

Фуклев О.І., Євтушенко М.Ю.

МОДЕЛІ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН У СТИСНЕНИХ ВОДАХ

Судноводіння на мілководді є звичайною практикою у стиснутих водах (наприклад, в портах та на підходах до них). У таких навігаційних зонах, які характеризуються обмеженою глибиною та шириною, морські судна часто стикаються з абсолютно іншими умовами плавання порівняно з навігацією у відкритому морі. Більшість суден спроектовані та оптимізовані саме для навігації у відкритому морі. Визначено, що важливою проблемою, що заважають безпечному маневруванню у стиснутих водах, є гідродинамічна взаємодія між суднами. В статті отримали розвиток моделі розходження суден у стиснених водах, які враховують гідродинамічну взаємодію між суднами. Метою статті є розвиток моделей розходження суден у стиснених водах, яка, на відміну від існуючих, враховує гідродинамічну взаємодію між суднами. Проблема управління рухом судна за траєкторією у стиснених водах належить до найбільш актуальних, спрямованих на підвищення безпеки мореплавання та потреби подальшого вдосконалення методів її вирішення. Саме тому гостро стоїть питання якомога швидшого створення систем підтримки прийняття рішення для підвищення безпеки судноводіння, оперативності прийняття рішення та повноти врахування умов маневрування у стиснених водах. Отримала подальший розвиток модель розходження суден у стиснених водах, яка, на відміну від відомих, враховує гідродинамічну взаємодію між суднами, є елементом системи підтримки прийняття рішень судноводіння та дозволяє підвищити безпеку судноводіння.

Ключові слова: гідродинамічна взаємодія, маневрування, моделі руху, стиснені води, судно, транспортні технології, навігаційна обстановка, судноводіння, безпека судноплавання, безпека на морі, навігація, стислі води.

Вступ. Однією з проблем, що заважають безпечному маневруванню у стиснутих водах, є гідродинамічна взаємодія між суднами.

У межах розроблення відповідної моделі для системи підтримки прийняття рішень буде розглянуто такі типи взаємодії:

- взаємодія між суднами, що рухаються паралельними курсами: під час обгону судна рухаються в одному напрямку, при цьому відбувається зіткнення (зустріч, взаємне або лобове зіткнення) з суднами, що пливають у протилежних напрямках;
- взаємодія з пришвартованим судном;
- взаємодія між суднами, що рухаються з приблизно однаковою швидкістю паралельно і в безпосередній близькості один від одного;
- взаємодія між суднами, що рухаються паралельно і в безпосередній близькості один від одного, яка відбувається під час маневрів лавірування та під час маневрів у порту для поповнення запасів (UNREP);
- взаємодія буксирів з суднами.

Аналіз літературних джерел. Дослідження проблеми маневрування суден у стиснених водах із застосуванням знань орієнтованих методів проводили українські і закордонні вчені, зокрема [6, 8, 9, 10]. Значний внесок у вдосконалення процесів управління маневруванням зробили Мальцев А.С. [11], Вильський Г.Б. [12]. Питаннями дослідження стану об'єктів у динаміці стиснених вод наполегливо займаються колективи зарубіжних вчених [1-4].

У наведених роботах досліджуються процеси управління суднами. Проте, питання взаємодії суден у стиснутих водах у повному обсязі в науковій літературі не висвітлені, що й обумовлює

актуальність даної статті.

Мета статті: розвиток моделей розходження суден у стиснених водах, яка, на відміну від існуючих, враховує гідродинамічну взаємодію між суднами.

Основна частина. Розроблення моделі суден, що рухаються паралельними курсами у стиснутих водах.

У загальному випадку ефекти взаємодії (рис. 1) починають відчуватися, коли носові частини обох суден відштовхуються одна від одної, що супроводжується невеликим збільшенням швидкості. Коли судна проходять повз, момент ристання на носі змінюється на момент ристання на борту, і відштовхування зменшується. Потім момент диференту повертається під час проходження, але тепер він сильніший і може призвести до того, що судна будуть віддалятися одне від одного, коли вони пройдуть повз. Також може відчуватися зниження швидкості. Нарешті, слабкий момент нахилу, що супроводжується відштовхуванням, може відчуватися [1].

