

10.31653/smf47.2023.108-121

Сагін С.С.

Національний університет «Одеська морська академія»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН

Постановка проблеми в загальному вигляді. Забезпечення повноцінної працездатності суднового пропульсивного комплексу та контроль безпеки судноплавства є найбільш актуальною проблемою, яка виникає під час експлуатації суден морського транспорту [1, 2]. Розглянути проблем, що виникають при експлуатації суднового пропульсивного комплексу, яка є однією з важливих складових елементів управління рухом судна для своєчасного 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 [5, 6]. Тому питання розробки методів управління рухом судна у частині маневрування суден під час розходження, а також вдосконалення взаємодії навігаційного офіцера з судновим пропульсивним комплексом та можливість підвищити та мати можливість повністю використовувати резерви головного двигуна, які дадуть нам змогу підвищити енергетичну ефективність суднового пропульсивного комплексу в цілому. При розробці або модернізації систем управління пропульсивним комплексом при русі судна необхідно враховувати дію зовнішніх чинників невизначеного характеру, що впливають на техніко-експлуатаційні та на маневрові характеристики судна. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження є актуальним та перспективним науковим напрямом яке 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. 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]. Тому для процесу розходження важливою характеристикою є управління ситуацією зближення, при якому визначається потенційна можливість зміни її маневром розходження.

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 МППЗС-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.

Постановка завдання. Ціллю статті є аналіз взаємодії елементів судового пропульсивного комплексу та її вдосконалення під час 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 дослідження. Пропульсивна установка є гідромеханічною системою, що включає корпус судна і про-

пульсивну установку, в якій енергія робочого тіла перетворюється в упор, що впливає на рух корпусу судна. Елементи пропульсивного комплексу характеризуються під час експлуатації такими основними показниками:

- 1) головний двигун – потужністю, крутним моментом та частотою обертання;
- 2) передача – частотою обертання ведучого (від головного двигуна) та відомого (гребного) валу;
- 3) гребний гвинт – упором гвинта, що обертає та частотою обертання;
- 4) корпус судна – швидкістю судна, повним опором води і повітря руху судна.

Незалежно від будь якої ситуації, кожне судно повинно рухатися з безпечною швидкістю (з урахуванням усіх рекомендованих обставин згідно с правилом 6, МПЗЗС-72) та враховувати усі сили і моменти своєї суднової пропульсивної установки.

З метою узгодження маневрів розходження двох суден та 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 МПЗЗС-72 не передбачає взаємних обов'язків суден – регламентуються дії лише судна, що оперує.

Судно при своєму русі виводить маси води зі стану спокою і сприймає реакцію в вигляді гідродинамічних сил, розподілених по зовнішній поверхні його обшивки. Оскільки в більшості випадків, судно симетрично щодо його діаметральної площині, то дія гідродинамічних сил реакції води може бути зведене до однієї рівнодіючої сили F , що лежить в діаметральної площині, і моменту M , діючим в тій же площині (рис. 1). Горизонтальна складова R сили F є силою опору середовища – води та повітря; вона врівноважується корисною тягою рушія P_e .

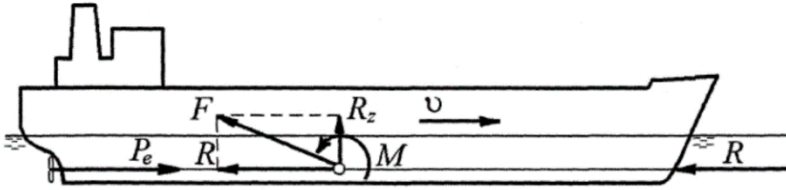


Рис. 1. Сили і моменти, які діють на судно під час прямолінійного руху

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_a , 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 граничнодопустимій 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 МППСС-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.

У ситуація обгону, особливо в ситуаціях обгону на короткій відстані один від одного, дуже важливо тримати свої двигуни в постійній готовності до маневрування зменшення швидкості або до негайного реверсування.

