

Я.О. Довгополий, О.В. Лещенко, С.Д. Блонський

## АНАЛІЗ КОРИСНИХ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ПІД-РЕГУЛЯТОРІВ З ДОДАТКОВОЮ КЕРУЮЧОЮ ДІЄЮ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Представлений аналіз корисних структурних схем ПІД-регуляторів з додатковою керуючою дією диференціатора, розглянуті їх закони регулювання. Проведено порівняльне моделювання систем регулювання з використанням розглянутих структурних схем регуляторів та отримані їх показники якості перехідних процесів регулювання.

**Вступ**

Питання підвищення якості автоматичного регулювання є завжди актуальним і вирішуються вони різними методами. Одною з важливих задач є розробка методик інженерних розрахунків оптимальних параметрів настройок стандартних регуляторів, адже самий досконалий регулятор не може дати якісного регулювання без встановлення на ньому оптимальних значень параметрів настройок. Важливим напрямком є також удосконалення структури ПІД-регуляторів та використання нових законів регулювання. За рахунок застосування в схемах нових елементів іноді суттєво ускладнюється структура регуляторів і, відповідно, закон регулювання, при цьому знову виникає проблема пошуку оптимальних параметрів настройок, яких по кількості стає більше і це значно ускладнює рішення цієї задачі.

*Аналіз досліджень та публікацій*

В періодичній літературі заслуговує на увагу робота [1,2], у якій проведено детальний аналіз сучасного стану і принципів побудови ПІД-регуляторів та визначені напрями і перспективи їх подальшого вдосконалення. Нові методики розрахунку оптимальних параметрів настройки регуляторів викладені в публікаціях [3,4].

Звернемо увагу на структурну схему ПІД-регулятора з додатковою дією зворотних зв'язків [5]. Керуючий сигнал цього регулятора подається на блок інтегрування через інвертор і далі проходить на блок затримки з інвертором, при цьому вихідні сигнали цих блоків додаються до основного сигналу ПІД-регулятора в якості додаткової керуючої дії. Регулятор характеризується складною структурою та достатньо складним законом регулювання і має додатково два параметри настройки: коефіцієнт інтегрування та час запізнювання блоку затримки.

Відомий ПІД-регулятор з додатковою керуючою дією диференціатора [6,7], який піддає диференціюванню вихідний сигнал блоку пропорцій-

ного перетворювання і, таким чином, створює додаткову керуючу дію, що забезпечує досягнення більш якісного перехідного процесу регулювання.

*Мета роботи*

Метою цієї роботи є проведення аналізу корисних структурних схем ПІД-регуляторів з додатковою керуючою дією диференціатора, а також визначення найкращих їх показників якості регулювання при використанні цих регуляторів з двоємнісними об'єктами з запізнюванням шляхом моделювання відповідних автоматичних систем регулювання (АСР) на ПЕОМ.

*Розв'язання задачі дослідження*

Загальною особливістю структурних схем ПІД-регуляторів, що розглядаються тут, є те, що вони всі складені з однакових блоків та елементів, і відрізняються між собою тільки схемою з'єднання елементів. Детальний аналіз ПІД-регулятора з додатковою керуючою дією диференціатора, на вхід якого подається вихідний сигнал блоку пропорційного перетворювання, проведено в роботах [6,7], а тому порівнювальний аналіз інших структурних схем будемо проводити з використанням цього відомого ПІД-Д-регулятора.

Розглянемо структурну схему ПІД-регулятора з додатковою керуючою дією [8], яка представлена на рис. 1.

В цьому регуляторі на вхід додаткового диференціатора 7 подається вихідний сигнал суматора 5, який підсумовує вихідні сигнали блоку пропорційного перетворювання 2 та блоку диференціювання 4 стандартного ПІД-регулятора. Додаткова керуюча дія диференціатора 7 додається до основного керуючого сигналу ПІД-регулятора в суматорі 6, вихідний сигнал якого є загальним регулюючим сигналом  $U(t)$  цього регулятора. Враховуючи сигнали, які піддаються додатковому диференціюванню, назовемо скорочено цей регулятор «ПІД-ПД-регулятором».

