

М.О. Федотова, Д.В. Трушаков, В.О. Зубенко,
І.А. Березюк, Р.С. Заворуєв, М.О. Трипольський

ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ ВИСОТИ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В СУШИЛЬНІЙ КАМЕРІ НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

Анотація. Сушіння за допомогою киплячого шару має ряд переваг. Але поряд з цим одним з головних чинників, що впливають на зміну кінцевої вологості дисперсного матеріалу під час сушіння, є його висота на каскадах решетах безпосередньо в камері сушіння, значення якої впливає на якість «киплячості». Виміряти зміну висоти під час процесу на каскадах фізично не можливо, тому у даній роботі пропонується, як варіант, через відомий зв'язок зміни висоти з кінцевою вологістю оцінювати дисперсію висоти через вимірне датчиком вологості кінцевого значення. Математичний зв'язок вхідних і вихідних сигналів сушарки буде покладено в основу синтезу системи спостереження.

Ключові слова. Система спостереження, киплячий шар, агент сушіння, дисперсний матеріал, автоматизація, кінцева вологість.

Постановка проблеми. Достовірні дані про зміну вхідних і вихідних сигналів під час сушіння дисперсного матеріалу методом «киплячого шару» дає змогу синтезувати якісну, швидкодіючу на надійну систему автоматизованого керування процесом, принцип якого наступний. Дисперсний матеріал, потрапляючи з бункера, який попередньо продувається теплоносієм і де вже частково втрачається надлишкова волога, через запірну арматура (шибер S_n) потрапляє на верхнє решето (№1). Дисперсний матеріал, розміщуючись на каскадах, що знаходяться під певним кутом до горизонту, знизу продувається агентом сушіння з температурою T . Під дією напору повітря, в результаті чого щільний дисперсний матеріал розрихлюється і набуває стану «кипіння» та завдяки нахилу решет, матеріал рухається зверху вниз, під час чого поступово та «м'яко» втрачає вологу w .

Аналіз зв'язків, що утворюються під час сушіння в сушарці з киплячим шаром (рис. 1) показав, що на зміну кінцевої вологості, яка і є пріоритетним контролюючим параметром, головним чином впливають Температура теплоносія та кількість дисперсного матеріалу на каскаді, яка характеризується висо-

тою цього матеріалу V . Якщо засоби контролю та регулювання температури та зміни положення завантажуючого шибера можна обрати легко, то виміряти висоту киплячого шару безпосередньо на каскадах під час стану «кипіння» без порушення процесу не реально.

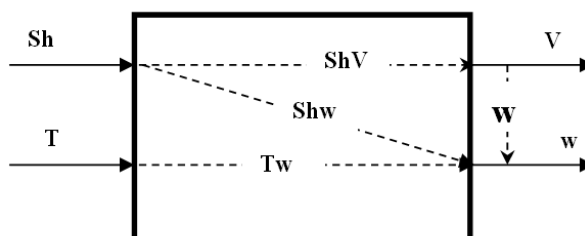


Рисунок 1 – Схема зв'язків вхідних і вихідних сигналів зерносушарки, як об'єкта автоматизації



Рисунок 2 – Фото сушарки з киплячим шаром

Як з'ясувалось з результатів первинного аналізу експериментально знятих кривих, зміна висот киплячого шару V по каскадах пов'язана не лише з кінцевою вологістю матеріалу, а й корельовані один з одним [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у впровадження автоматизації для сушарок з киплячим шаром зробили Баскаков А.С., Рашковська Н.Б, Романков П.Г., Забродський С.С., Мартиненко І.І, Федоров В.Г. та ін.. Їх нароби в якійсь мірі мають як переваги, так і недоліки [2].

У той же час процеси, що відбуваються під час «кипіння» дисперсного матеріалу в сушарці, ще не повністю досліджені, а обладнання, в основі якого положено принцип «киплячості» – не ідентифіковані. Щоб автоматизувати нову конструкцію сушарки (рис. 2), розроблену при Центральноукраїнському націо-

нальному технічному університеті, необхідно було провести ряд дослідів для встановлення кореляції сигналів та опису їх зв'язків за допомогою математичних моделей.

