

ПРАКТИЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОЛОЖЕННЯ БАЗОВИХ ТОЧОК ЗМІСТОВНОЇ МОДЕЛІ ПОВОРОТУ СУДНА

Товстокорий О. М., к.т.н., капітан далекого плавання, завідувач кафедри управління судном, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, Україна, e-mail: otovstokory@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3048-0028.

Об'єктом дослідження є процес повороту судна. Стаття присвячена питанням здійснення чисельних розрахунків положення всіх базових точок змістовної моделі повороту судна.

Застосування змістовної моделі повороту судна і методів розрахунку положення базових точок дозволяє розрахувати процес повороту судна і визначити положення базових точок. Положення центра ваги знімається з вантажного плану судна. Положення полюсу повороту і положення центра обертання визначаються простими експериментальними та експериментально-розрахунковими методами.

Визначення положення центру обертання і полюсу повороту надає можливість значно точніше визначати положення судна при повороті, що підвищить безпеку плавання.

Визначення абсциси полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми можна використовувати для судна з будь-яким типом і кількістю головних двигунів і будь-яким типом і кількістю рушіїв.

Визначення зміщення центру обертання від центру ваги шляхом порівняння положень абсциси полюсу повороту при нульовій і максимальній швидкостям судна, визначеним по тангенційним швидкостям носа та корми можна використовувати для судна, у якого бокова сила утворюється різними шляхами, але в одному й тому ж місці як при нульовій швидкості, так і при швидкості повного ходу.

Ключові слова: навігаційна безпека; змістовна модель повороту судна; визначення положення полюсу повороту; визначення положення центру обертання; маневрування в стиснутих водах.

DOI: 10.33815/2313-4763.2025.1.30.247-257

Вступ. Знання закономірності руху судна при поворотах підвищує точність розрахунку шляху судна. Знаючи закономірності руху судна, потрібно вирахувати чисельні значення переміщення його базових точок [центра ваги (ЦВ), центра обертання (ЦО) і полюсу повороту (ПП)], що підвищить точність визначення руху судна, що, в свою чергу, підвищить безпеку.

Положення центра ваги знімається з вантажного плану судна. Потрібно розглянути яким чином на практиці можна розрахувати положення базових точок змістовної теорії повороту судна: ЦО та ПП для підвищення точності визначення положення судна при русі по криволінійній траєкторії і таким чином підвищення навігаційної безпеки плавання.

Положення полюсу повороту і положення центра обертання пропонується визначати простими експериментально-розрахунковими методами. Використовуючи такі методи, визначення зміщення центру обертання від центру ваги і визначення положення полюсу повороту можна використовувати для судна з будь-яким типом і кількістю головних двигунів і будь-яким типом і кількістю рушіїв.

Потрібно розглянути яким чином на практиці можна розрахувати положення базових точок змістовної теорії повороту судна: ЦО та ПП для підвищення точності визначення положення судна при русі по криволінійній траєкторії і таким чином підвищення навігаційної безпеки плавання.

Постановка проблеми. Згідно з інформацією джерела [1] стосовно змістовної моделі повороту судна, відомо, як переміщується положення базових точок: ЦО та ПП. Проте, слід зазначити, що в зазначених умовах, дійсне зміщення ЦО та ПП не відоме, що і є проблемою, яку потрібно вирішити.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Визначення і розрахунки положень центру обертання і полюсу повороту раніше розглядалося багатьма авторами. Ми пропонуємо розглянути, як різні автори пропонували визначати положення полюсу повороту або центру обертання.

Так, у статті [1] була запропонована змістовна модель повороту судна, яка описує процес повороту судна, використовуючи 3 базові точки: ЦВ, ЦО та ПП.

Капітан Х. Хойєр у [2] вважає, що полюс повороту, який він називає центром обертання, знаходиться на відстані від чверті до третини довжини судна від кінців судна при русі судна вперед або назад, відповідно.

Капітани Дьомін С. І. і Мальцев А. С. у роботах [3] та [4] вважають, що при русі судна вперед на повному ходові полюс повороту зміщується в точку, яка розташована на відстані 0,1 довжини судна від форштевню.

Також капітан Дьомін С. І. у роботі [3] пропонує визначення положення ПП для стоячого судна розрахунковим шляхом. Автором знайдена залежність між відносним положенням полюсу повороту $\bar{X}_{nn}$ і відносним плечем бокової сили $\bar{X}_p$

$$\bar{X}_p = \frac{\frac{1}{6}\bar{X}_{nn}^4 - \frac{1}{4}\bar{X}_{nn}^2 - \frac{1}{32}}{\frac{2}{3}\bar{X}_{nn}^3 + \frac{1}{2}\bar{X}_{nn}}. \quad (1)$$

Ця залежність також представлена у вигляді графіка, наведеного в [3].

Artyszuk J. у [5] пропонує розраховувати положення абсциси та ординати полюсу повороту за наступними формулами:

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

$$V_x - R_y \omega_z = 0 \rightarrow R_y = \frac{V_x}{\omega_z}. \quad (3)$$

Капітан Х. Кавьє в [6] вважає, що центр обертання може зміщуватися відносно центра ваги максимум на 10% довжини судна.

Автори в [7] показують рух судна лагом під впливом дії 2 буксирів і пояснюють, де знаходиться полюс повороту.

