

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СПОСТЕРІГАЧА В МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СУДНА

Наговський Д.А., Дощенко Г.Г.  
Херсонська державна морська академія, Україна

**Вступ.** Сучасні системи управління судном та судновими енергетичними установками є автоматизованими технічними комплексами високої складності, що призначені для ефективного виконання операцій, які визначаються призначенням та специфікою роботи судна в конкретних умовах.

**Актуальність досліджень.** Високоточні системи позиціонування створені на основі замкнутих систем управління з використанням PID та PID2 регуляторів у системах підтримки тяги та положення судна. Тому вже багато років вченими світу розробляються та досліджуються різні математичні моделі поведінки судна в залежності від типу судна, умов використання, завдання управління тощо.

Математична модель судна є складною системою нелінійних диференціальних рівнянь, інтегрування яких можливе лише чисельними методами з спрямованістю на результати, які придатні на вирішення практичних завдань.

**Постановка задачі.** Створити та виявити концепції налаштувань математичної моделі DP-судна, які дозволяють використовувати поточні фактори збурення, що діють на судно, та генерувати коригування для системи позиціонування з урахуванням прогнозу щодо зміни значень цих факторів.

**Результати досліджень.** Доцільно розділити всі моделі морських суден на модель низькочастотну (НЧ) та модель хвильового впливу (ХЧ). Нелінійні рівняння НЧ руху обумовлені середнім значенням 2-го порядку і повільно змінними хвильовими, поточними та вітровими навантаженнями, а також силами двигуна. Рух судна ХЧ зумовлений хвильовими навантаженнями 1-го порядку [1]. Для проектування спостерігача та контролера на основі моделі достатньо вивести його спрощену математичну модель, модель керуючого впливу, яка, тим не менш, досить детальна, щоб описати основні фізичні характеристики динамічної системи.

Низькочастотна модель описана в [2] та має наступний вигляд:

$$M\dot{\nu} + C_{RB}(\nu)\nu + C_A(\nu_r)\nu_r + D(k, \nu_r) + G(\eta) = \tau_{env} + \tau_m + \tau_i + \tau_{thr}, \quad (1)$$

де  $M\dot{\nu}$  – узагальнені сили інерції;  $C_{RB}(\nu)\nu$  – узагальнені сили Коріоліса і доцентрові сили;  $D(k, \nu_r)$  – узагальнені сили загасання та поточні сили;  $G(\eta)$  – узагальнені відновлювальні сили;  $\tau_{env}$  – повільно змінюючи навантаження навколишнього середовища, за винятком поточних навантажень, що діють на судно;  $\tau_m$  – навантаження при швартуванні;  $\tau_i$  – навантаження від рівня льоду;  $\tau_{thr}$  – узагальнені сили, створені пропульсивною системою.

Для моделі хвильового впливу використовуються синтетичні процеси, які керовані білим шумом, що складаються з незв'язаних гармонійних коливань із загасанням. Модель запишеться у формі простору-стану:

$$\dot{\xi}_\omega = \xi_\omega A_\omega + E_\omega w_\omega,$$

$$\eta_\omega = C_\omega \xi_\omega,$$

де  $\eta_\omega \in R^3$  – вектор вимірювання положення та орієнтації,  $w_\omega \in R^3$  – вектор білого шуму Гауса з нульовим середнім значенням,  $\xi_\omega \in R^6$ . Тобто, для відображення збурення хвиль

достатньо лінійної моделі другого прядку. Тоді, системна матриця  $A_\omega \in R^{6 \times 6}$ , матриця збурень  $E_\omega \in R^{6 \times 3}$  і матриця вимірювань  $C_\omega \in R^{3 \times 6}$  запишеться:

$$A_\omega = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ -\Omega^2 & -2\Lambda\Omega \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$C_\omega = [0_{3 \times 3} \quad I_{3 \times 3}], \quad E_\omega = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} \\ K_\omega \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $\Omega = \text{diag}\{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$ ,  $\Lambda = \text{diag}\{\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3\}$ ,  $K_\omega = \text{diag}\{K_{\omega 1}, K_{\omega 2}, K_{\omega 3}\}$ . Ця модель відповідає [3]:

$$\frac{\eta_{\omega i}}{\omega_{\omega i}}(s) = \frac{K_{\omega i} s}{s^2 + 2\zeta_i \omega_i s + \omega_i^2}. \quad (4)$$

З практичної точки зору, параметри ХЧ моделі є відносно повільно змінними величинами залежно від переважаючого стану моря. Як правило, періоди хвиль  $T_i$ , що відповідають частоті хвиль  $\omega_i = 2\pi/T_i$ , знаходяться в діапазоні від 5 до 20 секунд, а відносний коефіцієнт затухання  $\zeta_i$  – в діапазоні від 0,05 до 0,1. Тому, з деякою мірою, можна використовувати адаптивні схеми спостерегічів для різних морських умов, але при невеликих довжинах хвилі.

