

УДК 519.6: 681.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/09>**Лисенко О.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Тачиніна О.М.**

Національний авіаційний університет

Новіков В.І.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Фуртат О.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Юсипів Т.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

СПОСІБ НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ ВІСІ ЧУТТЕВОСТІ МОБІЛЬНОГО СЕНСОРА

Стаття присвячена викладенню способу налаштування параметрів каналів цифрової системи автоматичного керування положенням вісі чутливості мобільного сенсора, що застосовується як мобільна платформа, на якій розташовують зондуєчий пристрій прецизійної цілеспрямованої дії. Основна ідея способу полягає в застосуванні методу Зіглера-Ніколса для отримання початкових умов, які забезпечують швидке наближення до точки оптимуму за подальшого застосування чисельних методів. Запропонований спосіб простий у використанні й дозволяє виконувати за короткий час параметричне налаштування окремого каналу цифрової системи прецизійної та квазіінваріантної автоматичної стабілізації вісі чутливості мобільного сенсора. У статті підкреслено, що загалом спосіб налаштування цифрового регулятора складається з двох типів способів: віртуального й реального налаштування. Спосіб віртуального налаштування використовує комп'ютерну математичну модель каналу цифрової системи автоматичного керування віссю чутливості мобільного сенсора. Спосіб реального налаштування використовує реальну цифрову систему автоматичного керування положенням вісі чутливості мобільного сенсора. У статті детально викладено саме спосіб віртуального параметричного налаштування окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чутливості мобільного сенсора. Шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання продемонстровано, що застосування способу віртуального налаштування як мінімум у декілька разів зменшує середню квадратичну помилку стабілізації вісі чутливості мобільного сенсора в порівнянні з результатом застосування для налаштування лише способу (метода) Зіглера-Ніколса. У розглянутому прикладі показник ефективності (критерій), за яким оцінювалась якість налаштування, покращився майже в сім разів.

Ключові слова: чисельні методи, оптимізація, цифровий пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Мобільні сенсори все більше застосовуються як мобільні платформи, на яких розташовують пристрої прецизійної цілеспрямованої дії (далі – ППЦД) [1]. Такими пристроями можуть бути або відеокамери, або антени направленої дії, або лазерні передавачі та приймачі інформації. Для ефективного використання пристроїв пре-

цизійної цілеспрямованої дії необхідно прецизійно (квазіінваріантно до зовнішніх впливів) утримувати в заданих межах вісь чутливості пристрою. Ця обставина вимагає прецизійної стабілізації вісі чутливості мобільного сенсора у кожному каналі (за кожним ступенем рухомості вісі чутливості). Прецизійність стабілізації у цілому практично повністю визначається

прецизійністю налаштування кожного окремого каналу цифрової системи стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора. Окремий канал складається із двох контурів: контуру корекції динамічних властивостей приводу (внутрішній контур) та контуру керування переміщенням вісі чуттєвості вздовж відповідного ступеня рухомості. У кожному контурі кожного каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора, за звичай, використовується цифровий пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (далі – ЦПД-регулятор) [1–5]. Застосування ЦПД-регуляторів дозволяє, як відомо, забезпечити квазіінваріантність (або квазіадаптивність) каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації [3–5]. Задача попереднього налаштування параметрів ЦПД-регуляторів розв’язується як задача параметричної оптимізації багатоконтурних цифрових систем автоматичного керування із використанням комп’ютерних математичних моделей цих систем. Це означає, що залежність критерію оптимальності від параметрів ЦПД-регуляторів задається алгоритмічно. Такий підхід пов’язано із тим, що встановити явну, записану у вигляді формули, аналітичну залежність критерію від $3N$ параметрів (N – кількість контурів, в які включено ЦПД-регулятори) практично не можливо [1–5]. Алгоритм, який обчислює значення критерію оптимальності при певних значеннях параметрів ЦПД-регуляторів базується на використанні комп’ютерних математичних моделей елементів цифрової системи автоматичного керування, що підключені у відповідний ЦПД-регулятору контур каналу. Підкреслимо, що спосіб повинен дозволяти виконувати саме прецизійне налаштування і, при цьому, за короткий час. При налаштуванні одного ЦПД-регулятора вектор параметрів, що налаштовується (оптимізується) дорівнює 3. Під час налаштування N ЦПД-регуляторів, що входять до складу каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації ця кількість збільшується в N разів. При квазіінваріантному (квазіадаптивному) цифровому управлінні приводом за одним ступенем рухомості вісі чуттєвості мобільного сенсора використовують (за звичай) два контури [3; 4; 5]. Найпоширеніші сучасні системи прецизійної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора мають від трьох до шести приводів (каналів) [6–10]. Як бачимо, у крайньому випадку, налаштуванню (переналаштуванню при підготовці до виконання конкретного завдання) підлягатимуть як мінімум 18 параметрів. Виникає наукове завдання щодо скорочення часу і підвищення точності та якості (прецизійності) налаштування кожного окремого каналу.

