УДК 631.365.22+621.317

С.І. Осадчий, доц., канд. техн. наук, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік, аспіранти
Кіровоградський національний технічний університет

Зерносушильна установка з киплячим шаром для сушки зернових як об'єкт автоматизації

У статті поставлена і вирішена задача ідентифікування нової моделі зерносушильної установки касетного типу з киплячим шаром по каналу продуктивність-волога. Для вирішення цієї задачі був проведений експеримент, в ході якого виявлені параметричні зв'язки системи, основні діючі чинники та знято залежність зміни вологості від зміни подачі в камеру сушіння зернового матеріалу.
киплячий шар, агент сушки, геометрична площа дотику, каскади, ідентифікація та апроксимація об'єкту, передаточна функція, коефіцієнт розширення

Сушіння є основною технологічною операцією по приведенню зерна в стійкий стан. Існує безліч конструкцій сушарок [1], які нібито і задовольняють поставлені до них вимоги, і в той же час є не досить досконалими. В таких установках, зазвичай, нагрів зерна нерівномірний, процес сушки надто затяжний і, в результаті, – погіршення не лише насіннєвих властивостей продукту, а й, навіть, поживних.

При Кіровоградському національному технічному університеті на кафедрі сільськогосподарського машинобудування розроблена експериментальна зерносушильна установка (ЗСУ) касетного типу для сушки зернових в киплячому шарі. Досліди, проведені на новій моделі ЗСУ, показали, що така модель зерносушарки має ряд переваг: процес теплообміну між теплоносієм і зерновою масою проходить інтенсивніше за рахунок збільшення геометричної площі дотику між агентом і матеріалом; нагрів зерна по всьому об'єму рівномірний, що дуже важливо для сушки термолабільних продуктів; можливість обробки сирого, неочищеного зерна, що, практично, може замінити один з етапів поточної лінії – сепарацію; простота і компактність конструкції надає можливість використовувати її мобільно; створюються сприятливі умови для автоматизації (контроль, регулювання, управління).

Автоматизація контролю і управління процесами обробки і зберігання зерна відкриває широкі можливості для підвищення ефективності використання, збільшення продуктивності поточних ліній, подальшого зниження затрат праці і покращення якості обробки зерна.

Глибина процесів, що відбуваються в киплячому шарі, ще не досить вивчена, а установки, в основу яких покладено принцип киплячого стану – не ідентифіковані. Автоматизація нового об'єкту – зерносушильної установки касетного типу з киплячим шаром – перш за все потребує дослідів, в ході яких потрібно виявити зв'язки між вхідними і вихідними величинами, побудувати диференційні рівняння і визначити математичну модель об'єкту, тобто здійснити його ідентифікацію [2].

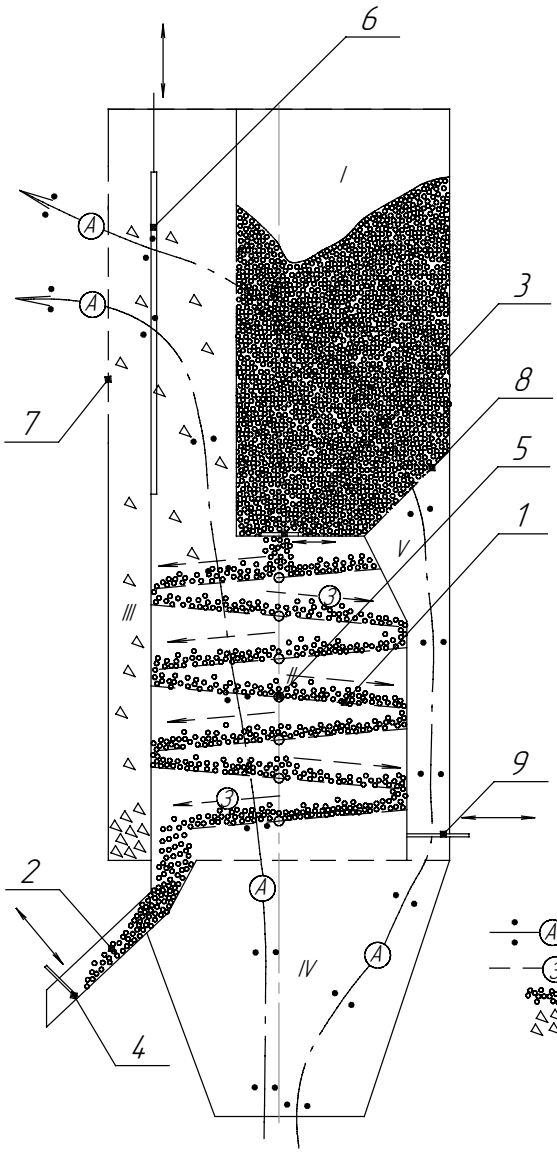
Спочатку для цього пропонується провести ряд дослідів, що характеризують об'єкт у статиці, тобто реакцію вихідних величин на певну зміну вхідних при фіксованих збуреннях.

