

Оптимальна система управління виробництвом мінеральних добрив у грануляторі із псевдозрідженим шаром

Корнієнко Б.Я., Фесенко С.А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського
м. Київ, Україна
bogdanko@i.ua

Галата Л.П.
Національний авіаційний університет
м. Київ, Україна
galataliliya@gmail.com

Анотація—Розроблено оптимальну систему управління виробництвом мінеральних добрив у грануляторі із псевдозрідженим шаром. Сформульовано критерій оптимальності для системи управління. З використанням пакету MATLAB System Identification було отримано передавальну функцію, а з неї здійснено перехід до векторно-матричної моделі. Розв'язано рівняння Ріккати. Виділені основні фактори, які впливають на процес та створено систему управління з LQR- регулятором, яка відповідає вимогам стабільності, динаміки та надійності.

Ключові слова—система, оптимальне управління, гранулювання, псевдозріджений шар, мінеральні добрива.

ВСТУП

Прибутковість сільськогосподарського підприємства залежить від врожайності культур. Щоб зберегти високу врожайність та прибутки, потрібно поповнювати запас основних хімічних речовин ґрунту. Тому відновлення внутрішнього попиту на добрива до рівня забезпечення потреб сільського господарства і нарощування їх виробництва та експорту є однією зі стратегічних цілей розвитку економіки. У процесі виробництва часто необхідно перевести рідку вихідну сировину в тверду речовину з точно заданими властивостями, яка потім буде піддана подальшій переробці. Гранулювання розпиленням є ефективним рішенням для перетворення рідкої вихідної сировини в тверді форми продукції. Основною перевагою цього методу є те, що в порівнянні з іншими методами можна виконати кілька етапів в одному і тому ж елементі обладнання.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Грануляція розпиленням в псевдозрідженому шарі дозволяє отримувати сипучі грануляти із заданими властивостями безпосередньо з рідин. Рідини з вмістом твердої фази розпорошуються в установці псевдозрідженого шару. Внаслідок активного теплообміну вода і органічні розчинники миттєво випаровуються, а що утворилися при цьому тверді частинки стають центрами гранулоутворення. Вони змочуються новими порціями рідини, яка також випаровується, та

утворює нові шари оболонки навколо вихідного центру.

Основним об'єктом керування є гранулятор з псевдозрідженим шаром, призначення якого є зневоднення та гранулювання добрив. Головними чинниками які впливають на роботу гранулятора є: витрати вихідної сировини для отримання готового продукту; швидкість циркуляції повітря у грануляторі; поруватість потоку гранул; теплоємність гранул; теплота пароутворення [1-7]. Процеси зневоднення та грануляції описує математична модель у вигляді системи з двох диференціальних рівнянь. Рівняння (1) описує зміну температури повітря, яке вико-ристовується для нагрівання шару та гранулоутворення:

$$\begin{aligned} & \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T_r}{\partial t} + V_r \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{\partial T_r}{\partial x} = \\ & = \varepsilon \cdot a \cdot \frac{\partial^2 T_r}{\partial y^2} - \alpha \cdot F \cdot (T_r - T_{gr}) + \\ & + G_p \cdot (1 - x_p) \cdot (r + C_n \cdot T_{gr}), \end{aligned} \quad (1)$$

де ρ – густина гранул, $\text{кг}/\text{м}^3$, C – теплоємність гранул $\text{Дж}/(\text{кгК})$, T_r – температура теплоносія, К , V_r – швидкість теплоносія, $\text{м}/\text{с}$, ε – поруватість потоку гранул, $\%$, α – коефіцієнт тепловіддачі, $1/\text{с}$, a – коефіцієнт горизонтальної теплопроводності, $\text{м}^2/\text{с}$; F – площа газорозподільної решітки, м^2 , T_{gr} – температура гранул, К , G_p – витрати вихідного розчину, $\text{м}^2/\text{с}$, x_p – концентрація вихідного розчину, r – теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$, C_n – питома теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кгК})$, x – висота апарату, м , y – ширина апарату, м .

Рівняння (2) описує зміну температури отриманих в процесі грануляції гранул:

$$\begin{aligned} & (1 - \varepsilon) \cdot \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T_{gr}}{\partial t} - V_{gr} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho \cdot \frac{\partial T_{gr}}{\partial x} = \\ & = \alpha \cdot F \cdot (T_r - T_{gr}) - G_p \cdot (1 - x_p) \times \\ & \quad \times (r + C_n \cdot T_{gr}) + G_p \cdot x_p \cdot q, \end{aligned} \quad (2)$$

де V_{gr} – швидкість розбризкування розчину, $\text{м}/\text{с}$, q – теплота, що виділяється під час кристалізації розчину, $\text{Дж}/\text{кг}$.

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ З LQR-РЕГУЛЯТОРОМ

У грануляторі відбувається процес утворення гранул при висушуванні шарів та наростанню

нових шарів, при цьому відбувається випаровування і передача тепла частинкам. Основним каналом керування є залежність температури теплоносія та температури гранул.