S. G. Seo в [8] вважає, що залежно від форми корпусу полюс повороту на повному ходові вперед може розташовуватися на відстані від 0,3299 до 0,3984 довжини судна від форштевня, причому, чим більшим є коефіцієнт загальної повноти, тим полюс повороту буде розташовуватися ближче до носу.

Автори в [9] та [10] пропонують визначати положення полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми без урахування течії та в [11] та [12] з урахуванням течії відповідно.

Зміст складних математичних розрахунків можна запропонувати експериментальне визначення положення ПП за тангенціальними швидкостями носа та корми [9, 10].

Визначають тангенціальні швидкості носа V_H та корми V_K судна (рис. 1) [9].

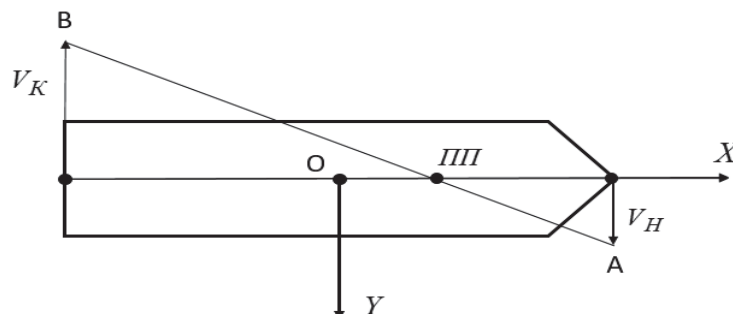


Рисунок 1 – Схема визначення положення полюсу повороту по тангенціальним швидкостям носа і корми судна

Визначення положення абсциси ПП можна виконати за наступною формулою

$$X_{ПП} = \left(\frac{V_K + V_H}{V_K - V_H} \right) \frac{L}{2}, \quad (4)$$

де $X_{ПП}$ – абсциса полюсу повороту;
 V_H – тангенційна швидкість носа;
 V_K – тангенційна швидкість корми;
 L – довжина судна між перпендикулярами.

При наявності течії, тангенціальні швидкості носу і корми судна відносно ґрунту будуть відрізнятися від тангенціальних швидкостей носу і корми на величину швидкості течії, а також будуть відрізнятися і положення ПП [11, 12]. На рис. 2 показані тангенціальні швидкості носу V_{HT} і корми V_{KT} судна, а також положення полюсу повороту $ПП_T$ при наявності течії [11].

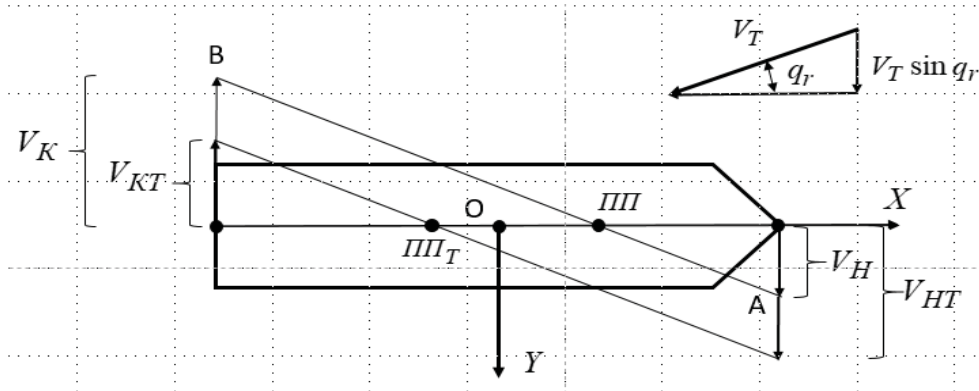


Рисунок 2 – Тангенціальні швидкості носу і корми судна та положення полюсу повороту при наявності течії

Тангенціальні складові швидкості відносно води визначаємо як

$$V_H = V_{HT} - V_{TT}, \quad V_K = V_{KT} - V_{TT}, \quad (5)$$

де V_H – тангенційна швидкість носа без течії;
 V_K – тангенційна швидкість корми без течії;
 V_{HT} – тангенційна швидкість носа з течією;
 V_{KT} – тангенційна швидкість корми з течією;
 V_T – тангенційна швидкість течії.

Автори в [13] пропонують визначення положення центра обертання залежно від поздовжньої швидкості і вважають, що максимальне зміщення центра обертання від центра ваги при необмеженій швидкості може досягти половини довжини корпусу судна.

Автори в [14] пропонують визначити зміщення центру обертання для конкретної швидкості судна в відсотках від швидкості повного ходу.