Тому наукове завдання щодо розробки способу параметричного налаштування окремого каналу цифрової системи прецизійної та квазіінваріантної автоматичної стабілізації положення вісі чуттєвості мобільного сенсора є актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно з класичною теорією автоматичного керування параметричну оптимізацію (налаштування) для стаціонарних лінійних систем керування можливо виконувати із використанням частотних, часових та інтегральних критеріїв [2–6]. Враховуючи значну кількість приводів бажано мати можливість швидко і майже оптимально налаштовувати і пере налаштовувати регулятори. На сьогодні для налаштування ЦПД-регуляторів найширше застосовується метод Зіглера-Ніколса [2–5], що базується на часових критеріях якості функціонування цифрових систем автоматичного керування (далі – ЦСАК). Але при налаштуванні параметрів ЦПД-регуляторів багатоконтурних систем якість налаштування із використанням лише цього методу значно погіршується [9; 10]. Наявність ЦПД-регулятора в кожному з контурів дозволяє надати цьому контуру властивості квазіінваріантності та квазіадаптивності, що є принципово важливим для мобільних сенсорів, які за звичай працюють в умовах суттєвих параметричних і не параметричних збурень [2–6]. Формальне застосування лише чисельних методів багатовимірної оптимізації за звичай потребує значного часу і суттєво залежить від вдалого першого наближення [11–13]. Так, наприклад, застосування NCD-технології системи комп’ютерної математики MATLAB+Simulink при багато параметричній оптимізації перетворюється майже на мистецтво.

Тому актуальною є прикладна математична задача, що стосується розробки ефективного способу попереднього (під час підготовки до застосування) налаштування та оперативного (в реальному часі) переналаштування багатоконтурних систем управління із цифровими ПД-регуляторами.

Постановка завдання. Завдання полягає в розробці способу зручного для практичного використання при параметричному налаштуванні (параметричній оптимізації за скалярним інтегральним критерієм) каналів багатоконтурних цифрових систем прецизійної квазіінваріантної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора із цифровими ПД-регуляторами у кожному з контурів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як вихідні дані розглянемо скалярну лінійну стаціонарну математичну модель окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора

(див. рис. 1.) [1]. Керуюча дія в окремому каналі керування створюється окремим приводом. Тобто, кількість каналів керування дорівнює кількості степенів рухомості вісі чуттєвості мобільного сенсора. Математична модель об'єкта керування в окремому каналі описує динаміку зміни положення вісі чуттєвості мобільного сенсора (рис. 1 Transfer Fnc¹⁻⁴ та Integrator1). В цілому, комп'ютерна математична модель окремого каналу стабілізації складається із наступних блоків (рис. 1): Gain1, Gain2 та Discrete Transfer Fnc², Gain3 та Discrete Transfer Fnc³ – математична модель ЦПД-регулятора зовнішнього контуру із параметрами $Gp2, Gi2, Gd2$; Gain4, Gain5 та Discrete Transfer Fnc⁵, Gain6 та Discrete Transfer Fnc⁶ – математична модель ЦПД-регулятора внутрішнього контуру із параметрами $Gp1, Gi1, Gd1$; Transfer Fnc¹, Transfer Fnc², Transfer Fnc³, 4 – математичні моделі відповідно підсилювача постійного струму, підсилювача потужності та приводу постійного струму; Gain7 та Transfer Fnc⁵ – математичні моделі відповідно датчика швидкості обертання ротора приводу та датчика переміщення вісі чуттєвості мобільного сенсора; Step, Step1 разом із Step2, а

