

КОМПЕНСАЦІЯ ЗОВНІШНІХ ТА ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУРЕНЬ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ НА БАЗІ ІНВЕРСНОЇ МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ ДРОБІВ

Постановка проблеми. Самохідні підводні апарати (СПА) є ефективним засобом для виконання підводних робіт – оглядових, інспекційних, пошуково-рятувальних та інших, які проводяться в акваторіях річок і морів України і всього світу [5]. Тому створення та удосконалення автоматичних систем керування СПА є важливою задачею, яку необхідно вирішувати з метою підвищення ефективності виконання підводних робіт.

СПА як об'єкт керування є суттєво нелінійним, математична модель його руху містить нелінійні залежності гідродинамічного та електромеханічного характеру [4], що не дозволяє будувати ефективні системи керування на основі методів класичної теорії автоматичного керування. Тому автором застосовувався інший підхід – принцип прямого інверсного керування [3]. Згідно з ним, в прямий канал керування вводиться інверсна модель об'єкту, входом якої є бажаний стан об'єкту, а виходом – керуючий вплив, який переведе об'єкт з поточного стану в бажаний.

Основна проблема такого підходу полягає в побудові інверсної моделі об'єкту. Для цього автором успішно застосовувались штучні нейронні мережі, які, в силу своїх апроксимативних можливостей, дають змогу по експериментальним даним отримати інверсну модель з достатньою точністю [2].

Проте застосування нейромережевого базису є досить незручним і складним в практичній реалізації. Тому автором було також розроблено інверсну модель руху СПА на базі раціональних дробів, точність якої виявилася майже такою самою, як і на нейромережевому базисі [1]. Моделювання показало, що отримана система керування забезпечує достатню точність і ефективно компенсує зовнішні збурення. Розглянемо тепер її роботу при наявності зовнішніх і параметричних збурень.

Метою роботи є дослідження роботи системи керування рухом підводного апарата з інверсною моделлю на базі раціональних дробів в умовах як зовнішніх, так і параметричних збурень.

Викладення основного матеріалу. Динаміка руху СПА у воді описується системою диференціальних рівнянь [4], які містять істотні нелінійності. Розглянемо модель руху апарата по вертикальній осі, беручи до уваги, що рух по інших двох осях описується аналогічним чином.

Вертикальний рух СПА здійснюється за допомогою вертикального рушія – гребного гвинта, який через редуктор приводиться в рух електродвигуном (в даному випадку постійного струму з незалежним збудженням):

$$L \frac{di}{dt} = K_u u_z - r_a i - c\Phi \frac{\omega}{k_p}; \quad (1)$$

$$J_{IT} \frac{d\omega}{dt} = M_{ED} - Q = \frac{c\Phi i}{k_p} - \frac{K_Q \rho D^5}{4\pi^2} \omega^2; \quad (2)$$

$$(m_{ПА} + \lambda_z) \frac{dV_z}{dt} = T - F_z - F_{Dz} = \frac{K_T \rho D^4}{4\pi^2} \omega^2 - \frac{\rho C_z \Omega}{2} V_z^2 - F_{Dz}; \quad (3)$$

де u_z , K_u – керуючий сигнал регулятора напруги та його коефіцієнт підсилення; i – миттєве значення електричного струму якоря електродвигуна; ω – частота обертання гребного гвинта; k_p – коефіцієнт передачі редуктора; L , r_a , c , Φ – електромагнітні параметри електродвигуна; J_{IT} – приведений момент інерції системи "гребний електродвигун – редуктор – валопровід – гребний гвинт"; $M_{ED} = c\Phi i / k_p$ – рушійний момент електродвигуна, приведений до гребного гвинта; $Q = K_Q \rho D^5 \omega^2 / 4\pi^2$ – гальмівний момент, що створюється гребним гвинтом; K_Q – безрозмірний нелінійний коефіцієнт, що характеризує момент гребного гвинта; ρ – питома густина води; D – діаметр гребного гвинта; $m_{ПА}$, λ_z – маса СПА та приєднана маса води; V_z – поточна швидкість руху СПА по вертикальній осі z ; $T = K_T \rho D^4 \omega^2 / 4\pi^2$ – рушійна сила (упор) гребного гвинта; K_T – безрозмірний нелінійний коефіцієнт, що характеризує упор гребного гвинта; $F_z = \rho C_z \Omega V_z^2 / 2$ – сила опору води СПА по вертикальній осі; C_z – гідродинамічний коефіцієнт корпусу СПА по вертикальній осі; Ω – площа змоченої поверхні зовнішнього корпусу СПА; F_{Dz} – сила зовнішнього збурення по вертикальній осі.

Врахуємо також, що використання коефіцієнтів K_Q і K_T обмежене лише частиною режимів [4]. Для моделювання реверсивних режимів додатково використовуються коефіцієнти K_m і K_p , а упор і гальмівний момент гребного гвинта розраховуються за наступними формулами:

$$Q = K_m \rho D^3 V_z^2; \quad T = K_p \rho D^2 V_z^2.$$

Значення коефіцієнтів K_Q , K_T , K_m і K_p визначаються за графічними залежностями, побудованими для кожного конкретного типу гребного гвинта.