Оскільки положення точки повороту обчислюється від центру обертання, який також зміщується залежно від швидкості судна, важливо знати рух точки повороту відносно фіксованої точки на корпусі судна, наприклад, міделю. Як видно з рисунка 4, ця відстань дорівнює

$$R_{mid} = \Delta x + R. \quad (6)$$

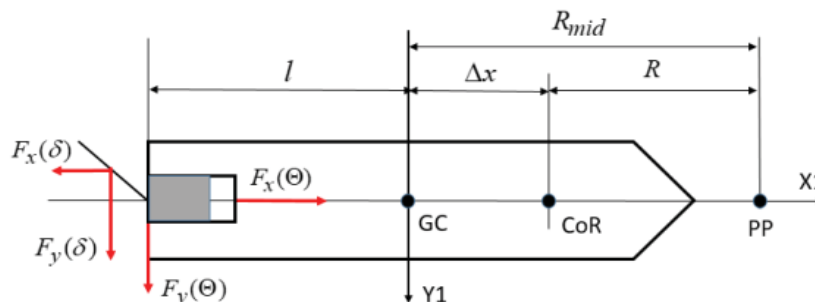


Рисунок 3 – Схема керування конвенційним одногвинтовим судном

Переміщення центру обертання відносно центру ваги можна розрахувати за формулою

$$\Delta x = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{V_{max}}{\eta V_x + V_{max}} \right), \quad (7)$$

або у відносних величинах

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\eta \overline{V}_x + 1} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\eta \overline{V}_x}{\eta \overline{V}_x + 1} \right), \quad (8)$$

де $\overline{V}_x = \frac{V_x}{V_{max}}$ – приведена поздовжня швидкість судна;

$$\eta = \frac{2\xi}{1-2\xi};$$

ξ – є коефіцієнтом, який визначається відношенням максимального переміщення центру обертання до довжини судна.

Автори в [15] пропонують визначити зміщення центру обертання розрахунково-експериментальним шляхом.

Автор у [16] та в [17] показує положення полюсу повороту на судні, що не має ходу відносно води [16] та при русі судна вперед та назад [17].

У статті [18] автор вважає, що наявна модель повороту судна не відповідає дійсності і пропонують її переглянути.

У статті [19] автор вважає, що коли судно повертається носом або кормою, полюс повороту досягає розташування десь між 1/3 і 1/6 довжини судна від носа або корми, залежно від форми корпусу, швидкості та застосованого моменту керма. Розташування полюсу повороту визначає радіус кола, завершеного або спрямованого під час повороту. Менше коло досягається, полюс повороту знаходиться ближче до носа або корми, для повороту вперед або назад відповідно. Для полюсу повороту, розташованого далі від носа, коло більше. З точки зору форми корпусу, судно повнішої форми, як-от балкер або танкер, має полюс повороту ближче до носа, ніж більш стрункі судна.

Таким чином, різні автори пропонують різні методи визначення базових точок повороту судна.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення методів отримання позицій базових точок.

Це дасть змогу створити систему винайдення положення базових точок і підвищення точності керування судном у стиснених водах, що призводить до підвищення безпеки судноводіння в цілому.

Поставлена мета досягається шляхом визначення числових значень базових точок нової змістовної моделі повороту судна, розробленої на основі 3-х точкової схеми повороту, із врахуванням останніх поглядів на теорію повороту судна і зведення їх у систему.

Задачею дослідження є визначення числових значень базових точок нової змістовної моделі: Центра Обертання та Полюсу Повороту для будь-яких суден, з будь-якою кількістю і будь-яким типом рушіїв.

Викладення основного матеріалу. Чисельне визначення базових точок повороту судна. Експериментальне визначення положення Полюсу Повороту по тангенційним швидкостям носа та корми судна. Положення абсциси полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми можна визначити за методикою, описаною в роботах [9] та [11] за формулами (4) та (5) – варіант 1.

Також положення абсциси полюсу повороту можна визначити за формулами (2) та (3), запропонованими в роботі [6] – варіант 2.

Якщо відбувається визначення положення ПП на одnogвинтовому конвенційному судні, то можна використати обидва методи з позитивним результатом.

Але вже при двогвинтовому конвенційному судні виникає потреба враховувати дві сили. При розрахунку за формулами, запропонованими в роботі [6], потрібно додаткові розрахунки для отримання результуючої сили.

Також потреба в додаткових розрахунках виникає при використанні додатково носового підрулюючого пристрою, або іншої додаткової бокової сили (наприклад, буксирів).

При використанні азимутальних поворотних колонок виникає потреба в урахуванні різних сил, а також напрямків упору цих сил.

Такі ж самі потреби виникають при використанні крильчастих рушіїв.

При використанні вітрильного оснащення потрібно враховувати результуючу силу вітру, яка змінює силу і напрямок залежно від кількості вітрил і напрямку вітру.

Можна також привести й інші приклади, але всі вони показують, що використання методу по варіанту 2 крім одnogвинтового конвенційного судна завжди потрібні додаткові розрахунки і в деяких випадках вони можуть бути досить складними.

Формули визначення положення абсциси полюсу повороту по варіанту 1 не включає ніяких натяків на кількість і якість використаних рушіїв, беруться тільки дані про геометричне переміщення носа та корми судна, які можуть визначатися різними методами (GPS, Допплер-лаг тощо), без будь-якого зв'язку з кількістю і якістю двигунів і рушіїв. І по суті, немає значення, який двигун і рушій (включаючи вітрило) має судно, має значення тільки тангенційні швидкості носа і корми. Тобто, цей метод є універсальним.

Отже, визначення абсциси полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми можна використовувати для судна з будь-яким типом і кількістю головних двигунів і будь-яким типом і кількістю рушіїв. Цього раніше не казали.

Визначення положення абсциси полюсу повороту на повному ходові при перекладці керма можна визначити по тангенційним швидкостям носа та корми.