також Step3 разом із Step4 - математичні моделі відповідно вхідної дії, імпульсних електромагнітного та механічного збурень. Параметрами, які необхідно налаштувати, є коефіцієнти передачі ЦПД-регуляторів Gpj, Gij, Gdj відповідно за пропорційним, інтегральним та диференціальним сигналами для першого ($j = 1$) та другого ($j = 2$) регуляторів. В якості критерію оптимальності обираємо усереднений на інтервалі спостереження T інтеграл від квадрату відхилення $\varphi_x(t)$ вихідного сигналу математичної моделі руху вісі чуттєвості мобільного сенсора $X(t)$ вздовж окремого степеня рухомості від еталонної (бажаної) зміни в часі цього сигналу $X_b(t)$:

$$Q(Gp1, Gi1, Gd1; Gp2, Gi2, Gd2) = \frac{1}{T} \int_0^T (\Delta_x(t))^2 dt, \quad (1)$$

де $\Delta_x(t) = X_b(t) - X(t)$; еталонний (бажаний) сигнал $X_b(t)$ та критерій оптимальності $Q(Gp1, Gi1, Gd1; Gp2, Gi2, Gd2)$ обчислюються (задаються алгоритмічно) із використанням блоків відповідно Transfer Fnc та Dot Product, Gain8, Integrator (рис. 1); тривалість часу моделювання $T=10$ с.

Загалом спосіб налаштування окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної

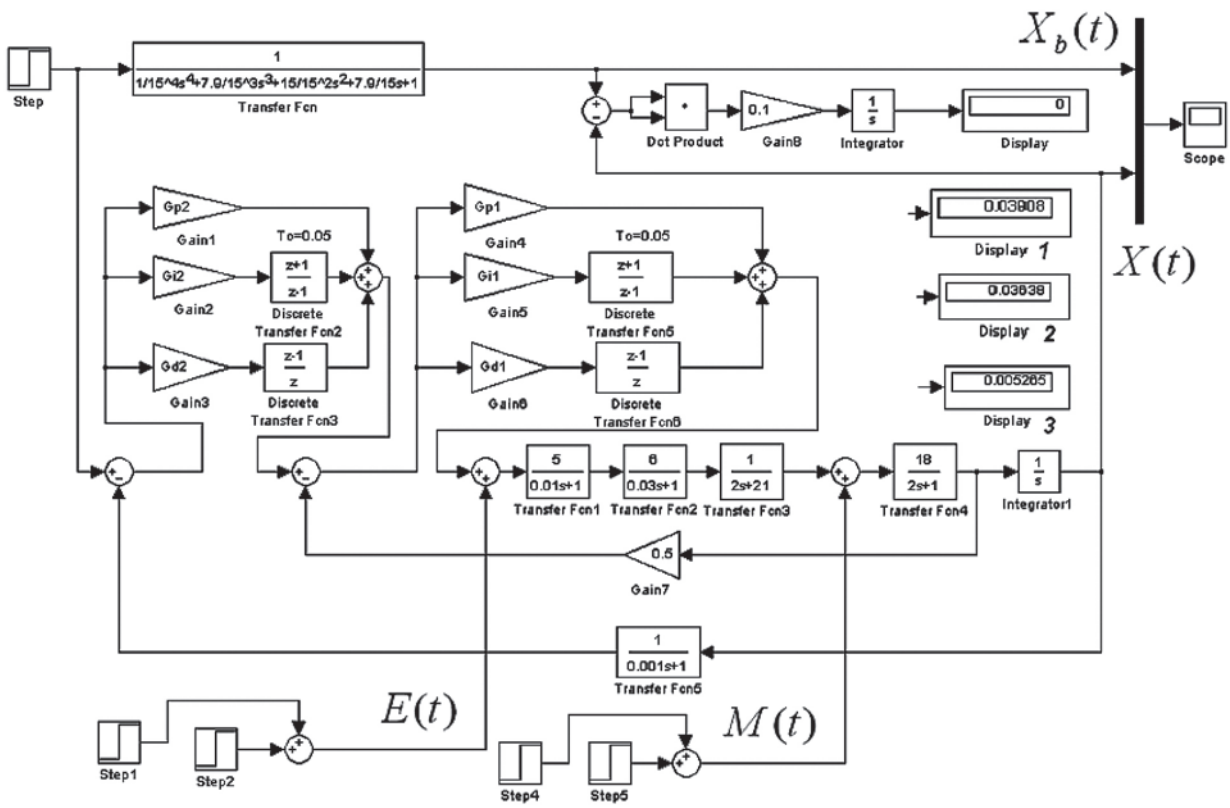


Рис. 1. Комп'ютерна математична модель окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора : T_0 – період дискретизації за часом ($T_0 = 0.05$ с, обрано у відповідності із рекомендаціями [2–5])

стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора складається із двох типів налаштувань: віртуального – на комп'ютерній математичній моделі каналу цифрової системи автоматичного керування положенням вісі чуттєвості мобільного сенсора та реального – виконується на реальному мобільному сенсорі, для каналу керування (ступені рухомості), який попередньо був налаштований за віртуальним типом налаштування.