Загальний вигляд ЗСУ типу для сушки зернових в киплячому шарі зображений на рис. 1

Дослід проводили наступним чином: через шар зернистого матеріалу (висотою h=5…6см; соняшник, пшениця, соя), що розміщений на решітках (каскадах, діаметром отвору 1…2мм), пропускали з певною швидкістю (υ_a=2 м/с) нагрітий агент сушки

© С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік. 2006

($t_{ап}$=60°С). Матеріал спочатку розрихлювався, а потім перейшов в стан, що нагадував киплячу рідину. В процесі неперервної подачі зернового матеріалу до камери сушіння положення шиберу було змінено від нейтрального положення на 10% ($Q_{зерна}$=0,5 см), що призвело до зміни вологості зерна кожної проби, яку відбирали через кожні 30с.



I – завантажуючий бункер
(камера попереднього нагріву);
II – сушильна камера;
III – осадова камера;
IV – конфузор для нагнітання агента;
V – камера для направлення теплоносія
у завантажуючий бункер;
1 – регулюючі каскади-касети (решета);
2 – патрубок для вивантаження просушеного матеріалу;
3 – шибер вивантаження зерна в сушильну камеру;
4 – шибер вивантаження просушеного зерна;
5 – шарніри;
6 – шибер для відводу відпрацьованого теплоносія;
7 – сітка відводу відпрацьованого агента;
8 – сітка для потрапляння теплоносія
в камеру попереднього нагріву;
9 – шибер для надходження агента
в камеру попереднього нагріву.

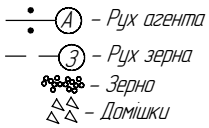


Рисунок 1 – Конструкція ЗСУ касетного типу для сушки зернових в киплячому шарі

Основними параметрами контролю стали: температура агента сушки; кінцева температура матеріалу; тиск теплоносія в камері сушіння; кінцева вологість зерна; час перебування зернового матеріалу в сушильній камері.

Температура агента і зерна була виміряна скляним рідинним термометром і склала 60 °С і 35 °С відповідно. Контроль тиску теплоносія виконувався U-подібним рідинним манометром, значення якого становило 0,5 Па. Після півгодинного відлежування, що є невід'ємним етапом будь-якого методу сушки, цифровим вологоміром типу Wille-55 було виміряне значення кінцевої вологи матеріалу, що на 1% відрізнялось від початкового. Це досить гарний показник, адже за такий малий проміжок часу (4 хвилини – час перебування зерна в зоні сушіння) матеріалом було втрачено біля 1% надлишкової вологи (рис. 2).

