

programming environment is used to display skeleton kinematics through data collected from AHRS modules. Shown approach uses method proposed by Denavit and Hartenberg to describe kinematic chain movement. It is used so called D-H parameters to get the equation of kinematic chain motion conversion. The developed IMCS can be configured flexibly for various kinds of tasks.

Keywords: AHRS, algorithm, motion capture, energy efficiency.

*Надійшла до редакції
06 квітня 2018 року*

*Рецензовано
20 квітня 2018 року*

УДК 531.383

ПД-РЕГУЛЯТОР В КОНТУРІ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ГІРОТЕОДОЛІТА

¹⁾Боярчук А. О., ²⁾Мироненко П. С., ²⁾Мураховський С. А.

¹⁾КП СПБ «Арсенал», м. Київ, Україна, ²⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: s.murakhovsky@kpi.ua

Розглянуто основні галузі застосування гіроскопічних засобів наземного орієнтування. Показано, що для зменшення часу вимірювань, в гіртеодолітах використовують компенсаційний метод вимірювання азимуту, представлено функціональну схему приладу.

Запропоновано нову структуру регулятора зворотного зв'язку, коефіцієнти якого визначаються методами модального керування по неповній вимірюваному вектору стану. Розглянуто математичну модель приладу у формі простору станів. Проведено аналіз керованості при заданій структурі матриць стану і передачі керування. Визначено матричні передатні функції об'єкту керування та коефіцієнти ПД-регулятора на основі бажаного значення двох коренів характеристичного рівняння замкненої системи.

Проведено моделювання роботи системи керування за допомогою програмної моделі, адекватність якої перевірено на основі частот власних коливань, визначених аналітично. Результати моделювання показали, що застосування запропонованого регулятора дозволяє суттєво зменшити час закінчення перехідного процесу при аналогічному за величиною моменті керування.

У подальшому дослідження можуть бути спрямовані на розробку та вдосконалення методів визначення кутової швидкості руху чутливого елемента в азимуті

Ключові слова: гіртеодолит, ПД-регулятор, компенсаційний зворотний зв'язок.

Вступ

Особливістю роботи наземних засобів азимутального орієнтування, побудованих на гіроскопічних вимірювачах, є висока точність визначення напрямку географічного меридіану за відносно короткий проміжок часу незалежно від природних умов, тобто автономно.

Ця особливість визначає різноманітність практичного використання наземних гірокомпасів та гіртеодолітів [1-4]:

- 1) визначення азимутів ліній при будівництві метро, в шахтних та гірничих роботах;
- 2) визначення азимутів при проектуванні залізничних колій, каналів, ліній електропередачі, трубопроводів, і т.п.;
- 3) вимірювання магнітного схилення, визначення магнітних аномалій, азимутальна прив'язка пунктів геофізичних вимірювань;

4) контроль та орієнтування радіотехнічного та навігаційного обладнання аеропортів.

Зважаючи на широке використання сучасних методів орієнтування на основі супутникових навігаційних систем, особливо велике значення набуває використання гіртеодолітів (ГТ) у підземних роботах та при роботі в складі військової техніки, тобто у випадках недоступності зовнішніх джерел інформації.

Більшість сучасних гіртеодолітів і гірокомпасів використовують компенсаційний метод вимірювання азимута [1, 5], при якому вихідним сигналом приладу є напруга на обмотках датчика моменту (ДМ) зворотного зв'язку.

Узагальнена схема ГТ, що використовує таку замкнену систему керування представлена на рис. 1.

