

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗЕРНОВОГО НАСИПУ В ЗЕРНОСХОВИЩАХ

УДК 004.942:624.954

ГАВРИЛЕНКО Владислав Олександрович

магістр кафедри Технічної кібернетики Херсонського національного університету.

Наукові інтереси: АСУ ХПП, комп'ютерне моделювання теплоенергетичних процесів.

e-mail: icedragonua@mail.ru

РОЖКОВ Сергій Олександрович

доктор технічних наук, професор кафедри Технічної кібернетики Херсонського національного університету.

Наукові інтереси: автоматизація процесів керування складними технологічними комплексами та системами.

e-mail: rozhkov_ser@rambler.ru

РУДАКОВА Ганна Володимирівна

доктор технічних наук, професор кафедри Технічної кібернетики Херсонського національного університету.

Наукові інтереси: комп'ютерне моделювання складних комплексів та систем.

e-mail: rudik5a@rambler.ru

ВСТУП

Зерновий сектор економіки України є традиційно стратегічною, експортно-орієнтованою галуззю, який здатний забезпечити продовольчі потреби не тільки країни, а й за своїми потенційними обсягами виробництва впливає на світову продовольчу безпеку. Однак втрати зерна при несприятливих умовах зберігання за оцінками FAO (Продовольча і сільськогосподарська організація ООН) можуть досягати 30-50% [1].

В якості конструктивного елемента для зберігання зерна на хлібопереробних комплексах використовують спеціальні ємності – силоси. Основна проблема, яка обумовлює втрати якості зерномаси при зберіганні зерна в силосах, пов'язана з природним процесом самозігрівання насипу. Для своєчасного визначення середку самозігрівання в сховищі необхідно використовувати нові програмні та схемотехнічні рішення при проектуванні та реалізації систем управління процесом зберігання зернопродуктів [2].

У зв'язку з цим актуальним науко-технічним завданням є розробка сучасних методів на основі оптимальних

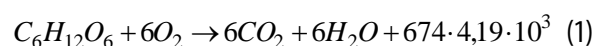
математичних моделей та нових технічних засобів для систем управління процесом зберігання зернопродуктів, які дозволяють покращити ефективність систем зберігання за рахунок збереження якості сировини.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

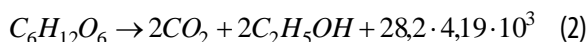
Основними показниками ефективного управління зберігання зерна є вміст кисню в повітрі міжзернового простору, вологість і температура зернового насипу. При зберіганні зерна відбуваються фізіологічні процеси: дихання, післязбиральне дозрівання зерна, проростання та ін. [3]. В результаті дихання зернової маси відбувається процес перетворення і розпаду органічних речовин, який супроводжується утворенням вуглеводів, виділенням енергії, що є притаманним біологічним організмам в процесі життєдіяльності.

Розрізняють аеробне і анаеробне дихання зернової маси [2].

Аеробне дихання відбувається при вільному доступі кисню і описується рівнянням [Дж]:



Анаеробне дихання відбувається при повній відсутності кисню і може бути виражене рівнянням:



Як видно з рівнянь (1), (2), в обох випадках при диханні виділяється енергія, що призводить до зміни температури зернової маси і виділенню діоксиду вуглецю та води.

Відзначено, що при вологості зерна 10...11% інтенсивність його дихання настільки незначна, що достатньо того кисню, який міститься в міжзерновому просторі, оболонках і складі самих зернівок. При вологості 14,8% і температурі повітря 3°C кисню вистачає на 300 діб, а при температурі 13 °C – всього на 133 діб [3]. При більш підвищеній вологості процес дихання посилюється, ще більш інтенсивно споживається кисень та псується зерно.

У [2] наведено данні про процес утворення вуглекислого газу (CO_2) в залежності від значень температури (θ) і вологості (ω) зернового насипу пшениці (рис. 1).

