

converting fuel energy into rotational movements of the shaft and the propeller connected to it that the speed and maneuvering characteristics of the vessel depend. Even a temporary lack of the ability of the main power plant to ensure the movement of the ship can lead to irreversible consequences and cause accidents, environmental pollution, loss of cargo, ship collisions, harm to the ship's crew. It is noted that the criteria for assessing the occurrence of emergency events are based on strictly established risk levels. Risk identification is performed based on the analysis of hazards associated with the flow of mechanism failures in the specified period of operation. Such identification was carried out by collecting, processing and analyzing statistical data of engine logs from the operation of the main power plant of the "River-Sea" class ship over a fifteen-year period of operation. The collection and processing of statistical data was carried out for the following intervals – 1...5 years, 5...10 years, 10...15 years, and during the entire specified time, the main power plant was operated according to the continuous maintenance system. The analysis of the received information made it possible to calculate the value of the failure flow parameter of the Wärtsilä 6R32BC marine medium-speed diesel engine, which served as the main engine on a 6450-ton vessel. The failure rate values were determined; gradations of the probability of risk occurrence and the costs associated with their elimination, as well as calculated matrixes of the distribution of the probability of risk occurrence of elements of the marine diesel engine. It is the calculation of risk probability distribution matrices that is proposed as a method of diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport.

Key words: *diagnostics, main power plant, means of water transport, method, probability of risk occurrence, reliability, risk assessment, risk, technical condition, technical maintenance*

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.20

Cazin C.B., Cazin C.C.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ БЕЗПЕЧНОГО РОЗХОДЖЕННЯ

Розглянуті методи контролю та управління рухом морських суден під час маневрування з метою забезпечення їх безпечного розходження за умовою хорошої видимості. Для вирішення питання щодо забезпечення безпеки судноплавства були розглянуті підмножини ситуацій надмірного зближення суден з різною взаємною відповідальністю та з різним розташуванням суден один від одного, що регламентуються відповідними вимогами Міжнародних правил запобігання зіткнення суден у морі які встановлюють взаємодію суден залежно від ситуації, що виникла під час небезпечного зближення.

Визначено, що процес розходження двох суден передбачає зміну ситуації небезпечного зближення на допустиму безпечну ситуацію за допомогою маневру розходження. Вказано, що для забезпечення процесу безпечного розходження важливою складовою є управління ситуацією зближення, за допомогою якого визначається потенційна можливість зміни небезпечної ситуації шляхом виконання маневру розходження. Також зазначено, що через велику кількість різноманітних ситуацій у взаємних розташуваннях суден, виникають певні труднощі в коректності дій, що приймаються з метою забезпечення їх безпечного розходження. Тому питання формалізації процесу розробки методів управління рухом судна, у частині маневрування суден під час розходження, а також визначення методу управління рухом суден

морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження є актуальним та перспективним науковим напрямом яке впливає на безпеку судноплавства.

Як основні небезпечні ситуації, що виникають під час розходження суден, розглянути ситуація обгону (відносно варіантів судно, що обганяє, та судно, що обганяється; а також судно, що обганяється, та судно, що обганяє), ситуація зближення суден на зустрічних курсах, ситуація зближення суден на курсах, що перетинаються. Для кожної з цих ситуацій запропоновані аналітичні залежності з визначення небезпечних курсів руху суден, які попереджують їх зіткнення. Запропоновані рішення сприяють створенню методу управління рухом суден під час виникнення різних ситуаціях їх небезпечного зближення.

Отримані результати свідчать про можливість застосування розроблених аналітичних виразів в сучасних електронних автоматичних системах, що працюють за принципом реального часу з метою визначення та розв'язання завдань на розходження, які є суттєвою підтримкою для навігаційних офіцерів під час виникнення ситуацій небезпечного зближення суден.

Ключові слова: безпека судноплавства, метод управління, морський транспорт, навігаційна обстановка, попередження зіткнення суден, рух судна, управління рухом судна.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Забезпечення та контроль безпеки судноплавства є найбільш актуальною проблемою, яка виникає під час експлуатації суден морського транспорту [1, 2]. Однією з її важливих складових є своєчасне попередження зіткнення суден в ситуації їх надмірного зближення. В ситуації небезпечного зближення пари чи групи суден їх взаємодія регламентується відповідно до вимог Міжнародних правил запобігання зіткнення суден у морі (МППЗС-72), в яких використовується принцип бінарної координації [3, 4].