Спосіб віртуального налаштування складається із двох операцій:

1 операція – обираємо еталонну (бажану) модель зміни в часі перехідного процесу на виході системи керування;

2 операція – застосовуємо трьох- або чотириетапну процедуру налаштування параметрів ЦПД-регуляторів.

Налаштування ЦПД-регуляторів за трьохетапною процедурою полягає у застосуванні методу Зіглера-Ніколса для налаштування ЦПД-регулятора внутрішнього контуру (перша процедура), методу Зіглера-Ніколса для налаштування ЦПД-регулятора зовнішнього контуру (друга процедура) та методу чисельної оптимізації для корекції параметрів ЦПД-регуляторів обох контурів (третья процедура).

Застосування методу Зіглера-Ніколса дозволяє знайти значення параметрів $Gp1o, Gi1o, Gd1o; Gp2o, Gi2o, Gd2o$, які використовуються на наступному етапі як початкові значення в чисельних методах пошуку мінімуму критерію $Q(Gp1, Gi1, Gd1; Gp2, Gi2, Gd2)$.

Налаштування ЦПД-регуляторів за чотириетапною процедурою: полягає у застосуванні методу Зіглера-Ніколса для налаштування ЦПД-регулятора внутрішнього контуру (перша процедура) та методу чисельної оптимізації для корекції параметрів ЦПД-регулятора внутрішнього контуру (друга процедура), застосуванні методу Зіглера-Ніколса для налаштування ЦПД-регулятора зовнішнього контуру (третья процедура) та методу чисельної оптимізації для корекції параметрів ЦПД-регуляторів обох контурів (четверта процедура).

Перша процедура дозволяє знайти прийнятні значення параметрів ЦПД-регулятора внутрішнього контуру $Gp1o, Gi1o, Gd1o$, які у другій процедурі використовуються як перше (початкове) наближення до оптимальних значень параметрів ЦПД-регулятора внутрішнього контуру при його окремому налаштуванні. Третя процедура дозволяє знайти параметри ЦПД-регулятора зовнішнього контуру $Gp2o, Gi2o, Gd2o$, які за допомогою четвертої процедури корегуються разом із пара-

метрами ЦПД-регулятора внутрішнього контуру, що були знайдені за допомогою другої процедури.

Таким чином, остання процедура в трьох- та чотириетапних процедурах налаштування параметрів ЦПД – регуляторів розв'язує оптимізаційну задачу

$$Q \rightarrow \min_{Gp1, Gi1, Gd1; Gp2, Gi2, Gd2} \quad (2)$$

Підкреслимо, що при виконанні останньої процедури виконується перевірка знайденого оптимального розв'язку на чуттєвість до зміни параметрів об'єкту керування. Ці зміни можуть бути, як детермінованими (відбуватися у відомі моменти часу і на відомі величини), так випадковими.

Спосіб реального налаштування дозволяє виконати (при необхідності) уточнення значень параметрів цифрового регулятора, що отримані при віртуальному налаштуванні.

Обидва типи способу налаштування повинні входити до складу загальної методики, яка стосується синтезу цифрової системи автоматичного керування положенням вісі чуттєвості мобільного сенсора в загалі. Дана стаття присвячена викладенню саме способу віртуального налаштування окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора.

Розглянемо результат застосування способу віртуального налаштування, тобто способу, що використовує комп'ютерні математичні моделі (рис. 1).

Перша операція. Як модель еталонної (бажаної) зміни в часі сигналу на виході окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора обираємо сигнал, що діє на виході моделі стандартної форми 4-того порядку із розподілом коренів характеристичного полінома за законом геометричної прогресії [2-5] зменшивши при цьому час тривалості перехідного процесу в 15 разів.

Друга операція. Розглянемо два перші етапи трьох етапної процедури.

Перший етап. Застосовуємо методу Зіглера-Ніколса та отримуємо наступні значення параметрів першого ЦПД-регулятора $Gp1o=3; Gi1o=0.3750; Gd1o=3$.

