

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ МАНЕВРУВАННЯ ПРИ ВИКОНАННІ ШВАРТОВИХ ОПЕРАЦІЙ ДО БОРТУ СУДНА

І.П. Гончарук¹, А.І. Головань², О.М. Шумило³, О.В. Шамо́в⁴

¹к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

²к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

³к.т.н., професор, проректор з навчально-педагогічної роботи,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

⁴к.т.н., директор Навчально-наукового інституту морського флоту,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1913-379X

Анотація

Вступ. У статті розглядаються сучасні проблеми безпеки судноплавства, а також проблема дотримання безпеки маневрування при виконанні швартових операцій. На сучасному етапі становлення України особливого значення набуває фактор утвердження її як морської держави, виходячи з її просторових і геофізичних особливостей, місця та ролі у глобальній та регіональній системі міжнародних відносин. Проблема дотримання безпеки маневрування при виконанні швартових операцій визначається кількістю що зростає швартових операцій в умовах відкритого моря. Швартування до борту судна, що стоїть якорі, є дуже поширеним видом суднових ключових операцій. Виконання такого складного виду маневрування, як швартування на якорі, як правило, диктується виробничою необхідністю. Зважаючи на складність проведення швартовних операцій до борту судна, що стоїть на якорі, до неї вдаються не так часто, як, наприклад, до швартування на ходу, але в разі необхідності і з урахуванням ряду обставин вид швартування, що розглядається, використовується в морській практиці. Так, однією з основних причин вибору даного методу швартування є необхідність виконання невідкладних вантажних операцій в умовах відкритих рейдів або відкритого моря, коли неможливо захід судна в порт. Насамперед, це стосується промислових суден, які здійснюють промисел у віддалених районах світового океану, а також суден постачання, що виконують доставку вантажів до районів ведення пошукових та інших робіт, пов'язаних із освоєнням природних ресурсів морського шельфу. **Метою** статті є аналіз можливості безпечного виконання швартовної операції з метою вибору найбільш оптимальних способів їх виконання, з погляду безпеки. **Результати.** Запропоновані заходи та надані рекомендації, щодо вибору найбільш оптимальних, з погляду безпеки, способів виконання швартовних

операцій до борту судна. **Висновки.** Таким чином, безпека на морі взагалі і безпека швартових операцій, зокрема, завжди буде актуальною проблемою, вирішення якої вимагатиме великої кількості науково-дослідних робіт в області судноводіння.

Ключові слова: безпека маневрування, судно, умови відкритого моря.

FEATURES OF MANEUVERING SAFETY MANAGEMENT DURING SHIP-TO-SHIP DOCKING

I.P. Honcharuk¹, A.I. Golovan², O.M. Shumylo³, O.V. Shamov⁴

¹PhD (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

²PhD (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

³PhD (Engineering), Professor, Vice-rector for Educational and Pedagogical Work,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

⁴PhD (Engineering), Head of Maritime Training and Research Institute,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1913-379X

Summary

Introduction. The article deals with the current problems of safety of navigation, as well as the problem of maneuvering safety during mooring operations. At the present stage of Ukraine's formation, the factor of its establishment as a maritime state, based on its spatial and geophysical features, place and role in the global and regional system of international relations, is of particular importance. The problem of maneuvering safety during mooring operations is determined by the growing number of mooring operations in the open sea. Mooring to an anchored vessel is a very common type of ship's key operations. Performing such a complex type of maneuvering as anchoring is usually dictated by operational necessity. Taking into account the complexity of mooring operations on board an anchored vessel, it is not used as often as, for example, mooring on the move, but if necessary and taking into account a number of circumstances, the type of mooring under consideration is used in maritime practice. Thus, one of the main reasons for choosing this method of mooring is the need to perform urgent cargo operations in the conditions of open roads or the open sea, when it is impossible to enter the port. First of all, this applies to industrial vessels engaged in fishing in remote areas of the world ocean, as well as supply vessels delivering cargoes to areas of prospecting and other works related to the development of natural resources of the sea shelf. The **purpose** of the article is to analyze the possibility of safe performance of mooring operations in order to choose the most optimal ways of their implementation in terms of safety. **Results.** Measures are proposed and recommendations are given on the choice of the most optimal, from the point of view of safety, ways of performing mooring operations to the vessel. **Conclusions.** Thus, safety at sea in general and safety of mooring operations, in

particular, will always be an urgent problem, the solution of which will require a large number of research works in the field of navigation.