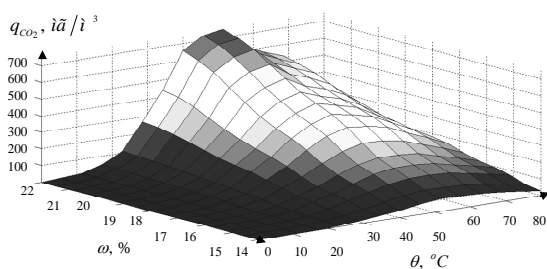


Рис. 1. Залежність вмісту CO_2 у зерновому насипу пшениці

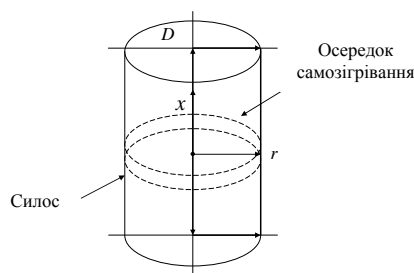
Як видно з рис. 1, при підвищенні вологості зерна інтенсивність дихання зростає. У зв'язку зі складністю виявлення вологості зернового продукту у силосі слід контролювати стан зернової маси на основі вимірювань температурного поля і вмісту вуглекислого газу у сховищі. Отже, при зміні параметрів температури і інтенсивності дихання зерна можна судити про можливі втрати якості при його зберіганні [1-3].

ПОСТАНОВКА ЧАСТИНА

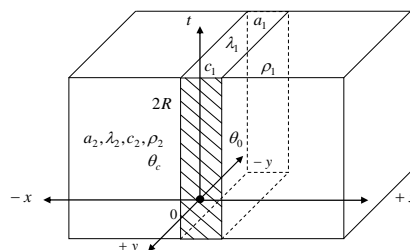
Метою досліджень є розробка математичної моделі зернового насипу як об'єкту контролю за температурними показниками та показниками інтенсивності дихання для виявлення вологості зерномаси у сховищі та втрат частки продукту при зберіганні, що втрачає якість.

ОСНОВНА ЗАДАЧА

При аналітичному розгляді теплового режиму насипу, що гріється в силосі достатньо прийняти вид осередка самозігрівання правильної геометричної форми у вигляді горизонтального пласта (рис. 2) [4].



а) осередок самозігрівання в силосі



б) форма осередка самозігрівання

Рис. 2. Схема зернового насипу з осередком самозігрівання у формі пласта

Зміна температури в довільний момент часу в будь-якій точці пласта, що гріє, товщиною $2R$ і зернового масиву, що оточує його, описується диференціальним рівнянням теплопровідності:

– для пласта, що гріє,

$$\rho_1 \cdot c_1 \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_1 \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \right) + q_e; \quad (3)$$

– для навколишнього зернового масиву

$$\rho_2 \cdot c_2 \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_2 \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial x} \right) + q_i, \quad (4)$$

де τ – тривалість процесу, год; x – відстань від середньої площини грієв пласта, м; ρ_1, ρ_2 – щільності зернових шарів, kg/m^3 ; c_1, c_2 – питома теплоємність зернових шарів, Дж/(кг·К); λ_1, λ_2 – коефіцієнт теплопровідності зернових шарів, Вт/(м·К); θ_1, θ_2 – температура в розглянутій точці зернових шарів, °C; q_e, q_i – інтен-

сивність тепловиділення зернового пласта, що гріється і зернового масиву відповідно, Вт/м³.

Прийнявши спрощуючі передумови: температура пласта, що гріє, в початковий момент часу однакова по всьому об'єму і дорівнює $f_1(x,0) = \theta_0$, а в навколишньому пласті зернового масиву дорівнює $f_2(x,0) = \theta_n$; теплова взаємодія між осередком самозігрівання і оточуючим масивом відбувається за законом теплопровідності; інтенсивність тепловиділення пласта q_e і навколишнього масиву q_f постійна в часі. Теплофізичні характеристики зерна в пласті і масиві прийняті постійними, але в загальному випадку можуть бути різними для пласта і масиву.