Другий етап. Застосовуємо методу Зіглера-Ніколса та отримуємо наступні значення параметрів другого ЦПД-регулятора $Gp2o=1.2; Gi2o=0.1333; Gd2o=1.35$.

Результат комп'ютерного моделювання після виконання першого та другого етапів, отриманий із використанням комп'ютерної математичної моделі (рис. 1), показує, що вихідний сигнал каналу $X(t)$ має коливальний характер і суттєво відрізняється від сигналу на виході еталонної

(бажаної) моделі $X_b(t)$ (див. рис. 2). Числове значення критерію оптимізації дорівнює 0.03908 (див. Display 1, рис. 1).

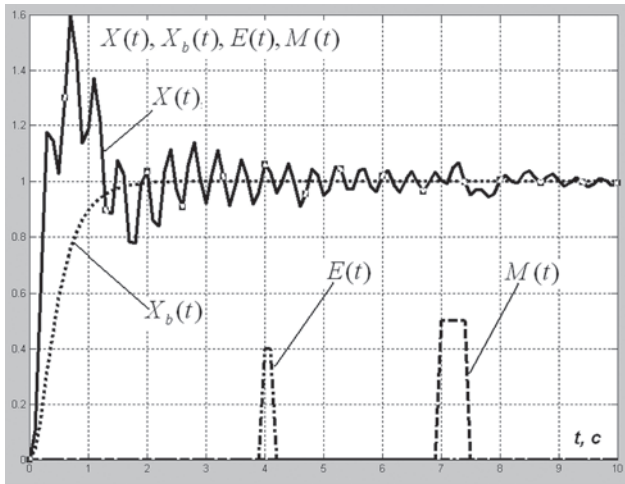


Рис. 2. Перехідні процеси на виході еталонної(бажаної) математичної моделі $X_b(t)$ і математичної моделі окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора $X(t)$ із параметрами ЦПД-регуляторів $Gp1o = 3$; $Gi1o = 0.3750$; $Gd1o = 3$; $Gp2o = 1.2$; $Gi2o = 0.1333$; $Gd2o = 1.35$: $E(t)$ та $M(t)$ – відповідно, імпульсне електромагнітне та механічне збурення

Друга операція. Розглянемо три перші етапи чотирьохетапної процедури.

В результаті виконання першого, другого та третього етапів отримуємо наступні значення параметрів ЦПД-регуляторів $Gp1o = 2.5$; $Gi1o = 0.25$; $Gd1o = 3$; $Gp2o = 1.2$; $Gi2o = 0.1333$; $Gd2o = 1.35$.

Результат комп'ютерного моделювання після виконання першого та другого етапів, отриманий із використанням комп'ютерної математичної моделі (рис.1), показує, що вихідний сигнал каналу $X(t)$ згладжено, але він ще суттєво відрізняється від сигналу на виході еталонної (бажаної) моделі $X_b(t)$ (див. рис.3). Числове значення критерію оптимізації дорівнює 0.03641 (див. Display 2, рис. 1).

Для виконання останньої процедури у трьох- та чотирьохетапних процедурах налаштування параметрів ЦПД-регуляторів розв'яжемо оптимізаційну задачу із використанням чисельного методу нульового порядку, який носить назву метод Хука-Дживса [11; 12]. У результаті отримуємо оптимальні: перехідний процес $X(t)$ на виході математичної моделі окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора (див. рис. 4); точку $Gp1opt = 2.4$; $Gi1opt = 0.28$; $Gd1opt = 3.1$; $Gp2opt = 0.9$; $Gi2opt = 0.008$; $Gd2opt = 0.001$ у шестивимірному просторі параметрів, які налаштовувалися; значення критерію

$Qopt(Gp1opt, Gi1opt, Gd1opt; Gp2opt, Gi2opt, Gd2opt) = 0.005273$ (див. Display 3, рис. 1). Як бачимо (рис. 2, 3, 4), вдалося покращити якість перехідного процесу (перехідний процес був коливальним, а став аперіодичним, який майже співпадає із еталонним (бажаним) процесом), а також вдалося майже у сім разів ($0.03641 / 0.005273 = 6.9050$) зменшити середньоквадратичну помилку.

