

І.В. Нездвєцька, асист.

С.М. Кухарець, доц.

Житомирський національний агроекологічний університет

С.С. Бучик, к.т.н., доц.

О.Л. Сидорчук, н.с.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Національного авіаційного університету

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ІЧ-СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*Описано принцип побудови математичної моделі сушильної установки імпульсної дії з ІЧ-енергопідведенням на основі математичного апарата нечіткої логіки. Отримано раціональні техніко-економічні параметри установки для сушіння сипких харчових продуктів зі змішаним конвективно-інфрачервоним енергопідведенням.*

**Постановка проблеми.** У процесі переробки продукції рослинництва провідне місце належить сушінню, ефективність якого значною мірою залежить від технологічних показників процесу та від конструктивних особливостей обладнання. Проте їхній комплексний вплив на швидкість сушіння та якість кінцевого продукту досліджено недостатньо.

**Мета досліджень.** Сучасні вимоги до сушильного обладнання призводять до необхідності врахування в процесах кількісних та якісних невизначеностей [1, 4, 10, 13]. Класичні методи математичного моделювання ефективні при повністю детермінованому об'єкті керування та детермінованому середовищі, а для систем з неповною інформацією і високою складністю об'єкта проектування оптимальними є методи нечіткої логіки [5, 11].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** 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 регульованими параметрами [5, 11].

Моделювання системи нечіткого висновку здійснюється за алгоритмом Мамдані [5, 11].

$$\mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}, \quad (1)$$

де  $\mu'(y)$  – результат активації функції належності вихідної нечіткої множини;  $c_i$  – ступінь істинності висновків кожного правила;  $\mu(y)$  – функція належності терму, який є значенням вихідної змінної на вихідній нечіткій множині  $Y$ .

Акумуляція для нечітких правил здійснюється за формулою [5]:

$$\mu_D(x) = \max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (\forall x \in M_x), \quad (2)$$

де  $\mu_D(x)$  – функція належності вихідної нечіткої множини  $D$ ;  $\mu_A(x), \mu_B(x)$  – функції належності вхідних нечітких множин  $A$  і  $B$ .

Дефазифікація вихідних лінгвістичних змінних визначається за методом центра тяжіння [5, 8] за формулою:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}, \quad (3)$$

де  $y$  – результат дефазифікації;  $\mu(x)$  – функція належності нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній після етапу акумуляції;  $\min$  і  $\max$  – ліва й права точки інтервалу носія нечіткої множини.

**Викладення основного матеріалу.** Моделювання процесу сушіння рослинної продукції з ІЧ-енергопідведенням представлено як задачу з двома вихідними параметрами –  $y_1$  «Якість» та  $y_2$  «Процес» (рис. 1, 2). При цьому вихідний параметр  $y_2$  «Процес» (рис. 2) характеризує швидкість видалення вологи із матеріалу і складається з двох складових –  $y_3$  «Опромінювання», що характеризує швидкість видалення вологи під час опромінювання та  $y_4$  «Відлежування», що характеризує швидкість видалення вологи під час відлежування.

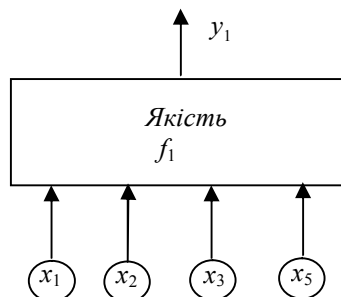


Рис. 1. Схема системи нечіткого висновку «Якість»

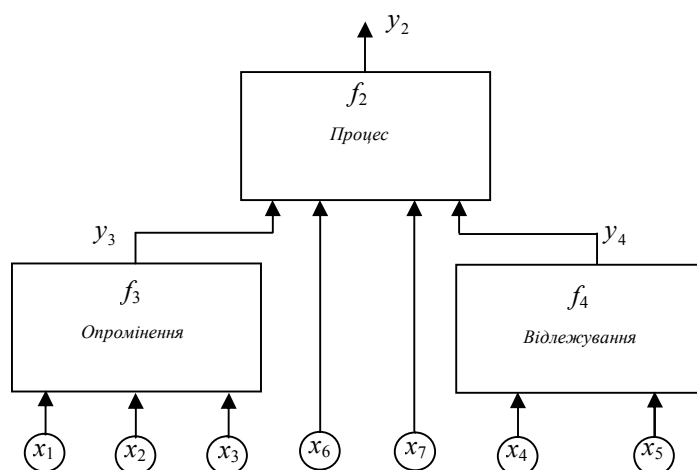


Рис. 2. Схема системи нечіткого висновку швидкості видалення вологи з харчових продуктів рослинного походження в процесі ПЧ-сушіння

Змінні параметри технологічного процесу, що впливають на якість кінцевого продукту [1–4, 6, 7, 14]:

- температура випромінювача ( $x_1$ );
- температура повітря, що діє на матеріал під час відлежування ( $x_5$ );
- час опромінення ( $x_2$ );
- час відлежування ( $x_3$ ).

