

Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 681.515.8

Т.О. Бербець

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В статті висвітлено шляхи синтезу автоматичної системи керування абсорбером із застосуванням сучасного програмного забезпечення. У результаті проведених експериментальних досліджень побудовано експериментальні логарифмічні частотні характеристики та отримано передавальну функцію абсорбційної колони.

Ключові слова: автоматична система керування, динамічні характеристики, параметри налаштування регуляторів, передавальна функція, одноконтурна аналогова система керування.

Вступ

З метою підвищення якості та конкурентоспроможності продукції нафтогазової галузі народного господарства України, а також в умовах зростання дефіциту і вартості енергоносіїв актуальною є проблема удосконалення та створення нових систем контролю та керування технологічними об'єктами.

Метою даної роботи є аналіз та синтез системи керування абсорбційної колони.

Варто зазначити, що властивості об'єктів управління достатньо повно відображають їх статичні і динамічні характеристики, що є підґрунтям для розрахунку регуляторів. Іншими словами, для того, щоб обґрунтувати вибір регулятора для даного об'єкта, необхідно мати його математичну модель, яка може бути отримана аналітичним або експериментальними методами.

Динамічні характеристики елементів системи автоматичного керування не завжди можуть бути визначені аналітичним шляхом [1 – 4]. В багатьох випадках використовують експериментальні методи, а саме: метод оснований на частотних характеристиках; імпульсних перехідних характеристиках і регресійному аналізі.

Результати досліджень

З метою дослідження частотних характеристик абсорбційної колони здійснено планування експериментальних досліджень та обґрунтовано вибір засобів вимірювальної техніки, а саме: генератор синусоїдальних коливань; пікові вольтметри, лічильники часу, фазометри. Експериментальний метод знаходження частотних характеристик проводиться наступним чином: штучним методом збуджують гармонійні (або періодичні) коливання вхідної коор-

динати з частотою ω і реєструються усталені коливання. Досліди проводяться для ряду значень частот ω . Для значення $A(\omega)$ вимірюють амплітуди вхідної і вихідної координати. Значення ФЧХ отримують шляхом безпосереднього вимірювання різниці фаз між вхідною і вихідною координатою. Миттєві значення $A(\omega)$ визначаються через інтервал часу $\Delta t = (\pi/2\omega) \cdot k$, де $k = 0, 1, 2, \dots$. Тривалість досліду на заданій частоті ω в середньому дорівнює $(\sigma - TO)T$, де $T = 2\pi/\omega$. Перші 3 – 4 періоди коливань не використовуються, оскільки в об'єкті ще не затухли перехідні процеси.

Експериментальні частотні характеристики приведені на рис. 1.

У результаті проведених експериментальних досліджень побудовано експериментальні логарифмічні частотні характеристики: ЛАЧХ і ЛФЧХ та отримано передавальну функцію абсорбційної колони:

$$W_o(p) = \frac{e^{-30p}}{(84.5p + 1)(42.2p + 1)(28.2p + 1)}$$

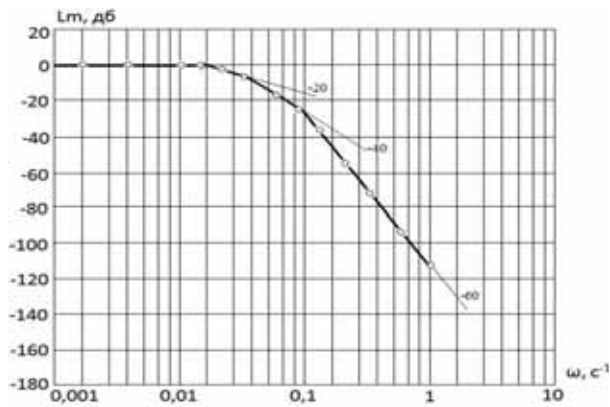
Розглянемо одноконтурну систему керування із стандартними ПД-, ПІ-, ПІД- регуляторами.

Структурна схема одноконтурної аналогової системи керування зображена на рис. 2 і відповідає функціональній схемі.

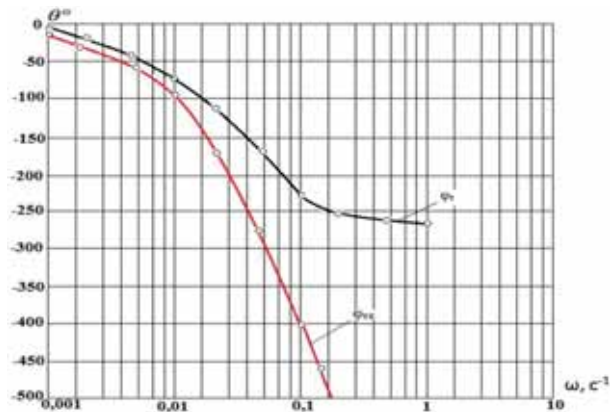
Здійснюємо синтез одноконтурної системи керування. Оскільки одноконтурні системи регулювання являються простими і, як правило, можуть бути рекомендовані для об'єктів з малою інерційністю.

Оскільки об'єкт статичний, то проведемо синтез системи з ПД-, ПІ-, ПІД- регуляторами. Для розрахунку параметрів налаштування використовуємо методика Ротача.

