

СИНТЕЗ СИСТЕМ З ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ ТА ОБ'ЄКТОМ ДРУГОГО ПОРЯДКУ З ДВОМА РІЗНИМИ СТАЛИМИ ЧАСУ І ЗАПІЗНЕННЯМ

© Ковела І. М., Іванюк О. О., 2014

Наведено результати параметричного синтезу автоматичних систем з неперервним ПІД-алгоритмом та об'єктами другого порядку з двома різними сталими часу і запізненням за допомогою методу багатокритеріальної параметричної оптимізації.

Ключові слова: параметричний синтез, промислові об'єкти, ПІД-алгоритм, інженерна методика.

The results of parametric synthesis of automatic control systems with continuous PID-algorithm and objects of the second order with two different time constants and delay by using the method of multi-objective parametric optimization.

Key words: parametrical synthesis, industrial objects, PID-algorithm, engineering method.

Вступ

Переважна більшість сучасних промислових автоматичних систем регулювання (АСР) будується на основі різних модифікацій ПІД-алгоритмів, що забезпечують необхідні запаси стійкості систем та достатньо високу якість регулювання багатьох промислових об'єктів.

За таких умов задача оптимального синтезу АСР зводиться до їх параметричної оптимізації. Пояснюється це тим, що в межах вибраної структури системи ПІД-алгоритми доволі близькі до оптимальних, якщо йдеться про виконання регуляторами властивих їм функцій усунення впливу на технологічний процес неконтрольованих випадкових збурень.

Підвищення ефективності автоматичних систем, що функціонують за ПІД-алгоритмами, можна добитися, наприклад, з використанням методу багатокритеріальної параметричної оптимізації, який має аналітичний характер і відзначається високою універсальністю [1,2]. Він дає змогу легко здійснювати багатоваріантний синтез систем і отримувати узагальнені результати за різних моделей об'єкта та алгоритмів регулювання.

Постановка проблеми та формулювання мети статті

Високоякісну систему керування можна спроектувати лише за наявності достатньо точної математичної моделі об'єкта регулювання (ОР). Основною метою побудови математичної моделі об'єкта є визначення її структури та параметрів. Структура і складність моделі повинні відповідати меті моделювання, тому вибір моделі об'єкта залежить від того, як вона буде використовуватися. Найприйнятнішою є найпростіша з моделей, яка забезпечує керування, що задовольняє прийнятій критерій якості регулювання.

У практиці автоматизації для об'єктів з самовирівнюванням і запізненням τ широко використовується модель у вигляді передавальної функції аперіодичної ланки з двома різними сталими часу T_1 і T_2 :

$$W_o(s) = \frac{K_o e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \cdot T_2 \leq T_1. \quad (1)$$

Модель виду (1) також застосовується у потужній інтегрованій інформаційній системі для управління промисловим виробництвом TRACE MODE [3].

Особливості апроксимації експериментальних даних з дослідження динамічних об'єктів моделлю виду (1) розглядаються в роботі [4].

Ще точніше модель такого об'єкта можна отримати на основі експериментальних даних за допомогою автоматизованого методу, описаного в [5].

Проте застосування такої моделі призводить до ускладнення процесу синтезу систем, особливо тоді, коли метою є розв'язання задачі синтезу в узагальненій формі.

У роботі [6] описана інженерна методика розрахунку систем із використанням моделі об'єкта з двома різними сталими часу. Однак ця методика має і недоліки:

- придатна лише для моделі ОР без запізнення;
- орієнтована на системи з ідеалізованим ПД-алгоритмом, тоді як на практиці застосовуються переважно ПД-алгоритми з реальною дифскладовою;
- критерієм оптимальності прийнято максимум модуля АЧХ замкненої системи, тобто передбачається реалізація лише аперіодичних процесів регулювання, що не завжди прийнятно.

З метою усунення зазначених недоліків актуальним є розроблення досконалішої методики синтезу АСР з об'єктами, які описуються математичною моделлю (1).

