{m_1 - m_2}{m_0}\right), \quad (2)$$

де  $\Delta W$  – бажана зміна вмісту вологи в процесі сушіння;  $m_1$  – початкова маса сировини;  $m_2$  – кінцева маса сировини;  $m_0$  – маса абсолютно сухої сировини.

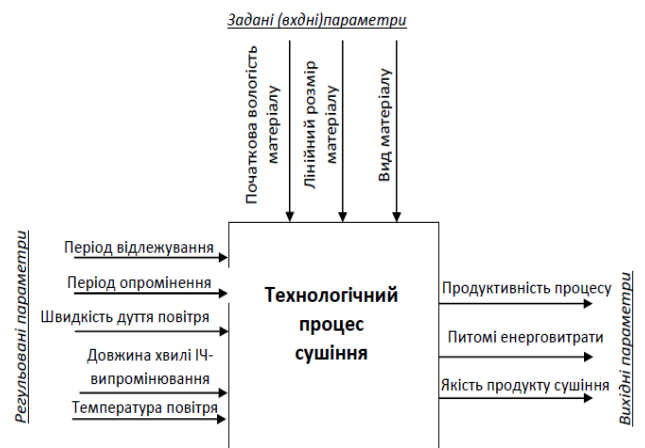


Рисунок 1 – Параметрична схема процесу сушіння

Для розрахунку коефіцієнтів ідентифікації при  $\tau = 0$  отримуємо:

$$A + C = W(0) \quad (3)$$

Використовуючи рівняння балансу (1), після інтегрування, отримаємо другу рівність для обчислення коефіцієнтів  $A$  і  $C$ :

$$\Delta W = \dot{O} \cdot A \exp\left(-\frac{\tau_c}{T}\right) + C \cdot \tau_c, \quad (4)$$

де  $\tau_c$  – тривалість сушіння.

Значення коефіцієнта  $C$  обчислюється в результаті сумісного рішення залежностей (3) і (4).

Інтенсивність процесу сушіння характеризується коефіцієнтом  $T$  моделі (1), який і визначає досягнення бажаного вмісту вологи в кінці процесу сушіння. Коефіцієнт  $T$  пропонується коригувати в процесі за результатами відхилення прогнозованого і фактичного вологовмісту в точці контрольного зважування. В основі механізму корекції лежить залежність виду:

$$\Delta \dot{O} = f(D_i, T_i, \varphi_i, T_B, \tau), \quad (5)$$

де  $D_f$  – витрати повітря, яке надходить у сушарку;

$T_f$  – температура теплоносія (повітря);

$\varphi_f$  – відносна вологість повітря,

$T_b$  – температура поверхні випромінювача;

$\tau$  – відношення періоду випромінювання до періоду відлежування.

Залежність (5) визначається на підставі опитування експертів і є основою бази знань для нечіткого регулятора системи керування. В цілому регулювання процесу сушіння зводиться до підтримки в діапазоні заданих значень вологості, температури і витрати повітря та інших параметрів залежності (5). Основним завданням системи управління є підтримка економічності процесу сушіння, що позитивно відображається на витраті теплоносія, необхідного для забезпечення заданого вологовмісту об'єкту сушіння, а також на умовах забезпечення екологічних вимог до процесу сушіння.

**Мега статті.** Існуючі системи автоматизації процесів сушіння не забезпечують оперативного коригування технологічних параметрів процесу сушіння сировини без участі оператора, що призводить до втрати якісних показників висушеної сировини. Створення систем автоматичного керування процесами сушіння рослинної сировини, в яких стане можливим оперативна адаптація до умов протікання процесу дозволить отримати високі показники продуктивності процесу сушіння із забезпеченням якості отриманої продукції.

**Основні матеріали дослідження.** Традиційно, завдання оптимізації управління процесами сушіння рослинних матеріалів вирішують шляхом пошуку керуючих впливів за допомогою багатofакторної моделі, що зв'яже параметри сировини та управляючі впливи з показниками продуктивності процесу та питомих енерговитрат. При цьому, підвищення точності оптимального управління зводиться до задачі підвищення точності визначення коефіцієнтів моделі, що може бути забезпечено застосуванням адаптивного управління. Аналіз сучасних технологічних процесів сушіння рослинної сировини дозволив виявити цілий ряд факторів, що дозволяють віднести цю технологію до класу слабоформалізованих процесів: параметри, які можуть оцінюватися оператором візуально, якісно (нестабільність питомої маси сировини, нерівномірність подачі повітря, підгоряння); неможливість оперативного контролю показників якості в процесі сушіння; тривалість сушіння та теплова інерційність сушильного агрегату; можливі порушення режимів технологічного процесу, їх здатність приводити до значних матеріальних збитків.