Визначити положення полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми при нульовій швидкості неможливо визначити тільки завдяки перекладки керма. Потік води не буде набігати на кермо і не буде утворювати бокової сили. Тому цю бокову силу потрібно створити в тому ж місці, де її створює кермо. Наприклад, шляхом використання буксира, який працює з кормового клюзу на одній лінії з пером керма під кутом 90° до ДП судна (рис. 4).

Іншим методом визначення абсциси полюсу повороту є розрахунковий метод визначення її положення на стоячому судні, який запропонований у роботі [3].

Експериментальне визначення положення центра обертання. Положення ЦО залежить від поздовжньої швидкості судна. Положення ПП залежить від плеча бокової сили відносно ЦО. При прикладенні бокової сили в одній і тій же точці, положення полюсу повороту має бути також в одній і тій же точці. Але, якщо визначити значення положення абсциси ПП при просто при нульовій швидкості, або при відсутній швидкості $X_{ПП1}$ і при максимальній швидкості (швидкість повного ходу) $X_{ПП2}$, то положення полюсу повороту буде різним. За гіпотезою автора різниця цих значень і буде величиною зміщення ЦО - ΔX .

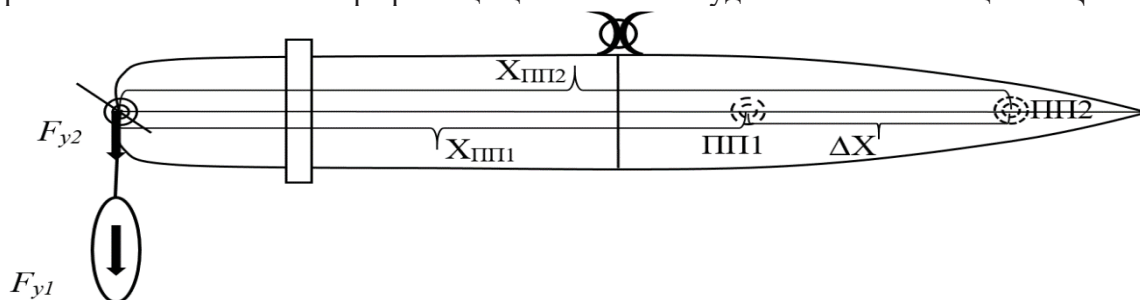


Рисунок 4 – Порядок знаходження величини зміщення Центру Обертання (ЦО) - ΔX

$$\Delta X = X_{ПП2} - X_{ПП1} . \quad (9)$$

Значення ΔX можна визначити за значенням $X_{ПП1}$, взятим з графіка залежності положення полюсу повороту від плеча бокової сили і значенням $X_{ПП2}$, отриманим експериментально. Таким чином, визначення положення центра обертання можливо розрахунково-експериментальним методом, який описаний у статті [16].

Так, у цій статті максимальна величина зміщення центру обертання, визначена розрахунково-експериментальним методом, дорівнює:

$$\Delta X = X_{III2} - X_{III1} = 0,37L - 0,17L = 0,2L.$$

У разі руху судна зі швидкістю менше максимальної величини зміщення ЦО вираховується за формулою (8). Значення положення центру обертання для різних швидкостей можна розрахувати заздалегідь і використовувати при реальних маневрах.

Графік з джерела [3] побудований для усередненого судна. Для більш точного визначення максимального зміщення ЦО можна знайти це експериментальним шляхом:

– Положення ПП при нульовій швидкості визначити за допомогою буксиру методом, який описаний вище;

– Положення ПП при швидкості повного ходу, що є реальною максимальною швидкістю для кожного конкретного судна, можна визначити, як описано в роботі [9].

Отримані результати відрізняються від відомих рішень тим, що авторами експериментально доведено зміщення полюсу повороту для максимальної швидкості циркуляції, а також висловлено припущення, що причиною такого зміщення є зміщення центру обертання.

Метод визначення максимального зміщення ЦО шляхом порівняння положення полюсу повороту при нульовій швидкості і швидкості повного ходу, отриманих експериментально, є новим і не пропонувався раніше.

Положення ЦО та ПП при розгляді випадку з 2 буксирами, які просувають зупинене судно лагом. Можна розглянути випадок з судном, яке зупинилося і його штовхають або тягнуть лагом два буксири з однаковою силою і з однаковими відстанями від точки прикладення сили до міделю судна, яке сидить на рівному кілі (Рисунок 5). Цей випадок розглядали задовго до мене такі добре відомі автори, як Hooyer H. H. у [2]; Dr. Seong-Gi SEO та Captain Kevin EARL у [7].