Побудову системи керування описано в [1]. Моделювання проводилося в системі Simulink у середовищі MATLAB. Методику отримання навчальних вибірок і побудови інверсної моделі руху СПА описано в [2]. Таким чином, отримуємо зворотну дискретну математичну модель руху СПА у вигляді формул, по яких, маючи поточні значення швидкості руху СПА V_{z0} і частоти обертів гребного гвинта ω_0 , можна розрахувати керуючий вплив, який забезпечить необхідне нове значення швидкості V_z :

$$a_z = (V_z - V_{z0})/\Delta t - a_d; \quad (4)$$

$$\omega = f(V_{z0}, a_z); \quad (5)$$

$$\omega' = (\omega - \omega_0)/\Delta t; \quad (6)$$

$$u_z = f(\omega_0, \omega'); \quad (7)$$

де a_z – прискорення, яке забезпечить зміну швидкості з поточного значення V_{z0} до необхідного V_z ; a_d – прискорення, призначене для урахування і компенсації зовнішніх збурень, алгоритм його розрахунку описаний нижче; ω' – кутове прискорення, яке забезпечить зміну кутової швидкості з поточного значення ω_0 до необхідного ω . Тут залежності (5) і (7) обчислюються за допомогою апроксимуючих дробів.

Для розрахунку і компенсації збурень необхідно також розробити пряму модель об'єкту, яка отримується аналогічним шляхом і по тих самих навчальних даних, що й інверсна модель. Тоді за допомогою прямої моделі можна обчислити прискорення a_{z0} , яке СПА отримав би при відсутності збурень. Аналіз рівняння (3) показує, що різниця між обчисленим a_{z0} та фактичним $a_{zф}$ прискореннями $a_d = a_{zф} - a_{z0}$ пропорційна силі зовнішніх збурень. Якщо вважати, що ця сила залишиться такою ж і в наступний момент часу, то необхідно розрахувати керуючий вплив, який забезпечить прискорення $a_z = dV/dt - a_d$. Тоді під сумісною дією керуючого впливу і сили збурень СПА отримає прискорення $dV/dt = a_z + a_d$, яке й необхідне для компенсації похибки керування. Для урахування динаміки зміни сили зовнішніх збурень можна розраховувати величину прискорення a_d за рекурентною формулою $a_d(n) = a_d(n) + (a_d(n) - a_d(n-1))$, де n – номер кроку дискретизації.

В процесі виконання апаратом підводної місії на нього можуть діяти не тільки зовнішні, але й параметричні збурення. Зокрема, може змінюватись маса СПА $m_{гнл}$ і приєднана маса води λ_z (наприклад, підйом з дна деякого вантажу), а також обтікання корпусу СПА (зміна положення маніпуляторів, розкриття антени тощо) – при цьому змінюється гідродинамічний коефіцієнт корпусу СПА C_z і площа змоченої поверхні Ω .

Аналіз рівняння (3) показує, що всі перелічені параметричні збурення будуть компенсуватись описаним вище алгоритмом, оскільки їх дія так чи інакше призведе до деякої еквівалентної зміни прискорення a_d , яке й враховується в розрахунках за даним алгоритмом. Для прикладу на рис. 1 показано результати моделювання перехідного процесу при ступінчатій зміні швидкості за наявності зовнішньої збурювальної сили (синусоїдальної з періодом 10 секунд і амплітудою 10% від максимального упору рушії СПА) і параметричних збурень (на 80% підвищено величину приєднаних мас води λ_z та масу СПА, на 50% підвищено гідродинамічний коефіцієнт C_z і площу змоченої поверхні Ω). Як видно, точність роботи системи керування в таких умовах є цілком задовільною.

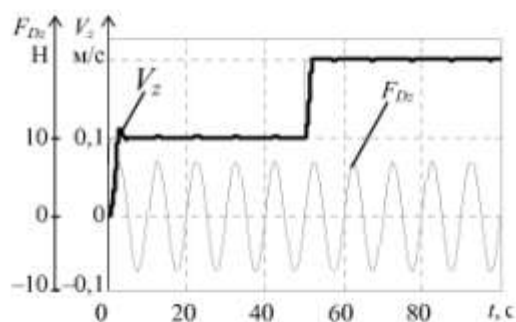


Рис. 1. Результати моделювання роботи системи керування з компенсацією зовнішніх і параметричних збурень

Висновок. Розроблені алгоритми компенсації збурень дають змогу на базі раціональних дробів створювати прості й одночасно ефективні системи автоматичного керування складними нелінійними об'єктами – самохідними підводними апаратами, що працюють в умовах зовнішніх і параметричних збурень.

Список використаної літератури

1. Блінцов С.В. Ідентифікація інверсної моделі нелінійного динамічного об'єкту керування за допомогою раціонального дробу // Технічна Електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – К.: Поліграфічна дільниця Інституту електродинаміка НАН України, 2008. – Ч. 7. – С. 52–53.
2. Блінцов С.В. Системи автоматичного керування рухом підводного апарата на основі зворотної нейромережної моделі // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК, 2005. – № 3 (402). – С. 93–100.
3. Клепиков В.Б., Палис Ф., Цепковский Ю.А. Гибридные нейронные сети в управлении нелинейными электромеханическими системами // Вестник НТУ "ХПИ" Сборник научных трудов "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – Харьков: Вып.10. Т.1. 2003. – С. 29–33.
4. Ставинський А.А., Блінцов С.В. Удосконалення математичної моделі самохідного підводного апарата для дослідження просторового руху // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК, 2004. – № 3 (396). – С. 161–166.
5. Хмельнов И.Н., Турмов Г.П., Илларионов Г.Ю. Необитаемые подводные аппараты. – Владивосток, ДВГТУ, 1996. – 256 с.