Key words: *safety of maneuvering, vessel, open sea conditions.*

Вступ. На сучасному етапі становлення України особливого значення набуває фактор затвердження її як морської держави, виходячи з її просторових і геофізичних особливостей, місця та ролі у глобальній та регіональній системі міжнародних відносин. Україна здобула статус морської держави, зробивши вагомий внесок у розвиток мореплавства та вивчення Світового океану, а також завдяки сприятливому географічному положенню, зокрема, довжині морського узбережжя та площі водного простору. Україна має найбільшу серед держав Азово-Чорноморського басейну довжину морського узбережжя (2759,2 кілометра) і понад 72 тис. кв. кілометрів виключної морської економічної зони.

Постановка проблеми. Проблема дотримання безпеки маневрування при виконанні швартових операцій визначається ростом кількості швартових операцій в умовах відкритого моря. Це пов'язано з вивченням природних ресурсів на шельфі Чорного і Азовського морів, хоча через війну цей процес призупинено. Безпека на морі взагалі і безпека швартових операцій, зокрема, завжди буде актуальною проблемою, вирішення якої вимагатиме великої кількості науково-дослідних робіт в області судноводіння. Якщо швартовні операції будуть виконуватися з метою перевантажування нафти або нафтопродуктів, що ймовірно при сьогоденішньому розвитку подій у сфері освоєння нафтових та газових родовищ морського шельфу, актуальність теми безпеки швартовної операції збільшиться на порядок. При цьому не можна забувати, що, як і раніше, значима актуальність вирішення питання безпеки швартовних операцій в умовах відкритого моря для промислових суден.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В даний час дослідженню питань дотримання безпеки маневрування при виконанні швартових операцій присвячено цілий ряд публікацій [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. При вивченні теоретичних та практичних основ дотримання безпеки маневрування при виконанні швартових операцій встановлено, що ряд актуальних питань з організації їх роботи, аналіз стану та сучасних проблем у галузі, а також проблем розвитку морського та річкового транспорту залишаються або недостатньою мірою дослідженими, або вимагають уточнення, узагальнення та врахування сучасних вимог щодо організації перевезень вантажів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз безпечних способів виконання швартових операцій до борту судна, яке стоїть на якорі.

Виклад основного матеріалу. Якірна стоянка є однією з ключових судових операцій, виконання якої, особливо в умовах відкритого моря, пов'язане з низкою ризиків, обумовлених як складністю самої операції постановки судна на якір та зняття з нього, так і впливом гідрометеорологічних умов у районі місця якірної стоянки. Стоянка на якорі в складних гідрометеорологічних умовах вимагає від судноводіїв постійного контролю за поведінкою судна, динамікою його переміщень та їх особливостями в умовах (напрямок і швидкість вітру, напрям і швидкість течії, наявність хвилювання, характер ґрунту та його рельєф) [4, 5].

У випадку якщо поведінка судна викликає сумніви в збереженні його безпеки, судноводій повинен негайно вжити заходів щодо забезпечення безпеки якірної стоянки або знятися з якоря, з переходом у інший, безпечний режим плавання. Постійна готовність до зняття судна з якоря є необхідною вимогою безпеки при виконанні якірної стоянки. Така готовність встановлюється капітаном судна з урахуванням місцевих умов стоянки, метеорологічний обставин, сформованого технологічного процесу, участь у якому бере судно як транспортний засіб, що виконує певну виробничу функцію. У даному випадку чимало важливим фактором є наявність у борту судна, що стоїть на якорі, іншого судна, задіяного у виконанні вантажних або інших операцій спільно з судном, що стоїть на якорі. Більше того, приймаючи рішення про спільне виконання вантажних операцій при стоянці на якорі, капітан судна, що стоїть на якорі, повинен прогнозувати розвиток подій на певну перспективу, щоб не опинитися в умовах, що вимагають виконання складних, часом нестандартних дій із забезпечення безпеки суден.