Аналогічно, різний розподіл тиску навколо судна впливає на занурення й диферент обох суден. З точки зору взаємодії, перехід на взаємні курси має перевагу, оскільки відбувається швидко, так що судно часто не встигає відреагувати на різні сили та моменти взаємодії, які він відчуває.

Зазвичай, домінуючими ефектами є моменти розвороту, коли судна починають проходити повз один одного, і мають сильніші моменти крену, коли розходження майже закінчилося.

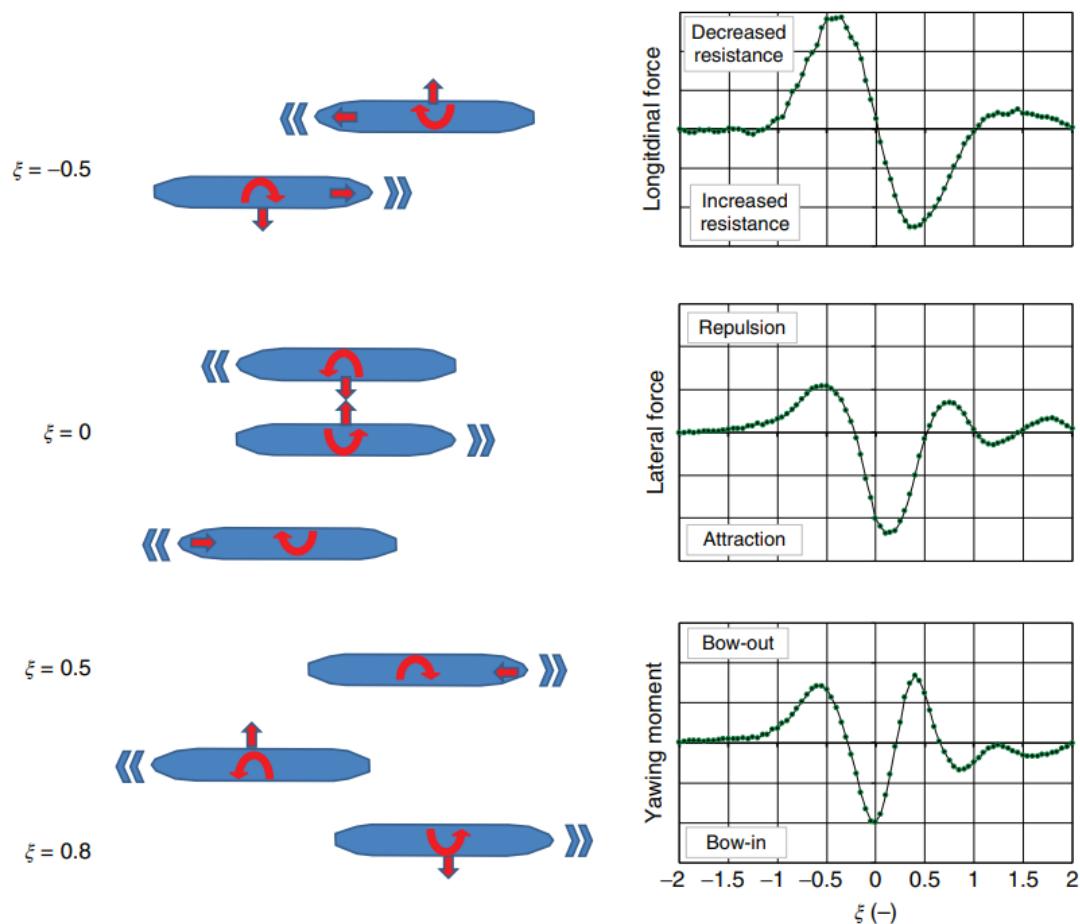


Рисунок 1 – Моделювання ефектів горизонтальної взаємодії під час маневрів зіткнення, ξ – безрозмірне позначення для поздовжньої відстані між обома секціями мітелів

Розроблення моделі обгону суден у стиснутих водах

Типові сили такої взаємодії для обох суден наведені на рис. 2. Оскільки судно, що обганяє, виконує обгін іншого судна, момент нахилу спочатку відчуває найшвидше судно. Судно, яке наздоганяє, відчуває сильний момент розвороту, за яким слідує момент зближення. Сила хитавиці на

судні, яке наздоганяють, характеризується послідовністю відштовхування, притягування та відштовхування, що можна порівняти з маневрами зустрічного розвороту.