Через велику кількість різноманітних ситуацій у взаємних розташуваннях суден під час їх розходження, виникають певні труднощі в коректності дій, що приймаються для забезпечення безпеки судноплавства. В даний час розробляються електронні автоматичні системи, що працюють за принципом реального часу з метою визначення та розв'язання завдань на розходження суден на базі вимог МППЗС-72, які є суттєвою підтримкою у ситуаціях небезпечного зближення суден, але остаточне рішення щодо вибору способу розходження суден та його здійснення повністю полягає на навігаційного офіцера [5, 6]. Тому питання формалізації процесу розробки методів управління рухом судна у частині маневрування суден під час розходження, а також визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження є актуальним та перспективним науковим напрямом яке суттєво впливає на безпеку судноплавства [7, 8]. При цьому кожна ситуація, що пов'язана з розходженням морських суден, має окремо рішення та повинна обов'язково відповідати правилам МППЗС-72.

Процес розходження передбачає зміну ситуації небезпечного зближення на допустиму безпечну ситуацію за допомогою маневру розходження. Тому для процесу розходження важливою характеристикою є управління ситуацією зближення, при якому визначається потенційна можливість зміни її маневром розходження. Незважаючи на систематичне розглядання та аналізування цього питання, випадків зіткнення суден з кожним роком не зменшується, а навпаки тільки збільшується, що приводить до виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з неймовірними фінансовими витратами [9, 10], тимчасовим припиненням судноплавства в окремих районах [11, 12], забрудненням довкілля [13, 14] та втратами вантажу [15, 16].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання безпеки судноплавства та попередження зіткнення суден морського транспорту досліджувалися та аналізувалися у багатьох наукових працях [17, 18]. Одним із способів попередження зіткнень суден є метод гнучких стратегій розходження, які передбачають формування стратегій розходження кількох суден [19].

Формалізація взаємодії суден під час виникненні загрози зіткнення можлива шляхом складання аналітичного алгоритму розходження для існуючої ситуації [20]. Проте підмножина різних ситуацій надмірного зближення суден вимагає детального розгляду ситуацій відповідно до регламенту МПЗЗС-72. Одним з методів попередження зіткнення суден у морі є зміщення на лінію паралельну шляху їх руху [21], втім за умов інтенсивного судноплавства цей метод не завжди є ефективним.

Розв'язання завдання забезпечення безпеки під час розходження двох суден, або групи суден також досягається шляхом використання аналітичних виразів для розрахунку межі двовимірних областей неприпустимих параметрів руху суден елементарної групи [22], відповідно до яких на межі областей безпечного руху суден досягається рівність дистанції найкоротшого зближення та гранично допустимої дистанції, яка гарантує відсутність зіткнення.

З метою формування області неприпустимих значень швидкостей елементарної групи суден та визначення оптимальних швидкостей розходження, розроблено процедуру, яка полягає в оптимізації швидкісних параметрів судна з урахуванням обставин існуючої ситуації. За її допомогою здійснюється визначення безпечної швидкості суден на різних курсах маневрування як у відкритих водах також і в обмежених умовах [23]. Дослідження перспективних автономних судових систем для ухилення від зіткнення та її теоретичне обґрунтування з урахуванням факторів, що до повної автономної навігації, поки ще розглядається у тестових випадках.

Існує метод формування області допустимих комбінованих маневрів [24], в який небезпечну ситуацію розходження судна з двома іншими суднами вирішують шляхом зміни курсу та використання пасивного гальмування. За його допомогою в кожній точці небезпечної області маневрування визначають три параметри маневру розходження: час та курс ухилення для розходження з першим судном, а також швидкість, до якої знижується початкова швидкість під час гальмування судна.

Для надання можливості розробки індивідуального методу управління рухом судна та деталізації отриманої інформації, є необхідність врахування інерційності судна під час розрахунку параметрів його стратегії розходження зі зміною курсу [19]. В цьому випадку можливість виявити ситуацію небезпечного зближення базується на визначенні методу оцінки ризику зіткнення з використанням режиму істинного руху [25]. За цього вводяться лінія прогнозованого зіткнення та зона перешкод, ці значення пов'язані з істинним рухом та дають змогу забезпечити безпечне плавання у стиснутих водах, але при цьому необхідно постійно враховувати зміну курсу та швидкості суден.