Для розв'язання задачі синтезу в узагальненій формі передавальну функцію (1) необхідно подати у вигляді

$$W_o(s) = \frac{K_o e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(\alpha T_2 s + 1)}, \quad (2)$$

де $T_1 = T$, а $T_2 = \alpha T_1 = \alpha T$. Коефіцієнт $\alpha = T_2 / T_1$ може набувати значень $\alpha = 0.1 \dots 1.0$. У частковому випадку сталі часу T_1 і T_2 можуть бути однаковими. Тоді $\alpha = 1.0$ і передавальна функція (2) матиме вигляд

$$W_o(s) = \frac{K_o e^{-\tau s}}{(T s + 1)^2}. \quad (3)$$

Виклад основного матеріалу

Як показано в роботах [1, 2], задачу синтезу систем з ПД-регулятором можна ефективно розв'язати за методом багатокритеріального оптимуму. Проте дослідження в цих роботах стосуються переважно систем з деяким конкретним об'єктом, тоді як актуальнішим є розв'язок задачі в узагальненому вигляді, результати якого можна було б використати для широкого класу об'єктів, які описуються однаковою математичною моделлю, але з різними параметрами. Саме такий підхід розглянуто нижче.

У процесі синтезу за основу приймається автоматична система (рис. 1) з неперервним ПД-регулятором з реальною дифскладовою:

$$W_{pid}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{(T_d / N) s + 1} \right); \quad N = 10. \quad (4)$$

де K_p – коефіцієнт підсилення; T_i , T_d – сталі часу інтегрування та диференціювання; N – нормувальний коефіцієнт, значення якого переважно фіксують виробники контролерів у межах $N = 3 \dots 30$.

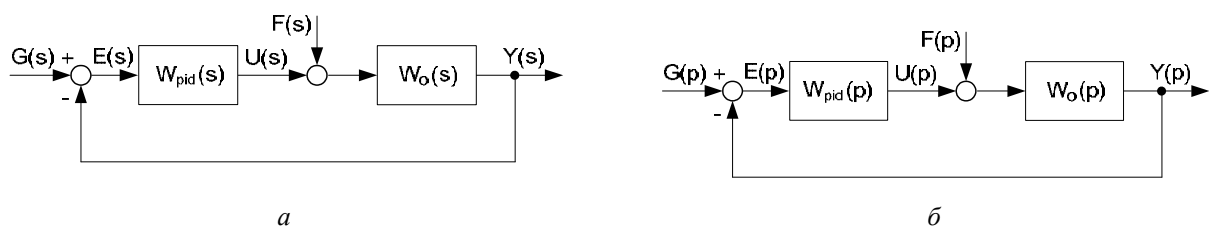


Рис. 1. Структурні схеми неперервної системи з ПД-регулятором

Схеми на рис. 1, *a* і 1, *б* використовують для синтезу систем з конкретними об'єктами у розмірному вигляді та систем з узагальненими об'єктами у безрозмірній формі відповідно.

Для синтезу та дослідження систем в узагальненій формі необхідно увести нову комплексну змінну $p = \tau s$. Тоді модель об'єкта (2) та ПІД-алгоритм (4) набувають вигляду:

$$W_o(p) = \frac{K_o e^{-p}}{\left(\frac{T}{\tau} p + 1\right) \left(\alpha \frac{T}{\tau} p + 1\right)}, \quad (5)$$

$$W_{pid}(p) = K_p \left[1 + \frac{1}{(T_i / \tau) p} + \frac{(T_d / \tau) p}{(T_d / \tau N) p + 1} \right]. \quad (6)$$

Алгоритм синтезу систем з неперервними ПІД-регуляторами з умов багатокритеріального оптимуму можна подати у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

Алгоритм розрахунку систем з неперервними ПІД-регуляторами з умов багатокритеріального оптимуму