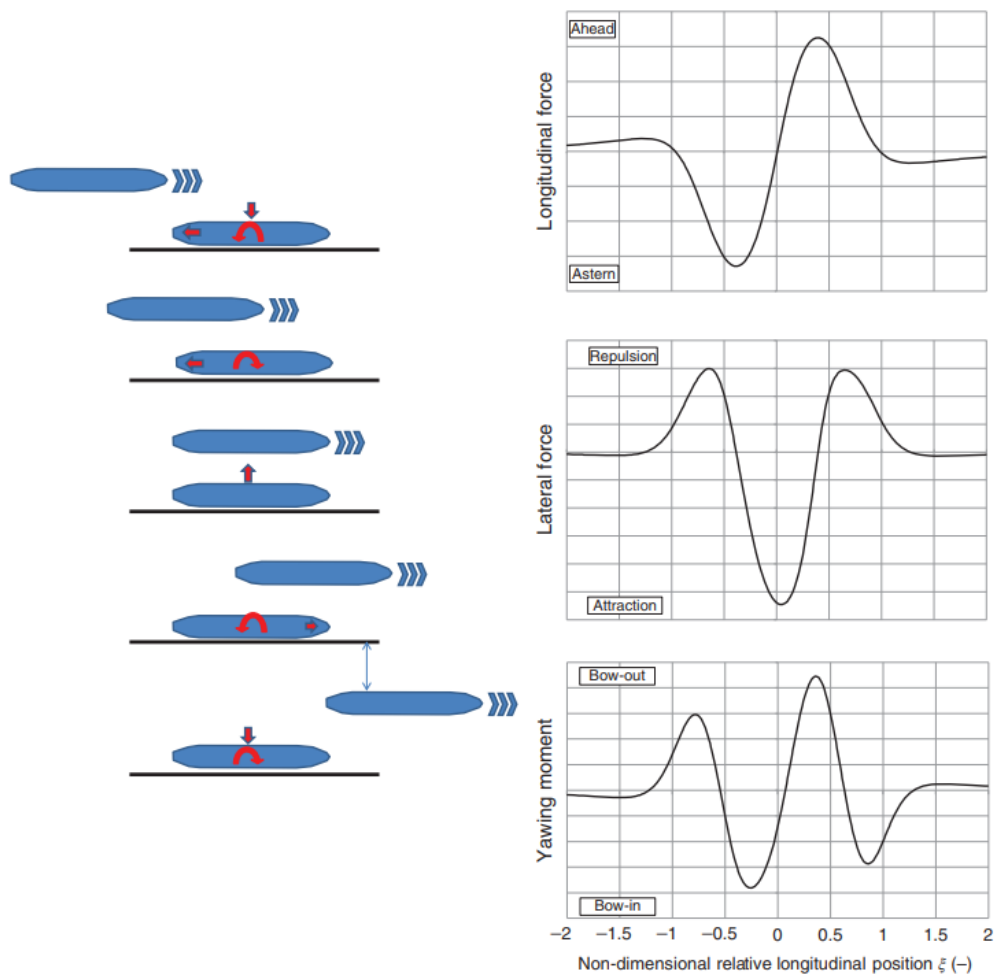


Рисунок 2 – Моделювання ефектів горизонтальної взаємодії під час типового маневру обгону

Спочатку судно, яке наздоганяє, відчуває збільшення опору. Але коли воно опиняється перед судном, яке збирається обігнати, зменшення опору викликає прискорення судна. Тоді як судно, яке наздоганяє, сповільнюється, що робить процедуру обгону більш складною. Оскільки відносна швидкість під час обгону може бути низькою, взаємодія встигає вступити в силу. Сценарій зіткнення показаний на рис. 3 а) й виникає, коли судно, яке обганяють, розвертається впоперек носа судна, що обганяє, яке може бути повернуте до нього під деяким кутом.

