



UDC 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.39.2026.10-24

INTERPRETATION AND UPDATING OF REGULATIONS FOR PREVENTING COLLISION AT SEA

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ТА ОНОВЛЕННЯ ПРАВИЛ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ У МОРІ

L. Vagushchenko , D.Sc., professor, A. Kozachenko , senior lecturer,
J. Kozachenko, senior lecturer

Л.Л. Вагущенко, д.т.н., професор, О.Ю. Козаченко, ст. викладач,
Ю.М. Козаченко, ст. викладач

National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The increase in the number, size, and speed of ships, the introduction of new information technologies in navigation, the development of autonomous ships, and the growing presence of these ships on waterways alongside conventional ships have led to changes in ship control and necessitated the reflection of these changes in the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGS). The first part of the article highlights the differences between the tasks of interpreting the Rules and bringing them up to date. The section "Interpretation of the COLREGs" presents a proposed method for determining the values of parameters for circular and semi-elliptical and semi-circular danger domains appropriate for navigation conditions, based on the available results of statistical analysis of the values of maneuvering parameters used on ships. A new method for determining the stage of timely actions by ships has been developed. The section "Update of COLREGS" presents the results of a critical analysis of the Rules for Steering and Sailing in Part B of COLREGS, notes a number of shortcomings in these Rules, and justifies and presents proposals for amending and supplementing the provisions of COLREGS. Attention is drawn to the need to adhere to the principles of classification when dividing situations involving the approach of two vessels into separate types. The section "Taking into account the features of MASS" presents the issues discussed in connection with the development of additions to COLREGS to address this task.

Keywords: collision avoidance, collision risk, vessel approach situations, autonomous vessels, interpretation of COLREGS, updating of rules.



Copyright© 2026 the Author(s).

This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

Published by the National University "Odesa Maritime Academy".

Date received: 16-09-2025
Date accepted: 14-04-2026
Date published (online): 31-05-2026

Cite this article as: L. Vagushchenko, A. Kozachenko and J. Kozachenko, "Interpretation and updating of regulations for preventing collision at sea," *Shipping & Navigation*, no. 39, pp. 10–24, 2026, doi: 10.31653/2306-5761.39.2026.10-24.

АНОТАЦІЯ

Збільшення кількості, розмірів і швидкості суден, впровадження в судноплавство нових інформаційних технологій, розвиток автономних суден і все більша присутність цих суден на водних шляхах разом зі звичайними суднами призвели до змін в управлінні суднами і зумовили необхідність відображення цих змін у Міжнародних правилах запобігання зіткненню суден (МПЗЗС). У першій частині статті відзначено відмінності інтерпретації Правил та їх приведення до рівня сучасності. У розділі «Інтерпретація МПЗЗС» представлений пропонований метод визначення відповідних умовам плавання значень параметрів доменів небезпеки кругової форми і з формою, що складається з півеліпса і півкола, який заснований на наявних результатах статистичного аналізу використовуваних на суднах значень параметрів маневрів розходження. Розроблено новий спосіб для визначення етапу своєчасних дій суден. У розділі «Оновлення МПЗЗС-72» наведено результати критичного аналізу Правил плавання і маневрування Частини В МПЗЗС-72, відзначається ряд недоліків у цих Правилах, обґрунтовуються і подаються пропозиції щодо зміни та доповнення положень МПЗЗС-72. Звертається увага на необхідність дотримання принципів класифікації при поділі ситуацій зближення двох суден на окремі види. У розділі «Врахування особливостей MASS» представлені обговорювані питання, пов'язані з розробкою доповнень до МПЗЗС-72 для вирішення цього завдання.

Ключові слова: попередження зіткнень, ризик зіткнення, ситуації зближення суден, автономні судна, інтерпретація МПЗЗС, оновлення правил.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Збільшення кількості, розмірів і швидкостей суден, впровадження в мореплавство нових технологій призвело до змін в управлінні суднами і при їх взаємодії, що зумовило необхідність оновлення Правил плавання. До цих нормативно-правових документів відносяться і Міжнародні правила запобігання зіткненню суден (МПЗЗС), чинним варіантом яких є МПЗЗС-72 з доповненнями 1981, 1987, 1989, 1993, 2001, 2013 р. Створення автономних суден суттєво ускладнює питання вдосконалення МПЗЗС-72, Адаптація цих Правил до сучасних умов судноводіння з урахуванням одночасної експлуатації на водних шляхах суден, пілотованих людьми, і суден, керованих автоматикою, алгоритмізація відповідної різним обставинам і умовам плавання інтерпретації положень цих Правил стало в даний час актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання вдосконалення МПЗЗС-72, їх алгоритмізації, врахування цих правил при комп'ютерній підтримці рішень судноводіїв і при автоматичному управлінні анти-колізійним