Судно, яке стоїть на якорі, при впливі на нього вітру, течії та хвилювання моря перебуває в стані постійного руху і безперервно змінює своє положення відносно лінії відданого якоря (лінії вітру, умовно для веденої через місце розташування якоря на ґрунті). Особливості руху судна, що стоїть на якорі, іншими словами, характер його нишпорення залежить від ряду факторів, найбільш значущими з яких є: основні розміри корпусу судна, водотоннажність; архітектурні особливості надводної частини корпусу судна, надбудов та рубок, зокрема, місце розташування більшої надбудови щодо площини мідель-шпангоуту; поточний стан завантаження судна, що визначає посадку (осаду, диферент) корпусу у воді; координати точки кріплення якірного ланцюга; кількість відданого якірного ланцюга; глибина місця якірної стоянки та її співвідношення з кількістю відданого якірного ланцюга; характер ґрунту в місці якірної стоянки; що тримає сила якірної системи (якір і якірний ланцюг); гідрометеорологічні умови у районі місця якірної стоянки; співвідношення між основними параметрами (напрямок, швидкість) вітру, течії та хвилювання.

Необхідно відзначити, що динаміка нишпорення судна, що стоїть на якорі, до цього часу практично не досліджена, що викликає певні складності при розробці безпечних способів маневрування суден, що виконують швартовні операції до борту судна, що стоїть на якорі. При ухваленні рішення про виконання або невиконання швартовної операції судноводії керуються виключно власним практичним досвідом, а за його відсутністю відмовляються від виконання швартовної операції до борту судна, що стоїть на якорі. Наслідком цього зазвичай є невинуватена втрата часу та інші експлуатаційні втрати.

Аналізуючи загальний характер динаміки руху судна, що стоїть на якорі, можна дійти невтішного висновку у тому, що він здійснює складні незатухаючі аперіодичні коливання, що супроводжуються змінами його положення у просторі щодо місця постановки якоря. При цьому спостерігається деяка симетрія у зазначених положеннях щодо деякої середньої лінії (лінія симетрії) положення, що проходить через натяг лінію якірного ланцюга [6].

Як встановлено в результаті чисельних спостережень за поведінкою судна, що стоїть на якорі, зазначені встановлені аперіодичні коливання призводять до змін

курсу судна в межах ($\pm 10-30$)°. Діапазон коливань курсу судна та величина відхилення його від лінії симетрії залежать від величини співвідношення між основними параметрами вітру та течії (швидкість та напрямок). Зокрема, за відсутності відносно великої швидкості течії в місці якірної стоянки коливання курсу будуть значними, як, втім, та амплітуда переміщень судна щодо умовної лінії симетрії істотно відрізняється від напрямку течії.

Практика показує, що при певному поєднанні впливів з боку вітру та течії, а саме при слабкому вітрі та сильній течії, коливальний процес руху судна буде стійкішим, і траєкторія руху судна змінюватиметься лише за зміни швидкості та напрямку течії. Наприклад, при стоянці судна в умовах припливів і відливів, що чергуються, воно плавно змінюватиме положення стійкої рівноваги при зміні напрямку течії. У цьому випадку слід звернути увагу на підвищену небезпеку під час проведення швартовних операцій у період зміни спрямування течії. При певній сталості вітрового навантаження, тобто при слабкому постійному вітрі нишпорення судна незначно і має періодичність коливальних рухів, що встановилася; при постійному перебігу нишпорення та амплітуда переміщень судна щодо лінії симетрії буде мінімальним. У зв'язку з цим необхідно більш детально досліджувати процес руху судна, що стоїть на якорі, в умовах великих вітрових навантажень. Розглянемо характерні особливості в переміщенні судна при впливі сильного вітру, що переважає за величиною силового впливу над течією. Надалі цей випадок, з погляду безпеки проведення швартовної операції, будемо розглядати як основний, визначаючи безпечний спосіб маневрування судна, що швартується, в процесі виконання ним швартування до борту судна, що стоїть на якорі.

