

УЗАГАЛЬНЕНА МЕТОДИКА СИНТЕЗУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНОГО БАГАТОВИМІРНОГО ОБ'ЄКТА

Федотова М.О.¹, Трушаков Д.В.¹, Скриннік І.О.¹, Заворуєв Р.С.²

¹Центральноукраїнський національний технічний університет, к.т.н., Україна

²Центральноукраїнський національний технічний університет, аспірант Україна

Анотація. Сушіння у киплячому шарі дуже ефективний спосіб для дрібнодисперсних матеріалів. Він забезпечує інтенсивний тепломасообмін, що дозволяє досягти високої продуктивності. Впровадження автоматизованих систем керування (АСК) відіграє ключову роль у досягненні стабільності технологічних процесів. У той же час сам киплячий шар є динамічною системою, де поведінка матеріалу залежить від багатьох факторів, таких як швидкість повітря, розмір частинок, вологість і температура. Це робить контроль процесу складним, оскільки навіть невеликі зміни в одному параметрі можуть призвести до значних змін в інших через наявні перехресні зв'язки. Дана робота є узагальненням в плануванні методики синтезу АСК процесом сушіння насіння соняшника у зерносушарці з киплячим шаром, що являє собою складний динамічний багатовимірний об'єкт із запізненням. Причому етапи синтезу враховують особливості конструкції сушарки, його роботу у різних режимах, зокрема у режимі стабілізації та ситуацію з неможливістю виміряти вихідні сигнали об'єкта у повній мірі.

Ключові слова: сушарка, киплячий шар, система автоматичного керування, структурна схема, багатовимірність, матриця передаточних функцій, випереджувач Сміта.

Вступ. Процес сушіння насіння соняшника у зерносушарці відбувається в сталому режимі [1], що становить близько 90% часу роботи сушарки. І у цьому режимі дуже важливо те, щоб вихідні сигнали об'єкта відповідали заданим значенням. Підвищення ефективності сушіння вимагає оптимізації роботи регуляторів в режимі стабілізації.

Вважаємо, що один з вхідних технологічних параметрів T (температура теплоносія) стабільна досить точно за допомогою регуляторів; насіння рухається по каскадах згори вниз зі швидкістю, що дорівнює $const$; математична ймовірність висоти киплячого шару h та вологості матеріалу w на виході зерносушарки відповідають значенню, що задане. В такому разі багатовимірний об'єкт з розподіленими параметрами (зерносушарку)

пропонується замінити сукупністю n лінійних об'єктів з зосередженими параметрами (n – кількість каскадів зерносушарки). Для цього введена прямокутна система координат XOY (рис. 1.) [2].

Початок цієї системи координат зв'язано з заданим (середнім) значенням положенням шибру 3. Вісь OX направлена вздовж руху шибру праворуч, а вісь OY – співпадає з конструктивною віссю сушарки за напрямком руху зерна. Положення об'єкту з номером k у визначеній системі координат характеризується вектором координат центру мас k -того каскаду, який дорівнює

$$\overset{0}{x} = (\overset{0}{x}_k, \overset{0}{y}_k), \quad (1)$$

де $\overset{0}{x}_k$ – проекція центру мас каскаду k на вісь OX ($\overset{0}{x}_k = 0$); $\overset{0}{y}_k$ – проекція центру мас каскаду k на вісь OY , яка з урахуванням рис. 1. визначена у вигляді
 $\overset{0}{y}_k = k \cdot \Delta$ (Δ – відстань між каскадами, м).