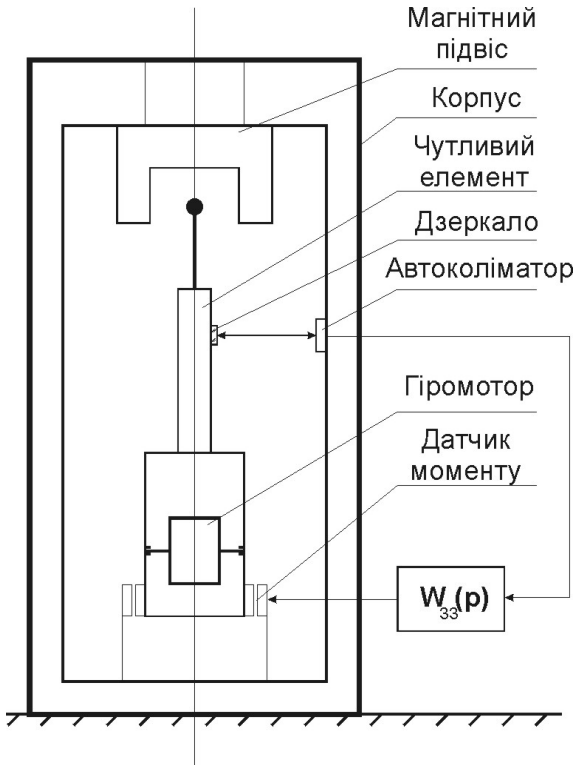


Рис. 1. Функціональна схема ГТ з компенсаційним зворотним зв'язком

Для формування напруги на ДМ в колі зворотного зв'язку зазвичай використовується досить великий набір ланок (на рис. 1 $W_{33}(p)$ - передатна функція цих ланок), які забезпечують необхідні вимоги до динамічних характеристик системи в цілому, перш за все власну частоту і показник загасання коливань чутливого елемента (ЧЕ) в азимуті. У даній роботі пропонується новий пропорційно-диференціальний регулятор, для роботи якого достатньо двох підсилюючих елементів (пропорційних ланок) для сигналів кута і кутової швидкості повороту ЧЕ в азимуті.

Постановка задачі

Розглянемо математичну модель руху ЧЕ гіро-теодоліта в гіростабілізованій площині YOZ [6]:

$$\begin{cases} J_z \ddot{\alpha} + H\dot{\beta} + H\omega_3 \cos \varphi_g \alpha + C_\alpha \alpha = M_K \\ (J_x + ml^2) \ddot{\beta} + mgl\dot{\beta} - H\dot{\alpha} + m\ddot{y} = 0 \\ ml\ddot{\beta} + m\ddot{y} + C_y y = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де α, β – кути повороту чутливого елемента відносно корпусу приладу; y – зміщення точки підвісу чутливого елемента відносно корпусу приладу в напрямку осі Y ; M_K – компенсаційний момент, який формується системою керування; J_x, J_z – осьові моменти інерції чутливого елемента; H – кінетичний момент гіроскопа; m – маса чутливого елемента; l – зміщення центру мас ЧЕ відносно

точки підвісу; ω_3 – кутова швидкість обертання Землі; φ_g – географічна широта місця установки приладу; C_α – кутова жорсткість підвісу відносно осі Z ; C_y – лінійна жорсткість підвісу відносно осі Y .

Запишемо систему рівнянь (1) у формі простору станів, позначивши змінні стану $x_1 = \alpha$, $x_2 = \dot{\alpha}$, $x_3 = \beta$, $x_4 = \dot{\beta}$, $x_5 = y$, $x_6 = \dot{y}$:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U} \\ \mathbf{Y} = \mathbf{C}\mathbf{X} \end{cases},$$

де \mathbf{X} – вектор стану, \mathbf{A} – матриця стану, \mathbf{B} – матриця передачі керування, \mathbf{U} – матриця керуючих впливів, \mathbf{Y} – вектор вимірювання, \mathbf{C} – матриця вимірювання:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_\alpha}{J_z} & 0 & 0 & -\frac{H}{J_z} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{H}{J_x} & -\frac{mgl}{J_x} & 0 & \frac{C_y l}{J_x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{Hl}{J_x} & \frac{mgl^2}{J_x} & 0 & -\frac{C_y}{m} - \frac{C_y l^2}{J_x} & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B}^T = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{J_z} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{U} = M_K.$$

Таким чином, передбачається, що вимірюються дві змінні стану об'єкта – кут α та кутова швидкість $\dot{\alpha}$, а керування є скалярною величиною. Керуючий вплив будемо шукати у вигляді:

$$\mathbf{U} = -\mathbf{K}\mathbf{Y};$$

де $\mathbf{K} = [k_1 \quad k_2]$ – матриця невідомих коефіцієнтів регулятора, які необхідно визначити.