В умовах сильного вітрового впливу в момент виходу на якірний ланцюг судно під впливом аеродинамічної сили та її моменту зміщується у бік лінії вітру (рис. 1), при цьому напрям зсуву залежить від положення центру парусності судна щодо площини мідель-шпангоуту.

Характер руху судна, що стоїть на якорі, може змінитися під впливом будь-якого додаткового зовнішнього впливу або внаслідок зміни параметрів, що визначають вітрове навантаження. У цьому випадку судноводію судна, що

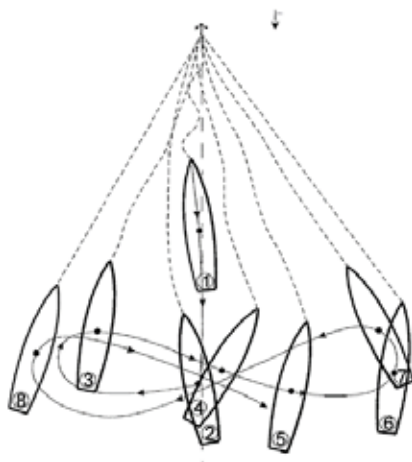


Рис. 1. Траєкторія руху судна при стоянці на якорі в умовах вітрового впливу

швартується, необхідно бути гранично уважним при визначенні як параметрів вітру, так і при спостереженні за особливостями в поведінці судна, до якого необхідно швартуватися.

Контролюючи поведінку судна, що стоїть на якорі, необхідно мати на увазі, що помилка у визначенні кількості витраченого якірного ланцюга може

привести не тільки до певних особливостей у характері нишпорення судна, але і до відриву якоря від ґрунту в момент знаходження судна в крайніх точках траєкторії його переміщення. Відрив якоря від ґрунту та зміна його положення можливі в тому випадку, коли зусилля в якірному ланцюзі достатньо для підйому тієї його частини, яка лежить на ґрунті. У зв'язку з цим слід уникати підходу до борту судна, що стоїть на якорі, в моменти виходу його в крайні точки траєкторії нишпорення, тому що в ці моменти можливий відрив якоря від ґрунту і, як наслідок, непередбачувана поведінка судна, що швартує.

Аналізуючи загальний характер динаміки руху судна, що стоїть на якорі, ми дійшли висновку у тому, що воно здійснює складні незатухаючі аперіодичні коливання, що супроводжуються змінами його положення у просторі відносно місця постановки якоря. При цьому спостерігається деяка симетрія у зазначених положеннях щодо деякої середньої лінії (лінія симетрії) положення, що проходить через лінію натягу якірного ланцюга.

Швартування до борту судна, що стоїть на якорі, є дуже поширеним видом судових ключових операцій. Виконання такого складного виду маневрування, як швартування на якорі, як правило, диктується виробничою необхідністю. Зважаючи на складність проведення швартовних операцій до борту судна, що стоїть на якорі, до неї вдаються не так часто, як, наприклад, до швартування на ходу, але в разі необхідності і з урахуванням ряду обставин вид швартування, що розглядається, використовується в морській практиці. Так, однією з основних причин вибору даного методу швартування є необхідність виконання невідкладних вантажних операцій в умовах відкритих рейдів або відкритого моря, коли неможливо захід судна в порт. Насамперед, це стосується промислових суден, які здійснюють промисел у віддалених районах світового океану, а також суден постачання, що виконують доставку вантажів до районів ведення пошукових та інших робіт, пов'язаних із освоєнням природних ресурсів морського шельфу. Крім того, необхідність виконання швартовної операції до борту судна, що стоїть на якорі, може виникнути в тому випадку, коли потрібно зробити розвантаження в районах, що не дозволяють великим судам підійти безпосередньо до берегових причалів, або доставити на судна при стоянці на рейдах екіпаж, різне постачання та інші вантажі [7].