При розв'язанні рівнянь (3), (4) методом інтегральних перетворень Лапласа [5] отримується математична модель передачі тепла від осередків самозігрівання в дисперсній системі з розподіленими параметрами у вигляді системи трьох трансцендентних рівнянь:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_i \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{0.5}{\sqrt{Fo_x}}\right), \quad (5)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial x} = \frac{\Delta\theta_i}{x\sqrt{\pi \cdot Fo_x}} \cdot \exp\left(-\frac{0.25}{Fo_x}\right), \quad (6)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial \tau} = \frac{0.5\Delta\theta_i}{\tau \cdot \sqrt{\pi \cdot Fo_x}} \cdot \exp\left(-\frac{0.25}{Fo_x}\right), \quad (7)$$

де $\Delta\theta_i = \theta_i - \theta_0$ – різниця температур джерела теплоти і початкового насипу; $Fo_x = a \cdot \tau / x^2$ – критерій Фур'є; $\partial\theta/\partial x$ – зміна градієнта температури в насипу на відстані від джерела теплоти; $\partial\theta/\partial \tau$ – швидкість підвищення температури поля; $\operatorname{erfc}(\psi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\psi}^{\infty} e^{-\psi^2} \cdot d\psi$ – додаткова функція помилок Гауса.

На рис. 3 представлені поверхні залежностей градієнтів температури за простором та часом при $\Delta\theta_i = 50$ °C, які було отримано за рівняннями (6), (7). При збільшенні відстані від джерела тепла підвищення температури різко знижується. Величина температурного поля змінюється монотонно як у часі, так і в залежності від відстані. Так, на відстані 0,2 м температура підвищується на 1°C через 10 годин, а на відстані 1,0 м – через 215 годин.

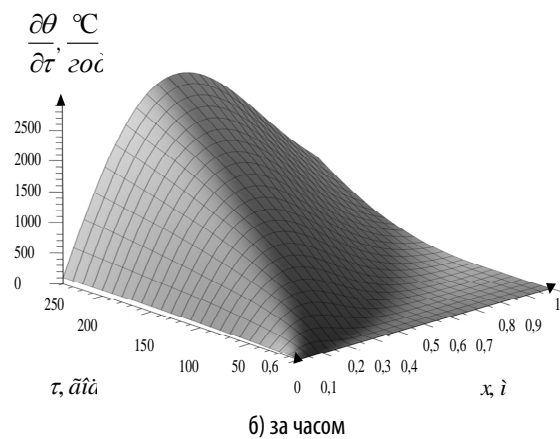
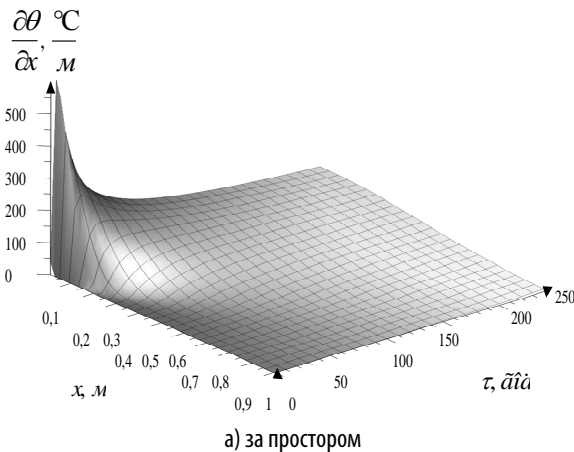


Рис. 3. Залежності градієнтів температури

Для підвищення ефективності системи контролю процесу зберігання зерна доцільно враховувати тип культури, коефіцієнти теплопровідності, питому теплоємність, вологість, щільність зерна, а також наявність умов розвитку старіння і ступінню зараження зерномаси. Контроль умов зберігання зернопродукту повинен здійснюватися з урахуванням динаміки температурного поля в кожній

точці зернового масиву в залежності від об'єму, вологості, виділення діоксиду вуглецю і стану зовнішнього середовища. Оцінювати рівень втрат якості сировини у часі з урахуванням наявних умов зберігання можливо завдяки моделюванню даної системи з використанням методів, що засновані на нечіткій логіці. Для побудови імітаційних

моделей стану зернового насипу були застосовані механізми нечіткого виводу Сугено та Мамдані [6].

Вхідні лінгвістичні терм-множини для моделі зміни температури зерна при виникненні осередку самозігрівання (МЗТЗ) задаються, як:

$T1 \in [0, 1]$ – «нормована відстань осередку самозігрівання від центру пласта», x ум.од.