Розв'язання поставленої задачі

Розглянемо можливість керування повним вектором стану при заданій матриці \mathbf{B} [7], у нашому випадку матриця керуваності має вигляд:

$$\mathbf{Q} = [\mathbf{B}; \mathbf{A}\mathbf{B}; (\mathbf{A})^2\mathbf{B}; (\mathbf{A})^3\mathbf{B}; (\mathbf{A})^4\mathbf{B}; (\mathbf{A})^5\mathbf{B}].$$

Ранг матриці керованості дорівнює кількості змінних стану $\text{rank}(\mathbf{Q}) = 6$, отже, за допомогою керуючого впливу \mathbf{U} можна забезпечити керування повним вектором \mathbf{X} .

Матрична передатна функція об'єкта по керуючому впливу має вигляд:

$$\mathbf{W}(p) = \frac{\mathbf{X}(p)}{\mathbf{U}(p)} = (p\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B};$$

і складається з шести передатних функцій:

$$\mathbf{W}(p) = \frac{1}{A(p)} \begin{bmatrix} R_1(p) \\ R_2(p) \\ R_3(p) \\ R_4(p) \\ R_5(p) \\ R_6(p) \end{bmatrix},$$

Для визначення матриці коефіцієнтів регулятора \mathbf{K} необхідно записати допоміжну матрицю \mathbf{L} ,

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{J_z} & 0 & \frac{m^2 gl + C_y I_x}{m J_x J_z} & 0 & \frac{gl C_y}{J_x J_z} \\ \frac{1}{J_z} & 0 & \frac{m^2 gl + C_y I_x}{m J_x J_z} & 0 & \frac{gl C_y}{J_x J_z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{H}{J_x J_z} & 0 & \frac{HC_y}{m J_x J_z} & 0 \\ 0 & \frac{H}{J_x J_z} & 0 & \frac{HC_y}{m J_x J_z} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{Hl}{J_x J_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{Hl}{J_x J_z} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

де позначено $I_x = J_x + ml^2$.

Тоді коефіцієнти регулятора можна визначити зі співвідношення [8]:

$$\mathbf{K}^T = \mathbf{C}(\mathbf{L}^T)^{-1}(\mathbf{d} - \mathbf{a}); \quad (2)$$

де вектор \mathbf{a} складається з уже визначених коефіцієнтів характеристичного полінома розімкненої сис-

де

$$R_1(p) = \frac{1}{J_z} p^4 + \left(\frac{m^2 gl + C_y J_x + C_y ml^2}{m J_x J_z} \right) p^2 + \frac{gl C_y}{J_x J_z};$$

$$R_2(p) = p \left(\frac{1}{J_z} p^4 + \left(\frac{m^2 gl + C_y J_x + C_y ml^2}{m J_x J_z} \right) p^2 + \frac{gl C_y}{J_x J_z} \right);$$

$$R_3(p) = p \left(\frac{H}{J_x J_z} p^2 + \frac{HC_y}{m J_x J_z} \right);$$

$$R_4(p) = p^2 \left(\frac{H}{J_x J_z} p^2 + \frac{HC_y}{m J_x J_z} \right);$$

$$R_5(p) = -\frac{Hl}{J_x J_z} p^3; \quad R_6(p) = -\frac{Hl}{J_x J_z} p^4;$$

$$A(p) = \det(p\mathbf{E} - \mathbf{A}) = p^6 + \left(\frac{k_\alpha}{J_z} + \frac{mgl}{J_x} + \frac{H^2}{J_x J_z} + \frac{C_y}{m} + \frac{C_y l^2}{J_x} \right) p^4 + \left(\frac{k_\alpha C_y l^2}{J_x J_z} + \frac{mgl k_\alpha}{J_x J_z} + \frac{H^2 C_y}{m J_x J_z} + \frac{C_y k_\alpha}{m J_z} + \frac{gl C_y}{J_x} \right) p^2 + \frac{gl C_y k_\alpha}{J_x J_z}.$$

що складається з коефіцієнтів чисельників передатних функцій, що входять в $\mathbf{W}(p)$:

