

Т.Ф. Шмельова, доц., канд. техн. наук

Державна льотна академія України

М.О.Калита, ас., І.О.Скриннік, ас., В.О.Шалімов, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Оцінювання висоти дисперсного матеріалу при неповних вимірюваннях вихідних сигналів зерносушильної установки (ЗСУ) з киплячим шаром

В статті вперше запропоновано методику визначення оцінки зміни висоти киплячого шару дисперсного матеріалу непрямым способом безпосередньо в камері сушіння та проаналізовано вплив співвідношень вихідних сигналів та завади системи вимірювання.

киплячий шар, спостерігач, система спостереження, матриця спектральних щільностей, дисперсія, середньоквадратичне відхилення

Вступ. Одним з перспективних напрямків сушки зернових культур є сушіння в киплячому шарі. Переваги такого методу наведені в [1]. Установа, в основу якої покладено принцип псевдозрідженого стану, зображена на рис 1. Вологий матеріал з бункера завантажування потрапляє безпосередньо в камеру сушіння. Під дією теплоносія, що подається знизу каскадів, дисперсний матеріал спочатку розрихлюється, збільшуючись в об'ємі, а потім набуває рухливості, переміщуючись з каскаду на каскад. Проведені

© Т.Ф. Шмельова, М.О.Калита, І.О.Скриннік, В.О.Шалімов, 2010

дослідження неодноразово підтверджували необхідність створення автоматичної системи стабілізації висоти киплячого шару, що являє собою значну складність, адже в ході експериментів було з'ясовано – ЗСУ відноситься до класу складних взаємопов'язаних динамічних систем з розподіленими параметрами.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд експериментальної ЗСУ з киплячим шаром

Аналіз літературних джерел показав, що для розробки такої САУ, яка б забезпечувала найкращу якість стабілізації висоти киплячого шару в реальних експлуатаційних умовах,

необхідно застосовувати методи динамічного проектування оптимальних систем. Вихідними даними для таких методів є математичні моделі об'єкта керування і збурюючих діянь. Якщо на сьогодні засоби вимірювання вологості в потоці відомі і широко застосовуються на фермерських господарствах, то вимірювання висоти киплячого шару виконується, зазвичай, непрямими методами. Тому постає питання: як синтезувати САУ при неповних вимірюваннях вихідних сигналів об'єкта? Відомий клас подібних об'єктів [2], в яких оцінювання динаміки зміни вихідних координат відбувається при неповних вимірюваннях за рахунок визначеної певним чином системи спостереження.

Постановка задачі. Нехай динаміка зерносушильної установки з киплячим шаром описується системою диференційних рівнянь виду:

$$P \cdot x = M \cdot u + \psi, \quad (1)$$

де x – вектор вихідних координат ЗСУ, компоненти якого V – висота киплячого шару на каскадах та W – вологість матеріалу;

u – вектор управляючих сигналів, компоненти якого Sh – зміна положення шибера та T – зміна температури теплоносія;

P і M – поліноміальні матриці з наступною структурою:

$$P_i = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{(s+w_2)} & \frac{a_{21}}{(s+p_2)} \\ \frac{a_{12}}{(s+w_2)} & \frac{a_{22}}{(s+p_2)} \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$M_i = \begin{bmatrix} k_1(s+w_1)e^{-s\tau_{shv}(\Delta)} + k_2(s-\varphi)e^{-s\tau_{shw}} & m_{12}(s+\varphi)e^{-s\tau_{tw}} \\ m_{21}(s+w_1)e^{-s\tau_{shv}(\Delta)} + k_2(s-\varphi)e^{-s\tau_{shw}} & m_{22}(s+\varphi)e^{-s\tau_{tw}} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де τ_{shv} , τ_{shw} , τ_{tw} – запізнення по каналу $Sh-V$, $Sh-w$, $T-w$ відповідно;

Δ – характеризує місцезнаходження каскаду, i – номер каскаду.

