

УДК 620.66.022

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ТА ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРІВ НА РОБОТУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗМІШУВАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Т.Я. БІЛА, ВВ. СТАЦЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*У статті розглянуто алгоритм синтезу регулятора для системи керування змішувальним комплексом на базі відцентрового змішувача безперервної дії. Проведено дослідження перехідних процесів у системі керування, що виникають при застосування регуляторів з різною структурою*

Змішування сипких матеріалів широко застосовується на сучасних підприємствах легкої промисловості. Більшість компонентів, що використовуються для виготовлення полімерних композицій, використовується у гранульованому або порошкоподібному вигляді. При цьому тип компонентів та їх відсоткове співвідношення визначають фізико-механічні та хімічні властивості полімерного матеріалу. Таким чином, виготовлення якісного композиційного продукту висуває високі вимоги до параметрів сумішей, що використовуються. Будь-яке відхилення від заданої рецептури призведе до зміння відповідних властивостей матеріалу та появи браку.

Сьогодні найперспективнішими для застосування у промисловості є змішувачі безперервної дії. Вони, на відміну від обладнання періодичної дії, характеризуються високою продуктивністю, незначними питомими енерговитратами, компактністю і можуть використовуватися у автоматизованих технологічних лініях.

Контроль перебігу процесу змішування та поточних параметрів суміші сипких матеріалів у змішувачах безперервної дії суттєво ускладнений. В першу чергу це пов'язано з такими властивостями як злежуваність, грудкоутворення та здатність до зміни насипної густини, нестабільність яких призводить до змінювання об'ємної продуктивності пристроїв подання компонентів до змішувача під час роботи комплексу.

Таким чином існує необхідність у дослідженні систем автоматичного контролю та керування перебігом процесу змішування [1], визначенні впливу їх параметрів на якість суміші та розробці рекомендації щодо їх розрахунку та проектування.

### **Об'єкти та методи дослідження**

Об'єктом дослідження у цій роботі є система керування змішувальним комплексом, що складається з пристроїв подання вихідних компонентів суміші (дозаторів) та відцентрового змішувача безперервної дії (ВЗБД). Для визначення поточних параметрів суміші пропонується використовувати систему на базі ємнісних датчиків [2].

### **Постановка завдання**

Метою дослідження є визначення впливу типу та конструктивних параметрів регуляторів на роботу системи керування процесом змішування і розробка рекомендацій щодо їх вибору.

### **Результати та їх обговорення**

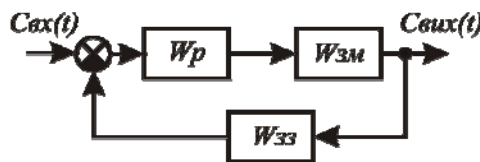
Спрощену математичну модель процесу змішування у відцентровому змішувачі безперервної дії можна представити у виді диференціального рівняння першого порядку.

$$T_{зм} \frac{dC_{вих}(t)}{dt} + C_{вих}(t) = C_{вх}(t), \quad (1)$$

де  $T_{зм}$  – постійна часу змішувача;  $C_{вих}(t)$  – концентрація компонента суміші на виході змішувача;  $C_{вх}(t)$  – концентрація компонента на вході змішувача.

Така модель не враховує ряду параметрів, що впливають на перебіг процесу змішування, але дає можливість оцінити згладжувальну здатність обладнання та, найголовніше, визначити вихідну концентрацію компонентів суміші. Слід зазначити, що для отримання якісного композиційного продукту необхідно забезпечити безперервний рух та рівномірний розподіл компонентів суміші всередині ВЗБД. Тому, найефективнішим способом впливу на відсотковий склад суміші є керування роботою дозаторів. З метою спрощення математичного опису та розрахунків змішувального комплексу розглянемо двокомпонентну суміш, яка складається з основного та ключового компонентів, а вихідна концентрація  $C_{вих}(t)$  є концентрацією ключового компонента.

На рис.1 наведена структурна схема системи, яка моделює роботу змішувального комплексу. До її складу входять змішувач, регулятор, який моделює роботу дозатора ключового компонента суміші, та пристрій керування. На вхід системи подається сигнал завдання  $S_{вх}(t)$ , який порівнюється із сигналом датчика концентрації ключового компонента на виході змішувача  $C_{вих}(t)$ , і залежно від результатів порівняння, пристрій керування змінює режим роботи дозатора. Прийнято такі позначення:



$W_p$  – передавальна функція регулятора,  $W_{зм}$  – передавальна функція змішувача,  $W_{зз}$  – передавальна функція зворотнього зв'язку (пристрою керування).