Змінні параметри технологічного процесу, що впливають на швидкість видалення вологи [1–4, 6, 7, 14]:

- температура випромінювача ( $x_1$ );
- час ПЧ-опромінення ( $x_2$ );
- 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) ( $x_7$ ).

Формалізація термів здійснюється за допомогою функцій належності, що отримуються методами статистичних оцінок та методом парних порівнянь [1–4, 6–10, 12, 13, 14]. З огляду на дані терми отримуємо поверхні для бази знань «Опромінювання», що характеризують швидкість видалення вологи від технологічних параметрів процесу (рис. 3, 4).

З огляду на те, що технологічні параметри процесу сушіння суттєво впливають на якісні показники рослинних матеріалів харчового призначення [1, 3, 4, 14], було проведено формалізацію відповідних параметрів і отримано відповідні графічні залежності (рис. 5).

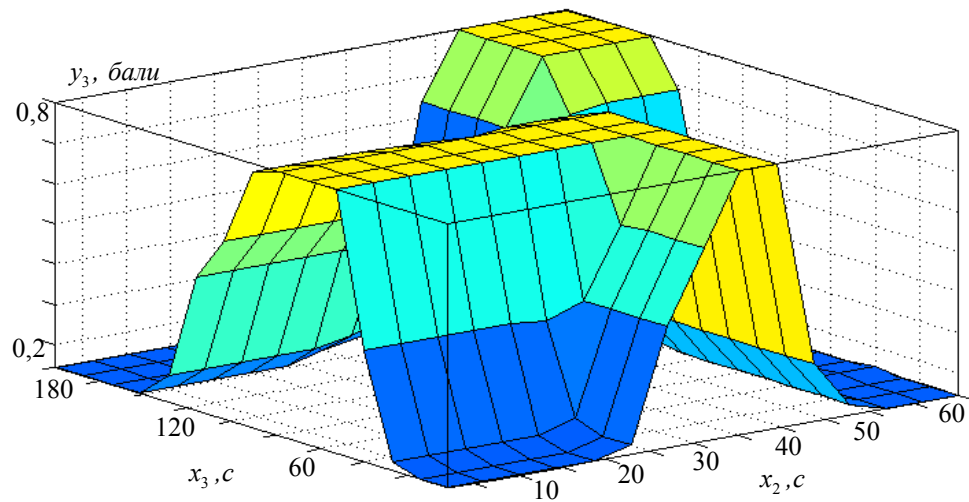


Рис. 3. Поверхня «Входи–вихід» для бази знань «Опроміювання» ( $y_3$ , бали) залежно від інтервалів часу опроміювання ( $x_2$ , с) та відлежування ( $x_3$ , с)