ψ – двомірний вектор збурень (початкові вологість і температура матеріалу, його енергія проростання, відсоток домішок), що безпосередньо впливають на вихідні сигнали ЗСУ та їх спектральна щільність виду:

$$S'_{\psi\psi} = \frac{\sigma_{11}^2}{\pi} \begin{bmatrix} S_{11}^0 & \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}} \alpha S_{12}^0 \\ \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}} \alpha S_{21}^0 & \frac{\sigma_{22}^2}{\sigma_{11}^2} S_{22}^0 \end{bmatrix} = \frac{\sigma_{11}^2}{\pi} \begin{bmatrix} S_{11}^0 & \gamma_1 \alpha S_{12}^0 \\ \gamma_1 \alpha S_{21}^0 & \gamma_1^2 S_{22}^0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $\gamma_1 = \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}}$ – характеризує співвідношення середньоквадратичного відхилення

сигналів вологості та висоти киплячого шару в об'єкті відповідно,

$$S_{11}^0 = \frac{b_{11} |(s+\beta_1)(s+\beta_2)(s+\beta_3)|^2}{z_1 z_2}, \quad S_{22}^0 = \frac{b_{22} |s^2 - 2d_1 \varphi s + \varphi^2|^2}{z_1};$$

$$S_{12}^0 = \frac{b_{12} (s+k_1)(s-k_2)(s^2 - 2d_3 k_3 s + k_3^2)(s^2 - 2d_4 k_4 s + k_4^2)}{z_1 z_2};$$

$$S_{21}^0 = \frac{b_{12}(s-k_1)(s+k_2)(s^2+2d_3k_3s+k_3^2)(s^2+2d_4k_4s+k_4^2)}{z_1z_2};$$

$$z_1 = |(s^2+0.108s+0.0081)|^2 \text{ i } z_2 = |(s+0.05)|^2.$$

Будемо вважати, що одним з доступних для вимірювання вихідних сигналів ЗСУ є лише кінцева вологість **W** матеріалу, а його висота **V** по кожному з каскадів не може бути виміряна безпосередньо.

Припустимо, що в якості вимірювача вологості обрано діелькометричний датчик з відомими паспортними даними [3], згідно яких його передаточна функція має наступний вигляд:

$$K_W = \frac{0.5}{(8s+1)}, \quad (5)$$

тоді сама система вимірювання описуватиметься матрицею передаточних функцій виду:

$$K = \begin{bmatrix} 0 & K_W \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де перший елемент дорівнює нулю, адже вимірювання висоти не виконується.

Спектральну щільність $S_{\varphi\varphi}$ завади φ , що виникає на виході вологоміру-датчика, виразимо так:

$$S_{\varphi\varphi} = \frac{1.5^2}{3\pi} = \left(\frac{\sigma_{11}^2}{\pi}\right)^{-1} S_{\varphi\varphi 1} = \gamma_2 S_{\varphi\varphi}^0, \quad (7)$$

де $\left(\frac{\sigma_{11}^2}{\pi}\right)$ – загальний коефіцієнт нормування матриці $S'_{\psi\psi}$;

$\gamma_2 = \frac{\sigma_{\varphi}^2}{\sigma_{11}^2}$ – коефіцієнт, що характеризує співвідношення дисперсій завади датчика

вологості та вихідного сигналу ЗСУ – висоти киплячого шару.

Складемо структурну схему розімкненої системи автоматичного регулювання процесом сушіння в зерносушарці з киплячим шаром (рис 2).

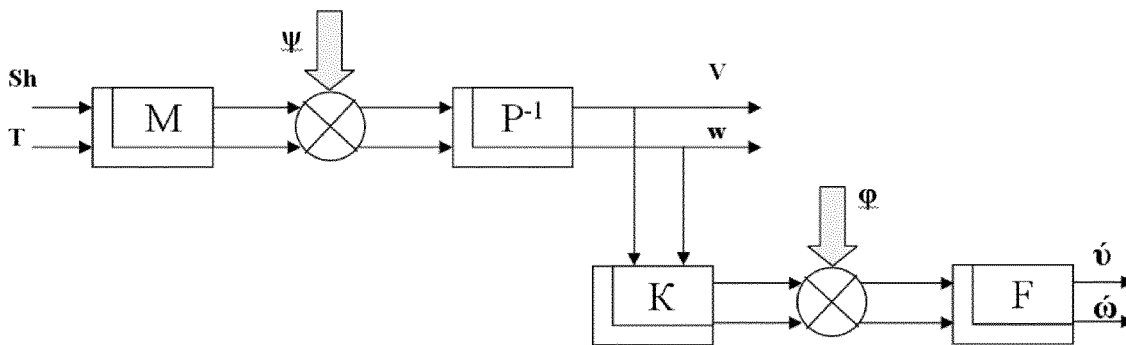


Рисунок 2 – Структурна схема системи оцінювання динаміки об'єкта при неповному вимірюванні вихідних сигналів