Рис.1. Структурна схема системи керування змішувальним комплексом

Враховуючи рівняння (1), передавальна функція змішувача  $W_{зм}$  матиме вигляд

$$W_{зм} = \frac{1}{T_{зм}p + 1}, \quad (2)$$

де  $p = \frac{d}{dt}$  – оператор диференціювання.

Передавальна функція зворотнього зв'язку визначається параметрами датчика неоднорідності суміші. У випадку використання ємнісних датчиків [2] можна забезпечити лінійну залежність між концентрацією ключового компонента та сигналом датчика, і, за допомогою відповідного підсилювача, отримати  $W_{зз} = 1$ .

Таким чином, нам необхідно визначити передавальну функцію регулятора  $W_p$ .

Відомо, що структура регулятора залежить від параметрів об'єкта та вимог до якості керування. Сформулюємо ці вимоги.

У роботі наведено результати дослідження ВЗБД із продуктивністю 1500кг/год, постійна часу дорівнює 15с ( $T_{зм} = 15$ ). Система керування має забезпечити такі параметри перерегулювання не більше 5%, тривалість перехідного процесу не більша 3с, статична похибка не більша 2%, запас стійкості за амплітудою не менший 6 дБ, запас стійкості за фазою не менший 30°.

Сьогодні не існує єдиної методики синтезу регуляторів. Більш того, часто існує кілька типів регуляторів, які забезпечують необхідну якість перехідних процесів. Тому пошук необхідної структури та параметрів регулятора у кожному окремому випадку проводиться, виходячи з вимог до конкретної системи. Але існують рекомендації, які дають можливість звузити коло пошуку.

Для забезпечення максимально простої структури регулятора необхідно поступово вводити до його складу додаткові елементи та перевірити можливість забезпечення необхідних параметрів якості керування за їх рахунок. Як тільки буде знайдено рішення, яке задовольняє всі вимоги, процес пошуку припиняється.

У першу чергу розглянемо роботу замкненої системи без регулятора. Її передавальна функція має вигляд

$$W_C = \frac{W_{3M}}{1 + W_{3M}W_{33}} = \frac{1}{T_{3M}p + 2}. \quad (3)$$

Аналіз такої системи керування свідчить про те, що тривалість перехідного процесу ( $> 45c$ ) та величина статичної похибки (50%) є незадовільними (рис.3, лінія 1).

Для того, щоб зменшити величини цих параметрів, спробуємо використати найпростіший П-регулятор, який має передавальну функцію  $W_p = K$ , де  $K$  – коефіцієнт підсилювання. Передавальна функція системи з П-регулятором має вид

$$W_C = \frac{K}{T_{3M}p + K + 1}. \quad (4)$$

Дослідження залежності між значенням коефіцієнту  $K$  та тривалістю перехідних процесів свідчить, що досягти заданої тривалості перехідного процесу можливо лише при значеннях  $K > 25$ , але при цьому величина статичної похибки 4% (рис.3, лінія 2). Подальше збільшення коефіцієнта підсилювання недоцільне, тому що в реальних умовах створювати дозатор, який би забезпечував відповідний коефіцієнт підсилювання є не вигідним з огляду його економічності.

На практиці [3] значного розповсюдження набув метод синтезу регуляторів за допомогою ЛАЧХ, згідно з яким будують бажану ЛАЧХ розімкненої системи та ЛАЧХ об'єкта керування. Різниця між цими характеристиками відповідає ЛАЧХ регулятора, аналізуючи яку, підбирають структуру регулятора та його параметри. Сьогодні алгоритм синтезу можна дещо спростити у зв'язку із значним розповсюдженням ЕОМ. Сучасні математичні пакети дають можливість швидко будувати ЛАЧХ за заданими параметрами та одночасно будувати графік реакції системи на заданий вхідний сигнал. Таким чином, зручніше задавати структуру регулятора та аналізувати ЛАЧХ системи, ніж по бажаній ЛАЧХ визначати параметри регулятора.

Визначимо наближену частоту різку системи. Якщо величина перерегулювання менша 20%, її можна обчислити за такою формулою:

$$\omega_{3P} = \frac{2,5\pi}{t_p} = 2,1 \text{ рад} / c, \quad (5)$$

де  $t_p$  – тривалість перехідного процесу.