Різноманіття методів, що сприяють підвищенню безпеки судноплавства під час розходження судна, не вирішують питання розробки методів управління рухом судна та оцінки навігаційних ризиків для навігаційного переходу судна в складних умовах плавання. Однієї з таких умов є ситуація надмірного зближення, яка поділяється на додаткові підмножини, що виникають під час обгону (відносно варіантів судно, що обганяє, та судно, що обганяється; а також судно, що обганяється, та судно, що обганяє), зближення суден на зустрічних курсах, зближення суден на курсах, що перетинаються.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є аналіз підмножини ситуацій надмірного зближення суден яка надасть можливість розробити методи контролю та управління рухом морських суден, у частині маневрування суден для розходження за умовою хорошої видимості

Виклад основного матеріалу. З метою узгодження маневрів розходження двох суден у МПЗЗС-72 передбачено логічну систему, яка враховує стан видимості. У разі хорошої видимості взаємні обов'язки пари суден поділені залежно від їх статусу (до яких відносяться судна з механічним двигуном, вітрильні судна, рибальські судна, судна, скути своєю осадкою, судна, скути в можливості маневрувати, судна що не можуть управлятися) та характеристик ситуації зближення. Під час зниження видимості вимоги МПЗЗС-72 не передбачають взаємних обов'язків суден – регламентуються дії лише судна, що оперує.

Розглянемо вимоги МПЗЗС-72 для хорошої видимості. Насамперед зазначимо, що в цьому випадку вимоги полягають у необхідності маневрування кожним із суден для запобігання

зіткненню. Іноді вказується необхідна сторона ухилення судна під час маневру. Тому з погляду формалізації вимог МПЗЗС-72 для хорошої видимості доцільно розглянути для кожного судна характеристику необхідності маневрування Man_1 та Man_2 , а також характеристику необхідної сторони ухилення судна Trn_1 та Trn_2 .

Очевидно, що характеристики Man_1 та Man_2 можуть набувати лише двох значень, а саме: 1 – за необхідністю маневрування та 0 – в разі необхідності зберігати свої параметри руху. Характеристики Trn_1 та Trn_2 мають три значення, а саме 1 – дозволено ухилення вправо, 2 – дозволено ухилення вліво та 3 – дозволено ухилення в обидві сторони (вправо та вліво).

Характеристики Man_1 , Man_2 , Trn_1 та Trn_2 , що відображають вимог МПЗЗС-72 для хорошої видимості, є виходом формальної системи МПЗЗС-72, яку позначимо F . Таким чином, вихід Y формальної системи МПЗЗС-72 можна представити у вигляді

$$Y = \{Man_1, Man_2, Trn_1, Trn_2\}.$$

Аналізуючи МПЗЗС-72, робимо висновок, що входом X системи F є ситуація небезпечного зближення суден S_d , яка визначається пеленгом α та дистанцією D між суднами, їх параметрами руху (швидкостями та курсами першого V_1, K_1 та другого V_2, K_2) та статусами r_1, r_2 . Тому можна записати $Y=F(X)$, де система F є відображенням безлічі ситуацій небезпечного зближення суден у безліч характеристик вимог МПЗЗС-72, тобто:

$$\{Man_1, Man_2, Trn_1, Trn_2\} = F(D, \alpha, V_1, V_2, K_1, K_2, r_1, r_2),$$

Безліч всіх можливих ситуацій S , що залежать від перерахованих параметрів, позначимо через Mn . Оскільки ситуація небезпечного зближення суден S_d можлива лише за її зближенні, то з множини Mn слід виділити підмножину Mn_1 ситуацій зближення – $Mn_1 \subset Mn$. Очевидно, підмножина Mn_1 містить підмножину Mn_2 ситуацій небезпечного зближення S_d – $Mn_2 \subset Mn_1$, для яких характерно, що прогнозована дистанція найкоротшого зближення менша D_{min} від граничнодопустимої дистанції зближення D_d .