Для апробації моделі використовувався нелінійний PID-регулятор. Експериментальна установка наведена на рис. 1.

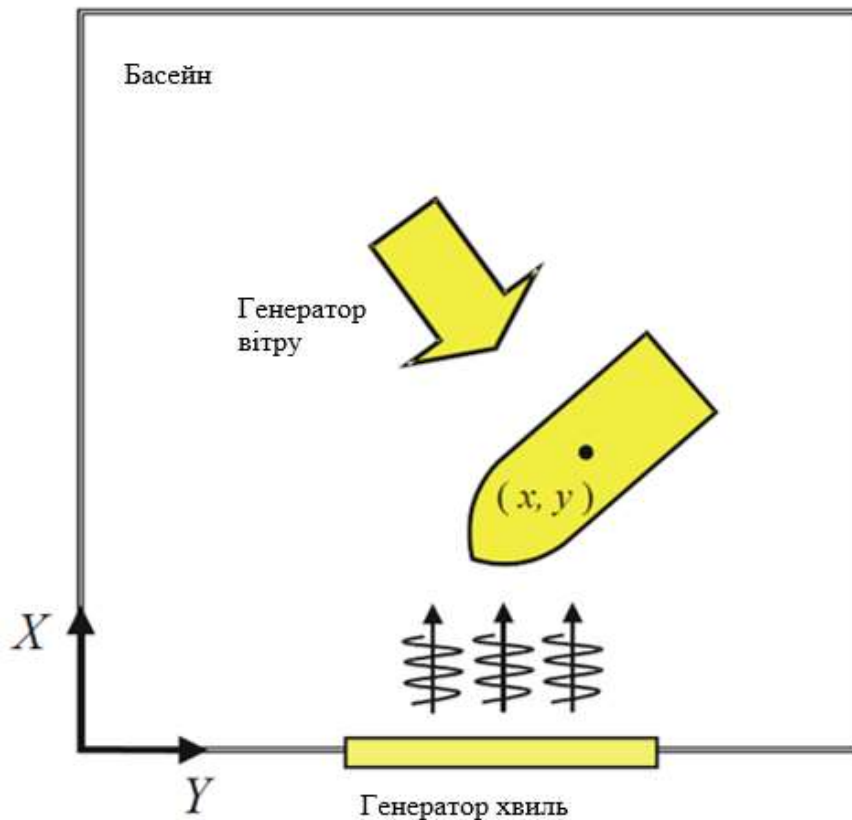


Рисунок 1 – Експериментальна установка: маса макету – 15 кг; довжина макету – 1,2 м; період хвиль – 7 с

На рис. 2 зображено виміряні відхилення положення та курсу судна, які представлені разом із відповідними прогнозами НЧ-частини моделі спостерегіча.