Наявність різних сценаріїв протікання технологічного процесу, обумовлених вище переліченими чинниками, робить проблематичним використання загальної, допустимої за складністю, моделі, яка адекватно описувала б об'єкт управління і була придатна для цифрової системи управління. Безліч зазначених сценаріїв управління, необхідність застосування евристичних способів розпізнавання ситуацій у вигляді певного набору правил, експертних знань обумовлює застосування "м'яких" обчислювальних процедур [3], до яких відноситься і апарат нечіткої логіки. В основі проекту-

вання нечітких регуляторів лежить база знань із застосуванням методів представлення та пошуку знань. Для нечітких регуляторів характерний опис об'єкта управління і регулятора на більш якісному рівні [4]. Як правило, динаміка поведінки складних і слабо формалізованих систем описується за допомогою моделей "вхід-вихід" у вигляді таблиць лінгвістичних правил (ТЛП), що зв'язують керуючі впливи  $X$  і виходи об'єкта  $U$ :

$$U_{k+1}=F(X_k,U_k). \quad (6)$$

Моделювання процесу сушіння рослинної продукції з комбінованим терморадіаційно-конвективним періодичним впливом на матеріал розглянуто як задачу з двома вихідними параметрами –  $u_4$  («Якість») та  $u_3$  («Процес»). Вхідні параметри, що впливають на показники системи «Якість» (рис. 2):

- температура випромінювача ( $x_1$ );
- тривалість впливу на матеріал енергії ІЧ-випромінювання ( $x_2$ );
- час відлежування ( $x_3$ );
- температура повітря, що діє на матеріал під час відлежування ( $x_5$ ).

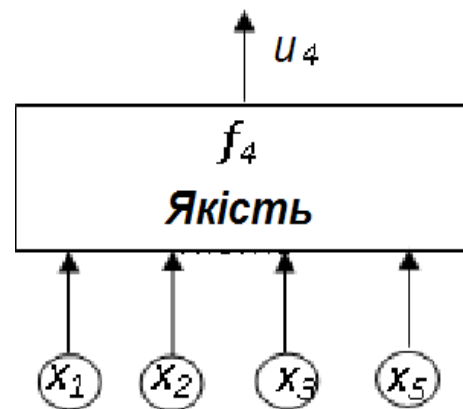


Рисунок 2 - Схема системи нечіткого висновку зміни якості продукту

Схема нечіткого висновку «Якість» моделює зміну якості матеріалу в процесі ІЧ-сушіння за виразом:

$$u_4 = f_4(x_1, x_2, x_3, x_5) \quad (7)$$

Змінні параметри, що впливають на продуктивність процесу ("Процес"):

- температура випромінювача ( $x_1$ );
- тривалість впливу на матеріал енергії ІЧ-випромінювання ( $x_2$ );
- час відлежування ( $x_3$ );
- швидкість потоку повітря всередині сушарки ( $x_4$ );
- температура потоку повітря, що подається на продукт ( $x_5$ );
- відстань між випромінювачем і поверхнею продукту ( $x_6$ );
- лінійний розмір частинок (на початку сушіння) ( $x_7$ ).

Ієрархічну схему системи нечіткого висновку бази знань «Процес» показано на рис. 3. З огляду на те, що проводиться моделювання процесу періодичної дії енергії ПЧ-випромінювання на матеріал, швидкість видалення вологи під час дії ПЧ-випромінювання і під час відлежування (впливу підігрітого повітря) розглянуто окремо і створено для цього дві бази знань – «Опромінення» та «Відлежування».

