

УДК 620.66.022

Т.Я. БІЛА, В.В. СТАЦЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОЗАТОРАМИ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЕРУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

*В статті розглянуто принципи роботи системи керування дозатором сипких матеріалів на основі контролера нечіткої логіки. Створено математичну модель та проведено дослідження перехідних процесів, що виникають під час роботи обладнання.*

*Ключові слова: дозатор, сипкі матеріали, контролер нечіткої логіки, грудкоутворення.*

T.Y. BILA, V.V. STATSENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

### CONTROL SYSTEM CREATION FOR BULK MATERIALS DOSER BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLERS

*Abstract – During the process of continuous dosing control systems design one must take into account their operational characteristics, which are caused by physical and mechanical properties and complex nature of the bulk material particles motion. The aim of the study is to develop a control system for the bulk materials doser based on the fuzzy logic controller and determine its effectiveness. Particular attention was paid to study the influence of fluctuations in the bulk material flow to the system work. Analysis of the results allows saying that the use of the control system with the fuzzy logic controller can significantly reduce the time when a transient pulse changes in the flow of particulate material as compared to a system with a PI controller. It is also found that the use of the proposed system does not require changes in the design of equipment and the proposed system can be used for modernization of the existing equipment and for creation the new ones.*

*Keywords: doser, bulk materials, fuzzy logic controllers, lump formation.*

#### Вступ

Операція дозування сипких компонентів широко застосовується в технологічних процесах виготовлення сумішей на підприємствах легкої, хімічної та харчової промисловості. Виникнення відхилень масової продуктивності дозаторів від заданих значень призводить до зміни відсоткового складу суміші та, відповідно, її фізико-механічних властивостей, що, в свою чергу, знижує якість кінцевого продукту.

Роботи із розробки промислового обладнання для дозування сипких матеріалів були розпочаті в першій половині ХХ сторіччя, і за цей час розроблено значну кількість різноманітних конструкцій, але складний характер руху частинок значно ускладнює вирішення задачі рівномірного подання компонентів. Особливо гостро проблема постає в автоматизованих змішувальних комплексах безперервної дії [1]. В цьому випадку компоненти суміші рухаються безперервним потоком і, якщо на виході дозатора виникають пульсації в цьому потоці, то виправити їх дуже складно, оскільки частинки відразу потрапляють всередину змішувача. Основною причиною виникнення цих пульсацій є здатність сипких матеріалів до грудкоутворення. Для зменшення впливу цього ефекту застосовують розрихлювачі різноманітних конструкцій, але повністю виключити формування грудок матеріалу практично неможливо.

Проблема стає складнішою при використанні систем автоматичного керування роботою дозаторів. В цьому випадку при виникненні короткочасної зміни в об'ємній продуктивності дозатора, наприклад, через фіксацію грудки матеріалу датчиком, система почне корегувати продуктивність дозатора, що призведе до появи додаткових відхилень у потоці матеріалу. Але система керування повинна відрізнити короткочасні (імпульсні) зміни у потоці частинок від довготривалих, які можна виправити за рахунок зміни режимів роботи дозатору. Реалізація такої системи дозволить зменшити кількість суміші із відсотковим складом, що не відповідає заданому, а отже й знизити кількість неякісної продукції.

Враховуючи сучасний стан розвитку електроніки розробку системи керування в даному випадку доцільно здійснювати на базі контролерів нечіткої логіки [2]. Такі системи здійснюють роботу на основі сукупності експертних оцінок, що є безумовною перевагою, оскільки створення систем диференціальних рівнянь, які б характеризували процес взаємодії частинок суміші із робочими органами дозатора, є не тривіальним завданням.

#### Постановка завдання

Метою роботи є розробка системи керування дозатором, яка дозволяє ігнорувати короткочасні (імпульсні) відхилення об'ємної продуктивності дозатора від заданого значення та водночас корегувати його режими роботи в інших випадках. Параметри перехідних процесів в такій системі не повинні суттєво відрізнитись від аналогічних параметрів в системах, що використовуються сьогодні. Також бажано уникнути введення до системи керування додаткових пристроїв із високою вартістю або таких, що суттєво відрізняються за масогабаритними показниками.