Характеристичне рівняння та його корені	Система рівнянь	Параметри, що визначаються
у розмірній формі		
$\Delta_{pid}(s) = 1 + W_{pid}(s)W_o(s) = 0,$ $s_{1,2} = -m\omega \pm j\omega, s_{3,4} = -m\omega \pm j\omega.$	$eq_1 := \operatorname{Re} \left[\Delta_{pid}(s) \Big _{s=s_1} \right] = 0,$ $eq_2 := \operatorname{Im} \left[\Delta_{pid}(s) \Big _{s=s_1} \right] = 0,$ $eq_3 := \operatorname{Re} \left[\frac{d\Delta_{pid}(s)}{ds} \Big _{s=s_1} \right] = 0,$ $eq_4 := \operatorname{Im} \left[\frac{d\Delta_{pid}(s)}{ds} \Big _{s=s_1} \right] = 0.$	K_p, T_i, T_d, ω
у безрозмірній формі		
$\Delta_{pid}(p) = 1 + W_{pid}(p)W_o(p) = 0,$ $p_{1,2} = -m\Omega \pm j\Omega, p_{3,4} = -m\Omega \pm j\Omega.$	$eq_1 := \operatorname{Re} \left[\Delta_{pid}(p) \Big _{p=p_1} \right] = 0,$ $eq_2 := \operatorname{Im} \left[\Delta_{pid}(p) \Big _{p=p_1} \right] = 0,$ $eq_3 := \operatorname{Re} \left[\frac{d\Delta_{pid}(p)}{dp} \Big _{p=p_1} \right] = 0,$ $eq_4 := \operatorname{Im} \left[\frac{d\Delta_{pid}(p)}{dp} \Big _{p=p_1} \right] = 0.$	$K_p K_o,$ $T_{ib} = T_i / \tau,$ $T_{db} = T_d / \tau,$ $\Omega = \omega \tau$

Алгоритм (табл. 1) реалізовано програмно за допомогою пакета комп'ютерної алгебри *Maple* [7].

Розв'язуючи системи рівнянь (табл. 1) числовим методом зі змінюю характеристиками об'єкта τ/T у певному діапазоні, знаходимо в табличній формі залежності $K_n = K_p K_o = f(m, \tau/T)$, $T_i/\tau = f(m, \tau/T)$, $T_d/\tau = f(m, \tau/T)$ і $\Omega = f(m, \tau/T)$. Вказані залежності (крім допоміжної $\Omega = f(m, \tau/T)$) відображені на графіках, наведених нижче. Розрахунки виконано за значення $m=0,9$ і $\tau/T = 0,1 \dots 1,0$.

Аналіз систем з ПД-регуляторами виконано за допомогою моделювання з використанням пакета *SIMULINK (MATLAB)* [8].

Процеси регулювання в АСР за знайдених параметрів настроювання досліджувалися у відносному часі t/τ . Прямі показники якості перехідних процесів визначено відповідно до рис. 2, а відносні інтегральні квадратичні оцінки перехідних процесів за помилками обчислювалися в процесі моделювання за допомогою виразів:

$$J_g/\tau = \int_0^{\infty} [e_g(t/\tau)]^2 d(t/\tau); \quad J_f/\tau = \int_0^{\infty} [e_f(t/\tau)]^2 d(t/\tau), \quad (6)$$

де $e_g(t/\tau)$, $e_f(t/\tau)$ – відносні помилки регулювання перехідних процесів за завданням g та збуренням f відповідно.

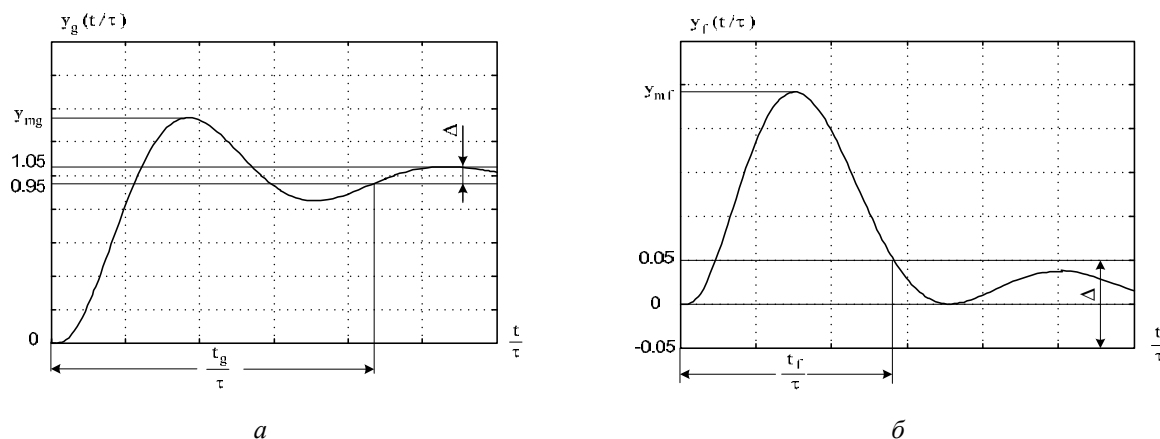


Рис. 2. Процеси відпрацювання завдання (а) та компенсації збурення (б) як функції відносного часу

Параметри настроювання регуляторів та показники стійкості систем (A_m , φ_m – запаси стійкості за амплітудою та за фазою розімкненої системи; M – частотний показник коливності замкненої системи), розрахованих запропонованим методом, подано нижче на рис. 3 і рис. 4 відповідно.