З використанням модулю MATLAB System Identification отримано передавальну функцію. Для побудови інформаційної системи оптимального управління використано лінійно-квадратичний регулятор – один із типів регуляторів в теорії управління, який використовує квадратичний функціонал якості. Динамічна система, яка описується лінійними диференціальними рівняннями, а показником якості є квадратичний функціонал є завданням лінійно-квадратичного управління.

Для безперервних систем описуваних в просторі станів маємо:

$$X' = A \cdot X + B \cdot U, \quad (3)$$

де A та B матриці моделі. Критерій оптимальності:

$$I = \int_0^{\infty} (X^T \cdot Q \cdot X + U^T \cdot R \cdot U) dt, \quad (4)$$

де для синтезу LQR-регулятора потрібні матриці моделі A , B та матриці критерію якості Q , R . Де Q та R – це позитивно визначені матриці, $X^T \cdot Q \cdot X$ – інтегральна квадратична похибка, яка відповідає за якість регулювання системи на інтервалі від нуля до нескінченності. Якість може задаватися відповідною матрицею Q , $U^T \cdot R \cdot U$ – характеризує енергію яка буде затрачена для регуляції. Цей параметр задається одиничною матрицею R .

Знаходимо матриці A та B з отриманої передавальної функції при використанні команди: `sys = ss(Wp)` пакета Control System Toolbox. Де `sys` – це модель, `Wp` – це передавальна функція об'єкту управління.

Керування, знайдене по LQR - алгоритму повинно задовольняти критерій:

$$U = -R^{-1} \cdot B^T \cdot P \cdot X. \quad (5)$$

Матриця P знаходиться з рівняння Ріккати

$$A \cdot P + A^T \cdot P + P \cdot B \cdot R^{-1} \cdot B^T \cdot P + Q = 0. \quad (6)$$

Для отримання рішення була використана функція з пакету Control System Toolbox MATLAB – `lqr(A,B,Q,R)` та отримані коефіцієнти матриці зворотної зв'язку K . Графік перехідної характеристики температури гранул одержаний в результаті роботи оптимальної системи управління з LQR регулятором наведений на рис. 1.

Як видно з графіка система стабільна, керована, виходить на задану температуру $T_{gr} = 364K$ та має час перехідного процесу $t_p = 18.7$ секунд, що прийнятно для регулятора такого типу. Перерегулювання відсутнє.

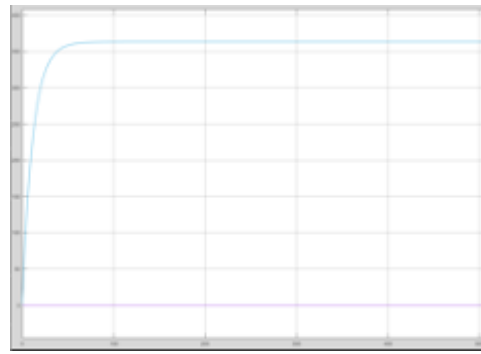


Рис. 1. Графік перехідної характеристики температури гранул одержаний в результаті роботи оптимальної системи управління з LQR регулятором

ВИСНОВКИ

Розроблено оптимальну систему управління виробництвом мінеральних добрив у грануляторі із псевдозрідженим шаром. Основним каналом керування є залежність температури теплоносія та температури гранул. Сформульовано критерій оптимальності для системи управління.

З використанням пакету MATLAB System Identification було отримано передавальну функцію, а з неї здійснено перехід до векторно-матричної моделі. Розв'язано рівняння Ріккати. Виділені основні фактори, які впливають на процес та створено систему управління з LQR-регулятором, яка відповідає вимогам стабільності, динаміки та надійності. Отримано перехідний процес, який виводить температуру гранул на заданий рівень в 364K. Перехідний процес з LQR-регулятором триває $t_p = 18.7$ секунд, що є реальним значенням для регуляторів такого типу.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Корнієнко Б.Я. Інформаційні технології оптимального управління виробництвом мінеральних добрив: монографія.– К.: Вид-во Аграр Медіа Груп, 2014.
- [2] Корнієнко Б.Я. Особливості моделювання процесів переносу у дисперсних системах // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження».– 2011.– № 2(8).– С.5–9.
- [3] Korniyenko B.Y. Static and dynamic characteristics of transport processes in disperse systems // Науковий журнал «Наукоемії технології».– 2013.– № 2 (18).
- [4] Korniyenko B.Y. Research of three – phase mathematical model of dehydration and granulation process in the fluidized bed // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 14, Issue 12, June 2019. - P. 2329 – 2332.
- [5] Korniyenko Y.M. Modeling of heat exchangement in fluidized bed with mechanical liquid distribution // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 14, Issue 12, June 2019, - P. 2203 – 2210.
- [6] Корниенко Б.Я. Математическая модель процесса гранулирования в псевдооживленном слое с использованием теории фрактальных множеств // Науковий журнал «Вісник Національного авіаційного університету».– К.: НАУ, 2008.– № 3.– С.196–200.
- [7] Korniyenko B.Y. Identification of the granulation process in the fluidized bed ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 13, Issue 14, 1 July 2018,- P. 4365-4370.