Записуємо фазо-частотну характеристику об'єкта керування:

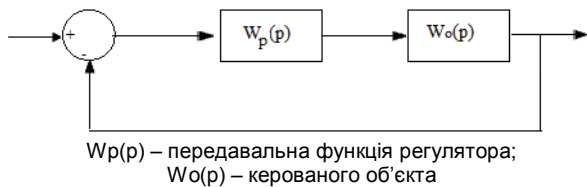


а – ЛАЧХ



б – ЛФЧХ

Рис. 1. Експериментальні логарифмічні частотні характеристики об'єкта



Wp(p) – передавальна функція регулятора;
Wc(p) – керуваного об'єкта

Рис. 2. Структурна схема одноконтурної аналогової системи керування

$$\varphi_0(u) = -\omega\tau \cdot (180/\pi) - (\arctg 4.5\omega + \arctg 42.2\omega + \arctg 28.2\omega). \quad (1)$$

Амплітудно-частотна характеристика об'єкта регулювання:

$$A_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{84.5^2\omega^2 + 1\sqrt{42.2^2\omega^2 + 1}\sqrt{28.2^2\omega^2 + 1}}} \quad (2)$$

Знайдемо резонансні частоти за рівняннями:

- для ПД - регулятора:

$$\varphi_0(\omega_{кр}) = -176.5^\circ;$$

- для ПІ - регулятора:

$$\varphi_0(\omega_{кр}) = -123.5^\circ;$$

- для ПІД - регулятора:

$$\varphi_0(\omega_{кр}) = -150^\circ.$$

Отримуємо:

$$\omega_{кр}^{ПД} = 0.022\text{с}^{-1}; \omega_{кр}^{ПІ} = 0.0136\text{с}^{-1}; \omega_{кр}^{ПІД} = 0.018\text{с}^{-1}.$$

Обчислюємо амплітудно-частотні характеристики (2) на резонансній частоті:

$$A_{кр}^{ПД}(\omega_{кр}) = 0.295; A_{кр}^{ПІ}(\omega_{кр}) = 0.43;$$

$$A_{кр}^{ПІД}(\omega_{кр}) = 0.385.$$

Обчислюємо параметри налаштування регуляторів:

- для ПД - регулятора:

$$K_p = \frac{0.724}{A_0\omega_p} = \frac{0.724}{0.295} = 2.45; T_d = \frac{0.5}{\omega_p} = \frac{0.5}{0.022} = 22.2\text{с}.$$

- для ПІ - регулятора:

$$K_p = \frac{0.724}{A_0\omega_p} = \frac{0.724}{0.43} = 1.6; T_i = \frac{2}{\omega_p} = \frac{2}{0.0136} = 147\text{с}.$$

- для ПІД - регулятора:

$$K_p = \frac{0.808}{A_0\omega_p} = \frac{0.808}{0.385} = 2.1; T_d = \frac{\sqrt{c}}{\omega_p} = \frac{\sqrt{0.15}}{0.018} = 21.5\text{с},$$

$$T_i = \frac{1}{\omega_p\sqrt{c}} = \frac{1}{0.018\sqrt{0.15}} = 143.4\text{с};$$

де c=0.15.

Отже, передавальні функції регуляторів будуть такі:

$$W^{ПД}(p) = K_p(T_dp + 1) = C_2p + C_1 = 54.39p + 2.45; \quad (3)$$

$$W^{ПІ}(p) = \frac{K_p(T_ip + 1)}{T_2p} = \frac{C_1p + C_0}{p} = \frac{1.68p + 0.0114}{p}; \quad (4)$$

$$W^{ПІД}(p) = \frac{K_p}{T_1p}(1 + T_1p + T_dT_1p^2) = \frac{C_2p^2 + C_1p + C_0}{p}; \quad (5)$$

$$W^{ПІД}(p) = \frac{45.15p^2 + 2.1p + 0.0146}{p}.$$

Блок-схема для моделювання системи з такими регуляторами приведена на рис. 3.

Перехідні процеси моделюємо за допомогою програмного продукту Matlab (рис. 4 – 6).

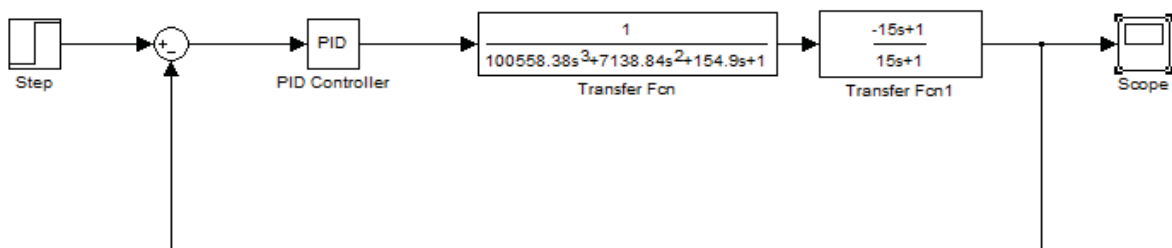


Рис. 3. Блок-схема для моделювання системи з ПД-, ПІ-, ПІД- регуляторами

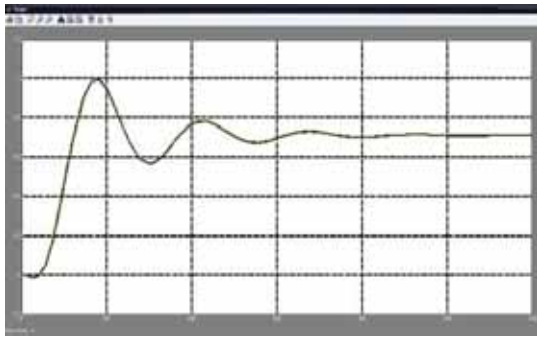


Рис. 4. Перехідний процес одноконтурної системи керування з ПД-регулятором

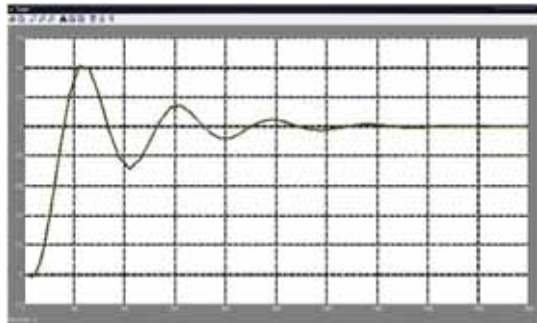


Рис. 5. Перехідний процес одноконтурної системи керування з ПІ-регулятором



Рис. 6. Перехідний процес одноконтурної системи керування з ПІД-регулятором

До якісних показників перехідного процесу відносяться: перерегулювання σ , час регулювання $t_{рег}$, коефіцієнт згасання ψ .