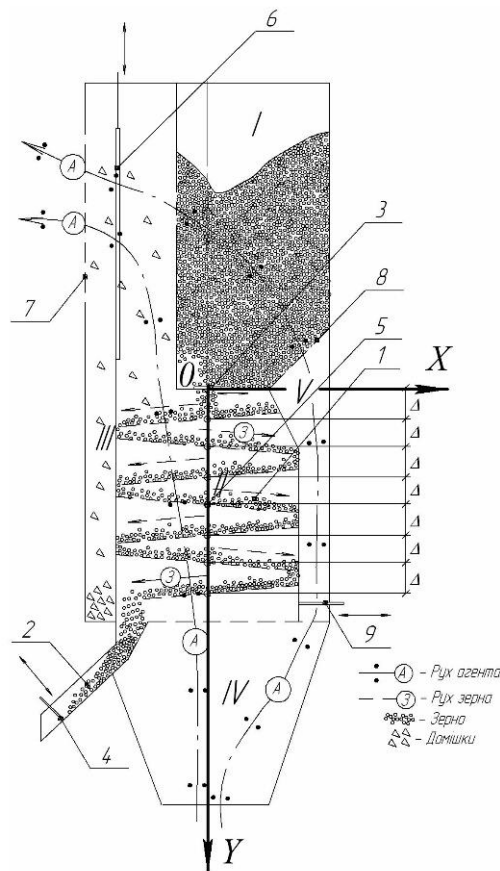


Рисунок 1 – Зерносушарка каскадного типу для сушіння насіння соняшника у киплячому шарі з прямокутною системою координат XOY

Вважаємо, що стабілізація висоти h_k киплячого шару на каскаді з номером k та зміна вологості матеріалу w на виході зерносушарки відбувається за рахунок коливання шибера навколо середнього значення S_h та зміни температури теплоносія відносно середнього значення T_7 біля каскаду з номером 7.

Процесу стабілізації заважають неконтрольовані збурення, які утворюють вектор ψ_k . В такому разі на входах k -того об'єкту діють двомірний вектор сигналів керування u_k та двовимірний вектор збурень ψ_k , динаміка якого невідома [3]. На виході k -того об'єкта діє вектор вихідних сигналів x_k вигляду

$$u_k = \begin{bmatrix} \dot{S}_h \\ \dot{T}_7 \end{bmatrix}; \quad x_k = \begin{bmatrix} h_k \\ w \end{bmatrix} \quad (2)$$

Основний матеріал. Враховуючи вищезазначене, модель динаміки зерносушарки з киплячим шаром для сушіння дисперсного матеріалу у режимі стабілізації, що враховує особливості конструкції, буде складатися з n систем звичайних диференціальних рівнянь, які мають вигляд типу:

$$P_k x_k = M_k u_k + \psi_k \quad (3)$$

де P_k – поліноміальна матриця розміру 2×2 , елементи якої є поліномами від оператора диференціювання $p = d/dt$ (k – номер каскаду)

M_k – поліноміальна матриця розміру 2×2 .

Припустимо також, що доступним для вимірювання в процесі є значення відхилення одного з вихідних технологічних параметрів об'єкта, а саме вологість матеріалу w від її математичного сподівання.

Відповідно методиці, що подана у монографії [4], доцільно скористатися структурною схемою системи стабілізації, на основі якої складемо таку, яка відповідає вимогам та особливостям складного багатовимірної об'єкта з розподіленими параметрами із запізненням (рис. 2). На входах такої структурної схеми діють вектори сигналів збурень та шумів вимірювання вологості на виході сушарки ϕ , точки впливу яких на систему не співпадають.