Ситуації S_d , як елементи підмножини Mn_2 , повинні задовольняти умову зближення U_1 та умови U_2 того, що зближення є небезпечним. Умова зближення U_1 залежить від зменшенні дистанції D між суднами, тобто $D \rightarrow 0$, а умові U_2 відповідає нерівність $D_{min} < D_d$.

Отримане за допомогою виконання умов U_1 та U_2 підмножина ситуацій небезпечного зближення містить різні ситуації, що відповідають різним правилам МПЗЗС-72. Насамперед підмножина Mn_2 містить підмножину ситуацій обгону Mn_{ob} , у яких немає істотний статус суден. У цій ситуації судно може бути таким, що обганяється або таким, що обганяє. Тому підмножина ситуацій обгону Mn_{ob} є об'єднанням підмножини ситуацій Mn_{ob}^1 , коли судно є таким, що обганяє, та підмножини ситуацій Mn_{ob}^2 , коли судно є таким, що обганяється, тобто.

$$Mn_{ob} = Mn_{ob}^1 \cup Mn_{ob}^2.$$

Відповідно до МППСС-72, судном, яке обганяє у ситуації небезпечного зближення називається судно, що знаходиться у секторі видимості кормового вогню судна з яким зближується, тобто на $22,5^\circ$ ($2\pi/16$ або 2 румба) позаду траверза.

Знайдемо умову U_3 , яка визначає ситуацію обгону. Для цього необхідно знати курс судна, що обганяє K_1 , курс судна, що обганяється K_2 та пеленг із судна, що обганяє на судна, що обганяється α .

В ситуації, яка наведена на рис. 1, а, судно 1, є таким, що обганяє. Така ситуація має місце, коли зворотний пеленг $\alpha + \pi$ укладено між напрямками γ_s і γ_p , що визначають межі видимості кормового вогню, причому

$$\gamma_s = K_2 + \pi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right), \quad \gamma_p = K_2 + \pi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right).$$

Аналітично ця ситуація виникає, коли одночасно виконуються умови

$$\sin(\alpha + \pi - \gamma_s) > 0 \text{ та } \sin(\gamma_p - \alpha - \pi) > 0.$$

Якщо в останні нерівності підставити вирази для γ_s і γ_p , то отримаємо умову U_3 для підмножини ситуацій обгону Mn_{ob}^1 , якщо судно 1 обганяє судно 2

$$\sin\left(\alpha - K_2 + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)\right) > 0, \text{ та } \sin\left(K_2 + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right) - \alpha\right) > 0.$$

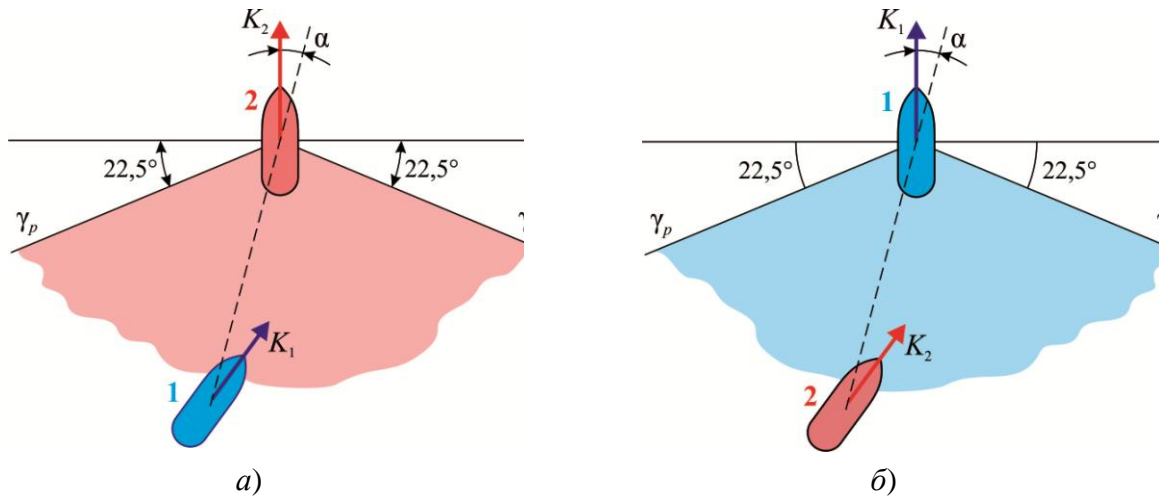


Рис. 1. Ситуації обгону:

a – 1 – судно, що обганяє, 2 – судно, що обганяється;