Задача. Тоді потрібно визначити структуру і параметри спостерігача F такого, який би, вимірюючи лише вологість w на виході об'єкта (рис 2), давав би оцінку висоти киплячого шару h та вологості ω по кожному каскаду з мінімальною середньоквадратичною похибкою. А також проаналізувати та дослідити вплив зміни співвідношення завада-вихідний сигнал, що характеризується коефіцієнтом γ_2 , та співвідношення вихідних сигналів (γ_1) на якість оцінювання системою спостереження.

Розв'язання. Для розв'язання поставленої задачі застосуємо метод оцінювання, наведений в [7].

Згідно нього матриця передаточних функцій спостерігача F , яка задовольняє умовам задачі, визначається як:

$$F = -G(T_0 + T_+)D^{-1}, \quad (8)$$

де G – стійка частина результату факторизації матриці вагових коефіцієнтів R , така що $G \cdot G_* = R$;

* – символ ермітового спряження;

D – стійка частина результату факторизації [6] виразу $D \cdot D_* = S'_{\psi_0\psi_0}$,

де $S'_{\psi_0\psi_0} = K \cdot P^{-1} \cdot S'_{\psi\psi} \cdot P_*^{-1} \cdot K_* + S'_{\varphi\varphi}$,

$T_0 + T_+$ – стійка частина результату сепарації [7] виразу, така що

$T = T_0 + T_+ + T_- = G(-P^{-1}S'_{\psi_0\psi})D_*^{-1}$,

де $S'_{\psi_0\psi} = S'_{\psi\psi} \cdot P_*^{-1} \cdot K_*$.

Після поетапного застосування приведенного алгоритму (8) до вихідних даних (2) – (7) отримана математична модель спостерігача F ,

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \end{bmatrix} = \frac{1}{(s+g)} \begin{bmatrix} \frac{-\alpha_{11}(s+0,01)}{(s+w_2)} \\ \alpha_{21} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

структура якої є загальною для усіх каскадів але зі змінними параметрами, що зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення параметрів математичної моделі спостерігача F

	1 каскад	2 каскад	3 каскад	4 каскад	5 каскад	6 каскад	7 каскад
α_{11}	0.022	0.039	0.0285	0.0179	0.0121	0.0085	0.0063
α_{21}	0.0123	0.032	0.031	0.0273	0.0243	0.0221	0.0167
g	0.01567	0.025	0.02703	0.02539	0.0253	0.02385	0.2032
w_2	0.022	0.015	0.018	0.020	0.022	0.025	0.026

Визначення міри якості оцінювання, що досягається за рахунок застосування відшуканого оптимального спостерігача (9), проведемо за допомогою функціонала виду:

$$e_o = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}[S_{ee}(s)] ds, \quad (10)$$

де tr – слід матриці;

$S_{ee}(s)$ – матриця спектральних щільностей погрішностей оцінювання компонентів

вектора $x = \begin{bmatrix} v' \\ w' \end{bmatrix}$, яка у відповідності з [5] визначається співвідношенням

$$S_{ee} = (F \cdot K - E_{2 \times 2}) P^{-1} S_{\psi\psi} \cdot P_*^{-1} (F \cdot K - E_{2 \times 2})_* + F \cdot S_{\varphi\varphi} F_* \quad (11)$$

і має наступну структуру:

$$S_{ee} = \begin{bmatrix} S_{ee(1.1)} & S_{ee(1.2)} \\ S_{ee(2.1)} & S_{ee(2.2)} \end{bmatrix},$$

де елемент $S_{ee(1.1)}$ характеризує спектральну щільність погрішності оцінювання висоти дисперсного матеріалу на відповідному каскаді, а $S_{ee(2.2)}$ – оцінювання вологості.