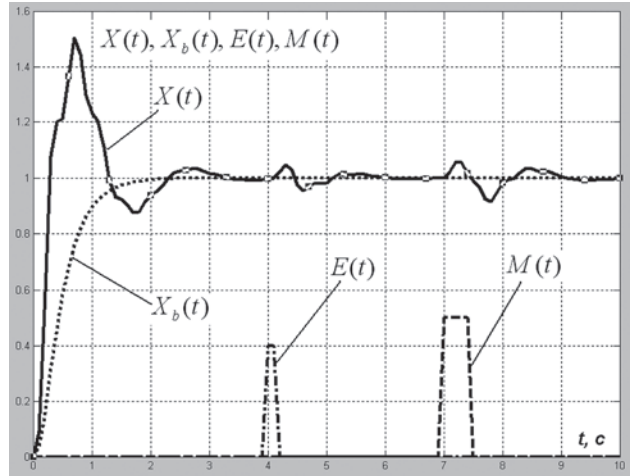


Рис. 3. Перехідні процеси на виході еталонної(бажаної) математичної моделі $X_b(t)$ і математичної моделі окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора $X(t)$ із параметрами ЦПД-регуляторів $Gp1o = 2.5$; $Gi1o = 0.25$; $Gd1o = 3$; $Gp2o = 1.2$; $Gi2o = 0.1333$; $Gd2o = 1.35$: $E(t)$ та $M(t)$ – відповідно, імпульсне електромагнітне та механічне збурення

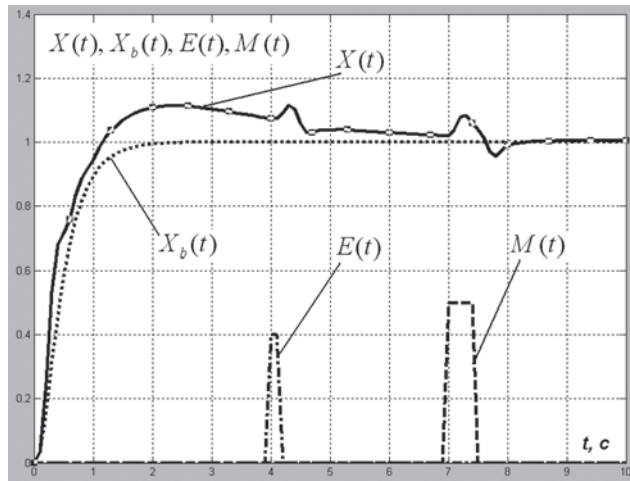


Рис. 4. Перехідні процеси на виході еталонної(бажаної) математичної моделі $X_b(t)$ і математичної моделі окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора $X(t)$ із оптимальними параметрами ЦПД - регуляторів $Gp1opt = 2.4$; $Gi1opt = 0.28$; $Gd1opt = 3.1$; $Gp2opt = 0.9$; $Gi2opt = 0.008$; $Gd2opt = 0.001$: $E(t)$ та $M(t)$ – відповідно, імпульсне електромагнітне та механічне збурення

Запропонований спосіб можливо використувати на етапі підготовки мобільного сенсора до використання (попередній параметричний синтез цифрової системи автоматичної стабілізації) або для переналаштування цифрової системи автоматичної стабілізації в реальному часі (оперативний параметричний синтез).

У разі попереднього параметричного синтезу можливо врахувати усі детерміновані зміни параметрів окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора і запам'ятати відповідні цим змінам найкращі значення параметрів ЦПД-регуляторів.

Під час оперативного параметричного налаштування в умовах невизначеності щодо знання моментів часу та величини зміни параметрів мобільного сенсора (далі – МС), пропонується виконати такі дії:

- перед початком застосування методики оперативно ідентифікувати параметри МС;
- застосувати в наведених процедурах оновлену в результаті ідентифікації математичну модель МС.

Висновки.

1. Наукова новизна способу полягає у комплексному застосуванні методу Зіглера-Ніколса та чисельних методів оптимізації для параметричного налаштування окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора. Метод Зіглера-Ніколса

дозволяє отримати початкові умови, які забезпечують швидке наближення до точки оптимуму при подальшому застосуванні чисельних методів. Якщо початкові умови задавати випадковим чином, то це призводить, у більшості випадків, до нестійкості окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора і неможливості алгоритмічно обчислювати значення критерію і виконувати налаштування параметрів регуляторів.

2. Розрахунки підтвердили високу ефективність запропонованого способу порівняно із випадком застосування лише метода Зіглера-Ніколса. У розглянутому прикладі показник ефективності (критерій), за яким оцінювалась якість налаштування покращився майже у сім разів.