б – 1 – судно, що обганяється, 2 – судно, що обганяє

На рис. 1, *б* показана ситуація, коли судно 1 є таким, що обганяється судном 2. У цьому випадку пеленг α знаходиться між напрямками γ_s і γ_p , та

$$\gamma_s = K_1 + \pi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right), \quad \gamma_p = K_1 + \pi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)$$

Умовою виникнення такої ситуації є справедливості нерівностей

$$\sin(\alpha - \gamma_s) > 0 \text{ та } \sin(\gamma_p - \alpha) > 0.$$

Таким чином, умова U_3 для підмножини ситуацій обгону Mn_{ob}^2 , якщо судно є таким, що обганяється:

$$\sin\left(\alpha - K_1 - \left(\pi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)\right)\right) > 0 \text{ та } \sin\left(K_1 + \left(\pi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)\right) - \alpha\right) > 0.$$

Всі інші ситуації небезпечного зближення, крім ситуацій обгону, враховують статуси суден, що зближаються, r_1 і r_2 , причому вони складають підмножину Mn_r . Вочевидь, що

$$Mn_r = Mn_2 / Mn_{ob}.$$

Для встановлення відносини пріоритету в МПЗЗС-72 всі судна поділяються на шість рівнів, упорядкованих послідовності пріоритету: судна з механічним двигуном, вітрильні судна, рибальські судна, судна, скути своєю осадкою, судна, скути в можливості маневрувати, судна що не можуть управлятися.

Якщо судна належать одному рівню, то призначення пріоритетів передбачено лише для рівнів: суден з механічним двигуном і вітрильних суден (правила 12, 14 та правило 15 МПЗЗС-72), причому тільки в цьому випадку є вимоги та рекомендації щодо вибору сторони ухилення під час розходження.

Тому підмножина ситуацій Mn_r складається з трьох підмножин: Mn_r^d – судна з різними статусами, Mn_r^1 – судна з механічним двигуном та Mn_r^2 – вітрильні судна. Умова U_4 належності ситуації небезпечного зближення підмножині Mn_r^d виражається співвідношенням $r_1 \neq r_2$, умова U_5 визначає підмножину Mn_r^1 ситуацій небезпечного зближення суден із механічним двигуном і характеризується співвідношенням $r_1 = r_2 = 1$. Підмножина Mn_r^2 небезпечного зближення двох вітрильних суден не розглядатимемо, вважаючи, що транспортне судно не є вітрильним.

Розглянемо підмножину Mn_r^1 ситуацій небезпечного зближення суден з механічним двигуном, які характеризуються правилами 14 і 15 МПЗЗС-72, тобто зближення суден на протилежних курсах та курсах, що перетинаються. Очевидно, підмножина Mn_r^1 містить підмножини Mn_{op} ситуацій зближення суден на протилежних курсах та Mn_{cr} ситуацій зближення суден на курсах, що перетинаються, тобто $Mn_{op} \subset Mn_r^1$ та $Mn_{cr} \subset Mn_r^1$.

Визначимо умову U_6 належності ситуації небезпечного зближення підмножини Mn_{op} , скориставшись схемою, що наведена на рис. 2.

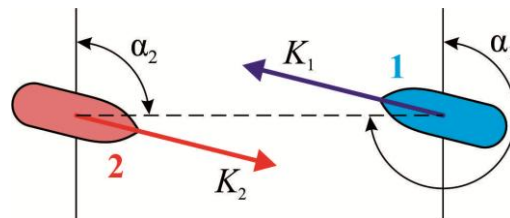


Рис. 2. Ситуація зближення суден, що рухаються протилежними або майже протилежними курсами

Протилежними або майже протилежними курсами суден, що зближуються, вважатимемо такі, які відрізняються не більше 5° від пеленгу, причому це справедливо для обох суден. Як впливає з рис. 2, для цього слід, щоб одночасно виконувались нерівності:

$$(\alpha_1 - K_1) \leq 5^\circ \text{ та } (\alpha_2 + \pi - K_2) \leq 5^\circ$$

де α_1, α_2 – пеленг з одного судна на інше.