В такому разі, як відомо з [7], дисперсії похибок оцінювання висоти D_V дисперсного матеріалу та вологості D_W можуть бути визначені з виразів:

$$D_{V'} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} S_{ee(1.1)}(s) ds; \quad (12)$$

$$D_{W'} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} S_{ee(2.2)}(s) ds. \quad (13)$$

В результаті виконання (10) – (13), визначено дисперсії D_V , D_W похибок оцінювання висоти \hat{v} і вологості \hat{w} матеріалу по кожному з семи каскадів. Чисельні значення дисперсій занесені до таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення похибки (дисперсії) оцінювання спостерігачем F

спостерегіч	сигнал	1 каскад	2 каскад	3 каскад	4 каскад	5 каскад	6 каскад	7 каскад
F	\hat{v}	0,37	0,25	0,11	0,084	0,032	0,01	0,0065
	\hat{w}	1,03	0,84	0,501	0,105	0,055	0,048	0,0377

Як видно з таблиці 2, найменшою похибкою оцінювання як по вологості, так і по висоті володіє система спостереження, розрахована для сьомого каскаду. Це можна пояснити тим, що проточний вологомір встановлений на виході з ЗСУ, тобто в безпосередній близькості до нижнього (сьомого) каскаду. Тому і розбіжність вимірюваного від реального результату мінімальна.

Проваріюємо вищезгаданими коефіцієнтами γ_1 та γ_2 саме для тієї структури спостерігача, що відповідає сьомому каскаду, в діапазоні $\gamma_1=0,7 \dots 0,81745$ (що характеризує зміну початкової вологості в межах 20...17,5%, а висоту киплячого шару в області 0,16 см) та $\gamma_2=0,231 \dots 2,08$ (обрано широкий діапазон для більшої наочності зміни погрішності вимірювальної системи та висоти киплячого шару з середнім значенням 0,16 см). В результаті чого отримано структури систем спостереження ідентичні до виразу (8). Значення коефіцієнтів цих структур зведено до таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти елементів спостерігача F при змінних γ_1 та γ_2

при $\alpha=0,58$ $w_2=0,026$	$\gamma_2=0,231$	$\gamma_2=1,0$	$\gamma_2=2,08$
$\gamma_1=0,7153$	$a_{11}=0,0035$ $a_{21}=0,0095$ $g=0,01584$	$a_{11}=0,00091$ $a_{21}=0,0026102$ $g=0,01156$	$a_{11}=0,00045$ $a_{21}=0,0013$ $g=0,00984$
$\gamma_1=0,81745$	$a_{11}=0,0040$ $a_{21}=0,011$ $g=0,01682$	$a_{11}=0,001056$ $a_{21}=0,0305$ $g=0,0185$	$a_{11}=0,00052$ $a_{21}=0,001532$ $g=0,01092$

Застосувавши (10) – (13) до отриманих структур систем спостережень здобуто оцінки (дисперсії) по вологості D_W і по висоті D_V для різних γ_1 та γ_2 (табл. 4).

Таблиця 4 – Зміна дисперсій оцінювання висоти D_V і вологості D_W на сьомому каскаді при варіюванні коефіцієнтами γ_1 та γ_2

γ_1	γ_2	0,231	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,08
0,7	D_V	0.0062	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063
	D_W	0.0347	0.0360	0.0364	0.0366	0.0366	0.0367	0.0367	0.0367
0,7153	D_V	0.0064	0.0064	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065
	D_W	0.0356	0.0370	0.0374	0.0375	0.0376	0.0377	0.0377	0.0377
0,75	D_V	0.0067	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068
	D_W	0.0376	0.0392	0.0396	0.0398	0.0399	0.040	0.040	0.040
0,8	D_V	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073
	D_W	0.0407	0.0425	0.0430	0.0432	0.0433	0.0434	0.0435	0.0435
0,81745	D_V	0.0074	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075
	D_W	0.0418	0.0437	0.0442	0.0445	0.0446	0.0447	0.0447	0.0448

Виконаємо побудову поверхонь на основі даних таблиці 4.

