

УДК 631.171:658.011.56

## МОНІТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРИ У ЗЕРНОСХОВИЩАХ НА ОСНОВІ НЕЙРОТЕХНОЛОГІЙ

Федорейко В.С., д.т.н.,

Луцик І.Б., аспірант\*,

*Тернопільський національний педагогічний університет ім. Вол. Гнатюка*

Тел. (0352) 43-57-77

**Анотація** – запропоновано метод моделювання системи моніторингу стану зернового насипу на основі нейротехнологій; проаналізовано основні фактори, що впливають на її енергоощадність.

**Ключові слова** – моніторинг, температура, зерносховище, нейронна мережа, нейротехнології.

*Постановка проблеми.* Сталий тренд підвищення цін на енергоносії та агросировину зумовлює необхідність перегляду технологій, які використовуються у агропромисловому комплексі в цілому та в галузі зернопереробки, зокрема.

Технологічним прийомом, що забезпечує суттєве зниження енергії в галузі зернозбереження є активне вентильовання, на базі якого розроблені технології, що широко застосовуються під час обробки основних об'ємів високоякісного зерна в аграрно розвинутих країнах (США, Канада, країни Скандинавії) [1]. Для знаходження оптимальних режимів вентильовання необхідно детальне вивчення процесу зберігання сировини і тих факторів, що є вирішальними в процесі визначення параметрів роботи системи, а саме: температури та вологості сировини, органолептичних показників якості (запаху, кольору), зараженості та впливу на них температури і вологості навколишнього середовища. Ефективним інструментом вирішення цієї проблеми є математичне моделювання комплексу процесів, що протікають у реальній системі, з подальшим дослідним опрацюванням рішень і схем.

Одним із вагомих показників стану зерна під час зберігання є температура. Правильно організований контроль цього параметру дозволяє вчасно знайти осередки самозігрівання зерна і попередити втрати його якісних характеристик [2,3].

Для якісного зберігання зерна необхідно забезпечити стабіліза-

---

© д.т.н., проф. Федорейко В.С., асп. Луцик І.Б.

\* Науковий керівник – д.т.н., проф. Федорейко В.С.

цію його термовологічних характеристик при мінімальних затратах енергетичних ресурсів.

Оптимальним рішенням зазначеного завдання є розробка автоматизованих систем моніторингу основних параметрів стану зерна (у першу чергу температури), які ґрунтуються на використанні математичного апарату нечіткої логіки та нейротехнологій [3,5]. Це забезпечить високу ефективність застосування зазначених систем в умовах інформаційної невизначеності.

*Аналіз останніх досліджень.* Питанням розробки систем моніторингу стану зернового насипу, відслідковування процесів самозігрівання у зерносховищах значну увагу приділено у працях А.В. Ликова, Г.Н. Станкевича, В.П. Ольшанського, А.Ю. Шаззо та інших авторів.

Аналіз опублікованих наукових робіт свідчить про те, що існуючі методики та моделі діагностування параметрів зерна під час зберігання не дають адекватної інформації про функціонування системи. Процеси, що відбуваються у насипі, характеризуються нелінійною поведінкою, для них характерним є виникнення нештатних ситуацій, їх складно описати математично. В свою чергу, нейронні мережі здатні формувати точну апроксимацію для складних недетермінованих нелінійних функцій будь-якої тривалості. Тому, у цих випадках доцільно використовувати експертні системи на основі нечіткої логіки з реалізацією їх на базі апаратних або програмно-алгоритмічних емуляційних нейронних мереж.

У той же час досліджень, пов'язаних з розробкою систем автоматизованого контролю технологічних параметрів, здатних працювати в умовах інформаційної невизначеності (наприклад у сховищах напольного типу), які базуються на використанні нейротехнологій проведено недостатньо.

*Формулювання мети статті.* Метою дослідження є розробка моделі системи моніторингу стану зернової маси у сховищі за умов недостатності вимірювальної інформації та різноманітні чинників, що впливають на результат вимірювання, на основі використання нейротехнологій.

*Основна частина.* Контроль параметрів стану зерна у насипі характеризується наявністю великої кількості непрогнозованих перешкод, інформаційною невизначеністю, яка зумовлена необхідністю обробки важкоформалізованих даних. Зерно, як будь-який живий організм, чутливе до зовнішніх впливів і з часом може не тільки змінювати свої параметри в допустимих межах, але й, внаслідок процесу дихання й самозігрівання, приводити до таких значень, які несумісні з його нормальним станом і небезпечні для навколишнього середовища та можуть спричинити втрату якості.