Ця умова має такий математичний вираз:

$$\cos(\alpha_1 - K_1) \leq \cos 5^\circ \text{ та } \cos(\alpha_2 + \pi - K_2) \leq \cos 5^\circ$$

що і є умовою U_6 .

Умова U_7 належності ситуації небезпечного зближення підмножині Mn_{cr} , представлена на рис. 3.

У ситуації зближення суден, що рухаються на курсах, які перетинаються, їх курсові кути γ_1 і γ_2 мають протилежні знаки, тобто.

$$\sin \gamma_1 \sin \gamma_2 < 0.$$

Враховуючі, що

$$\gamma_1 = \alpha_1 - K_1, \quad \gamma_2 = K_2 - \alpha_2$$

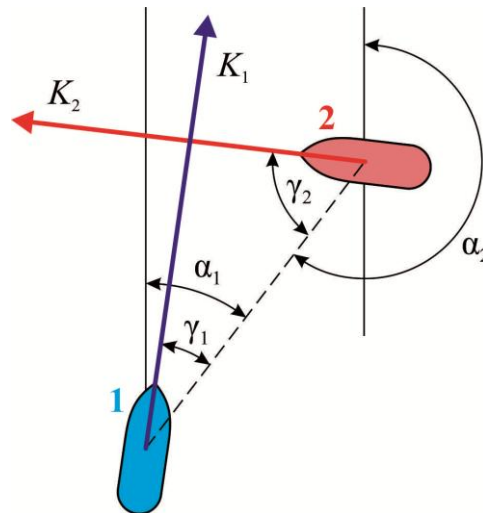


Рис. 3. Ситуація небезпечного зближення суден на курсах, що перетинаються

умова U_7 характеризуватиметься такою нерівністю

$$\sin(\alpha_1 - K_1) \cdot \sin(K_2 - \alpha_2) < 0.$$

При цьому судно 2 знаходиться праворуч або ліворуч від напрямку руху судна 1, тому підмножина Mn_{cr} містить підмножину ситуацій Mn_{crs} , коли судно 2 знаходиться праворуч від судна 1 і підмножину Mn_{crp} , коли судно 2 рухається зліва від судна 1. Очевидно, якщо виконується нерівність $\sin(\alpha_1 - K_1) > 0$, то судно 2 знаходиться праворуч від судна 1. У протилежному випадку судно 2 знаходиться ліворуч від судна 1. Отже, умова U_8 належності ситуації небезпечного зближення S_d підмножин Mn_{crs} або Mn_{crp} визначається знаком виразу $\sin(\alpha_1 - K_1)$. Причому, якщо $\sin(\alpha_1 - K_1) > 0$, то $S_d \in Mn_{crs}$, у разі коли $\sin(\alpha_1 - K_1) < 0$ має місце $S_d \in Mn_{crp}$.

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Основні підмножини ситуацій небезпечного зближення, якими є ситуація обгону (відносно варіантів судно, що обганяє, та судно, що обганяється; а також судно, що обганяється, та судно, що обганяє), ситуація зближення суден на зустрічних курсах, ситуація зближення суден на курсах, що перетинаються, змушують до розробки методу з визначення послідовності дій, пов'язаних з маневруванням суден з метою попередження їх зіткнення. При цьому алгоритм цих дій повинен відповідати вимогам Міжнародних правил запобігання зіткнення суден у морі щодо маневрування суден під час розходження.

2. Досліджено моделювання ситуацій надмірного зближення суден та розглянута формалізація МПЗЗС-72 у частині маневрування суден для розходження за умов гарної видимості.

3. Розробленні аналітичні вирази для умов реалізації ситуації надмірного зближення для кожної з підмножин, які сприяють створенню методу управління рухом судна в різних ситуаціях небезпечного зближення з судами.

4. Запропонований метод управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження засновується на використанні аналітичних виразів, що враховують умови ситуацій надмірного зближення для кожної з підмножин.

Запропоновані рішення сприяють створенню методу управління рухом суден під час виникнення різних ситуацій їх небезпечного зближення .