Характер виконання складного маневрування під час проведення швартовної операції до борту судна, що стоїть на якорі, лише за відсутності чи незначному впливі зовнішніх чинників може певною мірою наближатися до характеру маневрування під час швартування до борту судна, що стоїть біля причалу в порту. Умови проведення швартовної операції до рухомого об'єкта набагато складніше та їх складність суттєво зростає, якщо гідрометеорологічні умови в районі якірної стоянки судна, що швартує, важко піддаються параметричній оцінці. У цих умовах не можна не зважати на рухливість судна, що стоїть на якорі, як об'єкта швартування,

при підході до його борту або при гідродинамічній взаємодії суден, що швартуються. Якщо судно яке швартує менше судна, що швартується, під час проведення швартовної операції необхідно також враховувати гідродинамічний вплив на судно що швартує, викликане роботою рухомо-кермового комплексу судна, що швартується. Коли в районі проведення швартовної операції як превалюючий зовнішній вплив на судно, що швартує, розглядається вітровий вплив, його нишпорення може бути непередбачуваним і це треба мати на увазі судоводію судна, що швартує при виборі місця якірної стоянки.

В умовах, коли судно, що швартується, рухається малим або найменшим ходом, його керованість істотно залежить від впливу вітрового впливу, а також впливу хвиль і течії. Виконувати складне маневрування в умовах зниженої керованості і здійснювати вихід до рухомого об'єкта – дуже складне завдання, початком виконання якого є вибір взаємної вихідної позиції суден, що швартуються, і визначення моменту початку руху судна, що швартується, в напрямку судна, що швартує [8, 9]. Вихідна позиція і момент початку руху до борту судна, що швартує, визначаються не тільки виходячи з маневрених характеристик судна, що швартується, з урахуванням впливу зовнішніх чинників, а й від характеру поведінки судна, що швартує під час виконання швартовної операції.

Вибір способу маневрування судна, що швартується, до борту судна, що стоїть на якорі, багато в чому залежить від співвідношення розмірів суден, що швартуються, гідрометеорологічних умов в районі виконання швартовної операції і характеру поведінки судна, що швартує в сформованих умовах зовнішніх впливів. У даному випадку оптимальним вважається варіант, коли судно, що швартується, менше за розмірами швартуючого судна [10]. Безпека швартовної операції двох однакових за розмірами суден може бути забезпечена лише за сприятливих гідрометеорологічних умов, тобто при стійких значеннях параметрів течії та невеликому за силою вітру в районі виконання швартовної операції.

Для вирішення завдань, пов'язаних з аналізом способів виконання швартовної операції до борту судна, що стоїть на якорі, на наш погляд, слід, насамперед, звернути увагу на методи та способи застосування сучасних комп'ютерних технологій з урахуванням існуючих технічних засобів, які існують у судоводінні. В даному випадку маються на увазі судові технічні засоби, що дозволяють здійснювати безперервний контроль за кінематичними та динамічними параметрами руху судна та керувати судном відповідно до заданих сигналів управління, що розраховуються за встановленим алгоритмом, виходячи з обставин, що складаються в процесі маневрування.

Основними технічними засобами, що використовуються в даному способі управління є:

- приймачі супутникової навігаційної системи, встановлені у двох, рознесених по довжині судна точках;
- бортовий комп'ютер, що забезпечує обробку інформації, що надходить з приймачів, та визначає параметри сигналу управління;
- судові засоби управління рухом судна, що швартується, здійснюють управління ним у заданому режимі руху.

Суть обраного способу управління судном при виконанні ним швартовної операції до борту судна, що стоїть на якорі, полягає в наступному. Сигнал управління рухом судна, що швартується, формується виходячи з величин поперечних зміщень розташованих на його діаметральній площині носової А і кормової В точки від поточного положення траєкторії зближення, які показані на Рисунку 2.