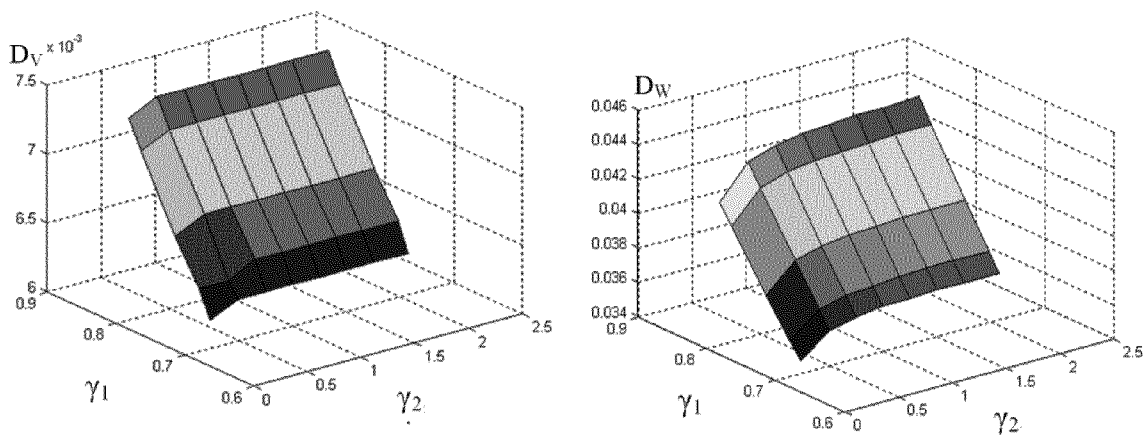


Рисунок 3 – Поверхні, що характеризують оцінювання системою спостереження дисперсій вихідних сигналів ЗСУ при зміні коефіцієнтів γ_1 та γ_2

Аналіз отриманих залежностей показав, що ні зміна співвідношення похибка-висота, ні відношення самих вихідних сигналів не призводить до суттєвого впливу на оцінку системою спостереження вихідних координат ЗСУ.

Висновок. В даній роботі знайдена структура і параметри оптимальної системи спостереження, яка за даними датчика вологості дає найкращий результат оцінювання вихідних сигналів ЗСУ. Аналіз отриманих даних показав, що мінімальною дисперсією похибки оцінювання володіє система спостереження, розрахована для сьомого каскаду. Змінюючи співвідношення вихідних сигналів та завада-сигнал було виявлено, що точність оцінювання (середньоквадратичне відхилення) складає по висоті 0,08см, а по вологості 0,19%

Список літератури

1. С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік. Зерносушильна установка з киплячим шаром як об'єкт автоматизації //Збірник наукових праць КНТУ/ Вип. 17.– Кіровоград: КНТУ, 2006.– 388 с.
2. С.І. Осадчий, М.О. Калита, І.О. Скриннік. Визначення структури і параметрів математичної моделі зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах // Збірник наукових праць КНТУ/ Вип..27.– Кіровоград: КНТУ, 2008.– 345 с.
3. <http://www.tis.md/catalog/irvz.html>
4. С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік. Ідентифікація сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах //Вісник Хмельницького національного університету – 2007.– №3, т. 1.–С. 38-41.
5. M.C. Davis, Factoring the spectral matrix, IEEE Trans. Automat. Control 8 (1963).

6. Алиев Ф.А., Науменко К.И., Ларин В.Б., Сунцев В.Н. Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления. – К.: Наукова думка, 1978. – 309 с
7. В.Н. Азарсков и др. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации, монография. К.: НАУ, 2006, С. 438.
8. Блохін Л.М. Буриченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління. – К.: Видавництво НАУ, 2003. – 209 с.

Т. Шмелева, М. Калита, И. Скрынник, В.Шалимов

Оценка высоты дисперсного материала при неполных измерениях выходных сигналов зерносушильной установки (ЗСУ) с кипящим слоем

В статье впервые предложена методика определения оценки изменения высоты кипящего слоя дисперсного материала непрямым способом непосредственно в камере сушения и проанализировано влияние соотношений выходных сигналов и помехи системы измерения.

T. Shmelyva, M. Kalita, I. Skrynnik, V. Shalimov

Estimation of Higher of dispersible material at the incomplete measurings of output signals of the grain setting with a boiling layer

In the article the method of determination of estimation of height of boiling layer of dispersible material is first offered by an indirect method in a drying chamber. Having connection of height of boiling layer on all of cascades between itself, it is possible to get the estimation of height material on each of cascades at any moment to time.

Одержано 20.04.10