Передаточна функція такого регулятора має вигляд:

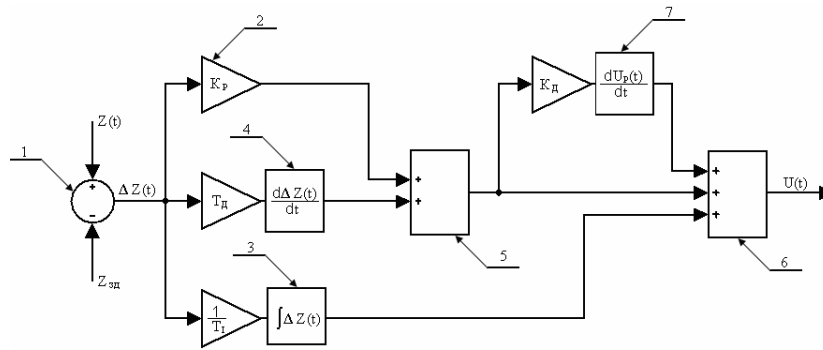


Рис. 1. Структурна схема ПІД-ПІД-регулятора

$$W(s) = K_p + \frac{1}{T_s \cdot s} + T_D \cdot s + (K_p + T_D \cdot s) \cdot K_d \cdot s, \quad (1)$$

де  $K_d$  – коефіцієнт диференціювання додаткового диференціатора.

Після нескладного перетворення отримаємо передаточну функцію ПІД-ПІД-регулятора в кінцевому вигляді:

$$W(s) = K_p + \frac{1}{T_s \cdot s} + (T_D + K_p \cdot K_d) \cdot s + T_D \cdot K_d \cdot s^2. \quad (2)$$

Отже, у відповідності з передаточною функцією (2) ПІД-ПІД-регулятор здійснює додатковий керуючий вплив за другою похідною.

Становить певну технічну зацікавленість ПІД-регулятор з додатковою керуючою дією [9], структурна схема якого показана на рис. 2. В структурній схемі цього регулятора задіяні ті ж самі блоки, що і в ПІД-ПІД-регуляторі. Блок пропорційного перетворювання 2, інтегратор 3 та диференціатор 4 є основними функціональними блоками стандартного ПІД-регулятора. Вихідний керуючий сигнал від суматора 5 подається на вхід додаткового диференціатора 7 і одночасно на вхід суматора 6, а додаткова керуюча дія диференціатора 7 додається до основного керуючого впливу в

суматорі 6, вихід якого є загальним керуючим впливом  $U(t)$  цього регулятора.

Враховуючи те, що додатковому диференціюванню піддаються всі три вихідні складові стандартного ПІД-регулятора, то будемо скорочено називати такий регулятор «ПІД-ЗД-регулятором».

Передаточна функція такого регулятора має вигляд:

$$W(s) = K_p + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_D \cdot s + (K_p + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_D \cdot s) \cdot K_d \cdot s. \quad (3)$$

Після проведення відповідних перетворень отримаємо передаточну функцію ПІД-ЗД-регулятора в кінцевому вигляді:

$$W(s) = K_p + \frac{K_d}{T_i} + \frac{1}{T_i \cdot s} + (T_D + K_p \cdot K_d) \cdot s + T_D \cdot K_d \cdot s^2. \quad (4)$$

Передаточна функція ПІД-ЗД-регулятора (4) за своєю структурою близька до передаточної функції (2) і відрізняється від неї додатком до пропорційної складової відношення коефіцієнта диференціювання до часу інтегрування  $K_d/T_i$ . Тут