Процес самозігрівання, на початковій стадії свого розвитку, дос-

татньо тривалий, а в подальшому швидкість збільшення температури різко зростає. Такий характер розвитку процесу перешкоджає якісному діагностуванню стану зернової маси. Крім того, на якість моніторингу впливає неточність одержуваної інформації від датчиків (внаслідок шумів), обмеженість числа параметрів діагностування (контролюється виключно вологість і температура сировини) та недостатня кількість точок контролю.

Слід зауважити, що для різних культур одні й ті ж показники вологості та температури спричиняють різну ступінь розвитку процесів самозигрівання. У таблиці 1 наведено результати експериментальних досліджень щодо тривалості безпечного зберігання зерна [1].

Таблиця 1 - Тривалість безпечного зберігання зерна.

Культура	Температура зерна, °C	Без аерації			З аерацією		
		Вологість зерна			Вологість зерна		
Пшениця		14,50%	19,50%	23,00%	18,40%	19,60%	23,00%
	20	19	1,5	0,5	3	2	1
	15	30	3	1	6	1	–
	10	60	4,5	1,5	30	5	1,5
Ячмінь		14,00%	19,00%	23,00%	18,30%	19,40%	22,70%
	20	32	2,5	0,5	11	6	2
	15	65	4	1	25	11	3
	10	160	8,5	2	75	26	5,5
Овес		14,50%	19,50%	23,00%	18,40%	19,60%	23,00%
	20	15	2	0,5	5,5	2	1,5
	15	26	3,5	1	10	3	2
	10	55	6	1,5	35	4	2,5
Жито		14,50%	19,50%	23,00%	18,40%	19,60%	23,00%
	20	13	1,5	0,5	3	2	1
	15	16	2	1	6	2,5	1
	10	25	3	1	30	5	1,5

Аналіз наведених результатів свідчить, що при температурі 20°C та вологості 14% тривалість зберігання ячменю у два рази більша ніж жита (рис.1). Проте зростання вологості вже на 1 відсоток призводить до того, що час безпечного періоду зменшується для всіх видів зерна до одного рівня і вже потребує щотижневого контролю. Зростання ж температури від 15°C до 20°C при сталій вологості 14 % скорочує термін зберігання вдвічі.

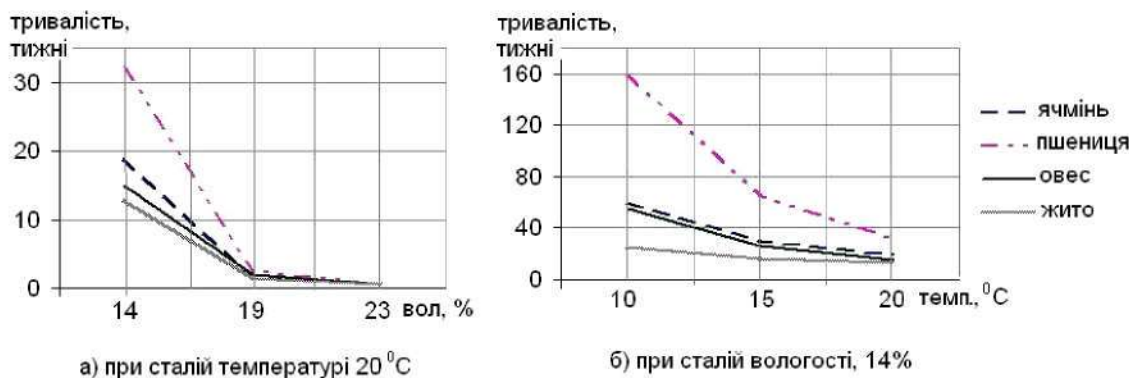


Рис. 1. Тривалість безпечного зберігання зерна.

Створити ефективну систему моніторингу стану зернової маси у сховищі за умов недостатності вимірювальної інформації та різноманітності чинників, що впливають на результат вимірювання, можна на основі використання неймережевого підходу [4].

Інтелектуальна система прогнозування повинна містити програмований логічний контроллер, робота якого базується на використанні навченої нейронної мережі, яка згідно введених показників початкової температури та вологості буде визначати необхідні параметри про стан зерна за поточний період часу (рис. 2).