Якщо зіткнення не відбудеться і судно, що наздоганяє, пройде повз інше, обидва судна відчують потужні моменти на носі разом із взаємним притягуванням. Це може призвести до того, що обидва судна “розлетяться” та їх корми зіткнуться, як показано на рис. 3 б).

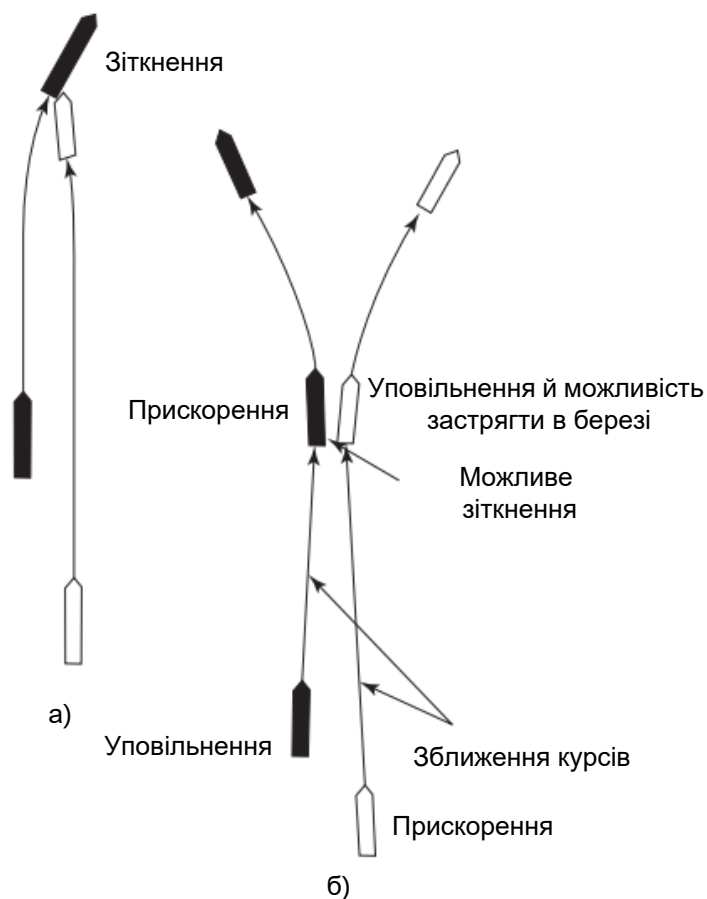


Рисунок 3 – Моделювання можливих ситуацій зіткнення під час виконання маневру обгону

Дані особливості обгону повинні бути враховані при побудові знанняорієнтованих моделей системи підтримки прийняття рішень маневрування у стиснутих водах.

Розвиток моделі взаємодії з пришвартованими суднами.

Судна, пришвартовані у стиснутих водах, зазнають впливу гідродинамічних сил через вплив інших суден, що проходять поруч, (рис. 4), а також вертикальних рухів. Судно, що проходить повз, спричиняє на пришвартоване судно вплив, пов'язаний з низькочастотними первинними системами тиску, та сили, які пов'язані з більш високочастотною вторинною системою тиску. Низькочастотні (втягуючі) сили є більш значущими для пришвартованого судна на низьких швидкостях, тоді як наведені хвилі стають важливими на швидкостях, близькими до критичних або надкритичних [2].