теми $A(p)$, вектор \mathbf{d} - з невідомих коефіцієнтів характеристичного полінома замкненої системи $D(p) = p^6 + d_5 p^5 + d_4 p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0$, а матриця $(\mathbf{L}^T)^{-1}$ має вигляд:

$$(\mathbf{L}^T)^{-1} = J_z \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{J_x}{glC_y} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{mgl}{H} & 0 & 0 & 0 & \frac{mJ_x}{HC_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{mJ_x}{HC_y} & 0 & -\frac{J_x(m^2gl + C_yI_x)}{HglC_y^2} \\ \frac{C_yI_x}{Hml} & 0 & -\frac{J_x}{Hl} & 0 & \frac{mJ_x}{HlC_y} & 0 \\ 0 & -\frac{J_x}{Hl} & 0 & \frac{mJ_x}{HlC_y} & 0 & -\frac{mJ_x(mg + C_yl)}{HglC_y^2} \end{bmatrix}.$$

Коефіцієнти характеристичного полінома замкненої системи $D(p)$ визначаються розв'язком системи алгебраїчних рівнянь, що складається з двох частин.

Першу частину складають рядки матриці

$$\text{де } \mathbf{N}_1 = \begin{bmatrix} \frac{mglJ_z}{H} & 0 & 0 & 0 & \frac{mJ_xJ_z}{HC_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{mJ_xJ_z}{HC_y} & 0 & -\frac{J_xJ_z(m^2gl + C_yI_x)}{HglC_y^2} \\ \frac{C_yI_xJ_z}{Hml} & 0 & -\frac{J_xJ_z}{Hl} & 0 & \frac{mJ_xJ_z}{HlC_y} & 0 \\ 0 & -\frac{J_xJ_z}{Hl} & 0 & \frac{mJ_xJ_z}{HlC_y} & 0 & -\frac{mJ_xJ_z(mg + C_yl)}{HglC_y^2} \end{bmatrix}, \mathbf{M}_1 = \mathbf{N}_1 \mathbf{a} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{H^2 + mglJ_z}{H} \\ 0 \\ \frac{C_yI_xJ_z}{Hml} \end{bmatrix}.$$

Останні два рівняння визначаються з обмежень, що накладаються на положення коренів характеристичного полінома замкненої системи, кількість яких визначається кількістю вимірюваних змінних стану:

$$\mathbf{N}_2 \mathbf{d} = \mathbf{M}_2.$$

Оскільки в нашому випадку вимірюваних змінних дві, припустимо, що бажаним є дійсний від'ємний корінь $p = -\lambda$ кратності 2, тоді

$$D'(p) = 6p^5 + 5d_5p^4 + 4d_4p^3 + 3d_3p^2 + 2d_2p + d_1,$$

$$\lambda^6 - d_5\lambda^5 + d_4\lambda^4 - d_3\lambda^3 + d_2\lambda^2 - d_1\lambda + d_0 = 0,$$

$$-6\lambda^5 + 5d_5\lambda^4 - 4d_4\lambda^3 + 3d_3\lambda^2 - 2d_2\lambda + d_1 = 0,$$

$$\mathbf{N}_2 = \begin{bmatrix} -\lambda^5 & \lambda^4 & -\lambda^3 & \lambda^2 & -\lambda & 1 \\ 5\lambda^4 & -4\lambda^3 & 3\lambda^2 & -2\lambda & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} -\lambda^6 \\ 6\lambda^5 \end{bmatrix}.$$

Таким чином, отримана система з шести алгебраїчних рівнянь з шістьма невідомими коефіцієнтами полінома $D(p)$, розв'язок якої має вигляд:

$(\mathbf{L}^T)^{-1}$ з третього по шостий, що не входять в розв'язок (2), тобто відповідні нульовим стовпцям матриці вимірювання \mathbf{C} :

$$\mathbf{N}_1 \mathbf{d} = \mathbf{M}_1,$$

$$\mathbf{d} = \begin{pmatrix} \mathbf{N}_1 \\ \mathbf{N}_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \mathbf{M}_1 \\ \mathbf{M}_2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Значення коефіцієнтів регулятора і характеристичного полінома замкненої системи визначаються із співвідношень (2), (3) і з огляду на їх громіздкість тут не наводяться.

