

УДК 004.942:656.61.052

ВИКОРИСТАННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ ДЛЯ МАНЕВРУВАННЯ З ПОЗДОВЖНЬОЮ ШВИДКІСТЮ

Зінченко С.М., Товстокорий О.М., Маменко П.П., Кириченко К.В., Матейчук В.М.
(srz56@ukr.net, otovstokory@gmail.com, pavlo.mamenko@gmail.com, kvklecturer@gmail.com, mateichukv@gmail.com)

Херсонська державна морська академія (Україна)

Досліджені керування двох найбільш поширених схем одно гвинтового судна із кормовим стерном і носовим підрулюючим пристроєм та із кормовим стерном без носового підрулюючого пристрою, для здійснення маневрувань навколо полюсу повороту із поздовжньою швидкістю.

Постановка задачі. Протягом останніх 10 років спостерігається тенденція суттєвого збільшення швидкостей та розмірів суден, оснащення суден дедалі більшою кількістю засобів навігації, зростання потоку інформації для обробки та ухвалення рішення. Особливо важка ситуація виникає при маневруванні в обмежених водах, де простір для маневрування постійно зменшується. У зв'язку з цим, кількість аварій і катастроф на морі постійно зростає. Однією із найважливіших причин зростання аварій та катастроф є людський фактор. Посилення вимог до підготовки та перепідготовки штурманів не дає пропорційного зниження показників аварійності [1], тому фахівці все більше уваги звертають на автоматизацію процесів керування [2-6]. Метою роботи є дослідження питань автоматичного маневрування суден в обмежених водах з використанням концепції полюсу повороту, розробка методів, алгоритмічного та програмного забезпечення модуля автоматичного керування маневруванням.

Перелік вирішуваних питань: дослідження можливостей двох схем керування: схеми керування одно гвинтовим судном з кормовим кермом і схеми керування одно гвинтовим судном з кормовим кермом і носовим підрулюючим пристроєм, в частині маневрування з поздовжньою швидкістю навколо заданого положення полюсу повороту; розробка методів, алгоритмічного та програмного забезпечення модуля автоматичного маневрування з поздовжньою швидкістю навколо заданого положення полюсу повороту; математичне моделювання процесів маневрування у замкнутому контурі «Система керування – Об'єкт керування» на стенді імітаційного моделювання.

Суть дослідження. У 2010 році J. Artyszuk опублікував статтю "Pivot point in ship manoeuvring" [7], в якій записав умову визначення положення полюсу повороту не в скалярній формі $V_y + \omega_z R = 0$, якою користувалися його попередники, а у векторній $\mathbf{V} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R} = 0$, яка дозволила визначити, крім абсциси, також ординату та аплікату полюсу повороту. Для практичних додатків використовують лише абсцису та ординату

$$V_x - R_y \omega_z = 0 \rightarrow R_y = \frac{V_x}{\omega_z} \quad (1)$$

$$V_y + R_x \omega_z = 0 \rightarrow R_x = -\frac{V_y}{\omega_z} \quad (2)$$

Усталений рух лінеаризованої моделі судна із носовим підрулюючим пристроєм має вигляд

$$\begin{cases} V_x = \frac{\partial V_x}{\partial F_x} \left(\frac{\partial P}{\partial \theta} \theta - \frac{\partial F_x}{\partial \delta_R} |\delta_R| \right), \\ V_y = \frac{\partial V_y}{\partial F_y} \left(\frac{\partial F_y}{\partial \theta} \theta + \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R + \frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} \Theta_1 \right), \\ \omega_z = \frac{\partial \omega_z}{\partial M_z} \left(-\frac{\partial F_y}{\partial \theta} (l_P + \Delta x) \theta - \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} (l_R + \Delta x) \delta_R + \frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} (l_{BT} - \Delta x) \Theta_1 \right) \end{cases} \quad (3)$$

Після підстановки рівнянь системи (3) до рівнянь (1), (2), отримуємо

$$\begin{cases} R_x = \frac{\partial V_y \partial M_z}{\partial F_y \partial \omega_z} \left(\frac{\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta + \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R + \frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} \Theta_1}{\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta (l_P + \Delta x) + \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R (l_R + \Delta x) - \frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} \Theta_1 (l_{BT} - \Delta x)} \right) \\ R_y = \frac{\partial V_x \partial M_z}{\partial F_x \partial \omega_z} \left(\frac{\frac{\partial P}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_x}{\partial \delta_R} |\delta_R|}{-\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta (l_P + \Delta x) - \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R (l_R + \Delta x) + \frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} \Theta_1 (l_{BT} - \Delta x)} \right) \end{cases} \quad (4)$$

Для схеми керування без носового підрулюючого пристрою, система (4) буде мати вигляд

$$\begin{cases} R_x = \frac{\partial V_y \partial M_z}{\partial F_y \partial \omega_z} \left(\frac{\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta + \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R}{\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta (l_P + \Delta x) + \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R (l_R + \Delta x)} \right) \\ R_y = \frac{\partial V_x \partial M_z}{\partial F_x \partial \omega_z} \left(\frac{\frac{\partial P}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial F_x}{\partial \delta_R} |\delta_R|}{-\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta (l_P + \Delta x) - \frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} \delta_R (l_R + \Delta x)} \right) \end{cases} \quad (5)$$