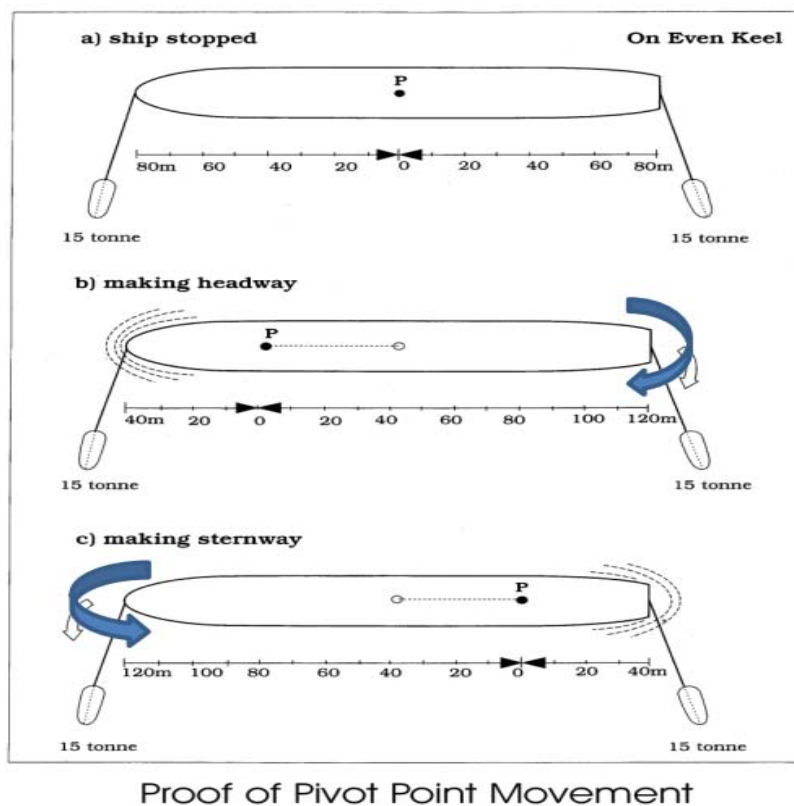


Рисунок 5 – Два буксири тягнуть судно лагом з рівною потужністю [7]

У цьому випадку положення точки Р не є положенням полюсу повороту, бо в полюсі повороту бокова швидкість судна має дорівнювати 0.

Для більш наочного пояснення цього я пояснюю це на рисунку 6, де при тих же умовах показані тангенційні швидкості носа та корми, а також положення ЦВ та ЦО і тангенційні швидкості цих точок. Ні одна з вищевказаних точок, ні в носовій, ні в кормовій частині судна не мають тангенційної швидкості, яка дорівнює 0. Тобто, у цьому випадку в межах корпусу немає ні однієї точки, де тангенційна швидкість була б рівною 0.

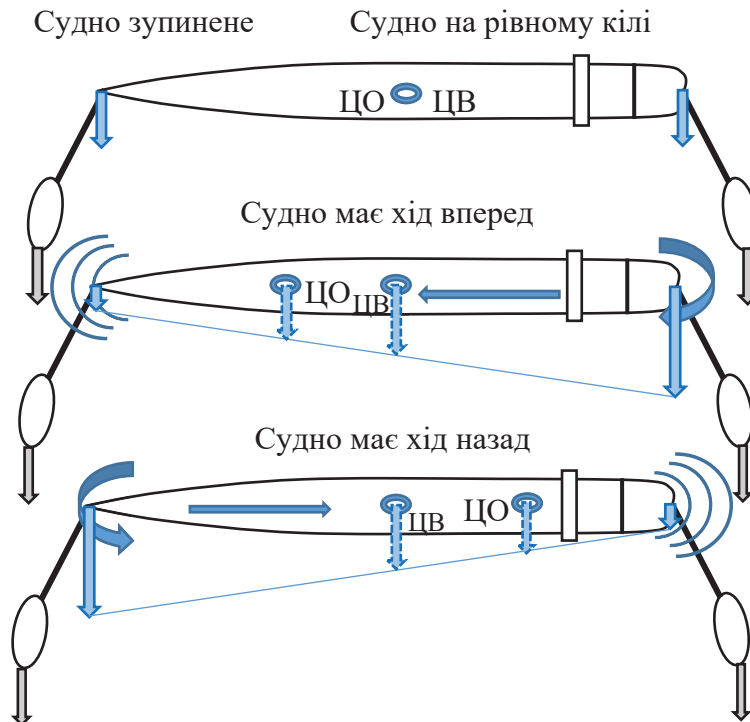


Рисунок 6 – Два буксири тягнуть судно лагом з рівною потужністю

Як насправді виглядає ця картина, показано на рисунку 7. Візьмемо положення, коли буксири тягнуть з однаковою силою, а корма рухається з тангенційною швидкістю V_K , яка більше носової швидкості V_H .