Перехідні процеси відпрацювання завдання і компенсації збурення за різних значень коефіцієнта α подано на рис. 5–7, а показники їх якості – на рис. 8.

На рис. 8: y_{mg} , y_{mf} – максимальні динамічні відхилення регульованої величини; J_g/τ , J_f/τ – відносні інтегральні квадратичні оцінки перехідних процесів (індекси g і f стосуються відповідно процесів відпрацювання завдання та компенсації збурення, що діє на вхід об'єкта).

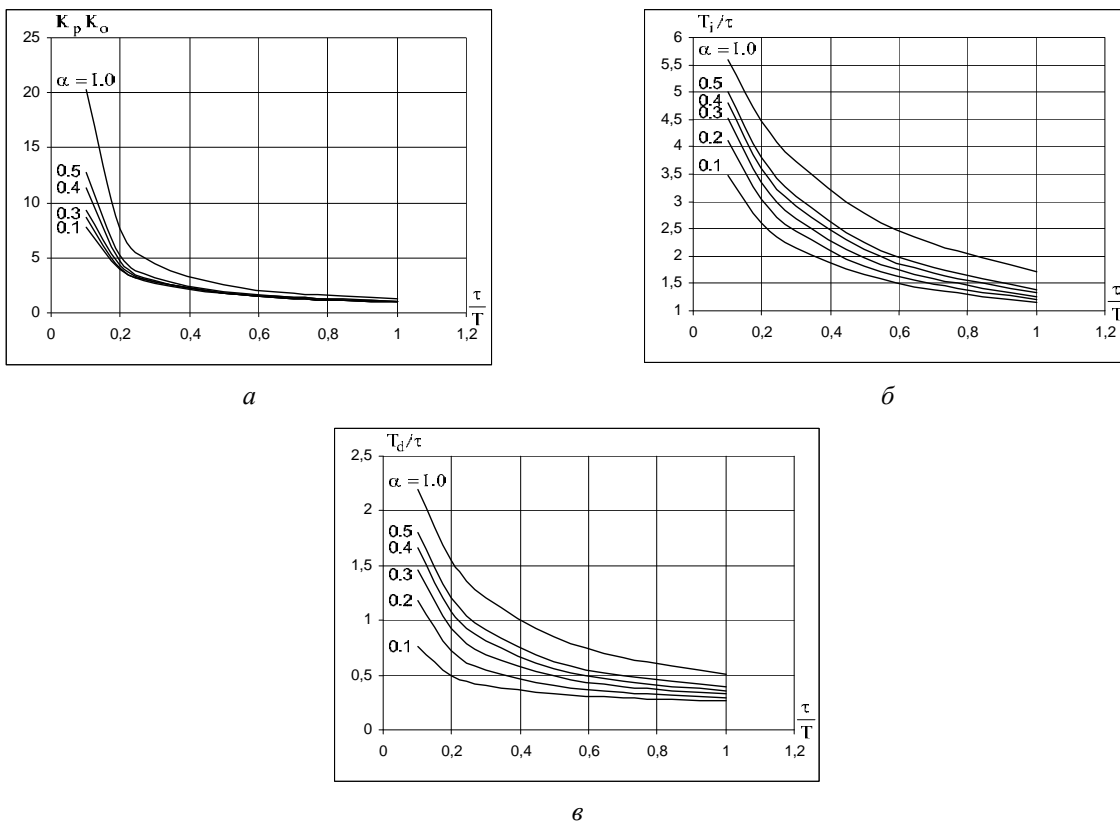


Рис. 3. Параметри настроювання реального ПІД-регулятора в АСР з об'єктом $W_o(s) = K_o e^{-\tau s} / (Ts+1)(\alpha Ts+1)$ за різних значень коефіцієнта α