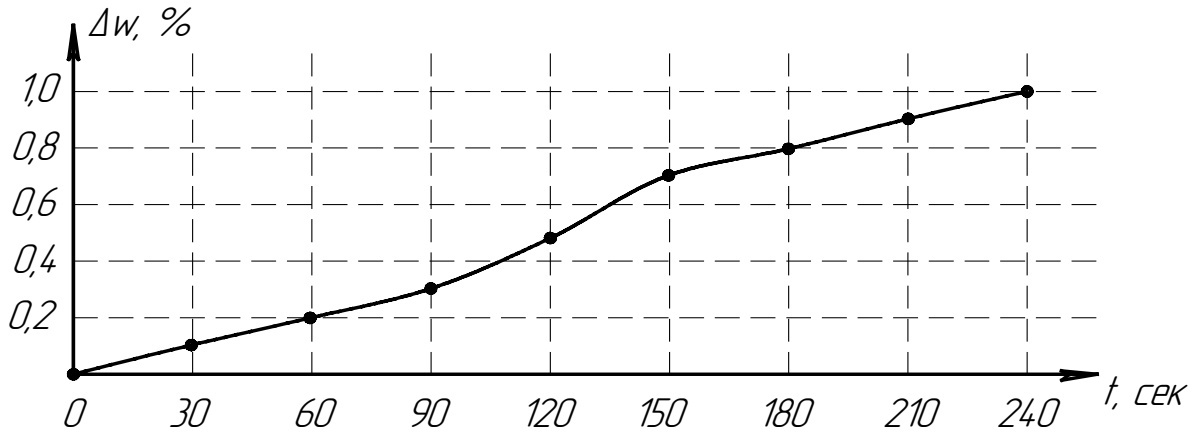


Рисунок 2 – Графік втрати вологості зерновим матеріалом за час *t*

Проаналізувавши цей графік за допомогою пакету MATLAB виявилось, що зміна вихідної величини (вологості матеріалу) апроксимується рівнянням такого виду

$$\Delta\omega(t) = A \cdot e^{-Bt} + C \cdot e^{-Dt} \cdot \sin(F \cdot t + G) + H\,, \qquad (1)$$

де *A, B, C, D, F, G, H* – коефіцієнти, знайдені в MATLAB і рівні відповідно – 1,53; 0,02; -1,64; 0,01; 0,015 рад.; -0,04 рад.; 0,097;

t – час, с.

Передаточна функція об'єкта (зерносушарки) визначається за відомою формулою

$$W(p) = \frac{L\{\Delta\omega(t)\}}{L\{Q_{зерна}(t)\}}, \qquad (2)$$

де *L{ω (t)}* – зображення за Лапласом вихідної величини;

L{Q$_{зерна}$*(t)}* – зображення за Лапласом вхідної величини;

p – комплексна змінна.

Скористаємось відповідними формулами і отримаємо

$$L\{\Delta\omega(t)\} = \frac{0.44p^3 + 0.045p^2 + 6.254\cdot10^{-4}p + 8.688\cdot10^{-6}}{p^4 + 0.048p^3 + 9.511\cdot10^{-4}p^2 + 8.973p}. \qquad (3)$$

Так як вхідною величиною є $Q_{зерна}(t)$ – переміщення шиберу, що регулює подачу зернової маси до камери сушіння, то її зображення за Лапласом наступне:

$$L\{Q_{зерна}(t)\} = \frac{5\cdot10^{-4}}{p}. \qquad (4)$$

Підставивши відповідні чисельні значення коефіцієнтів і виконавши алгоритм (2) здобудемо вираз, який і відображає передаточну функцію об'єкта регулювання – новий вид зерносушарки для сушки зернових в киплячому шарі:

$$W_{ОК}(p) = \frac{880p^3 + 90p^2 + 1{,}251\cdot10^{-4}p + 0{,}01738\cdot10^{-6}}{p^3 + 0{,}048p^2 + 9{,}512\cdot10^{-4}p + 8{,}974}\cdot e^{-p\tau}, \qquad (5)$$

де τ – час запізнювання об'єкту, с (транспортне запізнювання $\tau \approx 200$ с).

Об'єкт, як видно з ЛАЧХ (рис. 3), може бути представлений як послідовне з'єднання трьох ланок: пропорційної, форсуючої II-го порядку і підсилюючої.

Так, при зміні частоти вхідного діяння в діапазоні $(10^{-4}\ldots10^{-2})$ с$^{-1}$ властивості об'єкту описуються пропорційною ланкою, так як період зміни керуючого діяння настільки великий, що при надходженні в ЗСУ великої кількості зернового матеріалу підтримувати киплячий стан стане фізично неможливо через надмірну висоту зерна на каскадах, в результаті чого сушарка перетвориться на ЗСУ шахтного типу.