Судно на рівному кілі Судно має хід вперед

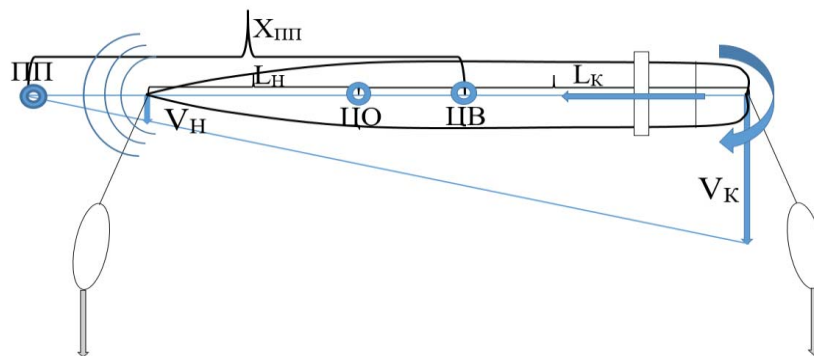


Рисунок 7 – Розташування ЦО та ПП при русі судна вперед

При зупинці судна ЦО збігається з ЦВ. Поля тиску навколо корпусу однакові з усіх боків. Коли судно йде вперед (рис. 7), поля тиску навколо корпусу змінюються. У носовій частині ми маємо зону високого тиску, навколо бортів тиск низький. За таких обставин центр бокового опору (ЦБО) рухається до області високого тиску [6]. Деякі автори вважають точку ЦО на цьому рисунку точкою ЦБО, бо в ній прикладена гідродинамічна сила спротиву води і, відповідно, момент цієї сили, але в точці ЦВ – найменший момент інерції судна незалежно від зовнішніх сил і моментів з боку середовища. За думкою автора ЦО є компромісом ЦВ і ЦБО. Можна припустити, що вказану точку слід називати ЦБО. Основною ідеєю є те, що

вона існує, і від неї відраховуються всі важелі бокових сил, прикладених до судна. Розрахунки положення ЦО, з урахуванням вказаного, наведені вище. У будь-якому випадку точки ЦБО і ЦО не виходять за межі корпусу судна. Обертальний рух судна залежить від крутних моментів, прикладених буксирами, які, у свою чергу, залежать від прикладених сил і важелів цих сил. Сили рівні. Це означає, що важелі різні. Коли судно рухається вперед, крутний момент буксира, що працює в кормі, сильніший, ніж крутний момент буксира, розташованого в носові. Судно обертається за годинниковою стрілкою. Коли судно має рух назад, ситуація протилежна, судно обертається проти годинникової стрілки. Положення ЦО залежить від відношення плеч сил.

Але ми також можемо знайти на цьому рисунку положення ПП. Для цього ми будемо використовувати метод тангенційних швидкостей носа і корми [8], який використовує у своїх відео професор Кнуд Бенедикт [15], [16].

Використовуючи величини тангенційних швидкостей V_H і V_K також можна знайти положення РР за формулою (4). Ця точка буде в іншому місці, ніж точка Р з рисунка 5.

У випадку, коли носова швидкість V_H менша за кормову швидкість V_K і вони обидві спрямовані в одному напрямку (що відповідає положенню судна), положення X_{PP} знаходиться попереду носової частини судна. Він також може перебувати в різному положенні залежно від поперечної швидкості носа та корми, але загалом ПП та ЦО є різними точками, і вони залежать від різних фізичних принципів.

У випадку, коли носова швидкість V_H більша за кормову швидкість V_K і вони обидві спрямовані в одному напрямку, положення X_{PP} буде за кормою судна.

Основні результати та їх обговорення. Основними результатами є отримання методів визначення положення ПП та ЦО.

ПП можна визначати двома методами: експериментально-розрахунковим та експериментальним.

Зміщення положення ЦО пропонується визначати як різницю між положенням ПП при нульовій та при поточній швидкостях. Це пропонується як гіпотеза автора.

Висновки.

1. Положення абсциси полюсу повороту можна експериментально визначити по тангенційним швидкостям носа та корми судна на будь-якій швидкості, включаючи нульову швидкість і швидкість повного ходу. Визначення абсциси полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми можна використовувати для судна з будь-яким типом і кількістю головних двигунів і будь-яким типом і кількістю рушіїв. Раніше ніде не писалось, що метод тангенційних швидкостей носа та корми можна використовувати для будь-яких суден.

2. Для кожного судна можна визначити положення абсциси ПП стоячого судна експериментальним шляхом, наприклад, використавши буксир, який закріпив буксирний трос через кормовий клюз на одній лінії з пером керма і виконує тягу під кутом 90° і виконавши розрахунок положення ПП по тангенційним швидкостям носа і корми. Це підвищить точність визначення положення абсциси ПП. Визначивши положення абсциси полюсу повороту для нульової швидкості, можна використовувати його весь час. Визначення положення ПП стоячого судна пропонується вперше.

3. Для кожного судна можна визначити положення абсциси ПП стоячого судна за графіком на рис. 1.

4. Порівнявши положення ПП стоячого судна з експериментальними даними положення ПП при русі судна, згідно з гіпотезою автора, можна визначити величину зміщення ЦО. Це можна робити не тільки для максимальної швидкості, але й для поточної, уникаючи, таким чином, перерахунку за формулою (8). Визначення величини максимального зміщення ЦО експериментальним методом запропоновано вперше.

5. Метод визначення положення ЦО шляхом порівняння положення абсциси полюсу повороту при нульовій швидкості і швидкості повного ходу, отриманих експериментально, є новим і не пропонувався раніше.

6. Визначення зміщення ЦО від ЦВ шляхом порівняння положень абсциси ПП при нульовій і максимальній швидкостям судна по тангенційним швидкостям носа та корми можна використовувати для судна, у якого бокова сила утворюється різними шляхами, але в одному й тому ж місці як при нульовій швидкості, так і при швидкості повного ходу.

7. Таким чином, створена система винайдення числових значень базових точок повороту судна простими, часто геометричними методами, які дають можливість використовувати змістовну модель повороту судна [17] при маневруванні в реальних умовах. Така система запропонована вперше.

8. Визначення чисельних значень зміщення центра обертання і полюсу повороту значно підвищує точність процесу маневрування і взагалі безпеку плавання, особливо в стиснених водах.