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research, 2023. – Vol. 140. – 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

2. Бажак О.В. Удосконалення методу оцінки показників надійності обладнання засобів водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.

3. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофіменко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.

4. Майданевич С.Б., Тимошук О.М. Суб'єкти та принципи міжнародного морського права // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.

5. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т. А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.

6. Мадей В.В., Волков О.М., Сагін С.С. Корегування навігаційного переходу під час забезпечення екологічних показників роботи судових дизелів // Автоматизація судових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 52-66. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-52-66.

7. Голіков В.А., Голіков В.В., Онищенко О.А. Використання технологій методології науки у дослідженнях морського та внутрішнього водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.

8. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). –P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

9. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

10. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

11. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. –Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

12. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

13. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2019. – Vol. 66(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.
14. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2018. – Vol. 65(2). – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.
15. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna*. – 2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
16. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
17. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2022. – Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7
18. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
19. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
20. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
21. Бурмака А.И., Калюжний В.В. Имитационное моделирование процесса расхождения судов экстренным уклонением при чрезмерном сближении // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2019. – Вип. 29. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 37-46. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.37-46
22. Бурмака И.А., Янчецкий А.В. Оценка вероятности степени опасности сближения судов // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 27-33. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.27-33.
23. Ворохобин И.И. Зависимость вероятности безопасного прохождения судном стесненного района от закона распределения погрешности смещения // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 58-66. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.
24. Ворохобин И.И., Бурмака И.О., Кулаков М.О., Петриченко О.О. Спосіб департаментизації електронної карти при зовнішньому управлінні розходження суден в зоні відповідальності СУРС // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2021. – Вип. 32. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 26-33. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
25. Бурмака И.А., Ворохобин И.И., Федоров Д.Б. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2021. – Вип. 31. – С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88

REFERENCES

1. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pí'st'ek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. – 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

2. Bazhak O.V. Method of increasing safety of shipping // *Water transport*. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.
3. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // *Water transport*. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
4. Maydanevich S.B., Tymoshchuk O. Subjects and principles of the international maritime law // *Water transport*. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
5. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2020. – Vol. 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
6. Madey V., Volkov O., Sagin S. Correction of the navigation passage while ensuring the environmental performance of marine diesel engines // *Automation of ship technical facilities: Research journal*. – 2023 – Vol. 28. – P. 52-66. doi.org/10.31653/1819-3293-2023-1-28-52-66.
7. Golikov V.A., Golikov V.V., Onishchenko O.A. Use of scientific and methodological technologies in maritime and inland waterway transport // *Water transport*. – 2022. – Vol. 1(35). – P. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.
8. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2021. – № 5 (2(61)). –P. 26-32. doi: http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698.
9. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
10. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
11. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. –Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
12. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
13. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2019. – Vol. 66(1). – P. 1-9. https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1.
14. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2018. – Vol. 65(2). – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.
15. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna*. –2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
16. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
17. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2022.– Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7
18. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

19. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – Vol.1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
20. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01.
21. Burmaka I., Kaliuzhny V. Imitation design of process of divergence of vessels by urgent deviation at excessive rapprochement // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2019. – Vol. 29. – P.37-46. doi.org/10.31653/2306-5761.29.219.37-46.
22. Burmaka I., Yanchetsky A. Probability estimation degree of danger vessels rapprochement // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2020. – Vol.30. – P.27-33. doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.27-33.
23. Vorokhobin I. Impact of the cross-track error distribution law on safe navigation in narrow waters // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2020. – Vol.30. – P.58-66. doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.
24. Vorokhobin I., Burmaka I., Kulakov M., Petrychenko O.A Method of electronic chart departmentisation under external control of vessels' passing in VTS areas // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol.32. – P.26-33. doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
25. Burmaka I., Vorokhobin I., Fedorov D. Account dynamics of ships at the automatic choice of manoeuvre of divergence by deviation of one ship and by the passive braking of the other // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol.31. – P.80-88. doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.

Sagin S.V., Sagin S.S.