Моделювання роботи пропорційно-диференційного регулятора

Для моделювання роботи синтезованої системи керування рухом ЧЕ ГТ в азимуті, була розроблена програмна динамічна модель, яка відповідна рівнянням (1), в пакеті Simulink/MATLAB. Параметри приладу обрані на основі відомих конструкцій гіро-теодолітів вітчизняної розробки [1], їх значення представлені в табл. 1.

Для перевірки адекватності моделі було визначено корені характеристичного рівняння розімкненої системи $A(p)$:

$$p_{1,2} = \pm 0,012 j;$$

$$p_{3,4} = \pm 12,225 j;$$

$$p_{5,6} = \pm 556,42 j.$$

Три пари уявних коренів відповідають відсутності демпфірування в системі і визначають частоти

прецесійних, нутаційних і маятникових вільних коливань ЧЕ. Графіки, отримані в результаті моделювання вільної від керування системи при встановленні приладу на широті $\varphi_g = 50^\circ$ і початковому відхиленні ЧЕ на кут $\alpha_0 = 10'$, представлені на рис. 2.

На основі отриманих результатів (рис. 2) можна зробити висновок, що вільні коливання ЧЕ з ку-

тових координатах будуть, в основному, прецесійними. Амплітуда цих коливань залежить від початкового відхилення ЧЕ від положення рівноваги, а рух точки підвісу в горизонтальній площині буде відбуватися на частотах маятникових і нутаційних коливань, що узгоджується з відомими теоретичними та експериментальними дослідженнями [9, 10].

Таблиця 1. Параметри гірогеодоліту

Назва	Значення, одиниці вимірювання
Кінетичний момент гіроскопа	$H = 0.4$ Нмс
Маса чутливого елемента	$m = 1$ кг
Відстань від точки підвісу до центра мас ЧЕ	$l = 0.1$ м
Момент інерції ЧЕ відносно осі X	$J_x = 13 \cdot 10^{-4}$ кгм ²
Момент інерції ЧЕ відносно осі Z	$J_z = 4 \cdot 10^{-4}$ кгм ²
Лінійна жорсткість підвісу відносно осі Y .	$C_y = 150$ Н/м
Кутова жорсткість підвісу відносно осі Z	$C_\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ Нм

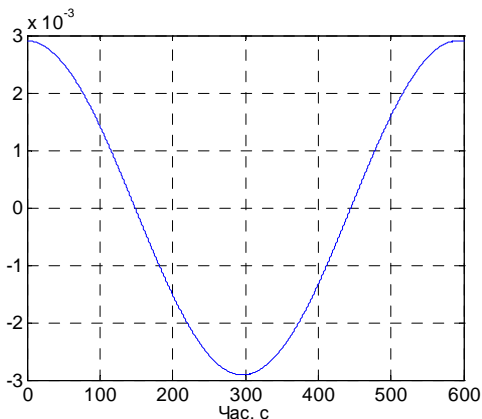
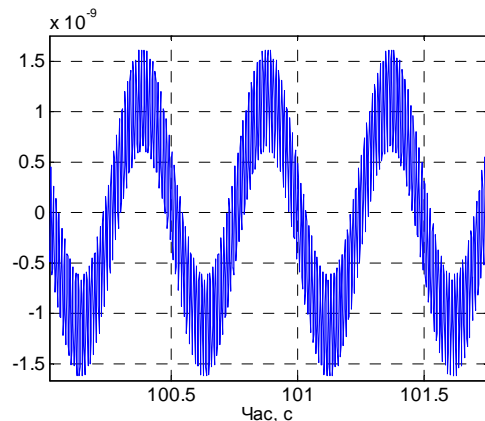
а) прецесійні коливання по куту α (рад)б) маятникові і нутаційні коливання по координаті y (м)

Рис. 2. Графіки вільних коливань ЧЕ

Для моделювання роботи ПД-регулятора (рис. 3) обрані бажані значення двократних коренів характеристичного полінома замкненої системи $\lambda_1 = 0,5$, $\lambda_2 = 1$, що відповідає порядку амплітуд керуючого моменту реалізованого у відомих системах компенсаційного зворотного зв'язку. Задане відхилення головної осі від напрямку на північ становило 1° .