Мета дослідження. Ми пропонуємо на основі відомого опису зв'язків параметрів процесу розробити систему оптимального спостереження, за рахунок якої вимірюватиметься один з вихідних параметрів зерносушарки (у даному випадку кінцева вологість w) та оцінювалася б дисперсія похибки оцінки висоти киплячого шару V на кожному з семи каскадів. Контролювати висоту у певних межах дуже важливо для стабілізації «киплячості»

Викладення основного матеріалу дослідження. Нехай кінцева вологість матеріалу w може бути виміряна датчиком вологості ємнісного типу з матрицею передаточних функцій (МПФ) $K_{\epsilon M}$:

$$K_{\epsilon M} = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 \\ & 8s + 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,0625 \\ & s + 0,125 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,0625 \\ & s + \omega_K \end{bmatrix}$$

із спектральною щільністю завади вимірювання

$$S_{\varphi\varphi}^{\epsilon M} = \frac{1,5^2}{3\pi},$$

або мікрохвильовим датчиком вологості з МПФ K_M

$$K_M = [0 \quad 0,0625]$$

із спектральною щільністю завади вимірювання $S_{\varphi\varphi}^M$

$$S_{\varphi\varphi}^M = \frac{0,5^2}{3\pi}$$

Тоді задача синтезу спостерігача полягає у тому, щоб за відомими МПФ датчиків вологості $K_{\epsilon M}$, K_M із відповідними спектральними щільностями завад

вимірювання $S_{\varphi\varphi}^{\epsilon M}$, $S_{\varphi\varphi}^M$, поліноміальною матрицею P_k , що відповідає k -тому

каскаду, та відомою матрицею спектральних щільностей (МСЩ) збурень $S_{\psi\psi}^k$, що діють на цьому каскаді, необхідно:

1. Визначити для всіх каскадів ЗКШ структуру і параметри системи спостереження $F_{\epsilon M}^k$ на базі датчика вологості ємнісного типу;

2. Обчислити за виразом (2.31) показник якості оцінювання спостерігачем $F_{\epsilon M}^k$ вихідних сигналів для всіх k каскадів;

3. Обрати той каскад, показник якості оцінювання для якого є мінімальним;

4. Для обраного каскаду визначити МПФ F_M^k на базі мікрохвильового датчика вологості і обрахувати його показник якості;

5. Обрати датчик вологості того типу, система спостереження на базі якого доставляє мінімум показника якості.

Для вирішення поставленої задачі було використано методику, пункти якої перераховані вище), результати виконання якої приведені, як приклад, для каскаду №7 (нижнього).

Відповідно обраній методиці і враховуючи структуру і параметри матриці Р для сьомого каскаду та МСЦ $S'_{\psi\psi}$, спершу було сформовано матрицю $(S'_{\psi\psi})'$ за

$$S'_{\psi\psi} = \frac{0,079618 (s^2 + 0,2513s + 0,02371)(s^2 - 0,2513s + 0,02371)}{(s + 0,125)(s - 0,125)(s + 0,01)(s - 0,01)},$$

а потім виконано її факторизації, в результаті чого було визначено вираз для

$$D = \frac{0,28217 (s^2 + 0,2513s + 0,02371)}{(s + 0,125)(s + 0,01)}.$$

Матриця Т відповідно має наступну структуру

$$T = \begin{bmatrix} \frac{-0,00037911(s - 0,125)(s - 0,01)}{(s - 0,125)(s + 0,026)(s - 0,01)(s^2 - 0,2513s + 0,02371)} \\ \frac{-0,0020062(s - 0,125)(s - 0,01)}{(s - 0,125)(s + 0,01)(s - 0,01)(s^2 - 0,2513s + 0,02371)} \end{bmatrix}.$$

Виконаємо сепарацію [4] попереднього виразу і здобудемо

$$(T_0 + T_+) = \begin{bmatrix} \frac{-0,01226}{(s + 0,026)} \\ \frac{-0,076207}{(s + 0,01)} \end{bmatrix}.$$

Після підстановки знайдених виразів була отримана МПФ системи спостереження для сьомого каскаду F_{CM}^k . Виконання вказаної методики для решти каскадів дозволило отримати загальну для всіх них матрицю передаточних функцій системи спостереження F_{CM}^k , структура якої наступна:

$$F_{\epsilon M}^k = \frac{s + 0.125}{s^2 + 0.2476s + 0.02278} \begin{bmatrix} k_{11}(s + 0.01) \\ s + \omega_{11} \\ 0.032644 \end{bmatrix}.$$

Якщо ж проаналізувати коефіцієнти та елементи отриманих матриць, то можна побачити, що структура їх ідентична, зокрема елемент (s+0,125) відноситься до вимірювача вологи, а елементи (s+0,01) та частина знаменника (s+ω₁₁) належать безпосередньо самому об'єкту керування (3.26).