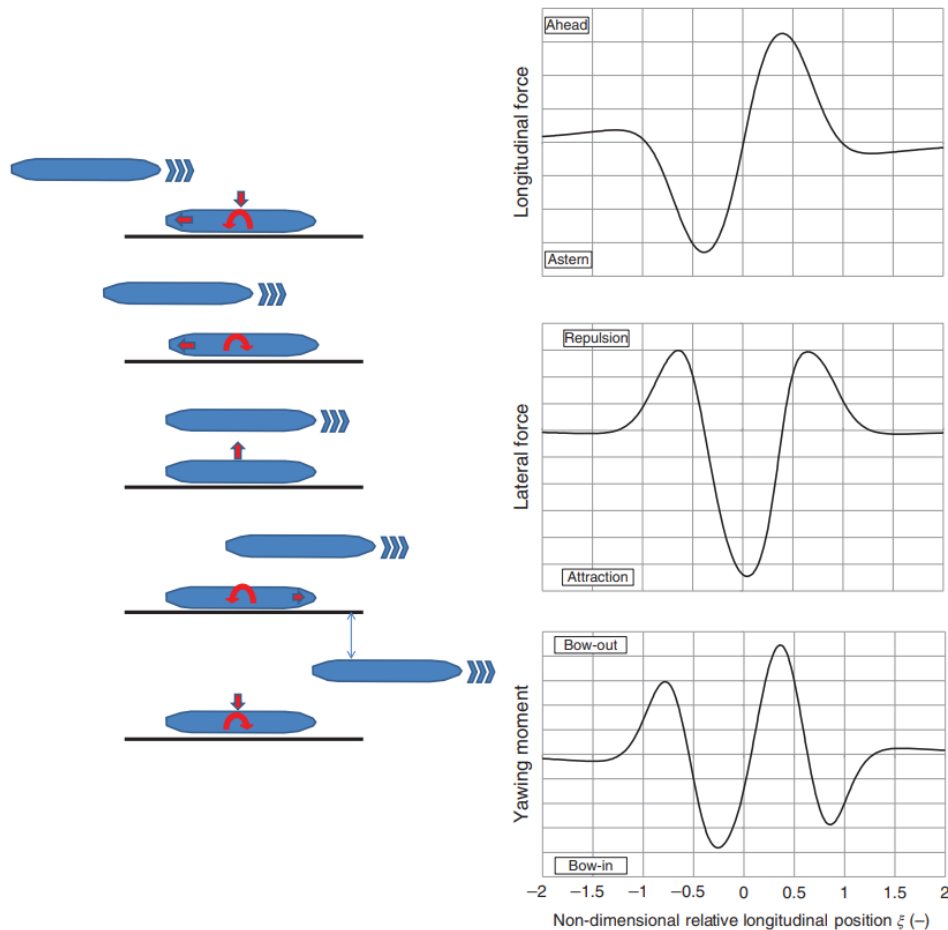


Рисунок 4 – Моделювання сил взаємодії на пришвартованому судні через судно, що проходить повз нього

Сили взаємодії викликають рухи пришвартованого судна, які можуть перешкоджати розвантаженню/навантаженню судна у стиснутих водах або спричинити пошкодження швартовної системи.

Незважаючи на те, що сила качки більша за силу хвилі, остання часто спричиняє високе навантаження на швартовні лінії через нижчий рівень демпфування хвилі. Впливи, які судна, що проходять повз, спричиняють пришвартованому судну, часто можна зменшити, приділяючи увагу порядку швартування суден.

Альтернативними заходами є зменшення швидкості суден (що не завжди можливо, оскільки для збереження маневреності може знадобитися мінімальна швидкість), збільшення дистанції між суднами або поглиблення каналу і причалу.

Оскільки розміри та швидкості суден з роками збільшуються, зростають й сили взаємодії. Цілком логічно, що сили взаємодії на пришвартоване судно збільшуються зі зменшенням бічної прохідної відстані та УКС, а також зі збільшенням розміру і швидкості судна, що проходить повз [2]. Експерименти [2] свідчать, що сили на пришвартоване судно від судна, що проходить повз, пропорційні квадрату швидкості судна, що проходить, за умови відносно низьких швидкостей. Сили можуть бути значно більшими для більших чисел Фруда, оскільки сили значно відхиляються від припущення про квадратичний закон приблизно для глибинних чисел Фруда $Fr_h > 0,25$ [1].

Розроблення моделі поповнення запасів на судах у стиснутих водах

Дана операція зазвичай визначається як операція з поповнення, в якій зазвичай беруть участь два судна, що значно відрізняються за розміром. Велике судно називається судном, що підлягає обслуговуванню (STBL), тоді як менше судно називається обслуговуючим судном.

Операція може проводитися у стиснутих водах. Під час операцій, що проводяться у стиснутих водах, обидва судна здебільшого стоять на якорі та пришвартовані разом, ця ситуація

не обговорюється; увага приділяється операціям з поповнення, в яких беруть участь два судна, що рухаються паралельно поряд на малих швидкостях руху вперед. Ситуація схожа на операцію поповнення в морі, або операції UNREP, що виконується військовими кораблями. Вимоги до маневрування обслуговуючого судна змінюються за проходженням різних етапів. Зазвичай обслуговуюче судно починає свій підхід ззаду, з правого борту STBL. Для того, щоб виконати операцію з поповнення судно повинно відповідати швидкості та курсу STBL, а поперечна й поздовжня відстань відносно цього судна повинна безперервно контролюватися.