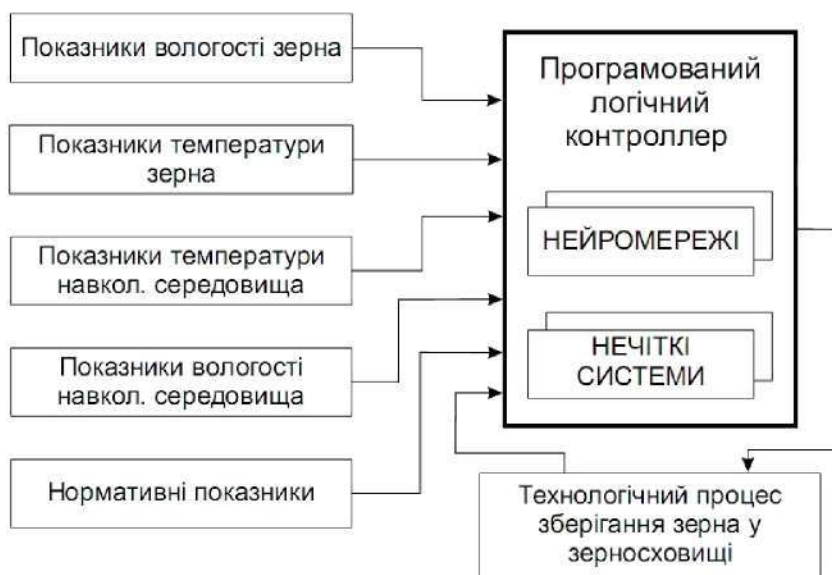


Рис. 2. Схема інтелектуальної системи моніторингу стану зернової маси.

Розроблений комплекс може бути не тільки системою прогнозування і прийняття рішення, але і використовуватися як вимірювальний пристрій, який буде відображати поточне значення температури зернової маси протягом усього процесу зберігання.

Модель контролера зручно створювати у середовищі MatLab з використанням блоків бібліотек Simulink та Fuzzy Logic Toolbox [6].

Синтез нейронної мережі здійснювався за таким алгоритмом [7]:

- визначення факторів, що змінюються та регульованих параметрів;
- компоновка векторів для навчання нейронної мережі;
- розробка М-файлу з текстом програм, які створюють, навчають та тестують нейронну мережу;
- аналіз архітектури створених нейронних мереж та їх функціонування.

Вектори для навчання нейронної мережі містять таку інформацію: вид зерна, вологість, засміченість, температура у контрольних точках, вологість та температура зовнішнього повітря.

Для отримання повної картини температурних полів, нами розглянуто задачу розповсюдження тепла у класичній постановці. Необхідно також відмітити, що для крупнозернистих матеріалів окремий розгляд процесів тепло- і вологообміну є правомірним. Тому, з незначною похибкою отриманих результатів, з метою спрощення процесу рішення, можна обмежитись розглядом варіанту передачі тепла лише шляхом теплопровідності [3].

У математичній інтерпретації ідентифікація температурного стану у зерновому насипі зводиться до вирішення нестационарної задачі теплопровідності з внутрішніми джерелами тепла. В такому випадку процес розподілу температури описується диференціальними рівняннями з частковими похідними другого порядку.

Аналізуючи температурний процес, ми розглядали різні форми ділянок самозігрівання. Найбільш поширеним випадком є пластове [6], тому в подальших дослідженнях розглянуто динаміку зміни температурних полів під дією пластового вогнища самозігрівання у глибині зернового насипу. Рівняння розподілу теплових полів матиме вигляд

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v(x, y), \quad (1)$$

де  $\rho, \lambda, c$  - густина, теплопровідність та питома теплоємність зерна;

$x, y$  - декартові координати;

$T$  - температура;

$q_v$  - тепловий потік;

$\tau$  - час.

З початковими умовами

$$T_{\tau=0} = T_0(x, y) \quad (2)$$

Розглянемо випадок, коли самозігрівання відбувається у глибині сховища. Тоді, внаслідок низької температуропровідності зерна, у точках, які значно віддалені від вогнища, на початковому етапі самозігрівання не встигає прогріти сировину. Отже, будемо вважати, що на межі області відбувається ідеальний теплообмін з навколишнім середовищем. Це дозволяє створити з таких точок умовну границю з нульовою надлишковою температурою. Тому граничні умови матимуть вигляд:

$$\left[ \mp \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha_{0x, lx} T \right]_{x=0, lx} = 0 \quad \left[ \mp \lambda \frac{\partial T}{\partial y} + \alpha_{0y, ly} T \right]_{y=0, ly} = 0, \quad (3)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі.

Традиційними для розв'язку даної задачі є аналітичні та чисельні методи, проте більш ефективними є алгоритми, які базуються на використанні нейронних мереж [5].

Отримані результати доповнюють вектор вхідних даних по температурі, що використовується при створенні нейромережі *net*, яка відтворює залежність тривалості безпечного зберігання зерна від його температури та відносної вологості  $d=f(t, w)$ . В даному випадку використовуються нейромережі з прямою передачею сигналу, які в середовищі Matlab створюються функцією *newff*.