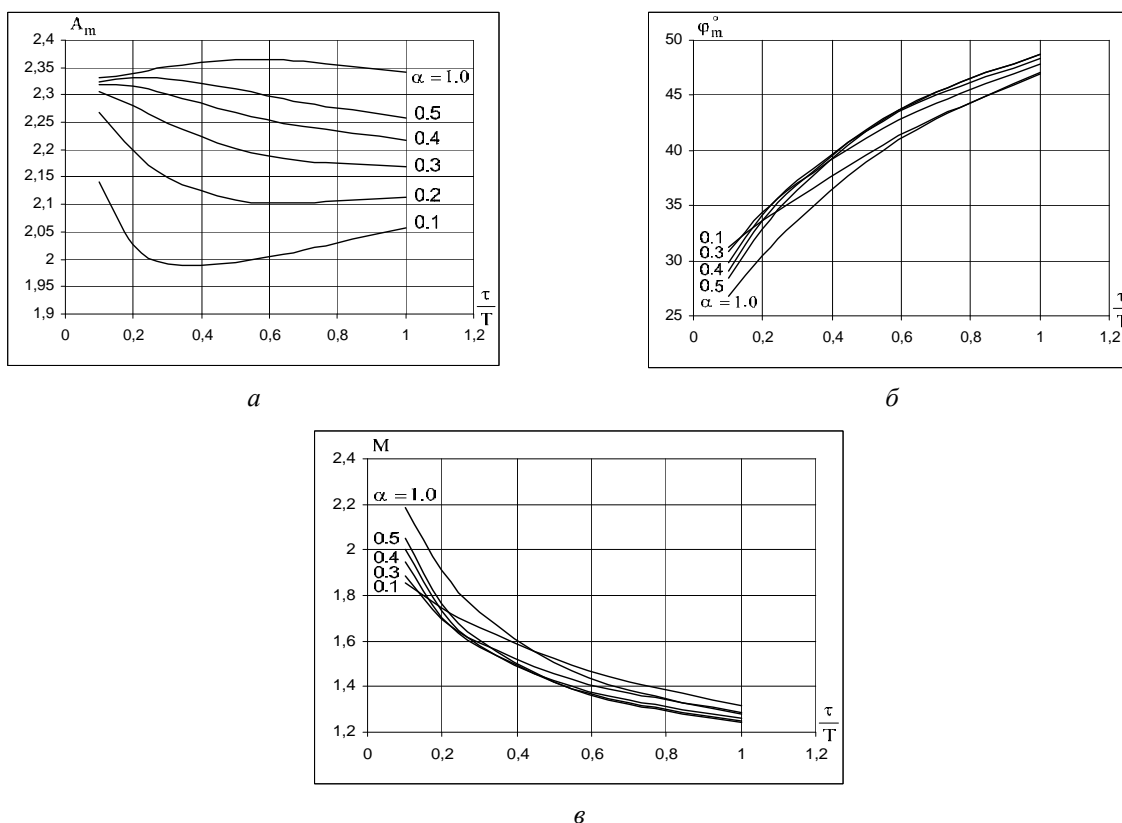


Рис. 4. Показники стійкості АСР з реальним ПІД-регулятором та об'єктом $W_o(s) = K_o e^{-\tau s} / (Ts+1)(\alpha Ts+1)$ за різних значень коефіцієнта α