DETERMINATION OF THE METHOD OF CONTROLLING THE MOVEMENT OF MARINE TRANSPORT VESSELS WHILE ENSURING THEIR SAFE DIVERGENCES

Considered the methods of control and management of the vessel movements, during manoeuvring in order to ensure their safe divergences under the condition of good visibility. To solve the question of ensuring the safety of navigation, subsets of situations of excessive convergence of ships considered with different mutual responsibilities and with different locations of ships from each other, which are regulated by the relevant rules of the International Rules for the Prevention of Collisions of Ships at Sea, which establish the interaction of ships depending on the situation that arose during dangerous rapprochement.

Determined that the process of divergence of two ships involves changing the situation of dangerous convergence to an acceptable safe situation with the using maneuver of divergence. Indicated that in order to ensure the process of safe divergence, an important component is the management of the convergence situation, which determines the potential possibility of changing the dangerous situation by performing the divergence manoeuvre. It is also stated that due to the large number of various situations in the mutual locations of ships, certain difficulties arise in the correctness of actions taken to ensure their safe divergence. Therefore, the issue of formalization of the process of developing methods for controlling the movements of the vessels, in terms of manoeuvring ships during divergences, as well as determining the method of managing the movement of sea transport vessels while ensuring their safe divergences which is a actual and promising scientific direction that affects on the safety of navigation.

As the main dangerous situations that arise during the separation of ships, consider the situation of overtaking (relative to the options of the overtaking vessel and the overtaken vessel; as well as the overtaken vessel and the overtaking vessel), the situation when vessel are meeting on reciprocal or nearly reciprocal courses, the vessel crossing situation. For each of these situations, analytical dependencies are proposed for determining dangerous courses of movement of vessels that prevent

their collision. The proposed solutions contribute to the creation of a method of controlling the movement of vessels during the occurrence of various situations of their dangerous approaching.

The obtained results indicate the possibility of using the developed analytical expressions in modern electronic automatic systems operating on a real-time basis for the purpose of determining and solving divergence tasks, which are essential support for navigation officers during situations of the vessel dangerous divergences.

Key words: *control method, maritime transport, navigation situation, safety of navigation, ship collisions prevention, ship movement management, ship movement.*

УДК 656.6

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21

Булгаков М.П., Бурлаченко Д.А., Никитюк П.В., Щенявський Г.С., Кучеренко В.П.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ БАЛАСТНИМИ ВОДАМИ НА СУДНАХ ШЛЯХОМ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ЗА ЇХ ЯКІСТЮ

Зростання обсягів морської діяльності та транспортування вантажів призводить до значного викиду баластних вод у природне середовище. Це викликає серйозні екологічні проблеми, оскільки тисячі видів водних організмів переносяться через баластні води, поруч з іншими формами забруднення. В даній статті розглядається важливість контролю та управління баластними водами, оцінюючи різні методи моніторингу. Зокрема, розглядаються можливості використання технологій дистанційного моніторингу, які дозволяють уникнути затримок, пов'язаних із зразками води при вході суден у порт. У статті проаналізовані різні підходи до моніторингу, розглянуті схеми встановлення додаткових вузлів, роботи та обробки отриманої інформації. Впровадження передових технологій дистанційного моніторингу баластних вод сприятиме економії часу для суден, оминаючи необхідність збору та аналізу проб баластної води до початку вантажних операцій в порту що призведе до оптимізації часу, який раніше витрачався на ці процеси, сприяючи ефективності та швидкості обробки суден в порту.

Ключові слова: система обробки баластної води, моніторинг, датчик, біологічні показники, BW-монітор

Вступ. Сьогодні морська діяльність активно зростає, обсяг вантажів, що переміщуються морем, становить близько 90% від загального обсягу транспортних вантажів, що супроводжується збільшенням обсягу баластних вод, які скидаються в навколишнє середовище [1]. Тисячі видів водних організмів транспортуються з одного місця в інше по морю та океану через баластні води. При інших видах забруднення, таких як розливи нафти, можна вжити заходів для поліпшення і відновлення навколишнього середовища, але вплив чужорідних видів практично неможливо відновити [2]. Щороку у світі збитки, спричинені чужорідними організмами під час циркуляції суднових баластних вод, становлять до 10 мільярдів доларів США на рік, тому управління та контроль за чужорідними організмами через експлуатацію баласту є дуже важливим [4].

Моніторинг та забезпечення дотримання вимог повинні бути послідовними, суворими та ефективними [2]; їх можна розділити на дві основні частини: відбір проб баластних вод та