Час регулювання $t_{рег}$ - мінімальний час, після якого відхилення вихідної величини $h(t)$ від усталеного значення не буде перевищувати деякої наперед заданої величини Δ , тобто $|h(t) - h_{уст}(t)| \leq \Delta$. Звичайно $\Delta = 5\%$ (від $h_{уст}(t)$).

Перерегулювання σ - максимальне відхилення перехідної характеристики від усталеного значення, що виражається у відносних одиницях, або у відсотках:

$$\sigma = [(h_{\max} - h_{уст}) / h_{уст}] \cdot 100\%. \quad (6)$$

Перерегулювання є наслідком того, що до нового усталеного стану система підходить з певною швидкістю: чим більш ця швидкість, тим більш величина σ . Крім того, при великих перерегулюваннях зростає прискорення вихідної координати, а це пов'я-

зано з різким зростанням потужності виконавчих пристроїв і перевантажень, що зазнає об'єкт керування. Тобто для кожної конкретної системи необхідно обирати оптимальну величину перерегулювання σ .

Коефіцієнт згасання визначається як

$$\psi = 1 - h_3 / h_1. \quad (7)$$

Кількість перелічених показників якості може бути збільшена, або зменшена відповідно до особливостей системи. Якісні параметри системи регулювання зводимо у табл. 1.

Таблиця 1

Результати моделювання перехідних процесів в одноконтурних САК

| Тип регулятора | Перерегулювання σ , % | Час регулювання t , с | Статична похибка регулювання |
|----------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| ПД | 30 | 540 | 0.3 |
| ПІ | 41 | 900 | 0 |
| ПІД | 40 | 570 | 0 |

Як бачимо, за тривалістю перехідного процесу кращим є ПД-регулятор, проте він не може бути рекомендований для даного об'єкта із наявності великої статичної похибки регулювання. Кращі показники регулювання забезпечує ПІД-регулятор, проте ні один із регуляторів не забезпечує необхідної якості регулювання. Даний об'єкт потребує більш складний алгоритм керування.

Розглянемо введення в закон регулювання другої похідної (ПІДД - закон регулювання)

Блок-схема моделювання перехідного процесу при введенні в ПІД - закон регулювання другої похідної приведена на рис. 7.

Передавальна функція ПІДД - регулятора може бути записана у вигляді:

$$W^{ПІДД}(p) = (K_p / T_i p) \cdot (1 + T_1 p + T_2 T_1 p^2 + T_1 T_2 T_1 p^3), \quad (8)$$

де T_i - стала часу ізодрома; T_1 - стала часу сигнала від першої похідної; T_2 - стала часу сигнала від другої похідної.

Даний закон регулювання можна сформулювати за допомогою зворотнього зв'язку, що охоплює тільки підсилювальну частину регулятора. Згідно:

$$T_1 = 0.211 T_i; \quad T_2 = 0.0556 T_i$$

передавальна функція ПІДД - регулятора запишеться як:

$$W^{ПІДД}(p) = (K_p / T_i p) \cdot (1 + T_1 p + 0.211 T_1^2 p^2 + 0.0117 T_1^3 p^3).$$

Оскільки $\omega_p = 0.022 \text{ с}^{-1}$, то $K_p = 2.84$; $T_i = 152 \text{ с}$.

Остаточну отримуємо:

$$\begin{aligned} W^{ПІДД}(p) &= \\ &= \frac{2.84}{152p} (1 + 152p + 0.211 \cdot 152^2 p^2 + 0.0117 \cdot 152^3 p^3) = \\ &= \frac{(0.01868 + 2.84p + 91.1p^2 + 767.7p^3)}{p}. \end{aligned}$$

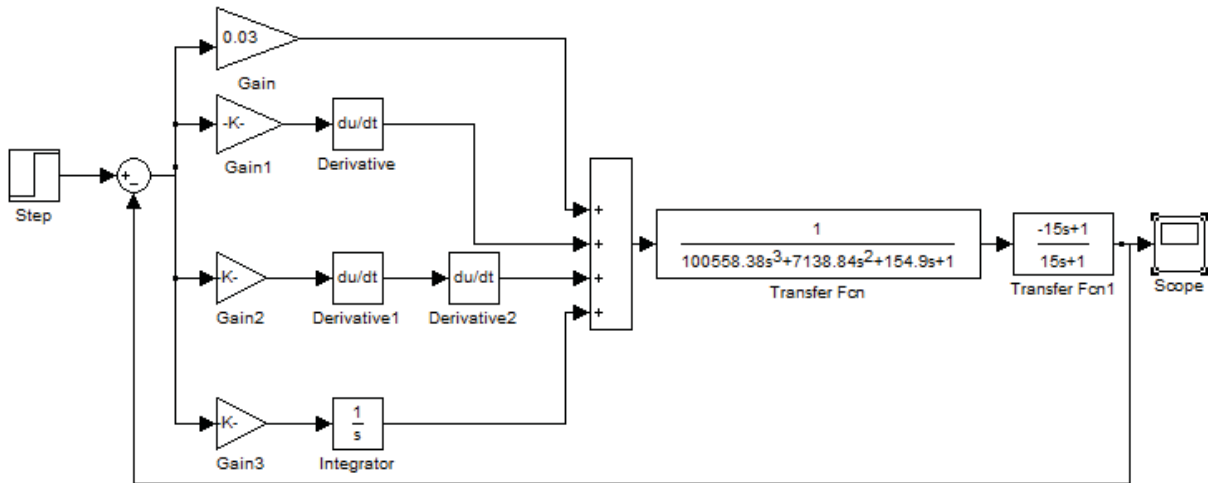


Рис. 7. Блок-схема моделювання перехідного процесу при введенні в ПДД-закон регулювання другої похідної

Змодельований перехідний процес приведений на рис. 8.