#### Результати та їх обговорення

Розглянемо структурну схему системи керування дозатором сипких матеріалів (рис. 1) [3]. До її складу входять дозатор тарілчастого типу та стрічковий транспортер із датчиком продуктивності. Частинки матеріалу подаються у вхідних патрубках дозатора (5) та потрапляють на диск (2), що обертається. Під дією відцентрових сил частинки переміщуються до краю диску, де знімаються ножем (4) та потрапляють на

стрічковий транспортер. Кількість суміші, що переміщується транспортером, визначається за допомогою датчика (8). Сигнал від датчика надходить до пристрою керування (7), який формує сигнали керування двигуном (6), з'єднаним із диском за допомогою валу (1). В роботі розглядається дозатор тарілчастого типу, оскільки його продуктивність  $Q(\text{кг/с})$  лінійно залежить від швидкості обертання диску:

$$Q = \frac{h^2 \omega \rho}{2 \operatorname{tg} \varphi} \left[ R + \left( \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi} \right) \right], \quad (1)$$

де  $h$  – відстань від нижнього краю стакану (3) до поверхні диску (м);

$R$  – радіус стакану з сипким матеріалом (м);

$\varphi$  – кут природного укосу матеріалу (град);

$\rho$  – насипна густина матеріалу ( $\text{кг/м}^3$ );

$\omega$  – швидкість обертання диску ( $\text{рад/с}$ ).

Зазначимо, що запропонована система керування може бути використана із дозаторами інших типів. Але для таких умов потрібно враховувати залежність між режимами роботи їх робочих органів та продуктивністю, яка може бути нелінійною.

Для визначення

можливих короточасних (імпульсних) змін продуктивності дозатора пристрій керування аналізує одночасно два сигнали датчика  $Q(t)$  та  $Q(t-\tau)$ , інтервал часу між якими дорівнює  $\tau$ . Час  $\tau$  обирається залежно від конструкції конкретного дозатора та інформації про можливі розміри грудок сипкого матеріалу, що можуть утворюватися під час його роботи. Ці два сигнали датчиків вказують на змінювання потоку матеріалу у часі. В теорії, можна зробити більшу кількість вимірів, що дозволить однозначно виявити імпульсні зміни у потоці матеріалу. Але тоді при виникненні довготривалих змін, система почне реагувати із затримкою, яка дорівнюватиме часу необхідному для проведення всіх вимірювань, що призведе до збільшення кількості неякісної суміші. Принцип керування, що запропонований у даній роботі, передбачає попередню оцінку змін у потоці матеріалу на основі двох сигналів датчиків. Якщо фіксується відхилення від заданого значення, система робить припущення про необхідність корегування продуктивності дозатора і починає змінювати швидкість обертання диску з низьким прискоренням. У випадку, якщо наступні сигнали датчику підтверджують необхідність корегування продуктивності, контролер збільшує прискорення диску. Це надає можливість зберегти меншу тривалість перехідних процесів при корегуванні режимів роботи дозатору. Якщо наступні сигнали датчиків свідчать, що має місце короточасна зміна продуктивності, то контролер повертає швидкість обертання диску до попереднього значення.

Відповідно до теорії нечітких множин, кожен з сигналів  $Q(t)$  та  $Q(t-\tau)$  опишемо за допомогою лінгвістичної змінної «Сигнал датчика», яка в свою чергу визначатиметься за допомогою трьох термів: «більший», «менший» та «рівний» заданому значенню. Для реалізації лінгвістичних змінних визначимо точні значення термів. Кожному значенню з діапазону можливих значень сигналу датчику може бути поставлене у відповідність деяке число від 0 до 1, що визначає ступінь приналежності даного значення сигналу датчику до того чи іншого терму лінгвістичної змінної. Наприклад, для терму «більший» значення 1 означає, що всі експерти вважають поточний сигнал більшим за заданий, а значення 0 – навпаки. З фізичної точки зору сигнал датчика визначається кількістю матеріалу, який знаходиться в даний момент часу на стрічці транспортера, тобто є пропорційним масовій продуктивності дозатора.