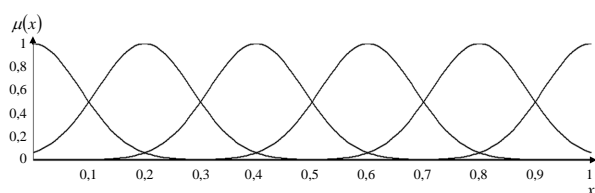
$T1 = \{“0”, “0.2”, “0.4”, “0.6”, “0.8”, “1.0”\}$.

$T2 \in [0, 240]$ – «час поширення осередку самозігрівання», τ год.

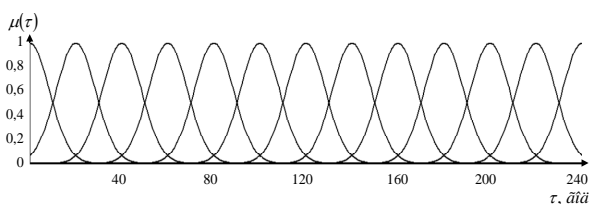
$T2 = \{“0”, “20”, “40”, “60”, “80”, “100”, “120”, “140”, “160”, “180”, “200”, “220”, “240”\}$.

Вихідну лінгвістичну терм-множину задаємо наступним чином: $T3$ – «вихідна температура зернової маси», °С. Вона одержується за набором з 78 правил.

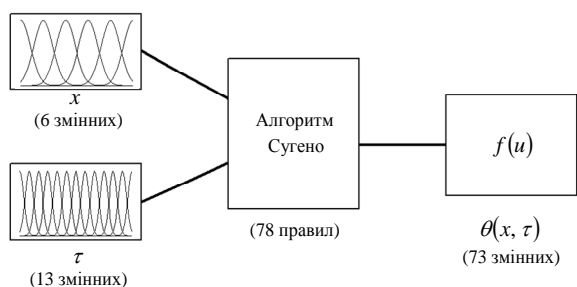
Функції приналежності для вхідних терм-множин, структура бази знань та поверхня рішення для моделі зміни температури зерна при виникненні осередку самозігрівання наведено на рис. 4.



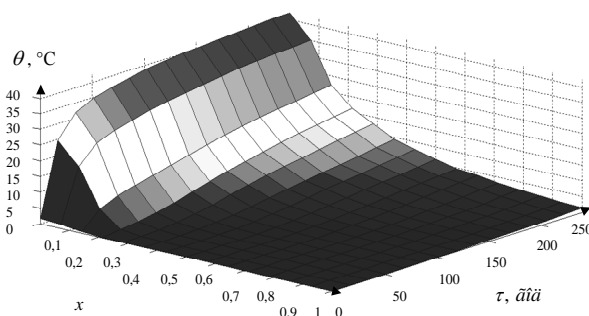
а) T1



б) T2



в) структура бази знань для МЗТЗ



г) поверхня рішення для T3

Рис. 4 Модель зміни температури зерна при виникненні осередку самозігрівання

Вхідні лінгвістичні терм-множини для моделі зміни вологості зерна (МЗВЗ) задаються, як:

$T4 \in [0, 80]$ – «температура зернової маси», θ °С.

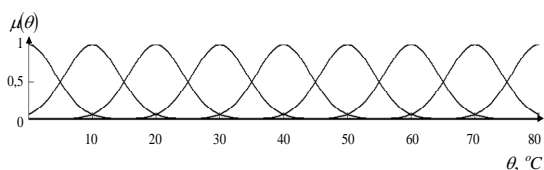
$T4 = \{“0”, “10”, “20”, “30”, “40”, “50”, “60”, “70”, “80”\}$.

$T5 \in [0, 800]$ – «інтенсивність дихання зернової маси», q_{CO_2} мг/м³.

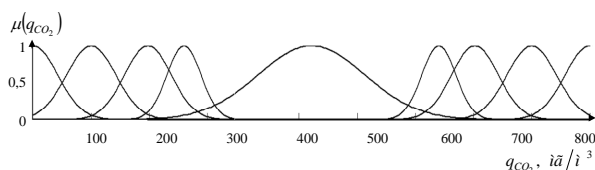
$T5 = \{“0”, “100”, “180”, “240”, “400”, “580”, “640”, “720”, “800”\}$.

Вихідна лінгвістична терм-множина задається наступним чином: $T6$ – «вологість зернової маси», ω %. Вона одержуються за набором з 36 правил.