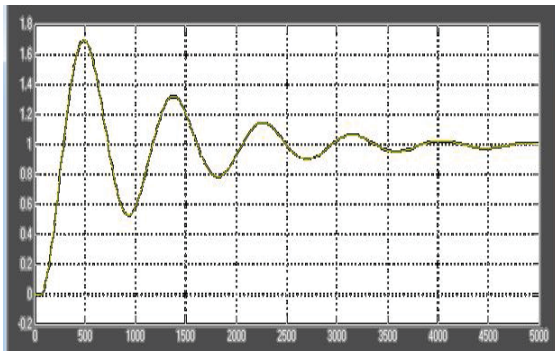


Рис. 8. Перехідний процес системи при введенні в ПДД – закон регулювання другої похідної

Як показує аналіз перехідного процесу формування ПДД - алгоритму керування на основі введення ПДД-закону регулювання другої похідної погіршує якість керування і навіть може привести до виникнення автоколивань.

Розглянемо інший метод формування ПДД - закону регулювання.

Проаналізуємо формування ПДД - алгоритму керування у вигляді паралельної корекції

Блок-схема для моделювання системи з ПДД - алгоритмом керування у вигляді паралельної корекції приведена на рис. 9.

Для заданого об'єкта оптимальні параметри налаштування:

$$\varphi_0(\omega_p) = -150^\circ - 26.5^\circ = -176.5^\circ;$$

$$\omega_p = 0.0225 \text{ c}^{-1}; \quad A_0(\omega_p) = 0.295; \quad A_{pc}(\omega_p) = 0.808;$$

$$\varphi_{pc}(\omega_p) = -150^\circ.$$

Модуль регулятора на резонансній частоті:

$$A_p(\omega_p) = (K_p/T_i \cdot \omega_p) \times \sqrt{(1 - 0.211T_i^2\omega_p^2)^2 + T_i^2\omega_p^2(1 - 0.0117T_i^2\omega_p^2)^2} = 0.965K_p.$$

$$T_i \cdot \omega_p = 3.425; \quad T_i = 3.425/\omega_p = 3.425/0.0225 = 152 \text{ c.}$$

$$K_p = (1/0.965) \cdot (0.808/0.295);$$

$$T_1 = 0.211; \quad T_1 = 0.211 \cdot 152 = 32 \text{ c.}$$

$$T_2 = 0.0556; \quad T_2 = 8.5 \text{ c.}$$

Передавальна функція ПДД - регулятора:

$$W^{ПДД}(p) = W_p(p)[W_0(p) + 1] = \frac{K_p}{T_i p} \frac{(T_0 T_i p^2 + T_i p + 1) [T_0 p(K_0 + 1) + 1]}{T_0 p + 1}. \quad (9)$$

Для ПДД - регулятора фазовий кут такого алгоритму дорівнює 26.5° ; для ПД - регулятора повинен бути рівним нулю. За умови $K_0 = 1$, отримуємо наступні співвідношення:

$$\arctg 2 T_0 \omega_p = 26.5^\circ; \quad T_0 \omega_p = 0.25;$$

$$\varphi_p(\omega_p) = -\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{T_i \omega_p}{1 - 0.15 T_i^2 \omega_p^2} = 0.$$

При $T_0 = 0.15 T_i$:

$$T_0 \omega_p = 2.58; \quad T_0 = 0.1 T_i.$$

Остаточна передавальна функція такого регулятора:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{T_i p} \frac{1 + 1.2 T_i p + 0.35 T_i^2 p^2 + 0.03 T_i^3 p^3}{0.1 T_i p + 1}.$$

Модуль регулюючого пристрою:

$$A_{p,y}(\omega) = (K_p/T_i \cdot \omega_p) \times \sqrt{\frac{(1 - 0.35 T_i^2 \omega^2)^2 + T_i^2 \omega^2 (1 - 0.03 T_i^2 \omega^2)^2}{(0.1 T_i \omega)^2 + 1}}.$$

Фазовий кут регулюючого пристрою:

$$\varphi_{p,y}(\omega) = -\pi/2 - \arctg 0.1 T_i \omega + \arctg \frac{T_i \omega (1.2 - 0.03 T_i^2 \omega^2)}{1 - 0.35 T_i^2 \omega^2}.$$

Модуль та фаза регулюючого пристрою на резонансній частоті:

$$A_{p,y}(\omega_p) = 1.34 K_p, \quad \varphi_{p,y}(\omega_p) = 16^\circ;$$

$$\varphi_0(\omega_p) = \varphi_{p,c}(\omega_p) - \varphi_{p,y}(\omega_p) = -150^\circ - 16^\circ = -166^\circ.$$

Резонансна частота:

$$\omega_p = 0.021 \text{ c}^{-1}.$$

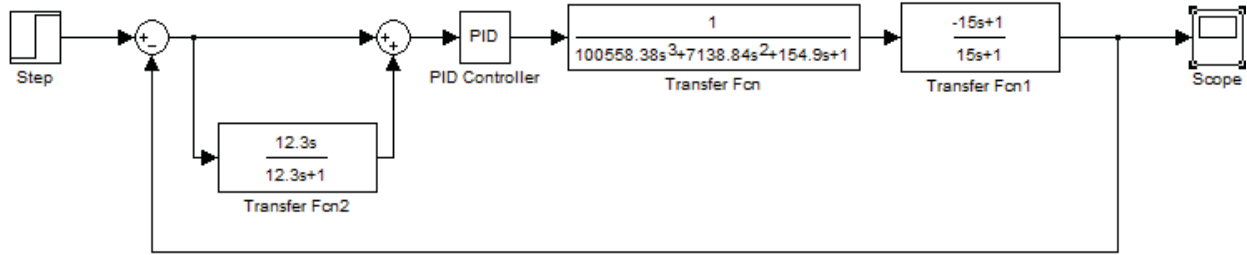


Рис. 9. Блок-схема для моделювання системи з ПІДД - алгоритмом керування у вигляді паралельної корекції