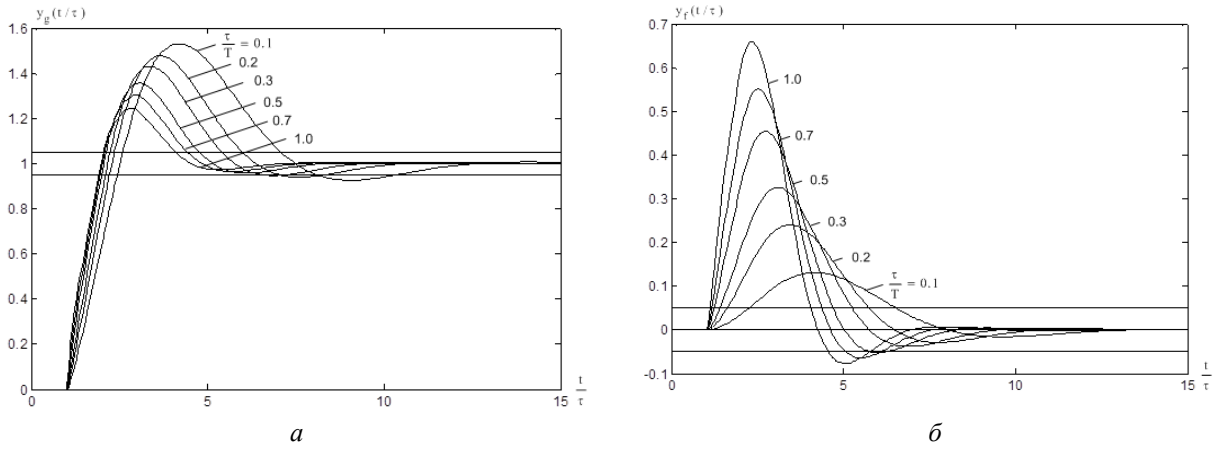


Рис. 5. Процеси відпрацювання завдання (а) та компенсації збурення (б) в АСР з реальним ПІД-регулятором та об'єктом $W_o(s) = K_o e^{-\tau s} / (Ts+1)(\alpha Ts+1)$, якщо $\alpha = 0.1$

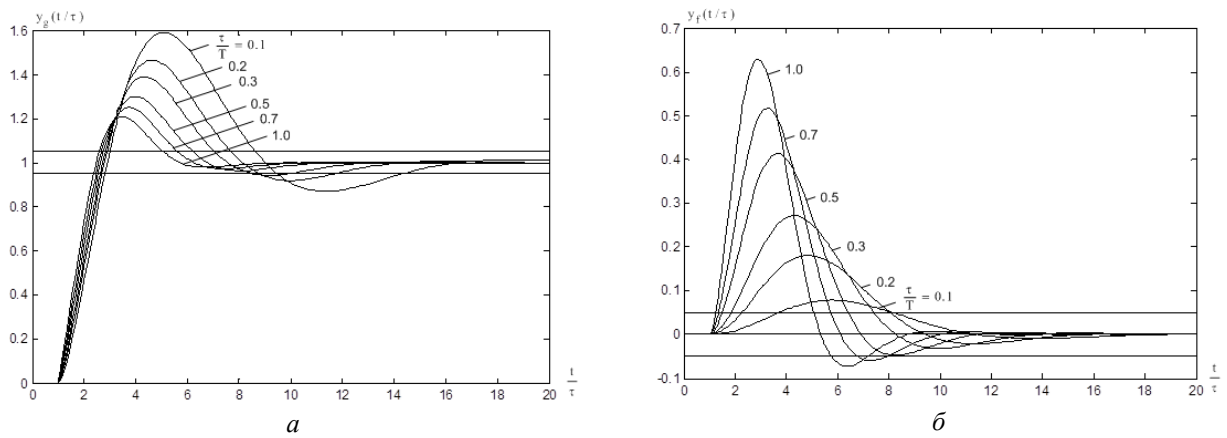


Рис. 6. Процеси відпрацювання завдання (а) та компенсації збурення (б) в АСР з реальним ПІД-регулятором та об'єктом $W_o(s) = K_o e^{-\tau s} / (Ts+1)(\alpha Ts+1)$, якщо $\alpha = 0.5$

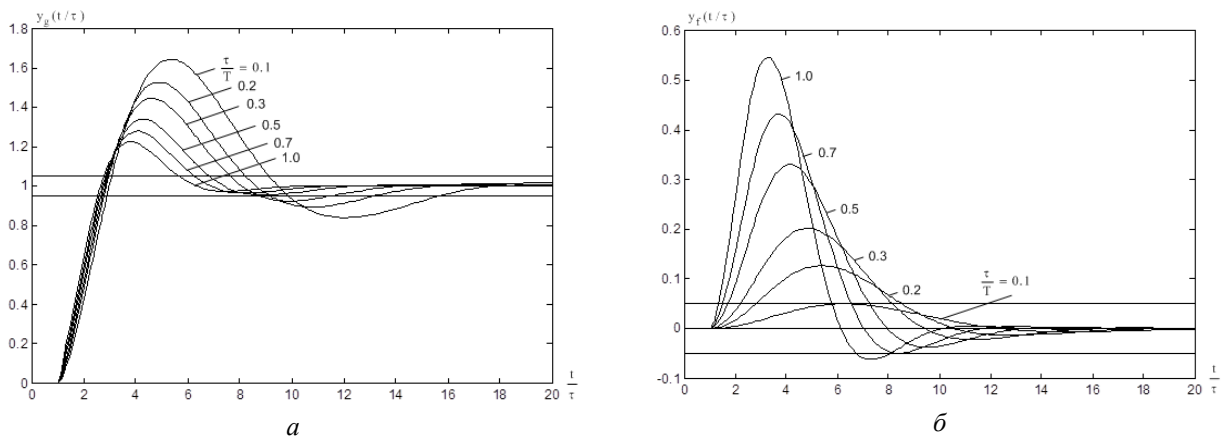


Рис. 7. Процеси відпрацювання завдання (а) та компенсації збурення (б) в АСР з реальним ПІД-регулятором та об'єктом $W_o(s) = K_o e^{-\tau s} / (Ts+1)(\alpha Ts+1)$, якщо $\alpha = 1.0$