Отримані результати свідчать про те, що при виборі $\lambda_1 = 0,5$, результат роботи нової системи керування практично повністю ідентичний тій, що вже використовується. Варто відмітити, що перерегулювання зменшилося приблизно на 5% і складає 15%. При $\lambda_2 = 1$ моделювання виявило приблизно дворазове зменшення часу закінчення перехідного процесу. При цьому перерегулювання і амплітуда необ-

хідного керуючого моменту залишається на попередньому рівні.

Висновки

Запропонована структура регулятора дозволяє суттєво спростити вигляд передатної функції компенсаційного зворотного зв'язку, який використовується в гірогеодоліті. Це досягається завдяки зменшенню кількості застосованих динамічних ланок.

Отримані функціональні залежності коефіцієнтів (2), (3) ПД-регулятора від параметрів приладу та бажаного розміщення коренів характеристичного полінома замкненої системи дозволяють виконувати проектування систем керування для різних типів об'єктів.

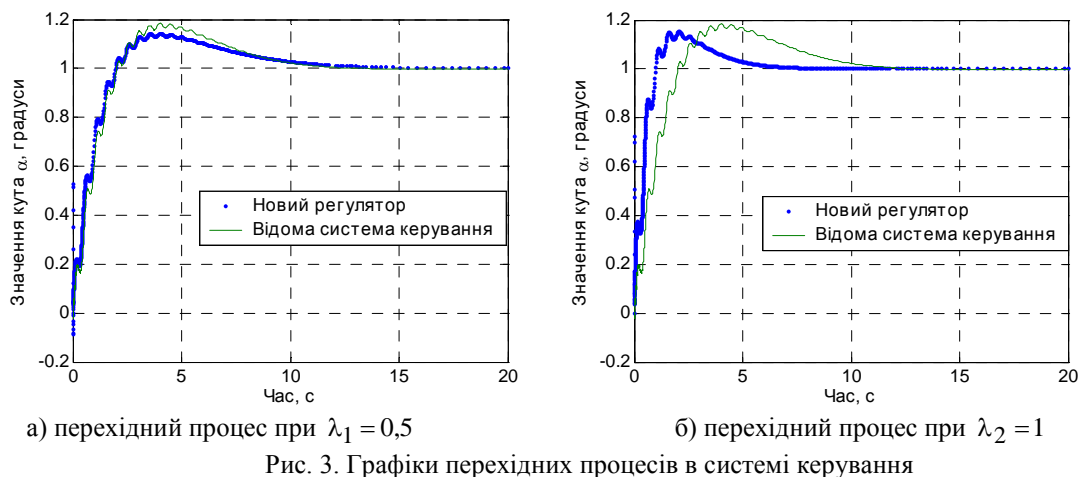


Рис. 3. Графіки перехідних процесів в системі керування

Результати моделювання свідчать про те, що вибором коренів замкненої системи можна досягти зменшення перерегулювання в системі до 15%, а також зменшити час регулювання без істотного збільшення величини керуючого моменту.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення методів визначення кутової швидкості руху чутливого елемента в азимуті. Перспективним є аналіз можливостей побудови систем керування, які використовують інші інформативні сигнали, наприклад, сигнали двокоординатного автоколіматора.

Література

1. Юр'єв Ю. Ю. Сучасні гіроскопічні засоби азимутального орієнтування: зб. тез доповідей VI Міжнар. наук.-техн. Конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 24-25 квітня 2007 р., Київ: НТУУ «КПІ», 2007. С. 24 – 25.
2. Andrew R. Spielvogel; Louis L. Whitcomb A stable adaptive attitude estimator on SO(3) for true-North seeking gyrocompass systems: Theory and preliminary simulation evaluation / 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 29 2017-June 3 2017. pp. 3231 – 3236.
3. Szabó, G. Inertialmesstechnische Richtungsübertragung in einem Vertikalschacht mit der Hilfe von Laskerkreis-Zeitreihenanalyse / Beiträge zum 15 Internationalen Ingenieurvermessungskurs, Graz, 2007. – pp. 383–394.
4. Юр'єв Ю. Ю., Машиністов Е. С., Ліхоткін О. М. Малогабаритний пристрій для азимутального орієнтування напрямків. Перспективи розвитку: зб. тез доповідей VIII міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 28-29 квітня 2009 р. Київ: НТУУ «КПІ», 2009. С. 23 – 24.
5. Одинцов А. А. Теория и расчет гироскопических приборов. Киев: Выща школа, 1985. 392 с.
6. Мураховский С. А. Динамика наземного компенсационного маятникового гироскопа / С. А. Мураховский, Ю. Ф. Лазарев, П. С. Мироненко // Вісник Інженерної академії України. 2010. № 2. С. 125 – 130.
7. Воронов А. А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. Москва: Наука, 1979. 336 с.
8. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. Москва: Машиностроение, 1976. 184 с.
9. Сергеев М. А. Наземные гироскопы. Ленинград: Машиностроение, 1969. 232 с.
10. Ганиев Р. Ф., Воробьев В. М., Лютый А. И. Резонансные колебания гироскопических систем. Киев: Наукова думка, 1979. 188 с.