Модуль об'єкта на резонансній частоті:

$$A_0(\omega_p) = 0.315.$$

Тоді час ізодрому:

$$T_i = 2.58 / \omega_p = 123.$$

Час диференціювання:

$$T_d = 0.1 T_i = 12.3c.$$

Коефіцієнт підсилення:

$$K_p = \frac{1}{1.34} \frac{A_{p.c}(\omega_p)}{A_0(\omega_p)} = \frac{1}{1.34} \frac{0.808}{0.315} = 1.91; \quad K_d = 1.0.$$

Остаточна передавальна функція ПІДД - регулятора має вигляд:

$$W^{ПІДД}(p) = (1.91/123p) \times \frac{(1 + 1.2 \cdot 123p + 0.35 \cdot 123^2 p^2 + 0.03123^3 p^3)}{0.1 \cdot 123p + 1} = \frac{0.01553 + 2.292p + 82.23p^2 + 866.89p^3}{(12.3p + 1)p}. \quad (10)$$

Перехідний процес зображений на рис. 10.

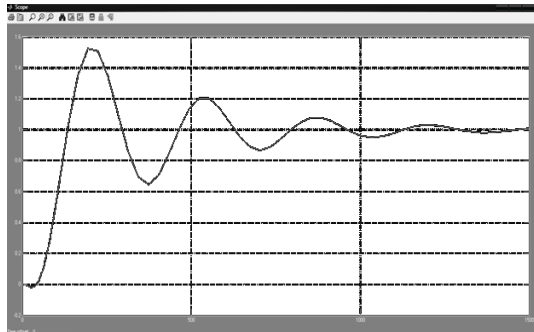


Рис. 10. Перехідний процес системи з ПІДД – алгоритмом керування у вигляді паралельної корекції

Розглянемо формування ПІДД - закону регулювання за допомогою додатнього зворотнього зв'язку

Зворотній зв'язок утворений звичайним диференціатором: блок-схема для моделювання системи з ПІДД - алгоритмом керування на основі додатнього зворотнього зв'язку, який утворений звичайним диференціатором приведена на рис. 11.

Передавальна функція такого регулюючого пристрою:

$$W_{py}(p) = \frac{W_p(p)}{1 - W_p(p) \cdot W_0(p)} = \frac{K_p}{T_i p} \frac{1 + T_i p + T_d T_i p^2}{1 - K_p K_d \frac{T_d}{T_i} \cdot \frac{1 + T_i p + T_d T_i p^2}{T_d p + 1}}$$

$$= \frac{K_p}{\alpha T_i p} \frac{(1 + T_i p + T_d T_i p^2)(T_d p + 1)}{1 + \frac{1 - K_p K_d}{\alpha} T_d p - \frac{K_p K_d T_d}{\alpha} T_d p^2}.$$

Для ПІД-регулятора:

$$\varphi_p(\omega_p) = 0,$$

$$\varphi_p(\omega_p) = -\pi/2 + \arctg T_i \omega_p + \arctg 0.15 T_i \omega_p = 0,$$

звідси:

$$T_i \omega_p = 2.588, \quad \varphi_p(\omega_p) = 26.5^\circ,$$

тому

$$\arctg T_d(\omega_p) = 26.5,$$

$$T_d \omega_p = 0.5, \quad T_d = 0.2 T_i.$$

Для зменшення інерційності знаменника приймаємо наступні співвідношення:

$$K_p K_d = 0.8;$$

$$T_d = 0.15 T_i; \quad T_d = 0.2 T_i.$$

$$\alpha = 1 - K_p K_d (T_d / T_i) = 1 - 0.8 \cdot 0.2 = 0.84. \quad (11)$$

Тоді:

$$W_{py}(p) = \frac{K_p}{0.84 T_i p} \frac{1 + 1.2 T_i p + 0.35 T_i^2 p^2 + 0.037 T_i^3 p^3}{1 + 0.05 T_i p - 0.03 T_i^2 p^2}.$$

Модуль і фаза регулюючого пристрою:

$$A_{py}(\omega_p) = \frac{K_p}{0.84 \cdot 2.58} \times \sqrt{\frac{(1 - 0.35 \cdot 2.58)^2 + 2.58^2(1 - 0.03 \cdot 2.58^2)^2}{(0.05 \cdot 2.58)^2 + (1 + 0.03 \cdot 2.58^2)^2}} = 2.4 K_p;$$

$$\varphi_{py}(\omega_p) = -\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{2.58(1 - 0.03 \cdot 2.58^2)}{1 - 0.35 \cdot 2.58^2} - \arctg \frac{0.05 \cdot 2.58}{1 + 0.03 \cdot 2.58^2} = 31^\circ.$$

Визначаємо налаштування такого пристрою:

$$\varphi_0(\omega_p) = -150^\circ - 31^\circ = -181^\circ;$$

$$\omega_p = 0.0023 \text{ c}^{-1}; \quad A_0(\omega_p) = 0.28;$$

$$T_i = \frac{2.58}{\omega_p} = \frac{2.58}{0.0023} = 112 \text{ c};$$

$$T_d = 0.2 T_i = 22.4 \text{ c};$$

$$T_d = 0.15 \cdot 112 = 16.8 \text{ c};$$

$$K_p = 0.415 \frac{A_{p.c}(\omega_p)}{A_0(\omega_p)} = 0.415 \frac{0.808}{0.28} = 1.2;$$

$$K_d = \frac{0.8}{K_p} = 0.66.$$

Отже

$$W_{py}(p) = \frac{1.2}{0.84 \cdot 112 p} = \frac{1 + 1.2 \cdot 112 p + 0.35 \cdot 112^2 p^2 + 0.037 \cdot 112^3 p^3}{1 + 0.05 \cdot 112 p - 0.03 \cdot 112^2 p^2} = \frac{0.0128 + 1.74 p + 56 p^2 + 663 p^3}{(1 + 5.6 p - 376.3 p^2)p}.$$