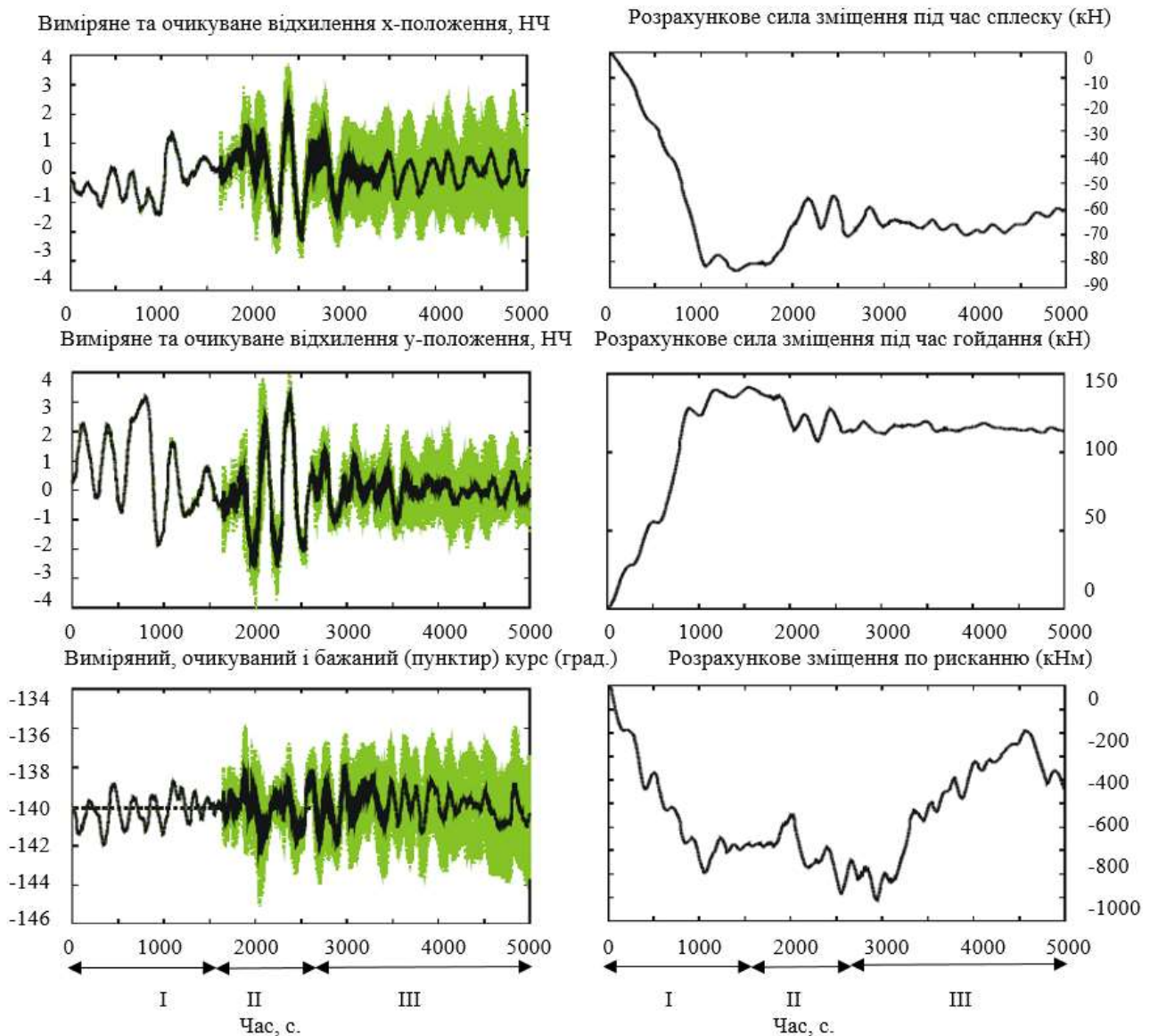


Рисунок 2 – Відхилення положення та курсу судна: виміряні, очікувані та бажані

Експеримент виконувався в три етапи:

- Етап 1: без хвиль. Спочатку судно зберігає потрібне положення і курс без впливу навколишнього середовища на судно. Орієнтовний курс становить -140 градусів. При зборі даних, включається генератор вітру. Спостерігач не працює.

- Етап 2: поява хвиль. Через 1650 секунд запускається генератор хвиль. На цій фазі ми можемо побачити роботу спостерігача з урахуванням компенсації вітру та без урахувань ХЧ.

- Етап 3: вітер, хвилі, спостерігач працює повністю після 2760 секунд.

В результаті проведеного експерименту видно, що збільшення частоти вимірювань показує прогресивне прогнозування НЧ при активізації ХЧ частини моделі спостерігача. Отже видно, що використання спостерігача в моделі впливу хвиль на судно значно підвищує результати статичної моделі керування при різних станах морської поверхні.

**Висновки.** В результаті всебічного аналізу проблематики безпеки мореплавання при різних станах морської поверхні, можна зробити висновок, що використання спостерігача в моделі впливу хвиль на судно значно підвищує результати статичної моделі керування. Ефект сукупного використання при русі морських суден низькочастотної (НЧ) складової та складової частоти хвиль (ХЧ) в моделі добре видно, що відхилення значно зменшуються під час управління динамічним позиціонуванням рухомого об'єкту водного транспорту в збуреному локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fossen, T. I. Guidance and Control of Ocean Vehicles. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd., 1994. – 494 p.
2. Fossen, T. I. Marine Control Systems, Guidance, Navigation, and Control of Ships. Trondheim, Norway: Marine Cybernetics, 2002. – 570 p.
3. Strand, J. P. Nonlinear Position Control Systems Design for Marine Vessels. Doctoral Dissertation, Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering Cybernetics, 1999. – 193 p.