Після того, як згадані вимоги виконані, обидва судна, що рухаються вперед, пришвартовуються разом, використовуючи крила, які забезпечують бокове розмежування до 5 м в діаметрі [3]. Потенційно небезпечні ситуації зіткнення можуть виникнути через наявність гідродинамічної взаємодії між вантажами, коли два судна працюють у безпосередній близькості.

Сили взаємодії залежать від швидкості, бічного відриву та відносного поздовжнього положення, як наведено на рис. 5.

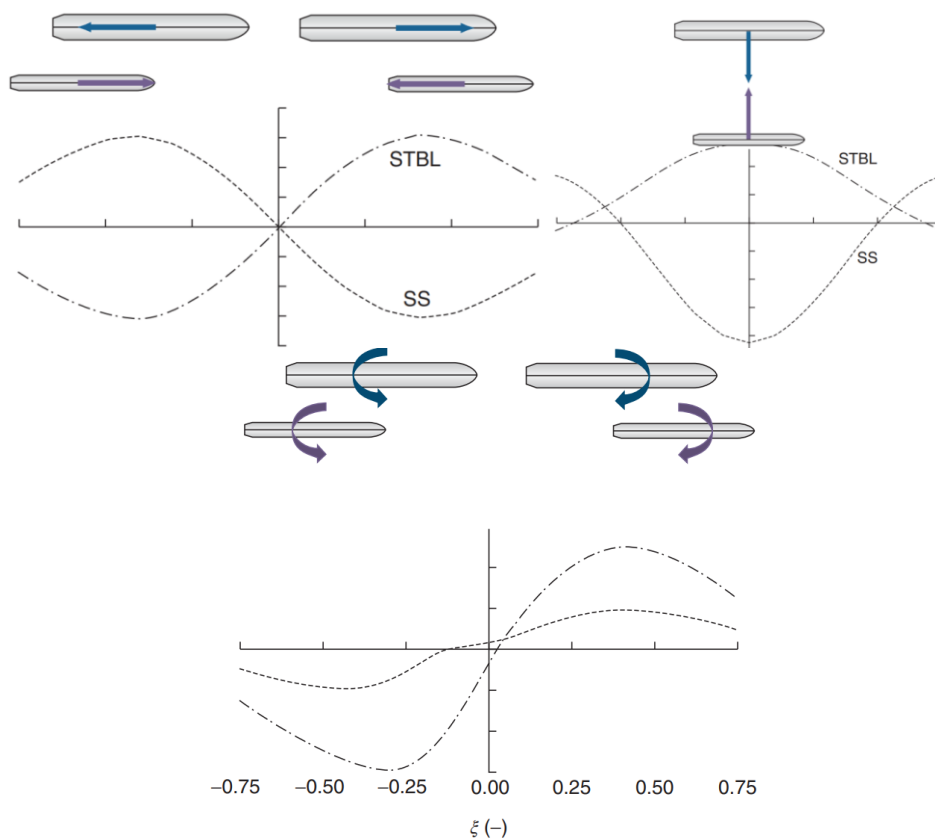


Рисунок 5 – Сили взаємодії під час маневру поповнення як функція відносного поздовжнього положення обох суден поздовжня сила (вгорі), поперечна сила (посередині) і момент ристання (внизу) [4]

Розроблення модель взаємодії буксира з судном.

Виконуючи завдання буксирування, буксири повинні наближатися до суден, яким вони надають допомогу, іноді на відносно високих швидкостях, що означає, що сили взаємодії можуть бути також високими. Для уникнення нещасних випадків, розуміння взаємодії між суднами і буксирами є важливим для судноводіїв та міститися у вигляді окремих модулів системи підтримки прийняття рішення судноводіння у стиснутих водах та мілководді.