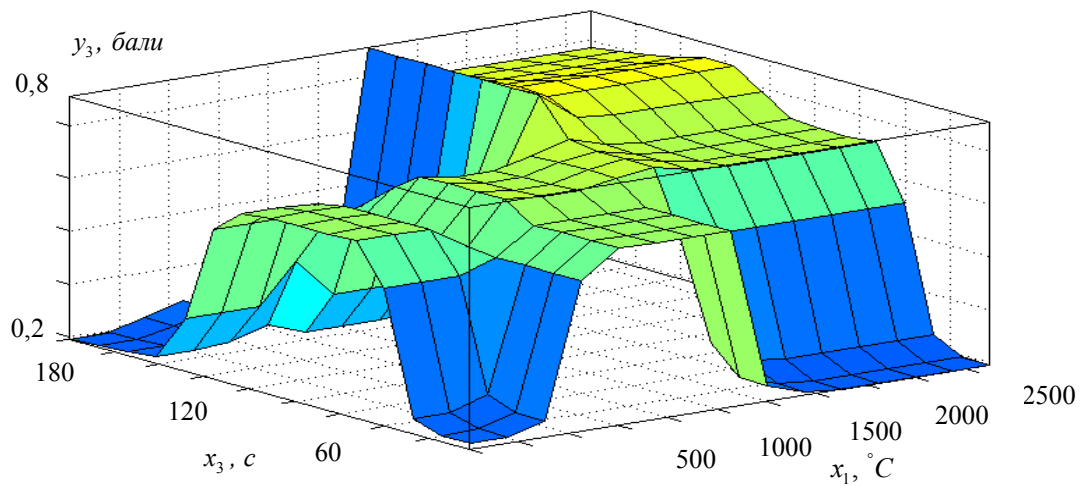


Рис. 4. Поверхня «Входи–вихід» для бази знань «Опроміювання» ( $y_3$ , бали) залежно від температури поверхні ІЧ-випромінювача ( $x_1$ ,  $^\circ C$ ) та інтервалу часу відлежування ( $x_3$ , с)

Застосування теорії нечітких множин для моделювання процесу сушіння дозволило формалізувати дану технічну систему і адекватно врахувати наявні невизначеності. В результаті розв'язання наведеної вище математично-логічної моделі, встановлені техніко-економічні параметри (табл. 1), які дозволяють одержати високу швидкість сушіння при забезпеченні високих якісних показників кінцевого продукту.

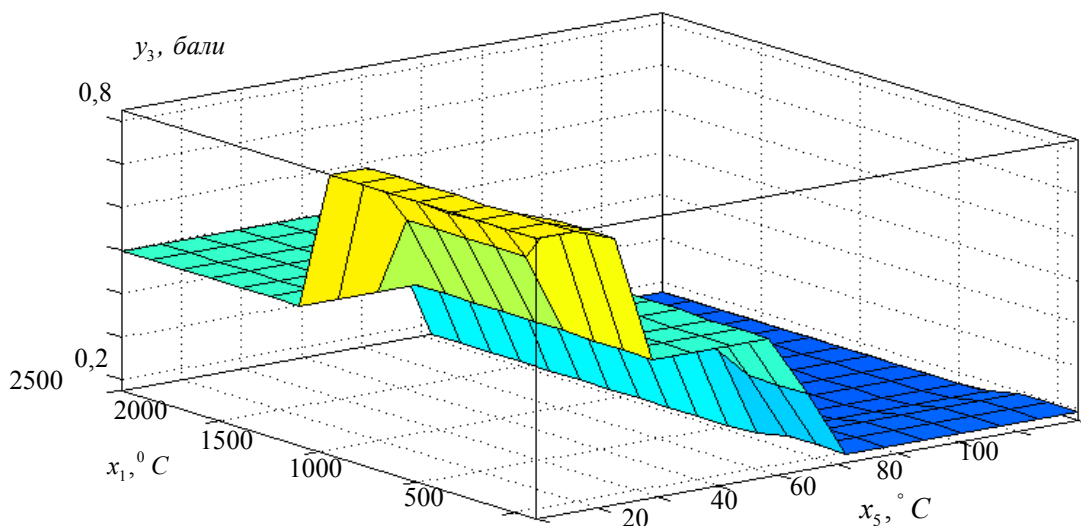


Рис. 5. Поверхня «Входи–вихід» для бази знань «Якість» ( $y_3$ , бала) залежно від температури поверхні ГЧ-випромінювача ( $x_1$ , °C) та температури повітря, що подається на матеріал при відлежуванні ( $x_5$ , °C)

Таблиця 1

№ з/п	Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Діапазон значень
1.	Температура випромінювача	$T_1$	°C	800...1300
2.	Тривалість опромінювання	$\tau_1$	с	20...60
3.	Тривалість відлежування	$\tau_2$	с	40...140
4.	Швидкість потоку повітря	$v$	м/с	0,2...0,8
5.	Температура повітря	$t_2$	°C	20...30
6.	Відстань між джерелом опромінювання і матеріалом	$h$	см	15...25
7.	Лінійний розмір частинок матеріалу	$S$	мм	10...15

**Висновок.** Аналіз запропонованої математичної моделі дозволив визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри сушильної установки терморадіаційно-конвективної дії. Отримані параметри (табл. 1) можуть забезпечити такі оцінки вихідних логічних змінних:

- швидкість видалення вологи 0,83 бала;
- якість матеріалу 0,85 бала.