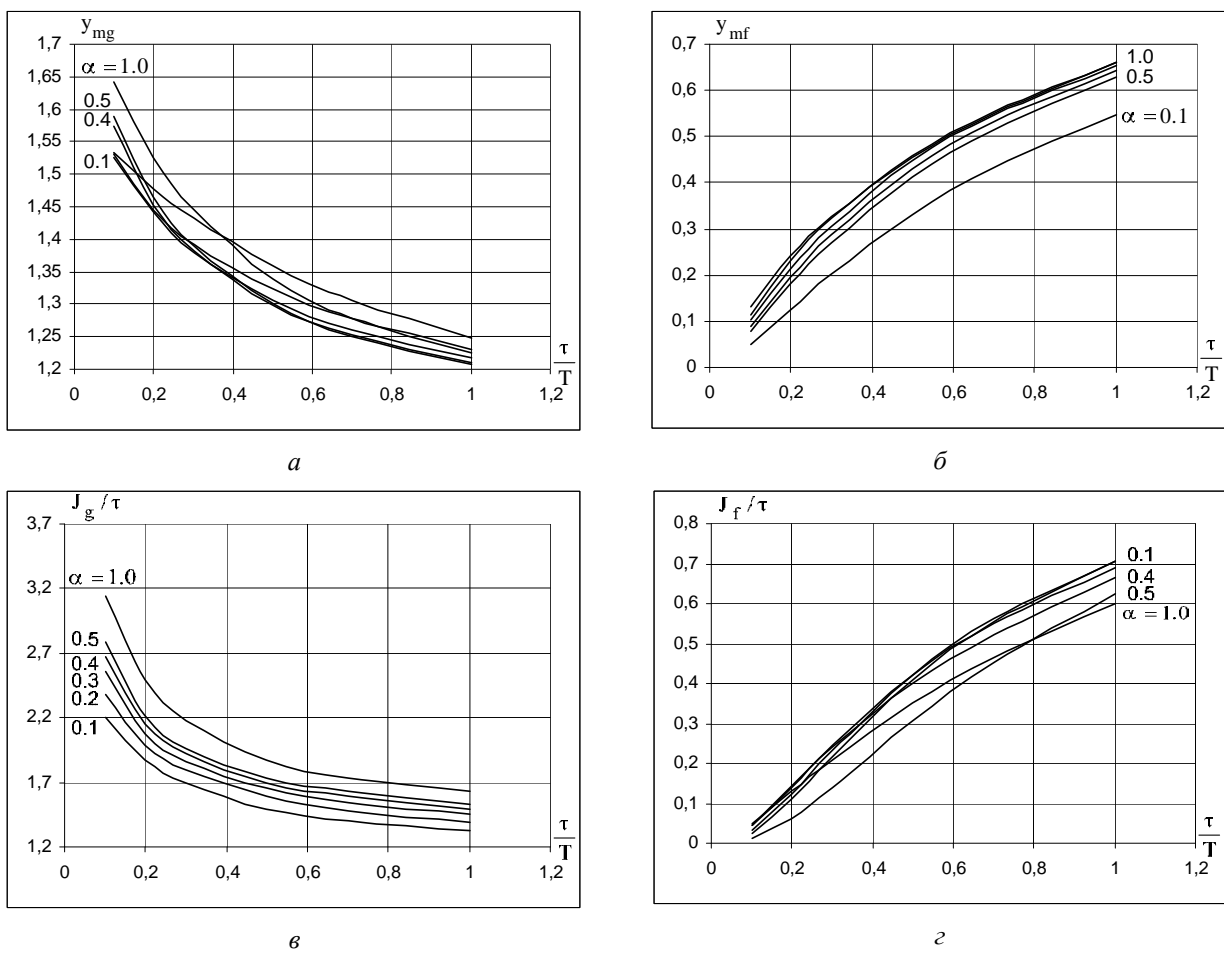


Рис. 8. Показники якості АСР з реальним ПІД-регулятором та об'єктом $W_o(s) = K_o e^{-\tau s} / (Ts + 1)(\alpha Ts + 1)$ за різних значень коефіцієнта α