процесом, відображені в багатьох публікаціях. Результати досліджень цих правил з метою виявлення в них неконкретних і неоднозначних термінів і положень наведені в статтях [23, 34]. Відповідність приписів МПЗЗС-72 сучасним умовам судноплавства характеризується в роботах [7, 13]. Встановленню можливості за цими правилами здійснити алгоритмізацію вибору антиколізійних дій присвячені дослідження [4, 11, 33]. У статтях [4, 12] оцінюється придатність МПЗЗС-72 для координації дій як звичайних, так і автономних суден. Питання інтерпретації МПЗЗС-72 розглядаються в наступних роботах. Аналізу меж і середніх значень використовуваних на суднах параметрів маневрів для нестислих і стислих вод, виявленню тенденції їх зміни при зміні умов плавання присвячені дослідження [6, 9, 10, 19, 26], Визначення меж безпеки маневрів розходження і етапів зближення суден розглядається в статтях [3, 8, 20, 24, 28, 30]. Оцінка межі етапу екстремальних маневрів і вибір маневрів з її використанням характеризується в роботах [5, 32]. Особливості автономних суден, вимоги до їх бортових систем попередження зіткнень обговорюються в статтях [1, 22, 29]. Дослідження [2, 14, 18, 21, 25] присвячені адаптації МПЗЗС-72 до автономних суден. У роботі [27] висвітлюється роль

штучного інтелекту в поліпшенні стандартів безпеки судноплавства. Результати розробок алгоритмів для автоматичного вирішення завдань попередження зіткнень наведені в статтях [15-17, 31].

Аналіз публікацій показує, що в дослідженнях щодо вдосконалення МПЗЗС-72 питання недоліків, допущених при їх формуванні, практично залишилися без уваги. В багатьох статтях змішуються завдання інтерпретації МПЗЗС-72 та їх оновлення. Існуючі алгоритми інтерпретації МПЗЗС-72 недостатньо ефективні і потребують вдосконалення. Одним з важливих питань цього завдання є отримання відповідних умов плавання доменів небезпеки і меж етапів зближення суден. Є необхідність для встановлення цих меж вибрати тільки часову чи лінійну міру. Це пояснюється тим, що межах етапів зближення суден в часовій мірі, при неоднакових швидкостях цього процесу, відповідають різні границі в лінійній мірі, і навпаки. Усунення цієї подвійності важливо при розробці алгоритмів інтерпретації понять МПЗЗС-72 і вибору маневрів розходження

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є критичний аналіз Частини В (Правила плавання та маневрування) МПЗЗС-72, і вироблення пропозицій щодо інтерпретації цих правил та приведення їх на рівень сучасності.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися завдання:

- Вибір єдиної міри для вимірювання процесів розходження з метою уніфікації алгоритмів інтерпретації МПЗЗС-72 та визначення параметрів для конкретизації найважливіших понять МПЗЗС-72.
- Розробка методу для знаходження відповідних умов плавання параметрів домену безпеки цілі та алгоритму отримання меж етапу своєчасних при розходженні дій.
- Виявлення недоліків, допущених при формуванні МПЗЗС-72, та розробка пропозицій щодо їх усунення.
- Врахування особливостей автономних суден при оновленні МПЗЗС-72.

Висвітлення результатів роботи

У табл.1 наведено скорочення та позначення, що використовуються в статті.

Серед причин необхідності оновлення МПЗЗС-72 можна назвати

- недоліки, допущені при формуванні МПЗЗС-72;
- збільшення кількості, розмірів і швидкості суден, поява їх нових типів;
- впровадження нових технологій, включаючи розвиток автономних суден;
- посилення вимог до безпеки судноплавства;
- поліпшення комунікаційних можливостей суден;
- зменшення важливості інформації, що отримуються за допомогою зору і слуху.

Відзначаючи вплив нових технологій, не зайве нагадати про впроваджену з 1960 року на суднах навігаційну апаратуру, що застосовується при розходженні: радіолокаційна система (РЛС), система автоматичного радіолокаційного прокладання (ARPA - Automatic Radar Plotting Aid), автоматична ідентифікаційна система (AIS - Automatic Identification System), автоматизована система попередження зіткнень (CAS - Collision Avoidance System), інтегрована система містка (IBS - Integrated bridge system), електронно-картографічна навігаційна інформаційна система (ECDIS - Electronic Chart Display Information Systems), CAS з підтримкою прийняття рішень (CASS - Collision Avoidance Support System).

В цілому, оновлення МПЗЗС-72 є необхідним заходом для адаптації правил до сучасних умов судноплавства та забезпечення безпеки навігації. У документі ІМО MSC.1. Circ. 1638 зазначено, що МПЗЗС у найближчому майбутньому за певних змін і доповнень залишаться найважливішим і юридично зобов'язуючим документом.