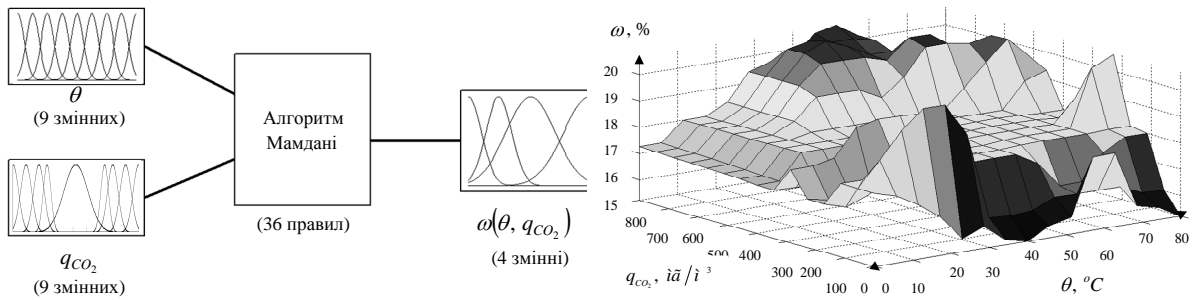
Функції приналежності для вхідних терм-множин, структура бази знань та поверхня рішення для моделі зміни вологості зерна наведено на рис.5.



а) T4



б) T5



в) структура бази знань для МЗВЗ

г) поверхня рішення для Т6

Рис. 5 Модель зміни вологості зерна

Вхідні лінгвістичні терм-множини для моделі втрат якості зерна (МВЯЗ) задаються, як:

T7 ∈ [10, 30] – «температура зернової маси для визначення втрат», θ °C.

T7 = {"10", "20", "30"}.

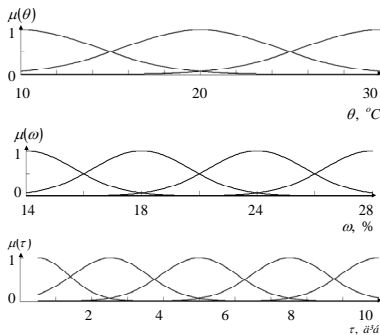
T8 ∈ [14, 28] – «вологість зернової маси», ω %.

T8 = {"14", "18", "24", "28"}.

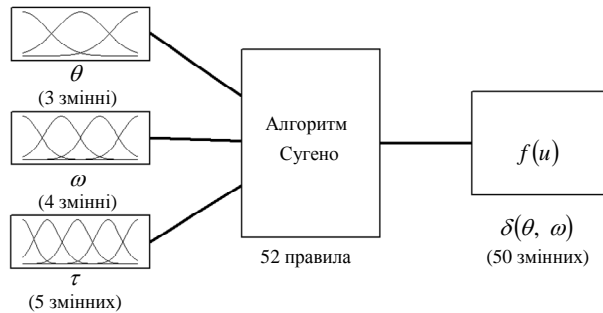
T9 ∈ [0, 10] – «час поширення втрат якості зерна», τ діб.

T9 = {"0", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10"}.

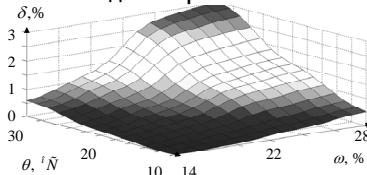
Вихідна лінгвістична терм-множина задається наступним чином: T10 – «втрата якості зернової маси», δ %. Вона одержується за алгоритмом Сугено та за набором з 52 правил. Функції приналежності для вхідних терм-множин, структура бази знань та поверхні рішення наведено на рис 6.