Висновки

Отримані результати можуть розглядатися як нова інженерна методика синтезу й аналізу автоматичних систем з ПІД-регуляторами та об'єктами 2-го порядку з двома різними сталими часу і з самовирівнюванням та запізненням. Вона може бути застосована для розроблення автоматичних систем і має такі переваги порівняно з відомою методикою:

- дає змогу ще на стадії проектування визначати не лише параметри регулятора, але й показники стійкості та якості системи;
- має ширші функціональні можливості та забезпечує вищу якість систем регулювання;
- отримані результати можна використати для розроблення систем з самонастроюванням, які є основним напрямом покращення якості промислових АСР на цей час.

1. Шавров А. В., Солдатов В. В. Многокритериальное управление в условиях статистической неопределённости. – М.: Машиностроение, 1990. – 160 с. 2. Ковела І. М. Параметричний синтез неперервних і цифрових автоматичних систем регулювання з ПІ- та ПІД-регуляторами // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології”. – Львів. – 2002. – № 450. – С. 38–50. 3. <http://www.adastra.ru/news/tm609/>. 4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с. 5. Ковела І. М., Наконечний А. Й., Ячук Ю. В. Автоматизована ідентифікація об'єктів регулювання за їх

експериментальними перехідними характеристиками // Відбір і обробка інформації. – 2013. – Вип. 38(114). – С. 50–60. 6. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием // пер. с польского. – М.: Машиностроение, 1974, – 328 с. 7. Дьяконов В. П. Maple 7: учебный курс. – СПб.: Питер, 2002. – 672 с. 8. Черных И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

УДК 681.325

У. Ю. Дзелендзяк¹, В. В. Самотий²

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра комп’ютеризованих систем автоматики

²Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,
katedra Automatyki i Technik Informatycznych

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ

© Дзелендзяк У. Ю., Самотий В. В., 2014

Наведено систему автоматизованого розпізнавання рухів, яка дає можливість створення анімацій в режимі реального часу з використанням світлочутливих КМОН-матриць та кольорових відеокамер.

Ключові слова: система розпізнавання рухів, КМОН-матриця, 3D-сканування, гіроскопічна система, XNA Framework, XNA Application, API-інтерфейси, DirectX Media Object.

This system of automated motion recognition, which allows you to create animations in real time using photosensitive CMOS-matrix and color cameras.

Key words: recognition system movements, CMOS sensor, 3D-scanning, gyro system, XNA Framework, XNA Application, API- interfaces, DirectX Media Object.

Вступ

Проблема розпізнавання рухів виникає в ігрових задачах, коли віртуальні персонажі повинні точно відтворити рухи акторів. Це дає можливість спростити та пришвидшити процес створення анімацій, покращити їх якість, що робить цей підхід економічно доцільним і конкурентоздатним на ринку. Досягається швидкодія, яка відповідає режиму реального часу. Порівняно з традиційною технологією обсяги робіт значно менше залежать від складності чи тривалості анімації, ніж традиційна техніка. Це дає змогу створювати багато тестових анімацій, щоб можна було оцінити різні стилі та постановки, тому якість кінцевого результату залежить тільки від майстерності актора.

Ми пропонуємо систему автоматизованого розпізнавання рухів, яка складається з апаратної та програмної частин. Апаратна частина є давачем глибини, що містить інфрачервоний проектор, об'єднаний з монохромною світлочутливою КМОН-матрицею, та кольорову відеокамеру. Програму розпізнавання рухів людини написано мовою C# та C-подібною мовою високого рівня HLSL для програмування графіки. Ця мова була створена корпорацією Microsoft і є складовою пакета DirectX, який містить набір програмних пакетів для програмування комп'ютерних ігор. В апаратній частині використовується Point Cloud 3D-сканер. Ці пристрої в автоматичному режимі сканують велику кількість точок на поверхні об'єкта і генерують на виході файл даних. Результат є множиною координат, отриманих 3D-скануванням об'єкта. Результати тривимірного сканування використо-