В процесі дослідження способів дотримання безпеки маневрування при виконанні швартових операцій розглянуті способи були порівнянні за наступними критеріями оптимальності:

перший – зменшення швидкості руху при зміні курсу;

другий – комплексний, до складу якого входить відхилення курсу судна від середнього значення та відхилення керма від нульового положення, що описується рівнянням:

$$Q_2 = \sqrt{\sum_k [(K_k - K_0)^2 + \rho \cdot \delta_k^2]} \quad (1)$$

В даному випадку критерій представлений відразу у вигляді суми, минаючи інтегральну форму. Цю суму логічно нормувати, відносячи перший доданок до квадрата заданого курсу K_0 , а другий – до квадрата модуля граничного положення керма. Оскільки доданки мають квадратичний характер, то з результуючої суми видобувається квадратний корінь. Звичайно, як і у разі використання першого критерію, віднести результат до однієї точки, поділивши його на кількість доданків. У цьому критерії використовуються відразу дві характеристики – зарискування

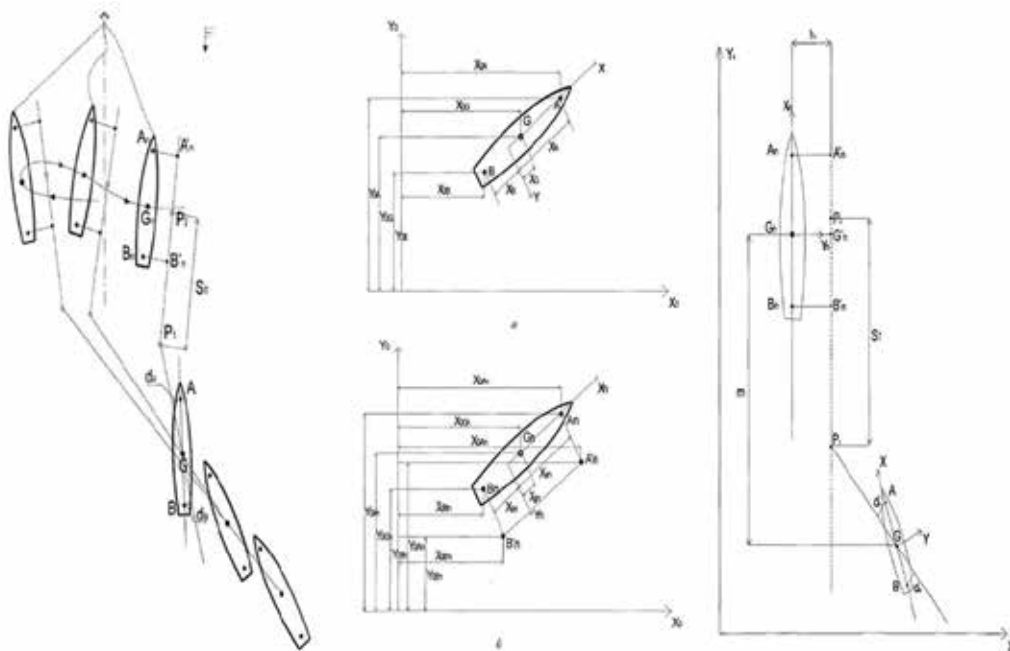


Рис. 2. Рух судна, що швартується при швартуванні з судном, що стоїть на якорі. Визначення координат точок судна, що швартується (а) та судна-партнера (б). Рух судна, що швартується, по траєкторіях зближення

і кут перекладки керма, тобто критерій носить комплексний характер, тому вираз (1) входить ваговий множник ρ , що дозволяє зрівноважити ці два показники. Виходячи з вимог до зарискування ($\approx 17^\circ$) і знаючи порядок граничної кладки керма ($\approx 35^\circ$), можна прийняти цей множник рівним $(35/17)^2 \approx 0,25$. Саме таким у нашому випадку він і вибраний за підрахунками якості управління. Після запровадження цих критеріїв можна проводити власне моделювання різних варіантів підходу до мети, використовуючи різні управління.