Тоді загальний вигляд матриці передаточних функцій системи спостереження з урахуванням аналізу отриманих даних можна сформулювати так:

$$F_{\epsilon M}^k = \frac{s + \omega_K}{s^2 + 0.2476s + 0.02278} \begin{bmatrix} k_{11}(s + \omega_{12}) \\ s + \omega_{11} \\ 0.032644 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{k1} \\ F_{k2} \end{bmatrix}.$$

Елемент F_{k1} визначає зміну висоти киплячого шару \hat{h} на кожному з каскадів за даними датчика вологості. А от елемент F_{k2} залишається незмінним, адже характеризує вимірювання вологості \hat{w} на виході з ЗКШ, яка контролюється лише в одній точці, а не по кожному каскаду.

Параметри отриманої моделі для каскадів №1–№7 зведено до табл.1

Таблиця 1

Значення параметрів МПФ спостерігача $F_{\epsilon M}^k$

Каскад	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
коефіцієнт							
$k_{11} (x 10^{-3})$	0.075199	0.041714	0.047935	0.038755	0.032481	0.046265	0.052184

В такому разі дисперсія погрешностей оцінювання висоти дисперсного матеріалу D_h та вологості D_ω може бути визначена так:

$$D_h = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} See_{(1.1)}(s) ds, \quad D_\omega = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} See_{(2.2)}(s) ds$$

Як результат - були отримані дисперсії похибок оцінювання висоти матеріалу по кожному з семи каскадів і кінцевої вологості насіння. Чисельні значення дисперсій зведено до табл. 2.

Значення похибки (дисперсії) оцінювання спостерігачем F_{CM}^k

спостережач	каскад		№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
	Сигнал, характеристика								
F_{CM}^k	\hat{h}	дисперсія	0,00872	0,00762	0,00731	0,00805	0,00750	0,00698	0,00677
		сер.кв.відхил	0,093	0,087	0,085	0,089	0,087	0,084	0,082
	\hat{w}	дисперсія	0,08279	0,08279	0,08279	0,08279	0,08279	0,08279	0,08279
		сер.кв.відхил	0,09099	0,09099	0,09099	0,09099	0,09099	0,09099	0,09099

Як видно з таблиці, найменшу похибку оцінювання має система спостереження, розрахована для каскаду №7. Тому по нижньому каскаду найдоцільніше визначати висоту зміну висоти киплячого шару на інших каскадах через відомий зв'язок висот матеріалу на кожному з каскадів між собою.

Висновки. В результаті застосування розробленої технології і відповідного програмно-технічного комплексу була синтезована система спостереження з оптимальною структурою і параметрами. Абсолютна погрішність вимірювання вихідних сигналів ЗКШ складає 6,7 мм по висоті.

ЛІТЕРАТУРА/ЛИТЕРАТУРА

1. Федотова М.О. Автоматизація процесу стабілізації висоти киплячого шару насіння у зерносушарці за неповними вимірами: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.13.07. Кропивницький, 2017.276 с.
2. Sergey Osadchy, Valentina Zubenko, Marianna Fedotova. Synthesis of an Optimal Stochastic Stabilization System for an Unstable Multivariable Object with Time Delays in Controls. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), October, 16-18, 2018 Kyiv, Ukraine. P. 114-118.
3. Федотова М.О., Скриннік І.О., Осадич С.І., Трушаков Д.В. Ідентифікація сигналів як один з етапів синтезу системи стабілізації висоти киплячого шару в зерносушарці «Системні технології» 4 (135) 2021 «System technologies» [DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-09]
4. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, монография. К.: НАУ, 2006. 438 с
5. Trushakov, D., Kozlovskiy, O., Rendzinyak, S., Fedotova, M., Korud, V. Automated System for Measuring the Temperature of the Desiccator Proceedings of 2020 IEEE

21st International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering, CPEE 2020, 2020, 9238716 Conference Paper.