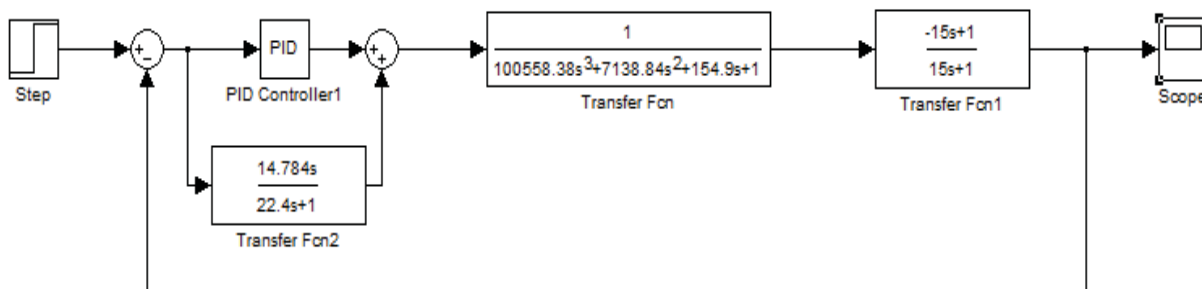


Рис. 11. Блок-схема системи з ПДД - алгоритмом керування на основі додатнього зворотнього зв'язку, який утворений звичайним диференціатором

Перехідний процес системи приведений на рис. 12.

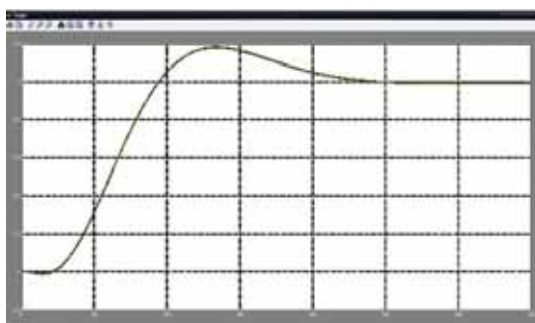


Рис. 12. Перехідний процес системи з ПДД - алгоритмом керування на основі додатнього зворотнього зв'язку, який утворений звичайним диференціатором

Продемонструємо формування ПДД - алгоритма керування у вигляді додатнього зворотнього

зв'язку, який виконаний на диференціаторі з інерційністю другого порядку. Блок-схема такої системи приведена на рис. 13.

Передавальна функція регулятора:

$$W_p(p) = K_p \frac{T_i p + 1}{T_i p}$$

Передавальна функція диференціатора:

$$W_d(p) = K_d \frac{T_d p}{(T_d p + 1)^2}$$

Передавальна функція регулюючого пристрою:

$$W_{p,y}(p) = \frac{W_p(p)}{1 - W_p(p) \cdot W_d(p)} = \frac{K_p}{\alpha T_i p} \times \frac{(T_i p + 1)(T_d p + 1)^2}{1 + \frac{2 - K_p K_d}{\alpha} T_d p + \frac{T_d^2 p^2}{\alpha}}$$

Щоб інерційність знаменника була найменшою, необхідно, щоб виконувалась умова:

$$K_p K_d < 2, (2 - K_p K_d) / \alpha \rightarrow \min.$$

Приймаємо: $K_p K_d = 1.9, T_d / T_i = 0.105$.

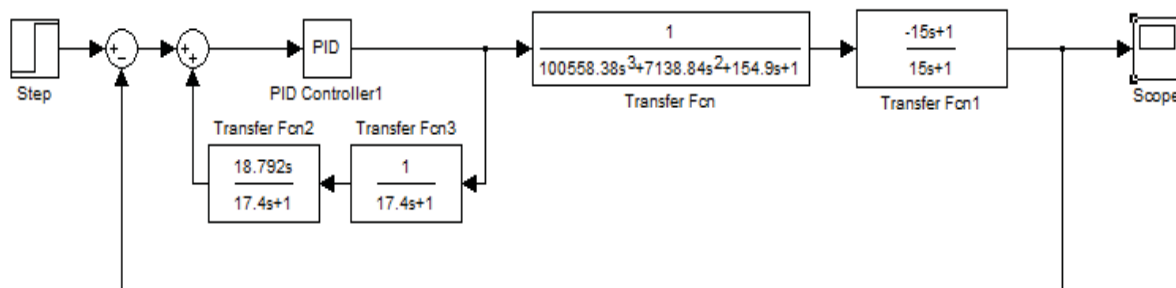


Рис. 13. Блок-схема системи з ПДД - алгоритмом керування у вигляді додатнього зворотнього зв'язку, який виконаний на диференціаторі з інерційністю другого порядку

Тоді:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 - 1.9 \cdot 0.105 = 0.8; \\ -\pi/2 + \arctg T_i \omega_p + 2 \arctg T_d \omega_p &= 26.5^\circ; \\ \arctg T_i \omega_p + 2 \arctg T_d \omega_p &= 116.5^\circ; \\ \arctg \frac{T_i \omega_p + \frac{2 T_d \omega_p}{1 - T_d^2 \omega_p^2}}{1 - \frac{2 T_d \omega_p T_i \omega_p}{1 - T_d^2 \omega_p^2}} &= \arctg(-2). \end{aligned}$$