При зміні частоти від 10^{-2} до 10^{0} $с^{-1}$ об’єкт володітиме характеристиками форсуючої ланки ІІ-го порядку. Крутий нахил ЛАЧХ в цьому проміжку пояснюється високою швидкістю сушки, що досягається за рахунок створення киплячого стану, якому сприяє невелика товщина шару дисперсного матеріалу.

При збільшенні частоти від 10^{0} $с^{-1}$ і більше ЗСУ не може швидко відреагувати на кожну зміну вхідного діяння через свою інертність і, відповідно, в цьому діапазоні частоти не спостерігається значної швидкості сушіння.

Тому, щоб створити умови ефективного сушіння – сушку дисперсного матеріалу в киплячому стані, в ході якого досягається максимальне зняття надлишкової вологи за одиницю часу, потрібно забезпечити підтримання частоти зміни регулюючого органу (шиберу) у визначених нами межах, а саме від 10^{-2} до 10^{0} $с^{-1}$

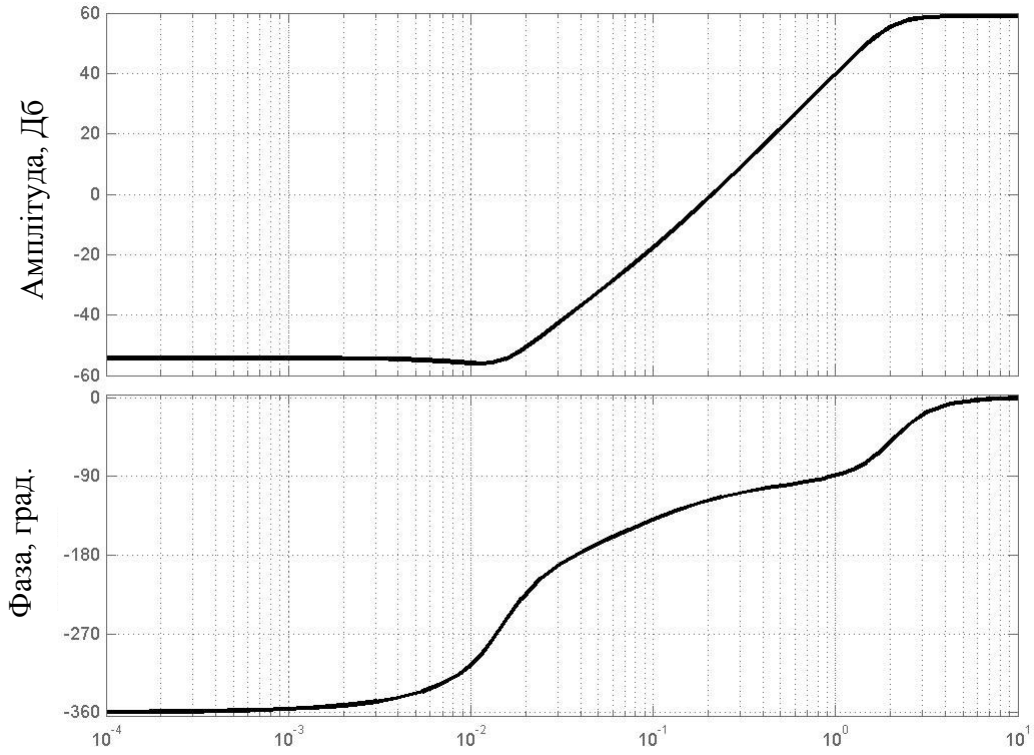


Рисунок 3 – Логарифмічно-частотні характеристики об’єкту

Процес сушки в ЗСУ касетного типу для сушки матеріалу в киплячому шарі, як видно, характеризується великою кількістю параметрів, що показані на рис. 4. Ці параметри умовно можна розділити на три групи.

До параметрів першої групи (контроль і регулювання), які кількісно і якісно характеризують роботу ЗСУ, відносяться: початкова температура агента сушки – $t°_{ап}$; кінцева температура відпрацьованого агента сушки – $t°_{ак}$; температура нагріву зерна в сушильній камері – $t°_{зк}$; кінцева вологість зерна – $W_{зк}$; висота матеріалу на решітці – $H_з$; швидкість агента – υ_a; коефіцієнт розширення киплячого шару – K; кінцева енергія проростання зерна – $E_к$.