3. Хронометраж показав: час, який витрачає досвідчений експерт на налаштування параметрів окремого каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора із використанням запропонованого способу порівняно із часом витраченим тим же експертом на налаштування тих самих параметрів із використанням NCD – технології MATLAB+Simulink зменшується більше ніж у десять разів.

4. Напрямом подальшого дослідження можливо вважати розробку способу реального налаштування каналу цифрової системи прецизійної автоматичної стабілізації вісі чуттєвості мобільного сенсора.

Список літератури:

1. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях / І.С. Романченко, О.І. Лисенко, С.М. Чумаченко, С.Л. Данилюк, В.І. Новіков, О.М. Тачиніна, П.І. Кірчу, С.В. Валуйський. Київ : НАУ, 2016. 332 с.
2. Репнікова Н.Д. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність : Підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 328 с.
3. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы. Донецк : Норд Пресс., Дон. НУ, 2010. 526 с.
4. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Москва : Бингом ; Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
5. Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сильгадо М.Э. Проектирование систем управления. Москва : Бингом ; Лаборатория базовых знаний, 2004. 911 с.
6. Введение в мехатронику / О.М. Яхно, А.В. Узунов, А.Ф. Луговской и др. Киев : НТУУ «КПІ», 2008. 528 с.
7. Boudiba O., Firsov S., Zhezhera I. Development of a functionally stable orientation systems for an unmanned aerial vehicle. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. № 6/9 (90). P. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118640>.
8. Boudiba O., Jijira I.V., Firsov S.N. Functionally stable motion control of small autonomous aircraft. *Revue des Sciences et de la Technologie, Synthèse / Université Badji Mokhtar Annaba. Algerie*, 2018. Num. 36. P. 74–86.
9. Lysenko O., Tachinina O. Method of path constructing of information robot on the basis of unmanned aerial vehicle. *Proceedings of the National Aviation University*. Kyiv : NAU, 2017. № 4 (73). P. 60–68.
10. Lysenko O., Tachinina O., Alekseeva I.V. Algorithm of Optimal Control of UAV Group. *Electronics and control systems*. № 2(56). Kyiv : NAU, 2018. P. 114–119.

11. Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Алексєєва І.В. Математичні методи моделювання та оптимізації. Частина 1. Математичне програмування та дослідження операцій : підручник. Київ : НАУ, 2017. 212 с.
12. Ларіонов Ю.І., Левикін В.М., Хажмурадов М.А. Дослідження операцій в інформаційних системах. Харків : Компанія СМІТ, 2005. 364 с.
13. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем : Специальный справочник. Санкт-Петербург : Питер, 2002. 448 с.

Lysenko O.I., Tachinina O.M., Novikov V.I., Guida O.G., Furtat O.V., Yusyiv T.V.
THE WAY OF ADJUSTING THE DIGITAL SYSTEM AND ENSURING
THE POSITION OF THE MOBILE SENSOR

The article is devoted to the method of adjusting the channel parameters of the digital automatic control system of the position of the sensory axis of the mobile sensor, which are used as a mobile platform on which the probing device of precision targeted action is placed. The main idea of the method is to use the Ziegler-Nichols method to obtain initial conditions that provide a rapid approach to the optimum point with the subsequent application of numerical methods. The proposed method is easy to use and allows for a short time to perform parametric tuning of a single channel of the digital system of precision and quasi-invariant automatic stabilization of the axis of sensitivity of the mobile sensor. The article emphasizes that in general the method of setting the digital controller consists of two types of methods: virtual and real setting. The virtual tuning method uses a computer mathematical channel model of a digital sensor system to automatically control the axis of sensitivity of a mobile sensor. The real tuning method uses a real digital system to automatically control the position of the sensory axis of the mobile sensor. The article describes in detail the method of virtual parametric tuning of a single channel of the digital system of precision automatic stabilization of the sensory axis of the mobile sensor. Computer simulation has shown that the application of the virtual tuning method at least several times reduces the root mean square error of the sensory axis stabilization of the mobile sensor compared to the result of using the Ziegler-Nichols method (method) for tuning only. In this example, the performance indicator (criterion) by which the quality of the setting was evaluated has improved almost sevenfold.

Key words: numerical methods, optimization, digital proportional-integral-differential regulator, mathematical modelling.