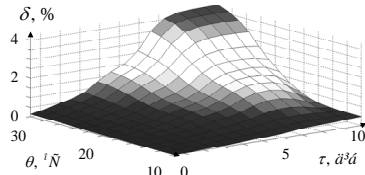
а) Функції приналежності для вхідних терм-множин



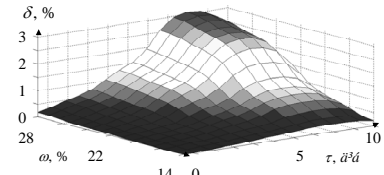
б) структура бази знань для МЗЯЗ



б) Поверхня рішення $\delta(\theta, \omega, \tau = const)$



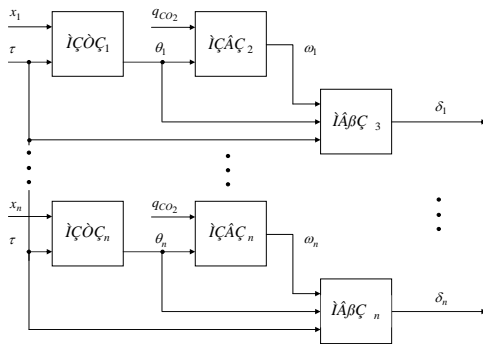
в) Поверхня рішення $\delta(\theta, \omega = const, \tau)$



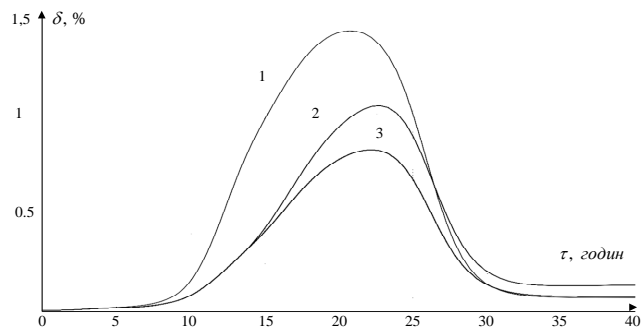
г) Поверхня рішення $\delta(\theta = const, \omega, \tau)$

Рис. 6 Модель втрат якості зерна

Багатошарову структурну схему моделі втрати зерна при зберіганні в сховищі та результати моделювання в середовищі Matlab наведено на рис.7.



а) структурна схема моделі втрат якості зерномаси



б) результати моделювання втрат якості зерномаси:
1 – при $\theta = 30^\circ\text{C}$, $\omega = 23\%$; 2 – при $\theta = 20^\circ\text{C}$, $\omega = 19\%$;
3 – при $\theta = 25^\circ\text{C}$, $\omega = 15\%$.

Рис.7 Результати моделювання процесу зберігання зерна

На підставі отриманих результатів моделювання (рис. 7б) можна судити про швидкість зміни якості зерна у часі при різних умовах зберігання. Інтенсивність втрат якості зерна значно збільшується при знаходженні насипу в сховищі на інтервалі часу з 10 години по 30 годину при будь-яких сполученнях значень температури зерномаси та її вологості. Це обумовлює необхідність обов'язкового контролю стану зернового насипу у силосах в першу добу після завантаження.

ВИСНОВКИ

Моделювання втрат якості зерна за наведеним способом при різних умовах зберігання дозволяє оцінити поточний та прогнозувати майбутній стан зерномаси у сховищі у будь-якій точці об'єму. На основі прогнозу якості зернового насипу можна здійснювати синтез керування процесом зберігання у зерносховищах з метою зменшення втрат продукту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. FAO Statistical Yearbook 2014 Europe and Central Asia Food and Agriculture [Електронний ресурс] / Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Europe and Central Asia // Budapest – 2014. – Режим доступу до журн. : [http://www.fao.org/3/a-i3621e.pdf]
2. Polivoda V.V. Dinamicheskie svoystva zernovoy' massy' kak ob'ekta upravleniya v protsesse khraneniya. Intelektual'ni sistemi priynyattya rishen' ta prikladni aspekti informatsiyних tekhnologiy (ISDMIT'2005): mizhnarodna naukova konferentsiya, Yevpatoriya, 18-21 may 2005. : materialy konf. – Kherson, 2005. – Vol. 3. – pp. 117-120.
3. Sergunov V.S. Distanctionny'j kontroly temperatury' zerna pri khraneni. Moscow, Agropromizdat, 1987, 174 p.
4. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. Analiz i sintez khimiko–tekhnologicheskikh sistem. Moscow, Khimiya, 1991, 431 p.
5. Kozdoba L.A. Metody' resheniya nelineyny'kh zadach teploprovodnosti. Moscow, Nauka, 1975, 224 p.
6. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB. Moscow, Goryachaya liniya, Telekom, 2007, 288 p. [http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/12.php].