Графічно функції приналежності сигналів датчику наведені на рис. 2,а.

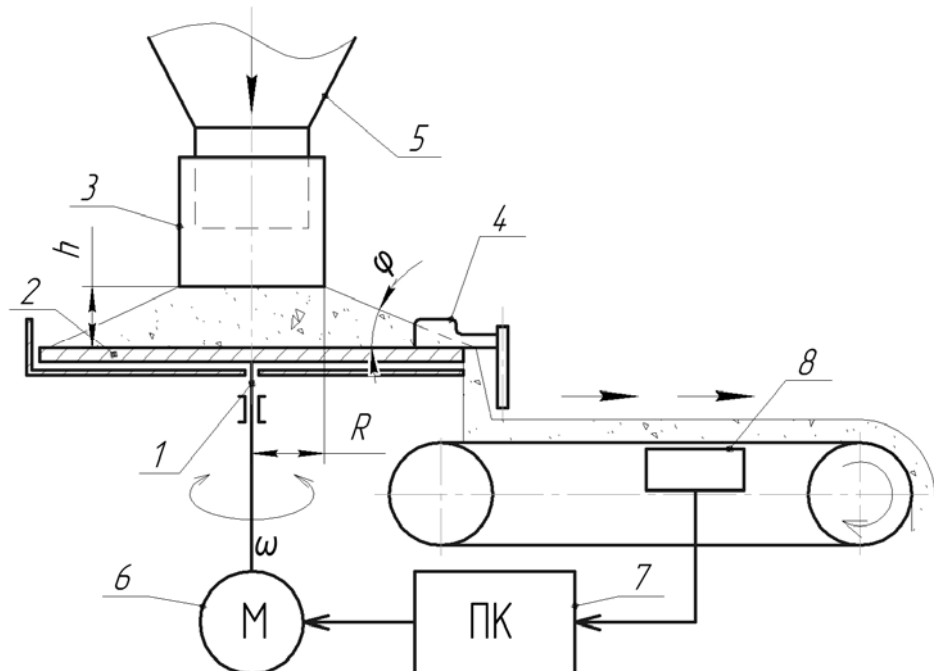


Рис. 1. Структурна схема системи керування дозатором сипких матеріалів

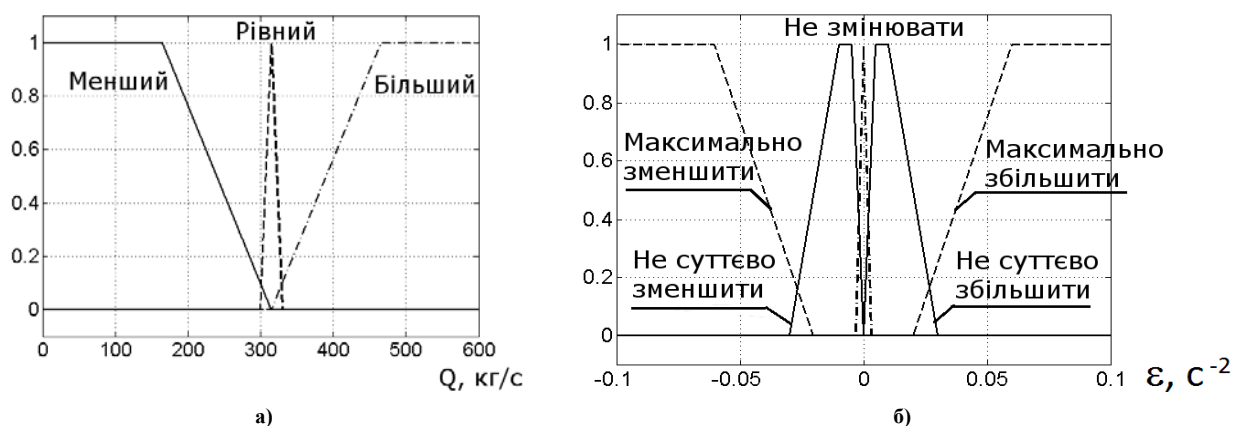


Рис. 2. Функції приналежності для змінних «Сигнал датчику» (а) та «Прискорення» (б).

Для вихідного сигналу також вводимо лінгвістичну змінну «Прискорення», що характеризується п'ятьма термами: «Не змінювати», «Максимально зменшити», «Не суттєво зменшити», «Максимально збільшити», «Не суттєво збільшити». Кожен з термів визначає величину прискорення диску дозатора. Функції приналежності змінної «Прискорення» наведені на рис. 2,б.

Наступним кроком налаштування контролера нечіткої логіки є встановлення взаємозв'язку між вхідними та вихідними сигналами. Ця залежність наведена в таблиці.

Таблиця

Залежності між вхідними та вихідними сигналами

Сигнал датчику $Q(t)$	Сигнал датчику $Q(t-\tau)$	Прискорення
Рівний	Рівний	Не змінювати
Рівний	Менший	Не суттєво зменшити
Рівний	Більший	Не суттєво збільшити
Менший	Рівний	Не суттєво збільшити
Менший	Менший	Максимально збільшити
Менший	Більший	Не суттєво збільшити
Більший	Рівний	Не суттєво зменшити
Більший	Менший	Не суттєво зменшити
Більший	Більший	Максимально зменшити

Якщо сигнали датчиків відповідають заданим, контролер не змінює швидкість обертання диску. Коли система фіксує зміну продуктивності дозатора, тобто один з сигналів датчика відрізняється від заданого, контролер починає повільно збільшувати або зменшувати швидкість обертання диску. Далі можливі два випадки.