Висновки. Таким чином, під час проведення аналізу опису поведінки судна, що стоїть на якорі, а також способів виконання швартовної операції до борту судна, що стоїть на якорі, за зазначеними критеріями обирано найбільш оптимальний, з погляду безпеки, спосіб виконання швартовних операцій до борту судна, а саме такий при якому всі етапи швартування передбачають рух уздовж прямих ліній або близьких до них траєкторій. Цей спосіб визначено, як спосіб що найбільш відповідає нормам безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hornauer S. Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision Avoidance / Hornauer S., Hahn A., Blaich M., Reuter J. // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 9, № 3, 2015, page 335–341.
2. J. Lisowski. Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory/ J. Lisowski// *TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport*, Vol. 10, № 2, 2016, page 376–381.
3. Xu X. Modeling of Ship Collision Risk Index Based on Complex Plane and Its Realization/ Xu X., Geng X., Wen Y.Q. // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 10, No. 2, 2016, page 251–256.
4. Lisowski, J. Game control methods in avoidance of ships collisions. *Polish Maritime Research*, 2012, 19(Special), 3–10. <https://doi.org/10.2478/v10012-012-0016-4>
5. Artyszuk Jaroslav. Ancor Forces in Ship Manoeuvring Mathematical Model. – Szczecin Maritime University, *Annual of Navigation*. – 2003. – № 6. – С. 14.
6. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service / Kao Sheng-Long, Lee Kuo-Tien, Chang Ki-Yin, Ko Min-Der// *J.Navig.*, 2007. 60, № 1, p. 17–31.
7. A. Golovan, I. Gritsuk, S. Rudenko, V. Saravas, A. Shakhov and O. Shumylo. Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel, 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2019, pp. 390–393, doi: 10.1109/MEES.2019.8896595
8. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // *J. Navig.* 2008. 61, № 1, p. 129–142.
9. Golovan A, Rudenko S, Gritsuk I and Shakhov A 2018 Improving the process of vehicle units diagnosis by applying harmonic analysis to

the processing of discrete signals SAE Technical Paper 2018-01-1774
<https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>

10. Golovan A et al. 2020 Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger SAE Int. J. Engines 13(1) 5–16
<https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>

REFERENCES

1. Hornauer, S., Hahn, A., Blaich, M., & Reuter, J. (2015). Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision Avoidance. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 9(3), 335–341. <https://doi.org/10.12716/1001.09.03.05>
2. Lisowski, J. (2016). Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 223–228. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.05>
3. Xu, X., Geng, X., & Wen, Y. (2016). Modeling of Ship Collision Risk Index Based on Complex Plane and Its Realization. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 251–256. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.07>
4. Lisowski, J. (2012). Game control methods in avoidance of ships collisions. *Polish Maritime Research*, 19(Special), 3–10. <https://doi.org/10.2478/v10012-012-0016-4>
5. Artyszuk, J. (2003). ANCHOR FORCES IN SHIP MANOEUVRING MATHEMATICAL MODEL. *Annual of Navigation*, 5–18.
6. Kao, S. L., Lee, K. T., Chang, K. Y., & Ko, M. D. (2006). A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service. *Journal of Navigation*, 60(1), 17–31. <https://doi.org/10.1017/s0373463307003980>
7. Golovan, A., Gritsuk, I., Rudenko, S., Saravas, V., Shakhov, A., & Shumylo, O. (2019). Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). <https://doi.org/10.1109/mees.2019.8896595>
8. Statheros, T., Howells, G., & Maier, K. M. (2007). Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques. *Journal of Navigation*, 61(1), 129–142. <https://doi.org/10.1017/s037346330700447x>
9. Golovan A, Rudenko S, Gritsuk I and Shakhov A 2018 Improving the process of vehicle units diagnosis by applying harmonic analysis to the processing of discrete signals SAE Technical Paper 2018-01-1774
<https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>
10. Golovan A et al. 2020 Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger SAE Int. J. Engines 13(1) 5–16
<https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>