Буксир, як правило, набагато менший за судно, якому він надає допомогу, і в той час як певна глибина води може бути великою для буксира, вона може бути мілкою для судна. Це означає, що судно матиме значний інтерактивний вплив на буксир, а буксир не матиме практично ніякого впливу на судно. Зокрема, через асиметрію течії виникатимуть сила качки, хвильова сила та момент ристання. Як завжди, ці сили взаємодії посилюються, якщо потік стає більш

двовимірним. На рис. 6 наведено, які сили взаємодії та моменти зазвичай відчують буксири з традиційною силовою установкою (і керованим рушієм), коли вони наближаються до судна.

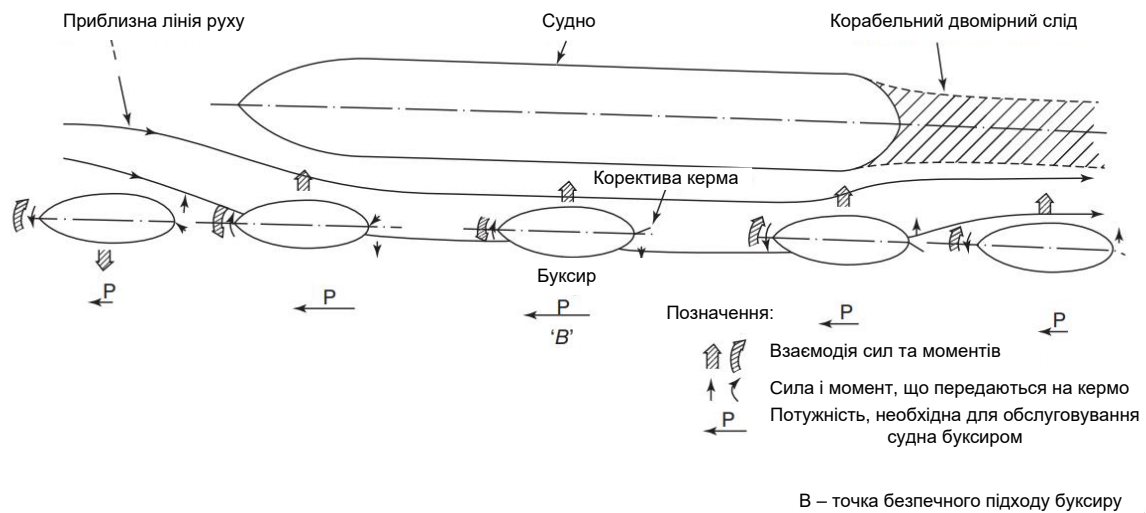


Рисунок 6 – Сили взаємодії «буксир»-«судно»

Коли буксир знаходиться біля корми судна, його швидкість може збільшитися через швидкість течії з корми судна. У безпосередній близькості до корпусу судна низький тиск починає рухати буксир у напрямку судна.

Для суден у баластному стані або суден з особливо нависаючою кормою буксир ризикує пошкодити корпус або надбудову судна. Просуваючись вперед та поблизу корпусу судна, буксир відчуває значну силу притягування у напрямку корпусу судна та момент рискання на носі судна. Коли буксир притягується судном, йому, як правило, важко відновити свій курс. Коли буксир просувається далі вперед біля носової частини судна, він потрапляє в зону високого тиску, і момент рискання на носі судна зростає, що має бути компенсовано відповідним використанням керма і гребного гвинта. Нарешті, коли буксир знаходиться біля носа, сильна сила качки, що діє на корму, тягне буксир вперед й під ніс з ризиком перекидання.

Буксир може безпечно наближатися до середніх суден, де сила поздовжньої взаємодії допомагає утримати судно на місці. Деякі зони біля носа і корми краще уникати, оскільки контроль, який здійснює кермо, збільшує, а не зменшує ефекти взаємодії.

Висновок. Проблема управління рухом судна за траєкторією у стиснених водах належить до найбільш актуальних, спрямованих на підвищення безпеки мореплавання та потреби подальшого вдосконалення методів її вирішення. Саме тому гостро стоїть питання якомога швидшого створення систем підтримки прийняття рішення для підвищення безпеки судноводіння, оперативності прийняття рішення та повноти врахування умов маневрування у стиснених водах.