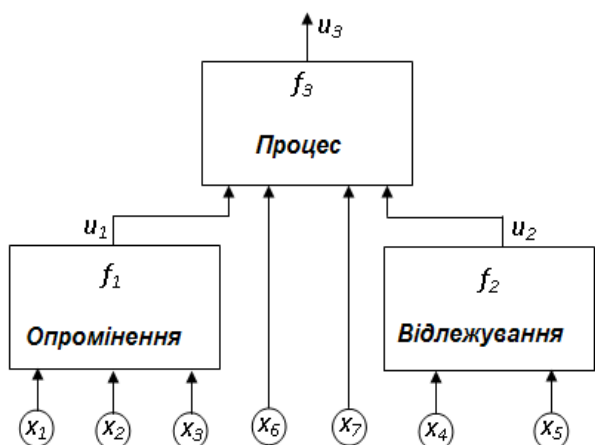


Рисунок 3 – Ієрархічна схема системи нечіткого висновку продуктивності процесу сушіння

Базу знань «Опромінення», що характеризує швидкість видалення вологи під час дії енергії ПЧ-випромінювання, представлено як:

$$u_1 = f_1(x_1, x_2, x_3). \quad (8)$$

Базу знань «Відлежування», що характеризує швидкість видалення вологи при дії повітря на матеріал під час відлежування, представлено як:

$$u_2 = f_2(x_4, x_5). \quad (9)$$

Базу знань «Процес», що характеризує швидкість сушіння в цілому, представлено як:

$$u_3 = f(u_1, u_2, x_6, x_7). \quad (10)$$

Вхідні впливи  $X$  надходять на об'єкт управління в результаті дефазифікації функції приналежності  $\mu(X)$  нечіткої множини, одержуваного на основі максиміальної композиції керуючого правила і вихідних сигналів об'єкта  $U$ . Вибір оптимального правила з ТЛП нечіткого регулятора здійснюється шляхом фазифікації вихідних сигналів  $U$  (отримання нечіткої множини з певною функцією належності) і порівняння посилки правил ТЛП з отриманими нечіткими множинами. Основні характеристики процесорів з апаратною підтримкою нечіткої логіки детально проаналізовані у [5]. У даній роботі пропонується використовувати співпроцесор з нечіткою логікою фірми SIEMENS, як найкращий за критерієм ефективність-вартість.

Застосування методів нечіткої логіки при формалізації процесів сушіння дозволяє представити інформацію про протікання технологічних процесів у єдиній

формі. Такий підхід дозволяє синтезувати інформацію про об'єкт проектування (статистичну, лінгвістичну, детерміновану, інтервальну) і визначити раціональні технологічні показники. Моделювання за принципами нечіткої логіки передбачає визначення лінгвістичних змінних моделі та їх терм-множин з метою виявлення зв'язків між параметрами, що регулюються.

**Висновки.** Запропонований підхід до побудови нечіткого регулятора для управління технологічним процесом сушіння рослинних матеріалів дає можливість вирішити задачу стабілізації якості продукції, що випускається, і підвищити продуктивність роботи технологічного обладнання із забезпеченням мінімальних енерговитрат.

#### Список використаних джерел

1. Гинзбург А. С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности / А. С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 407 с.
2. Максименко Ю. А. Моделирование и совершенствование теплообменных процессов при конвективной сушке растительного сырья в диспергированном состоянии / Ю. А. Максименко // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2013. – Сер. управление, вычисл. техн. информ., № 2, С. 19-24.
3. Нездвецька І. В. Використання методів нечіткого моделювання при проектуванні сушильного обладнання / І. В. Нездвецька, С. М. Кухарець // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 170, Ч. 1. – С. 376–383. – Серія: Техніка та енергетика АПК.
4. Анисимов Д.Н. Использование нечеткой логики в системах автоматического управления / Д. Н. Анисимов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 8. – С. 39-42.
5. Циделко В. Информационные технологии на базе нечеткой логики (Fuzzy logic) / Циделко В., Хандоняк В. // Электронные компоненты и системы. – 1999. – № 10 (26). – С. 29-34

#### Анотація

#### АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Нездвецькая И. В.

*Предложена система автоматизации технологического процесса сушки растительного сырья на основе нечеткого контроллера.*

#### Abstract

#### AUTOMATION OF THE PROCESS OF DRYING PLANT RAW MATERIALS

I. Nezdvetka

*The system of automation of the process of drying of plant raw material on the basis of a fuzzy logic controller is proposed.*