#### Список використаної літератури:

1. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности / А.С. Гинзбург. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 407 с.
2. Сушеные овощи и фрукты / В.А. Воскобойников, В.Н. Гуляев, З.А. Кац и др. – М. : Пищевая пром-сть, 1980. – 189 с.
3. Гуляев В.Н. Технология пищевых концентратов / В.Н. Гуляев. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 207 с.
4. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами / П.Д. Лебедев. – М. : Госэнергоиздат, 1955. – 431 с.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
6. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 471 с.
7. Нахмедов Ф.Г. Технология кофепродуктов / Ф.Г. Нахмедов. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 180 с.

8. *Нездвецька І.В.* Оптимізація сушіння коренів цикорію / *І.В. Нездвецька, С.М. Кухарець, О.Д. Муляр* // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 1. – С. 319–325.
9. *Проничев С.А.* Влияние высоты подвеса ИК-излучателя на время сушки семенного зерна / *С.А. Проничев, С.П. Рудобаиша* // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ «Агроинженерия». – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. – Вып. 1. – С. 48–50.
10. *Сажин Б.С.* Основы техники сушки / *Б.С. Сажин*. – М. : Химия, 1984. – 320 с.
11. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / *С.Д. Штовба*. – М. : Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.
12. *Яценко А.А.* Цикорий корнеплодный / *А.А. Яценко, А.В. Корниенко, Т.П. Жужжалова*. – Воронеж : ВНИИСС, 2002. – 135 с.
13. Overview Infrared Heating in Food Processing / *K.Krishnamurthy, H.K. Khurana, S.Jun et al.* // COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY. – 2008. – Vol. 7. – Pp. 2–13.
14. A kinetic study of the loss of vitamin C, color and firmness during thermal processing of canned pease / *M.A. Rao et al.* // J. of Food Science. – 1981. – Vol. 46. – Pp. 636–637.

НЕЗДВЕЦЬКА Інна Володимирівна – асистент викладача кафедри вищої математики та загальнотехнічних дисциплін Житомирського Національного агроекологічного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання технологічних процесів.

КУХАРЕЦЬ Савелій Миколайович – доцент кафедри вищої математики та загальнотехнічних дисциплін Житомирського Національного агроекологічного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання технологічних процесів.

БУЧИК Сергій Степанович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри тактики та бойового забезпечення Житомирського військового інституту ім. С.П.Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– тактика та бойове забезпечення;

– моделювання технологічних процесів.

СИДОРЧУК Ольга Леонідівна – науковий співробітник науково-дослідної лабораторії наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П.Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– радіотехнічні антенні системи;

– моделювання технологічних процесів.

Стаття надійшла до редакції 20.01.2012

**Нездвецька І.В., Кухарець С.М., Бучик С.С., Сидорчук О.Л.** Формалізація параметрів ІЧ-сушильних установок імпульсної дії при моделюванні технологічних процесів

**Нездвleckая И.В., Кухарец С.М., Бучик С.С., Сидорчук О.Л.** Формализация параметров ик-сушильных установок импульсного действия при моделировании технологических процессов

**Nezdvecka I.V., Kukharec S.M., Buchik S.S., Sidorchuk O.L.** Formalization of parameters of infra-red dryings settings of impulsive action at modeling of technological processes

УДК 631.365:635.54

**Формализация параметров ик-сушильных установок импульсного действия при моделировании технологических процессов / И.В. Нездвleckая, С.М. Кухарец, С.С. Бучик, О.Л. Сидорчук**

Описан принцип построения математической модели сушильной установки импульсного воздействия с ИК-энергоподводом на основе математического аппарата нечёткой логики. Получены рациональные технико-экономические параметры установки для сушки сыпучих пищевых продуктов со смешанным конвективно-инфракрасным энергоподводом.

УДК 631.365:635.54

**Formalization of parameters of infra-red dryings settings of impulsive action at modeling of technological processes / I.V. Nezdvecka, S.M. Kukharec, S.S Buchik, O.L. Sidorchuk**

The described principle of construction of mathematical model of the drying setting of impulsive action is on infra-red serve of energy on the basis of mathematical methods of fuzzy logic. The rational technical and economic parameters of device for drying of friable food products with mixed convection and infra-red serve of energy. Drying, ICh-irradiation, quality, mathematical design, fuzzy logic.