Отримала подальший розвиток модель розходження суден у стиснених водах, яка, на відміну від відомих, враховує гідродинамічну взаємодію між суднами, є елементом системи підтримки прийняття рішень судноводіння та дозволяє підвищити безпеку судноводіння.

О. І. Fukliev, M.Yu. Yevtushenko

MODELS OF SHIP DISPERSION IN COMPRESSED WATERS

Shallow water navigation is a common practice in confined waters (e.g., in ports and approaches to them). In such navigation areas, which are characterized by limited depth and width, seagoing vessels often encounter completely different navigation conditions compared to navigation in the open sea. Most vessels are designed and optimized specifically for navigation in the open sea. It has been determined that an important problem that hinders safe maneuvering in confined waters is the hydrodynamic interaction between vessels. The article presents the development of a model of vessel divergence in

confined waters that takes into account the hydrodynamic interaction between vessels. The aim of the article is to develop models of vessel divergence in confined waters that, unlike existing ones, take into account the hydrodynamic interaction between vessels. The problem of controlling the movement of a vessel along a trajectory in confined waters is one of the most urgent, aimed at increasing the safety of navigation and the need for further improvement of methods for its solution. That is why the issue of creating decision support systems as soon as possible to improve navigation safety, decision-making efficiency and completeness of consideration of maneuvering conditions in compressed waters is acute. The model of vessel divergence in compressed waters has been further developed, which, unlike the known ones, takes into account the hydrodynamic interaction between vessels, is an element of the navigation decision support system and allows to improve navigation safety.

Keywords: hydrodynamic interaction, maneuvering, motion models, compressed waters, ship, transport technologies, navigation situation, navigation, navigation safety, safety at sea, navigation, compressed waters.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dand, I.W. (1995) Interaction. Squat, Interaction, Manoeuvring, The Nautical Institute, Humberside Branch Seminar, pp. 1–20.
2. Van Der Molen, W., Swiegers, P., Moes, J., and Vantorre, M. (2011) Calculation of Forces on Moored Ships due to Passing Ships. Second International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Trondheim, Norway, R.I.N.A., pp. 369–374.
3. Skejic, R. and Berg, T.E. (2009) Hydrodynamic Interaction Effects during Lightering Operation in Calm Water—Theoretical Aspects. MARSIM '09 Conference, Proceedings, Panama City, Panama, Panama Canal Authority, International Marine Simulator Forum, pp. M-8-1–M-8-9.
4. Lataire, E., Vantorre, M., Delefortrie, G., and Candries, M. (2012) Mathematical modelling of forces acting on ships during lightering operations. Ocean Engineering, 55, 101–115.
5. Isermann, R. Identification of Dynamic Systems. An Introduction with Applications / R. Isermann, M. Munchhof. – Darmstadt, Germany: Springer, 2010. – 710 p.
6. Гайдук, А. Р. Адаптивні системи управління [Текст] / А. Р. Гайдук, Є. А. Плаксієнко. – К: НАУ. – 120 с.
7. Moreno-Salinas, D. Identification of a Surface Marine Vessel Using LS-SVM [Text]/ Journal of Applied Mathematics. – 2013. – Article ID 8909170 – 11 p.
8. Штанько, А. Н. Дослідження взаємної зміни елементів повороту судна [Текст] / А. Н. Штанько, В. Г. Мельник // Експлуатація морського транспорту. - 2018. - № 3 (88). - С. 44 - 48.
9. Штанько, А. Н. Адаптивна модель руху судна у системах управління [Текст] / А. С. Васьков, А. Н. Штанько // Морські інтелектуальні технології. – 2022. – № 3 частина 1. – С. 288 – 295.
10. Васьков, А. С. Проблеми контролю повороту судна [Текст] / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Експлуатація морського транспорту. – 2011. – № 3 (65). – С.17 – 20.
11. Мальцев, А. С. Информационно-управляющая система учета динамики судна при маневрировании [Текст]: Дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н. (05.22.16). – Одесса, 1997. – 376 с.
12. Вильский Г.Б. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов/ Вильский Г.Б., Мальцев А.С., Бездольный В.В., Гончаров Е.И. – Одесса.: Феникс, 2007. – 330 с.