УДК 531.383

¹⁾А. А. Боярчук, ²⁾П. С. Мироненко, ²⁾С. А. Мураховский

¹⁾КП СПБ «Арсенал», Киев, Украина; ²⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ПД-РЕГУЛЯТОР В КОНТУРЕ КОМПЕНСАЦИОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ГИРОТЕОДОЛИТА

Рассмотрены основные области применения гироскопических средств наземного ориентирования. Показано, что для уменьшения времени измерений, в гиротеодолитах используют компенсационный метод измерения азимута, представлена функциональная схема прибора.

Предложена новая структура регулятора обратной связи, коэффициенты которого определяются методами модального управления при неполноте измерений векторе состояния. Рассмотрена математическая модель прибора в форме пространства состояний. Проведен анализ управляемости при заданной структуре матриц состояния и передачи управления. Определены матричные передаточные функции объекта управления и коэффици-

циенты ПД-регулятора на основе требуемых значений двух корней характеристического уравнения замкнутой системы.

Проведено моделювання роботи системи управління з допомогою програмної моделі, адекватність якої перевірена на основі визначених аналітично частот власних коливань. Результати моделювання показали, що застосування запропонованого регулятора дозволяє суттєво зменшити час закінчення перехідного процесу при аналогічному по величині моменті управління.

В подальшому дослідження можуть бути направлені на розробку і вдосконалення методів визначення кулової швидкості руху чутливого елемента в азимуті

Ключевые слова: гиротеодолит, ПД-регулятор, компенсаційна зворотна зв'язь.

¹⁾**A. O. Boyarchuk**, ²⁾**P. S. Mironenko**, ²⁾**S. A. Murakhovsky**

¹⁾*Arsenal Special Device Production State Enterprise, Kyiv, Ukraine;* ²⁾*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

PD-REGULATOR IN THE CONTOUR OF COMPENSATORY FEEDBACK OF GYROEDODOLITH

The main fields of application of land gyroscopic orientation are considered. It is shown that in order to reduce the measurement time, a compensating method for measuring the azimuth is used in the gyrotodolites, and a functional diagram of the device is presented.

A new structure of the feedback controller is proposed, the coefficients of which are determined by modal control methods in the case of incompletely measured state space vector. The mathematical model of the device in the form of a state space is considered. The controllability analysis for a given structure of state matrices and control transfer is carried out. The matrix transfer functions of the control object and the coefficients of the PD controller are determined on the basis of the required values of the two roots of the characteristic equation of the closed-loop control system.

The obtained functional dependences of the coefficients of the PD controller on the parameters of the device and the desired placement of the roots of the characteristic polynomial of the closed system allow for the design of control systems for various types of objects

Modeling of the operation of the control system using a software model is carried out, the adequacy of which has been verified on the basis of certain analytically fundamental frequencies. The results of the simulation showed that the application of the proposed controller allows to significantly reduce transient process end time at a similar amplitude of control.

In the future, studies can be aimed at developing and improving methods for determining the angular velocity of a sensitive element in the azimuth. Perspective is the analysis of the possibilities of constructing control systems that use other informative signals, for example, signals of a two-coordinate auto-collimator.

Ключевые слова: гиротеодолит, ПД-регулятор, компенсаційна зворотна зв'язь.

*Надійшла до редакції
19 березня 2018 року*

*Рецензовано
04 квітня 2018 року*