Оскільки

$$T_d / T_i = 0.105,$$

то $T_i \omega_p = 3.65; T_d \omega_p = 0.384;$

$$\varphi_{p,y}(\omega_p) = 26.5 - \arctg \left(\frac{2 - K_p K_d}{\alpha} T_d \omega_p \right) = 22^\circ 10';$$

$$\varphi_0(\omega_p) = -150^\circ - 22^\circ 10' = -172.5^\circ;$$

$$A_{p,y}(\omega) = \frac{K_p}{T_i \omega} \sqrt{\frac{((T_i \omega_p)^2 + 1) + ((T_d \omega_p)^2 + 1)}{(0.131 T_i \omega_p)^2 + (1 - 0.0137 T_i^2 \omega_p^2)^2}} = 1.63 K_p$$

При прийнятих співвідношеннях передавальна функція регулюючого пристрою:

$$W_{p,y}(p) = \frac{K_p}{T_i p} \cdot \frac{(T_i p + 1)(T_d p + 1)}{1 + 0.0137 T_i p + 0.0131 T_i^2 p^2}$$

Визначаємо параметри налаштування регулятора і диференціатора:

$$\begin{aligned} \varphi_0(\omega_p) &= -172.5^\circ; \\ \omega_p &= 0.022 \text{ c}^{-1}; \quad A_0(\omega_p) = 0.28; \\ T_i &= 3.65/\omega_p = 166 \text{ c}; \quad T_d = 0.105 T_i = 17.4 \text{ c}; \\ K_p &= \frac{A_{py}(\omega_p)}{1.63} = \frac{0.808}{0.28 \cdot 1.63} = 1.75; \\ K_d &= 1.9/1.75 = 1.08. \end{aligned}$$

Остаточно передавальна функція регулюючого пристрою матиме вигляд:

$$\begin{aligned} W_{py}(p) &= \frac{1.75}{17.4p} \cdot \frac{(17.4p+1)(1.08p+1)}{1+0.0137 \cdot 17.4p+0.0131 \cdot 17.4^2 p^2} = \\ &= \frac{0.1006(17.4p+1)(1.08p+1)}{p(1+0.238p+3.966p^2)} = 17.4. \end{aligned}$$

Перехідний процес наведений на рис. 14.

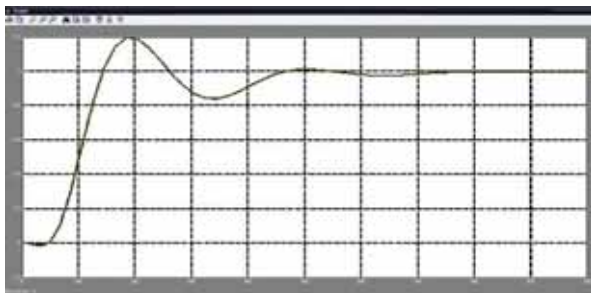


Рис. 14. Перехідний процес системи з ПІД - алгоритмом керування у вигляді додатного зворотнього зв'язку, який виконаний на диференціаторі з інерційністю другого порядку

Порівнюючі розглянуті випадки приходимо до висновку, що кращий спосіб формування ПІД - закону регулювання – це охоплення ПІД - регулятора додатнім зворотнім зв'язком, виконаним на звичайному диференціаторі.

Продемонструємо введення в закон регулювання третьої похідної (ПІДІД - закон регулювання)

Блок-схема для моделювання системи при введенні в ПІД - закон регулювання третьої похідної приведена на рис. 15.

Цей алгоритм можна реалізувати на основі ПІД - регулятора, охопленого додатнім зворотнім зв'язком, який реалізований на диференціаторі із інерційністю другого порядку.

Записуємо передавальну функцію регулятора:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{T_i p} (1 + T_i p + T_d T_i p^2).$$

Передавальна функція диференціатора:

$$W_d(p) = K_d \frac{T_d p}{(T_d p + 1)^2},$$

тоді передавальна функція регулюючого пристрою:

$$\begin{aligned} W_{py}(p) &= \frac{W_p(p)}{1 - W_p(p) \cdot W_d(p)} = \\ &= \frac{K_p}{T_i p} \frac{(1 + T_i p + T_d T_i p^2)(T_d p + 1)^2}{(T_d - K_p K_d T_d) T_d^2 p^2 + (2 - K_p K_d) T_d p + (1 - K_p K_d \frac{T_d}{T_i})}. \end{aligned}$$

Для виключення інерційності у знаменнику припускаємо, що:

$$T_d - K_p K_d T_d = 0; \quad K_p K_d = 2; \quad T_d = 0.15 T_i;$$

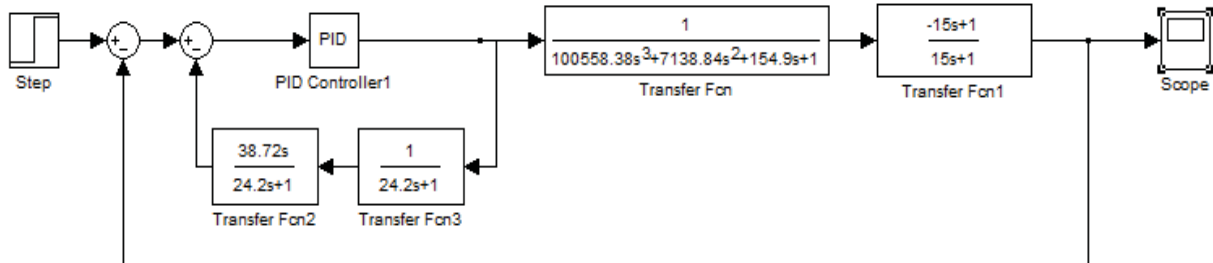


Рис. 15. Блок-схема системи при введенні в ПІД-закон регулювання третьої похідної

$$\begin{aligned} K_p K_d &= \frac{T_d}{T_i} K_d \frac{T_d p}{(T_d p + 1)^2}; \quad T_d = 2T_d; \quad T_d = 0.3T_i; \\ \alpha &= 1 - K_p K_d \frac{T_d}{T_i} = 1 - 2 \cdot 0.3 = 0.4; \quad T_i \omega_p = 2.58. \end{aligned}$$