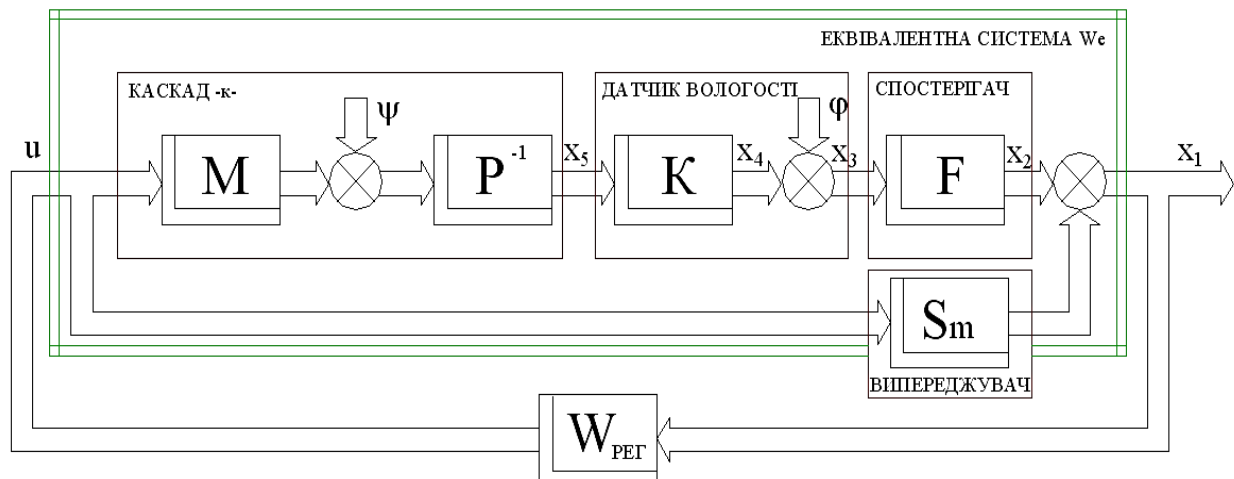


Рисунок 2 – Структурна схема системи автоматичного регулювання технологічних параметрів сушарки з киплячим шаром за неповними вимірами

Вектор сигналів на виході системи x_1 характеризує зміну висоти киплячого шару каскаду з номером k та вологості на виході об'єкта. Цей вектор складається як сукупність векторів сигналів на виходах спостерігача з матрицею передаточних функцій F_k та випереджувача S_m , опис якого визначається передаточною функцією S_m . Спостерігач F_k призначений для обчислення оцінок змін висоти киплячого шару на каскаді k та вологості w за сигналом від неідеального датчика вологості з передаточною функцією K .

Випереджувач S_m [5] призначений для компенсації запізнення в реакціях об'єкта x_k на зміну керуючих впливів u_k . Зворотній зв'язок в системі стабілізації замикається за допомогою регулятора з передаточною функцією $W_{РЕГ}$. Входом якого є вектор x_1 , а виходом – вектор сигналів керування u_k .

Дослідження багатьох вчених доводять, що при фіксованих конструкції об'єкта керування та датчиків вимірювальної інформації точність стабілізації в однакових експлуатаційних умовах визначається структурою та параметрами матриць передаточних функцій каналів керування. Досягнення найвищої точності стабілізації при обмежених ресурсах керування можливе лише у оптимальних системах, структура та параметри законів керування якими визначені в результаті мінімізації квадратичного критерію якості, який враховує характеристики похибки стабілізації та зміни сигналів керування.

Таким чином, якщо взяти до уваги прийняті припущення, то загальне завдання дослідження полягає у наступному. За відомою конструкцією

дослідного зразку об'єкта (рис. 1.) та вимірними даними про вхідні (змінна положення завантажуючого шибєру S_h ; температури агента T) та вихідні (змінна висоти матеріалу на кожному з семи каскадів h_k ; та кінцевої вологості w матеріалу) сигнали сушарки, знайти опис динаміки об'єкта керування та збурень, що діють на нього в сталому режимі; розробити структуру та параметри оптимальних передаточних функцій спостерігача F_k , регулятора $W_{\text{рег}}$, а також випереджувача Сміта S_m ; оцінити ефект від застосування синтезованої системи автоматичного регулювання вихідних сигналів сушарки

Висновки. Аналіз конструкцій сушарок каскадного типу з киплячим шаром, особливостей розробки та функціонування регуляторів, які застосовують для автоматизації процесів керування сушінням у них, дозволив виділити основні причини, що заважають ефективному процесу сушіння:

- структура системи керування процесом сушіння складається з окремих незалежно працюючих регуляторів, в той час, як експериментальна сушарка є багатовимірним об'єктом керування з розподіленими параметрами та чистим запізненням, що функціонує в умовах дії випадкових збурень та завад;

- модель об'єкта керування, покладена в основу розробки вже відомих систем, не враховує перехресні зв'язки в об'єкті керування, чисте запізнення та випадковий характеру збурень, які супроводжують процес стабілізації висоти киплячого шару.