Перспективи подальших досліджень. При подальших дослідженнях можна зосередитися на визначенні практичних засобів використання змістовної моделі повороту судна у різних випадках морської практики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tovstokoryi O. M. Substantive model of ship turn with account of the latest achievements in theory and practice.
2. Behavior and Handling of Ships. Henry H. Hooyer (Author). Cornell Maritime Press; 1st edition (November 1, 1983), 152 p.
3. Дьомін С. І. Управління судном / Дьомін С. І., Жуков Є. І. та ін. М.: Транспорт, 1991. 359 с.
4. Вільський Г. Б., Мальцев А. С., Бездольний В. В., Гончаров Є. І. Навігаційна безпека при лоцманській проводці суден. // Під ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вільського. Одеса-Миколаїв: Фенікс, 2007. 456 с.
5. Artyszuk J. Pivot point in ship manoeuvring. Scientific Journals Maritime University of Szczecin. 2010. Vol. 20, No 92. P. 13–24.
6. Cauvier H. The Pivot Point. The PILOT. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilots' Association. p. 295. 2008. <http://www.pilotmag.co.uk/wp-content/uploads/2008/06/pilotmag-295-final-web.pdf>.
7. A Paradigm Shift in Shiphandling (The Pivot Point) Dr. Seong-Gi SEO Captain Kevin EARL. 15th April 2015. Warsash Maritime Academy, Southampton Solent University.
8. Seo S. G. Safer and More Efficient Ship Handling with the Pivot Point Concept, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 10, Issue 4, 605–612. 2016. <https://doi.org/10.12716/1001.10.04.09>.
9. Товстокорій О. Н. Експериментальне визначення положення полюсу повороту по тангенційним швидкостям носа та корми. Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал, №1(10). 2014. С. 57–63.
10. Патент на корисну модель № 100293. Україна. МПК (2015.01) G08G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення процесу управління судном / Товстокорій О. М., Мальцев С. Е., Бень А. П.: власник Херсонська державна морська академія – у 2014 12711, заявлено 26.11.2014; опубліковано 27.07.2015. Бюл. № 14.
11. Товстокорій О. М., Мальцев С. Е. Визначення положення полюсу повороту за допомогою доплерівського лагу // Судноводіння: Сб. наукових праць /НУ «ОМА», Вип. 26. Одеса: «ИздатИнформ», 2016, С. 183–190.
12. Патент на корисну модель № 114868. Україна. МПК (2017.01) G08G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна / Товстокорій О. М., Мальцев С. Е., Бень А. П.: власник Херсонська державна морська академія – у 2016 09646, заявлено 19.09.2016; опубліковано 27.03.2017. Бюл. № 6.

13. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kyrychenko K. Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel. Ships and Offshore Structures. <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>.
14. Kobets V., Popovych I., Zinchenko S., Nosov P., Tovstokoryi O., Kyrychenko K. Control of the Pivot Point Position of a Conventional SingleScrew Vessel. ICST 2023. Information Control Systems & Technologies 2023. Proceedings of the 11th International Conference "Information Control Systems & Technologies" Odesa, Ukraine.
15. Товстокорий О. М., Зінченко С. М., Нагрибельний Я. А., Тимофеев К. В. Розрахунок величини зміщення центру обертання судна <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.044-055>. Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал № 26–27 (2023). С. 44–55.
16. Pivot Point Special 1 – Position at Stopped ship: only thusters, no propulsion. By Dr. Knud Benedict. Hochschule Wismar/ Institute ISSIMS, Department of Marine Studies. 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=EYTF9INUEt8>.
17. Pivot Point Specials 2 – position for ship moving ahead or astern. By Dr. Knud Benedict. Hochschule Wismar / Institute ISSIMS, Department of Marine Studies. 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=v1I8c6aaFgo&t=16s>.
18. Cummins T. Scientific Fact: The ‘traditional’ understanding of the ship’s pivot point is wrong! A review of the ship’s pivot point: Science, Maths and Observation, Harbour Pilot, Portsmouth International Port. 2020. <https://www.marine-pilots.com/articles/81904-scientific-fact-traditional-understanding-of-ships-pivot-point-is-wrong>.
19. Ghosh S. What Is The Pivot Point of a Vessel?, Marine Navigation. 2024. https://www.marineinsight.com/marine-navigation/pivot-point-of-a-vessel/#google_vignette.