Своєчасне інформування вахти машинного відділення щодо наближення до таких ситуацій, надасть впевненість в управлінні судна при скоєнні обгону іншого судна.

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. 2, 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

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

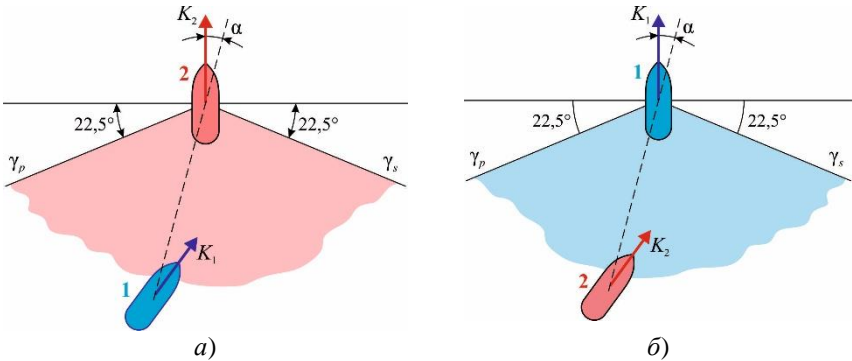


Рис. 2. Ситуації обгону:

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

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

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

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

На рис. 2, 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 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 зустрічних і курсах, що перетинаються.

Очевидно, підмножина Mn_r^1 містить підмножини Mn_{op} ситуацій зближення суден на протилежних зустрічних курсах і 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. 3. Зустрічними протилежними курсами суден, що зближуються, вважаємо такі, які відрізняються не більше 5° від пеленгу, причому це справедливо для обох суден. Як випливає з рис. 3, 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.

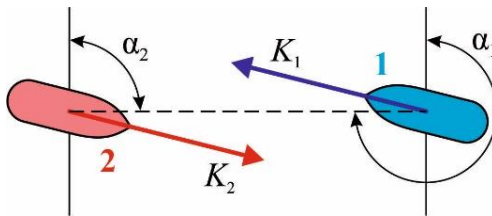


Рис. 3. Ситуація зближення суден на зустрічних курсах

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. 4.

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

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

З врахуванням, що

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

умова U_7 характеризуватиметься такою нерівністю

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

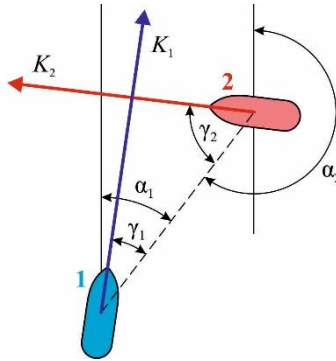


Рис. 4. Ситуація небезпечного зближення суден на курсах, що перетинаються

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 $S_d \in Mn_{crp}$.

У цих випадках не рідко трапляється ситуація, що судно, яке має поступитися дорогою іншому судно, не може виконати свої дії через несправність судових двигунів. У таких випадках судно, якому повинні були поступитися дорогою, переходить під регламент правила 17 МПЗЗС-72, і вживає всіх можливих дій для уникнення зіткнення. Саме в таких випадках, як зазвичай, задіється весь потенціал судового пропульсивного комплексу та його можливість маневрувати в екстрених випадках.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Аналіз поданих даних підкреслює важливість підтримки судової пропульсивного комплексу в належному вигляді. Забезпечення побудови судна з вірним вибором потужності головного двигуна, повинно бути враховано з можливістю експлуатаційного відхилення потужності які неминучі в процесі експлуатації. Вочевидь що номінальний режим, який встановлюється заводом-виробником без

строго обумовлених граничних значень режимних показників, не може бути використаний в якості порівняльного зразка або вихідного рівня для зіставлення ефективності, економічності і напруженості різних двигунів.

2. Розглянуті 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.

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

4. 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.

5. Запропонований метод управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження з урахуванням експлуатаційних можливостей суднового пропульсивного комплексу.

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

Перелік використаних джерел

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. 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., Трофименко 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., Pištěk 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., Калужний 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. Ворохобін І.І., Бурмака І.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.