6. Трушаков Д., Козловський О., Рендзіняк С., Коруд В., Федотова М Автоматизована система фільтрації завад під час вимірювання температури сушильної шафи. Електроніка та інформаційні технології. 2021. Випуск 15. С. 80–89 Electronics and information technologies. 2021. Issue 15. P. 80–89 [http://elit.lnu.edu.ua/en/15/8.html].

REFERENCES

1. Fedotova MO Automation of the process of stabilizing the height of the fluidized bed of seeds in the grain dryer by incomplete dimensions: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.13.07. Kropyvnytskyi, 2017. 276 p.
2. Sergey Osadchy, Valentina Zubenko, Marianna Fedotova. Synthesis of an Optimal Stochastic Stabilization System for an Unstable Multivariable Object with Time Delays in Controls. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), October, 16-18, 2018 Kyiv, Ukraine. P. 114-118.
3. Trushakov, D., Kozlovskyi, O., Rendzinyak, S., Fedotova, M., Korud, V. Automated System for Measuring the Temperature of the Desiccator Proceedings of 2020 IEEE 21st International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering, CPEE 2020, 2020, 9238716 Conference Paper.
4. Fedotova MO, Skrynnik IO, Osadichy SI, Trushakov DV Identification of signals as one of the stages of synthesis of the fluidized bed height stabilization system in the grain dryer "System Technologies" 4 (135) 2021 «System technologies» [DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-09]
5. Trushakov D. Kozlovsky O., Rendzinyak S., Korud V., Fedotova M Automated noise filtration system during drying cabinet temperature measurement. Electronics and information technology. 2021. Issue 15. pp. 80–89 Electronics and information technologies. 2021. Issue 15. P. 80–89 [http://elit.lnu.edu.ua/en/15/8.html]
6. Azarskov VN Methodology of designing optimal systems of stochastic stabilization / V.N. Азарсков, Л.Н. Blokhin, L.S. Zhitetsky, monograph. К .: NAU, 2006. 438 p.

Received 16.04.2024.
Accepted 19.04.2024.

***Evaluation of the change in the height of the dispersed material
in the drying chamber by the indirect method***

As a result of the implementation of previously developed technologies, it is proved that a fluidized bed grain dryer is a complex multidimensional object with distributed parameters and a net delay, the value of which depends on the distance of the dryer cascade from the loading shutter.

In the stable mode, the dynamics model of such a complex control object can be represented in the form of a set of transfer function matrices. The structure of each of the matrices remains the same, and the parameters change depending on the placement of the cascade relative to the shutter loading.

Disturbances acting on the cascades in real operating conditions should be considered as two-dimensional stationary random processes of the "white noise" type, the intensity of which changes with the distance from the load shutter.

It was also established that the changes in the height of the fluidized layer on each of the cascades are related to each other, that is, knowing the height of the fluidized layer on one of the cascades, it is possible to determine it on any other.

As a result of structural identification, it was proved that there is a cross-connection between the change in the height of the fluidized bed in the cascade with the number k and the final moisture content of the material at the exit from the dryer. This made it possible to synthesize the matrix of transfer functions of the optimal observer, which evaluates the change in the height of the fluidized bed in any cascade based on the signal about the change in seed moisture at the output with the minimum error variance.

Keywords. Monitoring system, fluidized bed, drying agent, dispersed material, automation, final humidity.

Федотова Маріанна Олександрівна - асистент, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Трушаков Дмитро Володимирович - доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Зубенко Валентина Олександрівна – доцент, Херсонський державний аграрно-економічний університет.

Березюк Ірина Анатоліївна - доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Заворуєв Роман Сергійович - аспірант, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Трипольський Максим Олександрович – студент, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Fedotova Marianna - assistant, Central Ukrainian National Technical University.

Trushakov Dmitro - associate professor, Central Ukrainian National Technical University.

Zubenko Valentina - associate professor, Kherson State Agrarian and Economic University.

Berezyuk Irina - associate professor, Central Ukrainian National Technical University.

Roman Zavoruyev - postgraduate, Central Ukrainian National Technical University.

Maxim Trypolskyi - student, Central Ukrainian National Technical University.