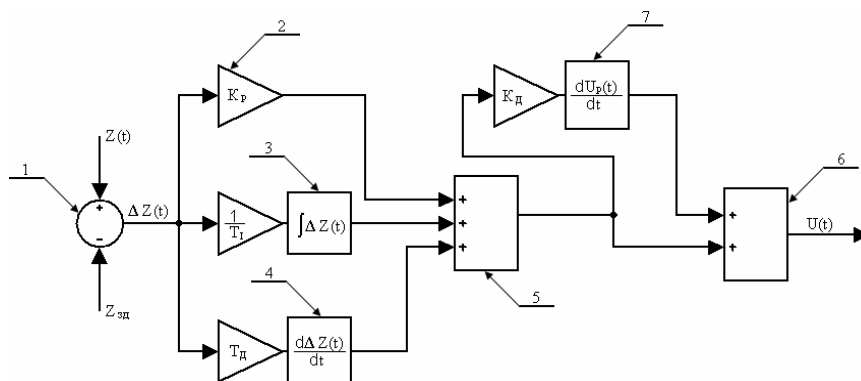


Рис. 2. Структурна схема ПІД-ЗД-регулятора

постає питання, як впливає така зміна на перехідний процес регулювання і чи дає це позитивний ефект.

Для виявлення позитивних характеристик розглянутих структурних схем ПІД-регуляторів з додатковою керуючою дією на ПЕОМ були проведені порівняльні моделювання автоматичних систем регулювання технологічного об'єкту з використанням цих різновидів регуляторів. В якості об'єкта автоматизації використано теплообмінний апарат, який має по каналу регулювання передавочну функцію:

$$W(s) = \frac{1,2 \cdot e^{-4s}}{(4 \cdot s + 1) \cdot (10 \cdot s + 1)} \quad (5)$$

Отже, порівняльному моделюванню були піддані ПІД-Д-регулятор [6] в якості відомого основного регулятора, а також розглянуті тут нові структурні схеми ПІД-ПД-регулятора та ПІД-ЗД-регулятора. Пошук оптимальних параметрів настройки регуляторів проводили шляхом зміни відповідних коефіцієнтів та проведення багаторазових розрахунків, поки не досягали прийнятних перехідних процесів регулювання в межах 8–12% перерегулювання, що відповідає перебуванню АСР в найбільш чутливій та найбільш усталеній зоні.

На рис. 3 представлені криві перехідних процесів регулювання. Максимальне динамічне відхилення  $DZ_{1max}$ , що є основним показником якості автоматичного регулювання, при використанні ПІД-Д-регулятора складає 4,1% (крива 1) при нанесенні на навантаження об'єкта збурюючої дії величиною 10%. ПІД-ПД-регулятор дає перехідний процес регулювання, який зображується кривою 2 з максимальним динамічним відхиленням  $DZ_{1max} = 3,34\%$ . Найкращий перехідний процес регулювання дає використання ПІД-ЗД-регулятора (крива 3) з максимальним динамічним відхиленням  $DZ_{1max} = 2,95\%$ . В порівнянні з ПІД-Д-регулятором зменшення максимального динамічного відхилення  $DZ_{1max}$  для ПІД-ПД-регулятора

складає 18,5%, а для ПІД-ЗД-регулятора відповідно – 28%.

Час перехідного процесу регулювання у розглянутих тут регуляторів, що видно з рис. 3, теж суттєво відрізняється. ПІД-ЗД-регулятор дає найменший час перехідного процесу регулювання і має найбільшу швидкість за рахунок використання усіх трьох складових ПІД-регулятора для здійснення додаткового керуючого впливу диференціатором. Фактично за час регулювання  $t_p = 20$  хв цей регулятор приводить регульований параметр  $Z$  в межі заданого значення  $Z_{зд}$ . В порівнянні з ПІД-Д- та ПІД-ПД-регуляторами, які дають однакову величину часу перехідного процесу регулювання  $t_p = 45$  хв, зменшення цього часу для ПІД-ЗД-регулятора складає 25–30%.