Тоді:

$$W_{py}(p) = \frac{2.5K_p}{T_i p} (1 + T_i p + 0.15T_i^2 p^2)(0.3T_i p + 1)^2.$$

Визначаємо модуль і фазу регулюючого пристрою:

$$\begin{aligned} A_{py}(\omega) &= \frac{2.5K_p}{T_i \omega} (0.3^2 T_i^2 \omega^2 + 1) \sqrt{T_i^2 \omega^2 + (1 - 0.15T_i^2 \omega^2)^2} = 4K_p; \\ \varphi_{py}(\omega) &= -\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{T_i \omega_p}{1 - 0.15T_i^2 \omega_p^2} - 2\arctg 0.3T_i \omega_p = \\ &= -\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{2.58}{1 - 0.15 \cdot 2.58^2} - 2\arctg 0.3 \cdot 2.58 = 77.5^\circ. \end{aligned}$$

Параметри налаштування регулюючого пристрою і диференціатора:

$$\begin{aligned} \varphi_0(\omega_p) &= -150^\circ - 77.5^\circ = -227.5^\circ; \quad \omega_p = 0.032 \text{ c}^{-1}; \\ A_0(\omega_p) &= 0.16; \\ T_i &= \frac{2.58}{\omega_p} = 81 \text{ c}; \\ T_d &= 0.15T_i = 12.1 \text{ c}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{1}{4} \frac{A_p.c(\omega_p)}{A_p(\omega_p)} = \frac{1}{4} \frac{0.808}{0.16} = 1.25; \quad K_d = \frac{2}{K_p} = 1.6; \\ T_d &= 0.15 \cdot 81 = 12.15; \end{aligned}$$

Остаточно передавальна функція регулюючого пристрою:

$$\begin{aligned} W_{py}(p) &= \frac{2.5 \cdot 1.25}{81p} (1 + 81p + 0.15 \cdot 81^2 p^2)(0.3 \cdot 81p + 1)^2 \\ &= \left(\frac{0.03858}{p} + 3.125 + 37.968p \right) (24.3p + 1)^2. \end{aligned}$$

Перехідний процес наведений на рис. 16.

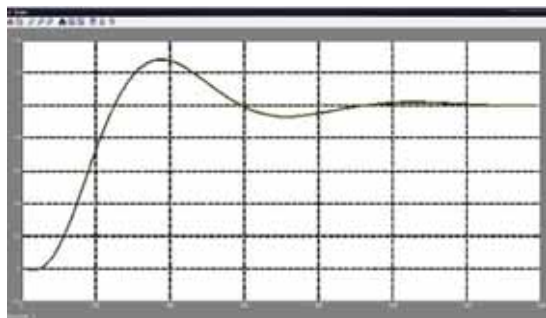


Рис. 16. Перехідний процес системи при введенні в ПІД-закон регулювання третьої похідної

Результати досліджень зводимо в табл. 2.

Висновок

Розроблено структурну схему одноконтурної аналогової системи керування. Проведено синтез системи з ПД-, ПІ-, ПІД-, ПІДД-, ПІДДД - регуляторами. Для розрахунку параметрів налаштування було використано методику Ротача. За допомогою програмного продукту Matlab змодельовано перехідні процеси системи для різних регуляторів.

За результатами моделювання найкраще задовольняє вимогам система з ПІДД - законом керування за допомогою додатнього зворотнього зв'язку, оскільки тут найменший час регулювання і перерегулювання, а саме 430 і 19 відповідно.

Таблиця 2

Результати досліджень

| Алгоритм регулювання | Параметри регулювання | | |
|---|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| | Перерегулювання, % | Час регулювання, t_p , с | Коефіцієнт затухання, ψ |
| ПІДД-закон регулювання на основі ПІД-регулятора | 70 | 3500 | 0,307 |
| ПІДД-алгоритм керування у вигляді паралельної корекції | 52 | 1050 | 0,267 |
| ПІДД-закон керування за допомогою додатнього зворотнього зв'язку | 19 | 430 | 0,17 |
| ПІДД-алгоритм керування у вигляді додатнього зворотнього зв'язку, який виконаний на диференціаторі з інерційністю другого порядку | 20 | 500 | 1,188 |
| ПІДДД-закон регулювання | 28 | 1050 | 0.245 |

Список літератури

1. Matlab в инженерных и научных расчетах [Текст] / А.Ф. Даценко, В.Ч. Кирилов, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей; Одесса: Астроспринт, 2003. – 214 с.

2. Широкий Д.К. Оптимальні настройки промислових систем регулювання [Текст] / Д.К. Широкий, О.Д. Куриленко. – К.: Техніка, 1975. – 232 с.

3. Раскин Е.М. АСУ для промышленных предприятий [Текст]: (за матер. периодики) / Е.М. Раскин, Л.А. Денисова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2012. – № 7. – С. 8.

4. Гоголюк П.Ф. Теория автоматического управления [Текст] / П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гретин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 280 с.

Надійшла до редколегії 19.08.2013

Рецензент: канд. техн. наук, проф. С.А. Чеховський, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.

СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Т.О. Бербец

В статье освещены пути синтеза автоматической системы управления абсорбера с применением современного программного обеспечения. В результате проведенных экспериментальных исследований построены экспериментальные логарифмические частотные характеристики и получены передаточную функцию абсорбционной колонны.

Ключевые слова: автоматическая система управления, динамические характеристики, параметры настройки регуляторов, передаточная функция, одноконтурная аналоговая система управления.

SYNTHESIS AND DESIGN OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF OBJECTS OIL AND GAS INDUSTRY

T.O. Berbets

The paper highlights ways of synthesis of automatic control system absorber using modern software. As a result of experimental research built experimental logarithmic frequency response and transfer function obtained absorption column.

Keywords: automatic control system, dynamic characteristics, settings regulators, the transfer function, analog single-control system.