REFERENCES

1. Tovstokoryi, O. M. Substantive model of ship turn with account of the latest achievements in theory and practice.
2. Behavior and Handling of Ships. Henry H. Hooyer (Author). Cornell Maritime Press; 1st edition (November 1, 1983), 152 p.
3. Domin, S. I. (1991). Upravlinnya sudnom / Domin S. I., Zhukov E. I. ta in. M.: Transport, 359 s.
4. Vilskiy, G. B., Maltsev, A. C., Btzdolnyi, V. V., Goncharov, E. I. (2007). Navigatsiyna bezpeka pry lotsmanskiiy provodtsi suden. // Pid red. A. C. Maltseva, G. B. Vilskego. Odesa – Mykolaiv: Fenix, 456 s.
5. Artyszuk, J. (2010). Pivot point in ship manoeuvring. Scientific Journals Maritime University of Szczecin. Vol. 20, No 92. P. 13–24.
6. Cauvier, H. (2008). The Pivot Point. The PILOT. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilots’ Association. p. 295. <http://www.pilotmag.co.uk/wp-content/uploads/2008/06/pilotmag-295-final-web.pdf>.
7. A Paradigm Shift in Shiphandling (The Pivot Point) Dr. Seong-Gi SEO Captain Kevin EARL. 15th April 2015. Warsash Maritime Academy, Southampton Solent University.
8. Seo, S. G. (2016). Safer and More Efficient Ship Handling with the Pivot Point Concept, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 10, Issue 4, 605–612. <https://doi.org/12.12716/1001.10.04.09>.
9. Tovstokoryi, O. M. (2014). Eksperimentalne vyznachennya polozhennya polyusu povorotu po tangentsiynym shvidkostyam noca na kormy. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii: naukovyi zhurnal, #1(10). s. 57–63.
10. Patent na korysnu model #100293. Ukraina. MPK (2015.01) G08G 3/00. Spisib informatsiynogo zabezpechennya protsesu upravlinnya sudnom/ Tovstokoryi O. M., Maltsev S. E., Ben A. P.: vlasnyk Khersonska derzhavya morskya akademiya – u 2014 12711, zayavleno 26.11.2014; opublikovano 27.07.2015. bul.#14.

11. Tovstokoryi, O. M., Maltsev, S. E. (2016). Vyznachennya polozhennya polyusu povorotu za dopomogoyu dopplerovsrogo lagu// Sudnovodinnya: Cb. Naukovykh prats/ NU "OMA", vyp. 26. Odesa: "IzdatInform", S. 183–190.
12. Patent na korysnu model #114868. Ukraina. MPK (2017.01) G08G 3/00. Sposib informatsiynogo zabezpechennya manevruvannya morskogo sudna/ Tovstokoryi O. M., Maltsev S. E., Ben A. P.: vlasnyk Khersonska derzhavya morska akademiya – u 2016 09646, zayavleno 19.11.09.2016; opublikovano 27.03.2017. bul.#6.
13. Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Nosov, P., Popovych, I., Kyrychenko, K. Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel. Ships and Offshore Structures. <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>.
14. Kobets, V., Popovych, I., Zinchenko, S., Nosov, P., Tovstokoryi, O., Kyrychenko, K. (2023). Control of the Pivot Point Position of a Conventional SingleScrew Vessel. ICST 2023. Information Control Systems & Technologies 2023. Proceedings of the 11th International Conference "Information Control Systems & Technologies" Odesa, Ukraine.
15. Tovstokoryi, O. M., Zinchenko, S. M., Nagrybelnyi, Y. A., Timofeev, K. V. Pozpahunok velychyny zmishchennya tsentru obertannya sudha <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1–2.26–27.044–055>. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii: naukovyi zhurnal, #26–27(2023) s. 44–55.
16. Pivot Point Special 1 – Position at Stopped ship: only thusters, no propulsion. By Dr. Knud Benedict. Hochschule Wismar/ Institute ISSIMS, Department of Marine Studies. 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=EYTF9INUEt8>.
17. Pivot Point Specials 2 – position for ship moving ahead or astern. By Dr. Knud Benedict. Hochschule Wismar / Institute ISSIMS, Department of Marine Studies. 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=v1I8c6aaFgo&t=16s>.
18. Cummins, T. (2020). Scientific Fact: The ‘traditional’ understanding of the ship’s pivot point is wrong! A review of the ship’s pivot point: Science, Maths and Observation, Harbour Pilot, Portsmouth International Port. <https://www.marine-pilots.com/articles/81904-scientific-fact-traditional-understanding-of-ships-pivot-point-is-wrong>.
19. Ghosh, S. (2024). What Is The Pivot Point of a Vessel?, Marine Navigation. https://www.marineinsight.com/marine-navigation/pivot-point-of-a-vessel/#google_vignette.

Tovstokoryi O. M. PRACTICAL METHODS FOR CALCULATING THE POSITION OF THE BASIC POINTS OF THE SUBSTANTIVE MODEL OF THE SHIP'S TURN

The object of the study is the process of turning the ship. It is necessary to numerically calculate the positions of all the base points of the substantive model.

Knowledge of the substantive model of ship turning and methods for calculating the positions of the base points allow us to calculate the process of turning the ship and determine the positions of the base points. The position of the center of gravity is taken from the ship's cargo plan. The position of the pivot point and the position of the center of rotation are determined by simple experimental and experimental-calculation methods.

Determining the position of the center of rotation and the pivot point makes it possible to determine the position of the ship during turning much more accurately, which will increase the safety of navigation.

Determination of the abscissa of the pivot point by the tangential speeds of the bow and stern can be used for a vessel with any type and number of main engines and any type and number of thrusters.

Determination of the displacement of the center of rotation from the center of gravity by comparing the positions of the abscissa of the pole of rotation at zero and maximum vessel speeds, determined by the tangential speeds of the bow and stern, can be used for a vessel in which the lateral force is generated in different ways, but in the same place both at zero speed and at full speed.

Key words: navigational safety substantive model of vessel rotation; determination of the position of the pivot point; determination of the position of the center of rotation; maneuvering restricted waters.

© Товстоко́рий О. М.

Статтю прийнято до редакції 16.02.2025