1) Зміна сигналу датчика була зумовлена появою грудки матеріалу і при наступному вимірюванні сигнал датчика дорівнюватиме заданому значенню. В цьому випадку швидкість обертання диску повернеться до попереднього значення і тривалість перехідних процесів буде мінімальною, оскільки зміна швидкості обертання відбувалась із незначним прискоренням.

2) Зміна сигналу датчика має довготривалий характер і спричинена, наприклад, зміною куту природного укосу матеріалу, що виникла через зміну вологості. В цьому випадку при наступному вимірюванні сигнал датчика буде відрізнятися від заданого і система почне змінювати швидкість обертання диску із максимальним прискоренням. Процес продовжуватиметься до тих пір, доки сигнали датчику знов не стануть дорівнювати заданим.

Для визначення ефективності застосування системи, що запропонована, створена її математична модель[4] та проведено дослідження перехідних процесів для довготривалих і короткочасних змін продуктивності дозатора. Паралельно проведено порівняння її роботи із «класичною» системою керування з ПІ-регулятором. Результати моделювання наведено на рис. 3 та 4.

В обох випадках заданий рівень продуктивності дозатора становив 315 кг/год. На рис. 3 показані результати моделювання при виникненні зовнішнього впливу, який миттєво змінив продуктивність дозатора з 315 до 415 кг/год. Реакція систем з ПІ-регулятором та контролером нечіткої логіки наведена на рис. 3,б та 3,в, відповідно. В цьому випадку система з контролером нечіткої логіки має на 18% більшу тривалість перехідного процесу у порівнянні із системою з ПІ-регулятором.