Проведено також дослідження зміни в часі керуючих впливів  $U(t)$  на об'єкт керування для схем регуляторів, які тут моделювались, при цьому збурювання на АСР наносили ступеневою зміною навантаження на об'єкт величиною 10%. При таких умовах зображені на рис. 3 криві 1, 2, 3 перехідних процесів регулювання отримані при максимальних значеннях керуючих впливів  $U(t)$  відповідно 14,5%, 13,8% та 16,7%. Отже, найкраща якість перехідного процесу регулювання досягнута при використанні ПІД-ЗД-регулятора за рахунок збільшенням ним величини керуючого впливу та більшої швидкості зміни його в часі.

### Висновки

1. Приведений опис нових структурних схем ПІД-регуляторів з додатковою керуючою дією диференціатора та їх закони регулювання.

2. Проведені порівняльні моделювання АСР з використанням розглянутих структурних схем цих регуляторів з метою виявлення їх позитивних властивостей за якістю показників перехідних процесів регулювання.

3. Доведено, що найкращу якість регулювання дають АСР з використанням ПІД-ЗД-регулятора.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С.66-74.

2. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 1. – С.78-88.

3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Издат. МЭИ, 2004. – 400 с.

4. Визначення залежностей настройок ПІ- та ПІД-регуляторів від динамічних характеристик двоємісних об'єктів / О.Ф. Шуть, С.Д. Блонський, В.Я. Тришкін, В.І. Корсун // Гірничі електромеханіка та автоматика. – 2010. – Вип. № 85. – С.62-70.

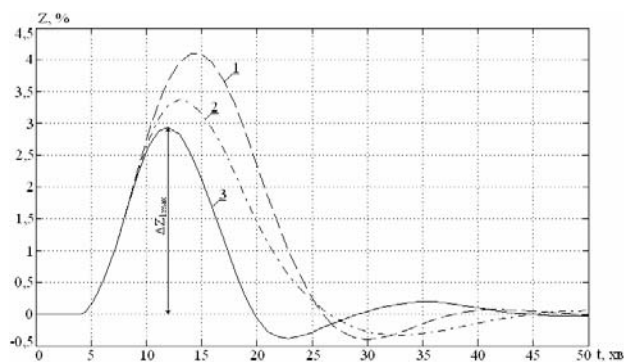


Рис. 3. Перехідні процеси регулювання двоємісного об'єкта: 1 – ПІД-Д-регулятор,  $DZ_{1max} = 4,1\%$ ; 2 – ПІД-ПД-регулятор,  $DZ_{1max} = 3,34\%$ ; 3 – ПІД-ЗД-регулятор,  $DZ_{1max} = 2,95\%$

5. Пат. 1835215 АЗ, SU, МПК 6 G05B11/36. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор / И.О. Авдеев, О.Н. Авдеев, В.И. Башкиров — № 4943229/24; Заявл. 05.05.91; Опубл. 20.02.96. — Бюл. № 5. — 3 с.

6. Пат. № 95197, Україна, МПК G05B11/36. Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор з додатковою керуючою дією // С.Д. Блонський, Н.С. Петрова, О.Ф. Шуть. — №а 2010 07914; Заявл. 24.06.10; Опубл. 11.07.11. Бюл. №13. — 7 с.

7. Дослідження ПД-регуляторів з додатковою керуючою дією / С.Д. Блонський, Н.С. Петрова, Н.О. Мінакова, В.І. Корсун // Гірничі електромеханіка та автоматика. — 2010. — Вип. № 85. — С.90-96.

8. Заявка №а 2011 06467, Україна, МПК G05B11/48. Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор з додатковою керуючою дією / Н.С. Петрова, С.Д. Блонський — Заявл. 23.05.11. — 7 с.

9. Заявка №а 2011 11192, Україна, МПК G05B11/48. Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор з додатковою керуючою дією / Н.С. Петрова, С.Д. Блонський, Н.О. Мінакова — Заявл. 24.11.11. — 7 с.

Надійшла до редакції 29.02.2012