Відомо, що зменшення статичної похибки системи можна досягти за рахунок введення у склад регулятора інтегруючої ланки, тобто, отримуємо систему з ПІ-регулятором. Передавальна функція замкненої системи з ПІ-регулятором має вид

$$W_C = \frac{1}{T_{3M}p^2 + p + 1}. \quad (6)$$

Результати аналізу свідчать, що застосування регулятора такого типу дає можливість виключити статичну похибку, але не зменшує час перехідного процесу (рис.3, лінія 3). Зміна величини коефіцієнта

підсилювання впливає лише на частоту коливань вихідної величини. Крім того, величина перерегулювання є теж незадовільною.

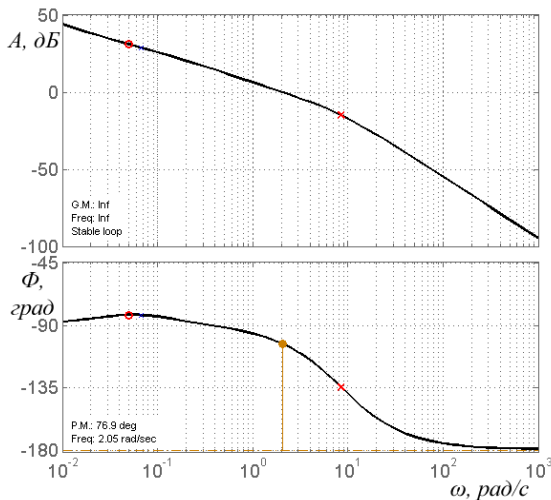


Рис.2. ЛАФЧХ системи керування

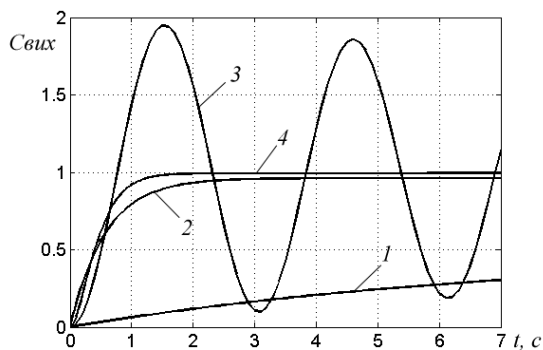


Рис.3. Реакція системи керування на одиничний стрибок

параметри системи: перерегулювання – 0, тривалість перехідного процесу – 1,49с; статична похибка – 0; запас стійкості за фазою –  $76,7^{\circ}$ ; запас стійкості за амплітудою -  $\infty$ .

**Висновки**

Одержані результати свідчать, що синтезований регулятор відповідає вимогам, які дають одержати якісну композицію та суттєво зменшити кількість неякісної суміші під час роботи змішувального комплексу.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Біла Т.Я., Стаценко В.В. Автоматичні системи керування процесом змішування та режимами роботи змішувального обладнання //Вісник ХНУ. – 2006,– №2. – с.46-48.
2. Костицький В.В., Біла Т.Я., Стаценко В.В. Пат. 66717 України МКИ 7G01N15/02. Спосіб визначення неоднорідності суміші сипучих компонентів; Заявл. 13.10.03; Опубл. 17.05.04; Бюл.№5, від 17.05.2004.
3. Бесекерский В.А, Попов Ю.И. Теория систем автоматического регулирования. – М: Наука – 1972, – 768 с.

Для того, щоб зменшити величину перерегулювання та тривалість перехідного процесу введемо у систему керування ланку створення випередження за фазою  $W_{B\Phi}$ , передавальна функція якої дорівнює:

$$W_{B\Phi} = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}, \tag{7}$$

де  $T_1, T_2$  – постійні часу ланки випередження за фазою.

Змінюючи параметри ланки, перевіряємо відповідність характеристик системи заданим значенням. При цьому для зменшення часу реакції системи необхідно, щоб нуль ланки випередження за фазою знаходився поряд з полюсом об'єкту керування. У результаті отримуємо регулятор з такими параметрами.

$$W_p = \frac{1,58(20p + 1)}{p(0,12p + 1)}, \tag{8}$$

при цьому передавальна характеристика замкненої системи матиме вид:

$$W_c = \frac{31,6p + 1}{1,8p^3 + 15,12p^2 + 32,6p + 1}. \tag{9}$$

ЛАЧХ такої системи та її реакція на одиничний стрибок показані на рис.2 та 3, лінія 4. Визначимо

Надійшла 25.11.2009