Відзначимо низку ознак цих правил як нормативно-правового документу:

- визначеність сфери застосування;

Таблиця 1. Скорочення та позначення

Скорочення	Позначення	Значення
OS і TS	A і B	Власне судно (Own ship) і судно-ціль (Target ship)
-	K_A і V_A	Курс і швидкість OS
-	K_B і V_B	Курс і швидкість TS
-	K_W і V_W	Курс і швидкість OS відносно TS
-	F_{BA} і F_{WA}	Відношення швидкостей $F_{BA}=V_B/V_A$ и $F_{WA}=V_W/V_A$
-	Q і Ψ	Межі досить великих значень зміни курсу і швидкості
ALC	-	Зближення, що призводить до зіткнення (Approach that leads to collision)
BCR	σ	Відстань перетину курсу по носу (Bow crossing range)
CPA	-	Точка найкоротшого зближення (Closest point of approach)
COG і SOG	-	Курс і швидкість відносно ґрунту (Course & speed over ground)
CTW і STW	-	Курс і швидкість відносно води (Course & speed through water)
DBS	s	Відстань між суднами коли $d < D$ (Distance between ships)
DCPA і TCPA/	d і τ	Відстань між суднами в CPA і час до CPA (Distance at CPA & Time to CPA)
-	D і T	Межі безпечних значень DCPA і TCPA
GWV і SOV	-	Судно яке поступається і якому дають дорогу (Give way vessel & Stand on vessel)
MASS	-	Морське автономне надводне судно (Maritime Autonomous Surface Ship)
NM	-	Морська миля (Nautical mile)
RB	q	Курсовий кут цілі (Relative bearing)
RCPA	-	Відстань до CPA (Range to CPA)
TA	-	Ракурс цілі (Target angle)
-	∇	Поріг значень безпечної швидкості

- нормативність (містять правові положення, що стосуються управління процесом запобігання зіткненням, встановлюють обов'язки сторін і відповідальність за їх невиконання);
- загальнообов'язковість на законодавчому рівні;
- існування в письмовій формі;
- особливий предмет відображення (регламентують найбільш важливі при розходженні сторони поведінки суден).

Приведення МПЗЗС-72 до рівня сучасності та їх інтерпретація – два різних завдання. Мета першого – відображення нових найбільш важливих відносин у процесах запобігання зіткненням. Мета другого – трактування понять МПЗЗС-72 для різних умов і обставин плавання. На звичайних суднах друге завдання

виконує вахтовий помічник або капітан. На безпілотних суднах інтерпретувати Правила повинна CAS. Одним із питань цього завдання є розрахунок відповідних умовам плавання етапів початку дій GWV і SOV.

Вибір міри для представлення границь етапів ALC в CAS. Зазвичай у процесах ALC виділяються етапи: відсутності значного в даних умовах ризику зіткнення (E0), підготовки прийняття рішення (E1), своєчасних для GWV дій (E2), можливих для SOV дій (E3), екстремальних для GWV і SOV дій (E4). В навігації для виміру цих процесів використовують величини у часовій (TCPA) і лінійній (DBS або RCPA) мірі. Значення DBS, які є межами між етапами E0, E1, E2, E3 і E4, нижче позначаються S0, S1, S2, S3.

Якщо межі етапів ALC виділяються значеннями TCPA, то в лінійній мірі при різних

швидкостях зближення вони різні, і навпаки. Коли в алгоритмах одних CAS будуть використовуватися ці межі в часовій мірі, а в інших - в лінійній, то їх результати не будуть збігатися. Звідси випливає необхідність для цих меж в алгоритмах застосовувати тільки одну міру. Розглядаючи, наприклад, границю між етапами E0 і E1, можна встановити, що її значенню (T_0) у часовій мірі при високих швидкостях зближення часто відповідає занадто велика відстань між OS і TS. При повільних зближеннях може виявитися, що d вже менше D , а значення ТСПА ще перевищує T_0 . У цих двох випадках значення T_0 доводиться коригувати. Недоліком межі (S_0) між E0 і E1 в лінійній мірі вважається те, що при її застосуванні значно зменшується час на підготовку рішення при швидкому зближенні. Тут слід зазначити, що при використанні на судах CAS час на цю операцію істотно зменшився. Також наявність інформації РЛС і AIS дозволяє починати підготовку рішень завчасно. На користь лінійної міри крім цього говорить і використання її для границь типів ALC більшістю фахівців та дослідників. Тому пропонується при розробці алгоритмів розходження для MASS для меж між етапами ALC застосовувати тільки лінійну міру.