Перед створенням нейромережі вибирається тип мережі, формується матриця вхідних даних та матриця цілей. Навчання мережі здійснюється функцією *train*, виклик якої має наступний вигляд [3]:

$$[net, tr, Y, E, Pf, Af] = train(net, vxid, voxid, Pi, Ai),$$

де *net* – створена нейронна мережа; *vxid* – матриця вхідних даних; *voxid* – матриця цільових даних; *Pi* – початкові затримки входів (не обов'язково), *Ai* – початкові затримки шарів (не обов'язково), *tr* – навчальна вибірка, *Y* – вихід нейромережі, *E* – помилки нейромережі, *Pf* – кінцеві затримки входів, *Af* – кінцеві затримки шарів.

Нейромережа містить один прихований шар із 15-ма нейронами. Функція активації для прихованого шару – *tansig*, для вихідного шару – *purelin*. Функція навчання – *trainbr*, функція корекції ваг – *learnngdm* :



```
net=newff(vxid, vyxid, 15, {'tansig', 'purelin'}, 'trainbr', 'learngdm');  
nett=train(net, vxid, vyxid);
```

Після створення та навчання мережі необхідно визначити її похибку та оцінити відтворену поверхню. Дослідження даних проводиться у відповідному вікні (рис. 3).

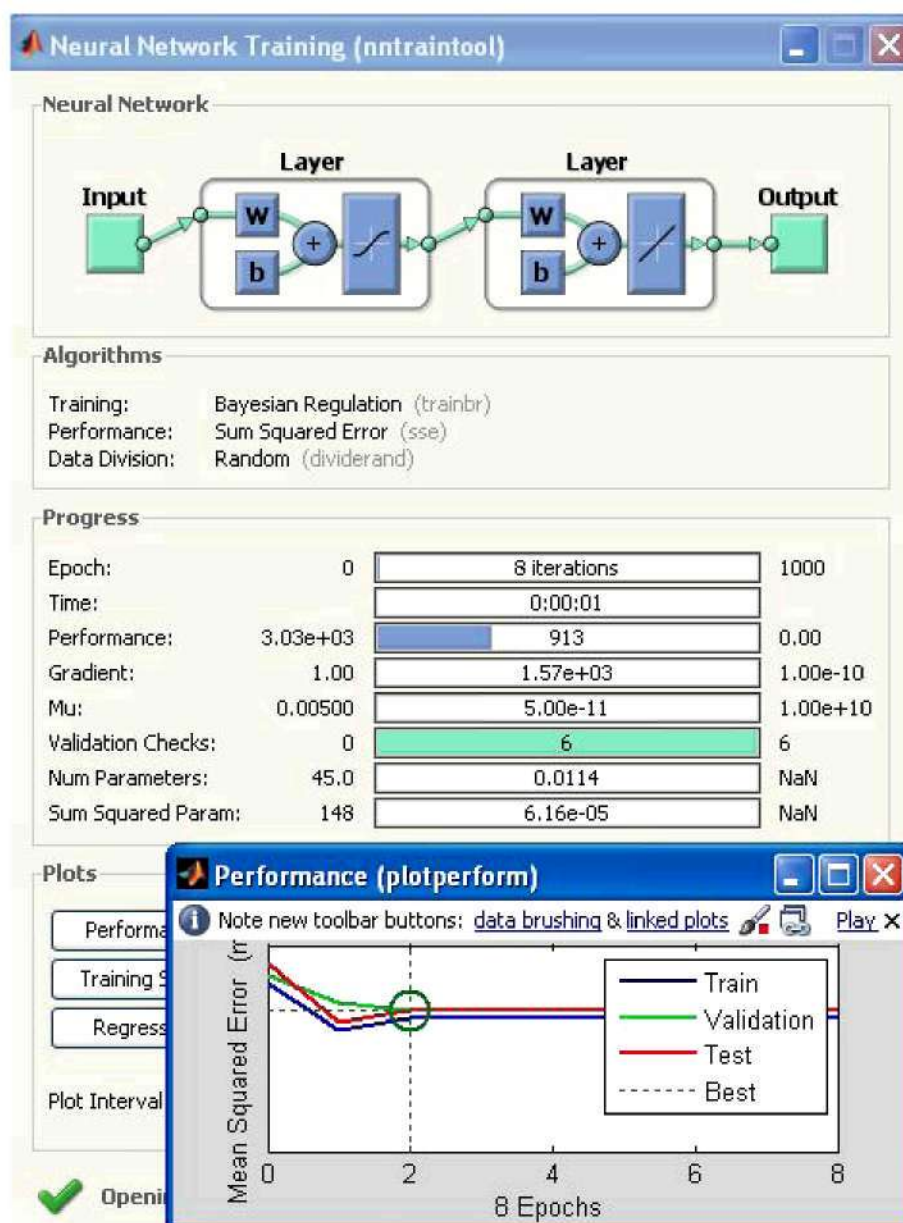


Рис. 3. Процес навчання нейронної мережі.