При моделюванні імпульсної зміни продуктивності враховано, що при формуванні грудки сипкого матеріалу відбувається зменшення потоку та, відповідно, зниження сигналу датчика. Коли грудка потрапляє на стрічку транспортера відбувається стрибок збільшення сигналу датчика. Зміна цього сигналу показана на рис.4,а. Реакції систем з ПІ-регулятором та контролером нечіткої логіки на такий сигнал наведені на рис.4,б та 4,в, відповідно. Аналіз цих перехідних процесів свідчить, що використання системи з

контролером нечіткої логіки дозволяє скоротити тривалість перехідного процесу на 41%.

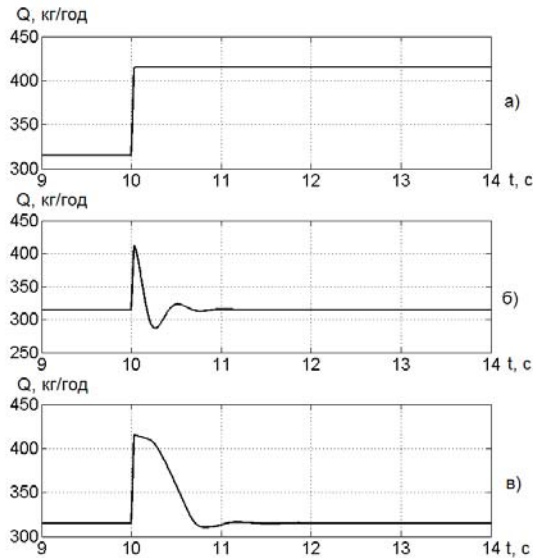


Рис. 3. Результати моделювання при стрибковій зміні сигналу датчика

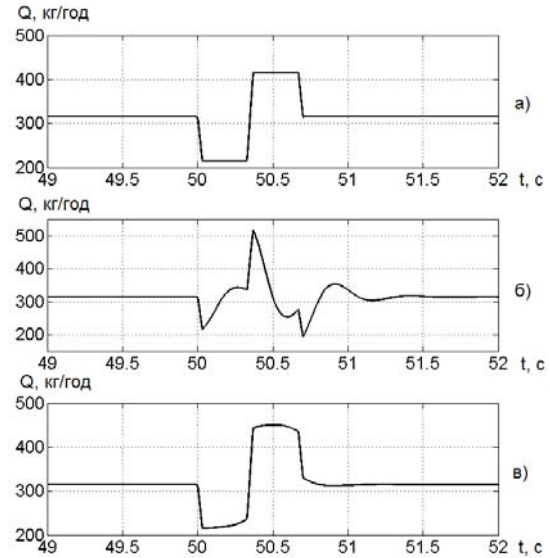


Рис. 4. Результати моделювання при імпульсній зміні сигналу датчика

### Висновки

Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що:

- 1) Використання контролерів нечіткої логіки при створенні систем керування враховує специфіку роботи обладнання для дозування сипких матеріалів.
- 2) Система, що запропонована в роботі, дозволяє знизити тривалість перехідних процесів у випадку короткочасної зміни продуктивності дозатора на 41% та, відповідно, зменшити об'єм неякісної суміші.
- 3) Структура системи керування з контролером нечіткої логіки не відрізняється від «класичних» систем та, враховуючи відносно низькі ціни на контролери, практично не збільшує загальної вартості обладнання.

### Література

1. Стаценко В.В. Аналіз сучасних методів контролю якості процесу змішування багатокомпонентних середовищ / В.В. Стаценко, Т.Я. Біла // Вісник КНУТД. – 2004. – № 1. – С. 80–84.
2. Новак В. Математические принципы нечёткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкож // Mathematical Principles of Fuzzy Logic. — Физматлит, 2006. — 352 с.
3. Біла Т.Я. Моделювання автоматизованої системи керування приводом тарілчастого дозатора сипких матеріалів / Т.Я. Біла, В.В. Стаценко // Вісник КНУТД. – 2010. – № 5. – С. 27–32.
4. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия — Телеком, 2007. – 288 с.

Рецензія/Peer review : 4.9.2015 р. Надрукована/Printed : 5.12.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Петко І.В.