Для подолання зазначених недоліків запропоновано представити сушарку в режимі стабілізації у вигляді множини лінеаризованих багатовимірних об'єктів керування з чистим запізненням, на які діють стаціонарні випадкові збурення, та здійснити синтез оптимальної системи стабілізації на основі експериментально-аналітичного методу, суть якого ілюструє схема на рис. 2. Першим етапом використання зазначеного методу - є розробка методик розв'язання часткових задач дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

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. Монографія/ Федотова М.О., Скриннік І.О., Дарієнко В.В. Автоматизація процесу сушіння дисперсного матеріалу в киплячому шарі Findings of modern engineering

- research and developments: Scientific monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2022. 554 p. [<http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/217/5995/12512-1>]
3. 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>]
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. O. J. M. Smith. A controller to overcome dead-time. ISA Transactions, 6 (2):28–33, 1959.

GENERALIZED METHODOLOGY FOR SYNTHESIS OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC REGULATION OF PARAMETERS OF A COMPLEX MULTIDIMENSIONAL OBJECT

Fedotova M.O., Trushakov D.V., Skrynnik I.O., Zavoruyev R.S.

Abstract. *Fluidized bed drying is a very effective method for fine materials. It provides intensive heat and mass transfer, which allows achieving high productivity. The introduction of automated control systems plays a key role in achieving stability of technological processes. At the same time, the fluidized bed itself is a dynamic system where the behavior of the material depends on many factors such as air velocity, particle size, humidity and temperature. This makes process control difficult, as even small changes in one parameter can lead to significant changes in others due to the existing cross-couplings. This work is a generalization in planning the methodology for synthesizing ACS by the process of drying sunflower seeds in a fluidized bed grain dryer, which is a complex dynamic multidimensional object with a delay. Moreover, the synthesis stages take into account the design features of the dryer, its operation in various modes, in particular in the stabilization mode, and the situation with the inability to fully measure the output signals of the object.*

Keywords: *dryer, fluidized bed, automatic control system, block diagram, multidimensionality, transfer function matrix, Smith advancer.*

REFERENCE

1. Fedotova M.O. Avtomatyzatsiia protsesu stabilizatsii vysoty kypliachoho sharu nasinnia u zernosushartsi za nepovnymy vymiramy: dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk: 05.13.07. Kropyvnytskyi, 2017. 276 s.
2. Monohrafiia/ Fedotova M.O., Skrynnik I.O., Dariienko V.V. Avtomatyzatsiia protsesu sushinnia dyspersnoho materialu v kypliachomu shari Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2022. 554 p. [<http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/217/5995/12512-1>]

3. Trushakov D. Kozlovskiy O., Rendziniak S., Korud V., Fedotova M Avtomatyzovana systema filtratsii zavad pid chas vymiriuvannia temperatury sushylnoi shafy. Elektronika ta informatsiini tekhnolohii. 2021. Vypusk 15. S. 80–89 Electronics and information technologies. 2021. Issue 15. P. 80–89 [<http://elit.lnu.edu.ua/en/15/8.html>]
4. Azarskov V.N. Metodolohiya konstruyrovanyia optymalnykh system stokhastycheskoï stabylyzatsyy / V.N. Azarskov, L.N. Blokhyn, L.S. Zhytetskyi, – monohrafiya. K.: NAU, 2006.– 438 s.
5. O. J. M. Smith. A controller to overcome dead-time. ISA Transactions, 6 (2):28–33, 1959.