У якості похибки використовується середнє абсолютне відхилення відтворених даних від експериментальних.

За вище вказаним алгоритмом створена також нейронна мережа, яка на основі даних вхідних векторів визначає значення температури у всьому зерновому насипі. Аналогічно створено нейронну мережу, яка на основі цих даних визначає оптимальні параметри системи ак-

тивного вентилявання.

Крім того, для відтворення нелінійних залежностей тривалості безпечного зберігання зерна від його температури та інших параметрів використано нечіткі системи Sugeno.

Цілісність системи діагностики забезпечено нейроконтроллером, який поєднує нечіткі системи, нейромережі та дозволяє провести додаткові розрахунки. Його функціональність зводиться до вибору потрібної нечіткої системи, на основі діапазону вхідних параметрів, та її використання для отримання вихідних даних. Схему моделі контролера виконано з використанням блоків бібліотек Simulink та Fuzzy Logic Toolbox середовища MatLab.

*Висновки.* Зерносховище є складною екосистемою, яка практично виключає можливість аналітичних досліджень. Тому слід скористатися методом імітаційного моделювання, що дозволяє багатократне випробування моделі з варіативними вхідними даними, з метою визначення їх впливу на вихідні критерії оцінки роботи системи.

Оптимальним напрямом удосконалення методів діагностики є використання експертних систем та нейронних мереж, які базуються на нечіткій логіці. Це дозволяє значно спростити опис стану зернової маси, як об'єкту моніторингу та приймати рішення за умови інформаційної невизначеності.

Запропонована модель моніторингу дозволяє своєчасно отримати цілісну картину про поточний стан зерна не тільки у контрольних точках, але й в усьому зерносховищі. Це дозволить в подальшому провести оптимізацію роботи системи вентилявання, що в кінцевому результаті приведе до зниження енерговитрат шляхом оперативного управління електрообладнанням.

#### Література

1. Дринча В. Сушка зерна м вибор сушилок в господарствах Скандинавии / В.Дринча, Х. Лаури, Б. Цыдендоржиев // Аграрный эксперт. – 2009. т. август. – С.58–64.
2. Ольшанский В.П. К расчету температуры самонагревания растительного сырья в силосе пластовым очагом / В.П.Ольшанский // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – №6. – С. 34 – 36.
3. Сергунов В.С. Дистанционный контроль температуры зерна при хранении. / В.С. Сергунов // М.: Агропромиздат, 1987. – 174 с.
4. Корчемний М. Моделювання нелінійних процесів за допомогою нейронних мереж / М. Корчемний, В. Федорейко // Вісник ТДТУ. – 2009. – Том 14. – №1. – С. 100-119.
5. Медведев В.В. Нейронные сети MATLAB 6 / В.В.Медведев, В.Г.Потемкин. – М.: Диалог – МИФИ, 2002. – 496 с.
6. Луцук І.Б. Інтелектуальні моделі в системах відслідковування



процесів самозігрівання у зерносковищах : Матеріали VII міжн.конф. «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (MPZIS-2009) // Дн.: Дніпропетровськ. ДНУ ім. О.Гончара, 2009. – С.169-171.

7. Кожухов В.А. Нейросетевое регулирование температуры в теплице с аккумулятором тепла / В.А. Кожухов, А.Ф.Семенов, Н.В.Цугленок // Энергообеспечение и энерготехнологии. – Вестник КрасГАУ. – 2010. –С. 4.

## **МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗЕРНОХРАНИЛИЩЕ НА БАЗЕ НЕЙРОТЕХНОЛОГИЙ**

Федорейко В.С., Луцьк І.Б.

*Аннотация* - предложен метод моделирования системы мониторинга состояния зерновой насыпи на основе нейротехнологий; проанализированы основные факторы, влияющие на её энергосбережение.

## **TEMPERATURE MONITORING IN THE GRANARY BASED ON NEUROTECHNOLOGY**

V.Fedorejko, I.Lutsyk

### *Summary*

The method of grain's monitoring system's simulation based on the neural technologies is offered; the main factors that affect for energy savings of this system in the granary are analyzed.