Найбільший інтерес представляє рух судна без кута дрейфу, що спрощує керування судном, дозволяє заощаджувати паливо або проводити швартові операції без удару носом або кормом об швартову стінку. Руху судна без кута дрейфу відповідає абсциса полюса повороту $R_x = 0$. Як впливає з першого рівняння системи (4), для схеми з носовим підрулюючим пристроєм, цього можна досягти за рахунок керування

$$\delta_R = -\frac{\partial \delta_R}{\partial F_y} \left(\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \Theta + \frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} \Theta_1 \right), \quad (6)$$

Для схеми без носового підрулюючого пристрою, наведене вище керування матиме вигляд

$$\delta_R = -\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} \frac{\partial \delta_R}{\partial F_y} \Theta, \quad (7)$$

Не важко помітити, що для схеми без носового підрулюючого пристрою, після підстановки рівняння (7) у друге рівняння системи (5), керування Θ скорочується. Це означає, що в схемі без носового підрулюючого пристрою, циркуляція з нульовим кутом дрейфу можлива тільки з одним радіусом циркуляції, що визначається геометричними і гідродинамічними характеристиками судна.

$$R_y = \frac{\partial V_x}{\partial F_x} \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \left(\frac{\frac{\partial P}{\partial \Theta} \frac{\partial \Theta}{\partial F_y} + \frac{\partial F_x}{\partial \delta_R} \frac{\partial \delta_R}{\partial F_y}}{l_R - l_P} \right) \quad (8)$$

Перепишемо друге рівняння системи (6) у вигляді

$$\delta_R = - \left(\frac{\frac{\partial F_y}{\partial \Theta} (l_P + \Delta x) R_y + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \frac{\partial V_x}{\partial F_x} \frac{\partial P}{\partial \Theta}}{\frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} (l_R + \Delta x) R_y - \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \frac{\partial V_x}{\partial F_x} \frac{\partial F_x}{\partial \delta_R}} \right) \Theta + \left(\frac{\frac{\partial F_y}{\partial \Theta_1} (l_{BT} - \Delta x) R_y}{\frac{\partial F_y}{\partial \delta_R} (l_R + \Delta x) R_y - \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \frac{\partial V_x}{\partial F_x} \frac{\partial F_x}{\partial \delta_R}} \right) \Theta_1 \quad (9)$$

Рівняння (6), (9) визначають набір керувань у схемі з носовим підрулюючим пристроєм, що забезпечують циркуляцію судна з радіусом R_y без кута дрейфу.

Висновки

По результатам досліджень можна зробити наступні висновки:

- для схеми керування без носового підрулюючого пристрою, абсциса полюсу повороту не залежить від керувань Θ, δ , а її значення визначається лише геометричними та гідродинамічними характеристиками судна;
- схема керування із носовим підрулюючим пристроєм має надлишковість керування, рух судна по циркуляційній кривій можна забезпечити не тільки ізлюбними бажаними значеннями абсциси та ординати полюсу повороту, але й оптимально, відповідно до вибраної функції якості керування;
- для схеми керування без носового підрулюючого пристрою, циркуляція без кута дрейфу можлива лише з одним радіусом циркуляції вправо та одним радіусом циркуляції вліво, які відрізняються за величиною один від одного, не залежить від керувань і визначаються лише геометричними та гідродинамічними характеристиками судна;
- для схеми керування з носовим підрулюючим пристроєм, циркуляція без кута дрейфу може бути реалізована нескінченним набором керувань (відхиленням Θ телеграфу СЕУ, відхиленням δ_R стерна та відхиленням Θ_1 телеграфу носового підрулюючого пристрою). Визначення таких керувань може бути здійснено у бортовому обчислювачі шляхом вирішення оптимізаційної задачі із заданою функцією якості керування, або шляхом вирішення системи алгебраїчних рівнянь із додатковим обмеженням на керування.

Список використаної літератури

- [1] N. Hasanspahić, S. Vujičić, V. Frančić and L. Čampara, «The Role of the Human Factor in Marine Accidents. Marine Science and Engineering». doi:10.3390/jmse9030261, 2021.
- [2] P. Nosov, S. Zinchenko, A. Ben, Yu. Prokopchuk, P. Mamenko, I. Popovych, V. Moiseienko and D. Kruglyj, «Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means,» *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021. doi:10.15587/1729-4061.2021.229237
- [3] S. Zinchenko, O. Tovstokoryi, P. Nosov, I. Popovych and K. Kyrychenko, «Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel,» *Ships and Offshore Structures*, 2022. doi: 10.1080/17445302.2022.2052480
- [4] P. Mamenko, S. Zinchenko, V. Kobets, P. Nosov and I. Popovych, «Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion,» *In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, Springer, Cham, no. 77, pp. 252-265, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-82014-5_17
- [5] S. Zinchenko, P. Nosov, V. Mateychuk, P. Mamenko and O. Grosheva, «Automatic Collision Avoidance with multiple targets, including maneuvering ones,» *Radio Electronics, Computer Science, Control*, no. 4, pp. 211-221, 2019. doi: 10.15588/1607-3274-2019-4-20.
- [6] S. Zinchenko, V. Mateichuk, P. Nosov, I. Popovych, O. Solovey, P. Mamenko and O. Grosheva, «Use of simulator equipment for the development and testing of vessel control systems,» *Electrical, Control and Communication Engineering*, no. 16(2), pp. 58-64, 2020. doi: 10.2478/ecce-2020-0009,
- [7] J. Artyszuk, «Pivot point in ship manoeuvring,» *Scientific Journals Maritime University of Szczecin*, no. 20(92), pp. 13-24.