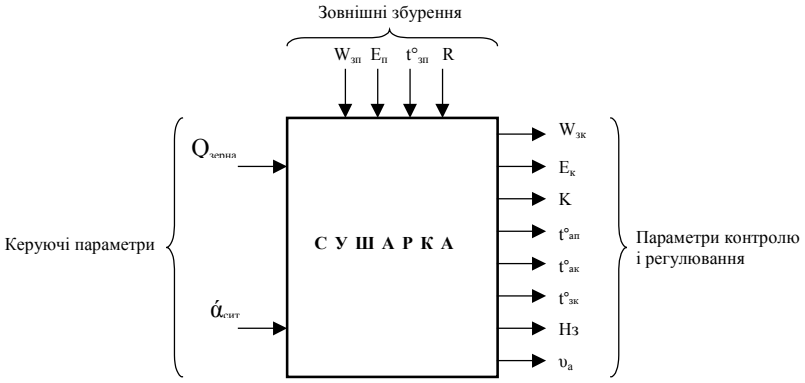


Рисунок 4 – Параметрична схема ЗСУ касетного типу для сушки зернових в киплячому стані

Вхідні параметри об'єкту підрозділяються на дві групи: зовнішні збурення і керуючі діяння. До зовнішніх збурень відносять: початкову вологість матеріалу – $W_{зп}$; початкові температуру зерна –· $t°_{зп}$; наявність домішок – R; початкова енергія проростання насіння – $E_п$.

Керуючими параметрами в об'єкті є: переміщення шибера, що регулює подачу зерна безпосередньо в камеру сушіння – $Q_{зерна}$; кут нахилу каскадів, який регулює час перебування зернового матеріалу в зоні сушіння – $\alpha_{сит}$.

З точки зору автоматизації, зерносушильна установка – найскладніший об'єкт управління в поточній лінії, а впровадження автоматизації в ЗСУ з киплячим шаром ускладнюється ще й рядом факторів. По-перше, потрібно постійно контролювати сам режим створення так званого киплячого стану (підтримувати в заданих межах швидкість агента, висоту шару, коефіцієнт його розширення), адже саме від цих показників головним чином і залежать економічні показники установки. По-друге, контролю і регулювання потребують, звичайно, й такі основні параметри як температура зерна, температура теплоносія, кінцева вологість матеріалу, які в процесі сушіння значно швидше змінюються за рахунок інтенсифікації самого процесу в киплячому шарі. По-третє, так як процес тепло- і масообміну між сушильним агентом і продуктом в такій сушарці відбувається швидше, ніж в інших установках, то потрібно передбачити можливість регулювання часу перебування зернового матеріалу безпосередньо в зоні сушки.

У статті проведена ідентифікація нової моделі ЗСУ з киплячим шаром по каналу продуктивність-волога, побудовані частотні характеристики об'єкту та виявлені збурюючі фактори, що негативно впливають на об'єкт дослідження. Все це і стане основою для подальшого впровадження автоматизації нового виду ЗСУ.

Список літератури

1. Гуляев Г.А. Автоматизация процессов послеуборочной обработки и хранения зерна – М.: Агропромиздат, 1990. – 357 с.
2. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики – М.: Агропромиздат, 1990. – 256 с.

В статье поставлена и решена задача идентификации новой модели зерносушильной установки кассетного типа с кипящим слоем по каналу производительность-влага. Для решения этой задачи был проведен эксперимент, в ходе которого обнаружены параметрические связи системы, основные действующие факторы и снята зависимость изменения влажности от изменения подачи в камеру сушки зернового материала.

In the article put and decided task of authentication of new model of the grain dryering setting of cassette type with a boiling layer on a channel productivity-moisture. For the decision of this task the experiment during which found out self-reactance sun of the system was conducted, basic operating factors and dependence of change of humidity is taken off on the change of serve in the chamber of drying of corn material.