Інтерпретація МПЗЗС-72. Інтерпретація полягає в конкретизації для різних умов плавання понять МПЗЗС-72, найважливішими з яких є: «безпечна» швидкість (Правило 6); «наявність небезпеки (ризик) зіткнення» (Правило 7); «своєчасна». «досить велика» дія і «безпечна» відстань розходження (Правило 8); «рішуча» і «завчасна» дії (Правило 16); «коли стає очевидним» і «настільки близько» (Правило 17). Інтерпретації цих понять відповідає отримання значень:

V – для «безпечної» швидкості;

D – для «безпечної» відстані розходження;

D і S_0 – для «наявності ризику зіткнення»;

Q і Ψ – для «досить великих» змін курсу і швидкості;

S_1, S_2, S_3 – для понять «своєчасна» дія, «коли стає очевидним» і «настільки близько».

Через різноманітність умов плавання, складний характер впливу ряду з них на ефективність антиколізійних дій практично неможливо отримати строгі формули для розрахунку відповідних конкретним умовам значень наведених вище параметрів. Тому при інтерпретації доводиться використовувати які піддаються визначенню залежності цих параметрів лише від деяких факторів. Для встановлення таких залежностей застосовуються ті, чи інші, придатні методи. Для інтерпретації деяких понять МПЗЗС-72 найкращим з них виявляється статистичний аналіз використовуваних на практиці маневрів, інформація про яких отримуються шляхом:

- опитування досвідчених судноводіїв;
- обробки зареєстрованих даних берегових і бортових AIS про розходження суден;
- вирішення завдань розходження в модельованих ситуаціях на тренажері.

Основними факторами, що впливають на параметри дій, є:

- зміни погоди, що погіршують ситуаційну обізнаність і керованість судна;
- геометрія та розміри безпечної акваторії і щільність руху;
- особливості OS і TS (розміри, курс, швидкість, наявність небезпечного вантажу);
- похибки визначення положення і параметрів руху TS.

За допомогою статистичного аналізу зазвичай знаходяться границі та середні значення параметрів маневрів для необмежених (відкриті море) та обмежених вод. Проведені з цією метою дослідження [6, 9, 10, 19, 26, 33] стосувалися в основному параметрів: D, S_m, S_1, Q, Ψ , де S_m – середнє значення DBS на початку маневру. Результати цих досліджень дозволили:

- Відзначити розбіжність думок капітанів з розглянутого питання, наприклад, пропоновані ними інтервали для вибору D знаходяться в діапазоні від $0,6 \div 1,0$ NM до $1,5 \div 2,5$ NM для відкритого моря, і від $0,3 \div 0,5$ NM до $0,5 \div 1,0$ NM для обмежених вод;

- Встановити збільшену кількість використуваних на сучасному етапі малих змін курсу ($5^\circ \div 10^\circ$) і швидкості ($1 \div 2$ вузли) з початком на етапі E0;
- Отримати оцінки середніх значень D , Q , F , S_m : 1,1 NM, 20° , 2,0 вузли, 9,5 NM - для необмежених, і 0,6 NM, 15° , 2,0 вузли, 7,5 NM - для обмежених вод. Значення трьох перших параметрів істотно менше рекомендованих ІМО, а четвертого – більше, мабуть через наявність прийняття дій на етапі E0.

Інтерпретація поняття «безпечна» відстань розходження. Для знаходження відповідного умовам плавання значення D на основі отриманих за суб'єктивними даними його середнього та граничних значень для необмежених і обмежених вод можна запропонувати наступний алгоритм. Оскільки при статистичному аналізі судна були різними, виключенням із цих значень середньої довжини суден (≈ 100 м) отримувалися середнє та граничні значення для відстаней між корпусами суден. Додаванням до них поправки на розміри OS і TS, знаходилися відповідні їм відстані (D_0 , $D_S \div D_U$) між центрами маси суден, Матеріал для статистичного аналізу отримувався за наявності факторів двох типів::

1. що призводять до зниження D через зменшення простору для маневру (наявність інших суден, близькість до перешкод у обмежених водах);
2. що супроводжуються збільшенням D (туман, шторм, небезпечний вантаж на борту).

Тому D_0 віднесли до ситуацій, в яких впливаючих на D факторів немає. При наявності факторів першого типу D знаходилося в діапазоні $D_S \div D_0$ залежно від ступеня зменшення простору для маневру, який можна оцінити за даними AIS і ECDIS. При впливі факторів другого виду D береться в діапазоні $D_0 \div D_U$ близьким до D_U .

Врахування більшої небезпеки перетину курсу TS по носу. У запропонованих на сучасному етапі для розходження методах зазвичай застосовуються домени небезпеки цілей, які не є колом. Майже завжди формою цих областей враховується вимога до GWV (правило 15) уникати пересічення курсу іншого судна по

носу. Якщо GWV змушене це зробити, то відстань перетину курсу по носу повинна бути більшою, ніж по кормі. Одним з підходящих для врахування цієї вимоги вважається домен, що складається з напівеліпса і півкола (рис. 1).

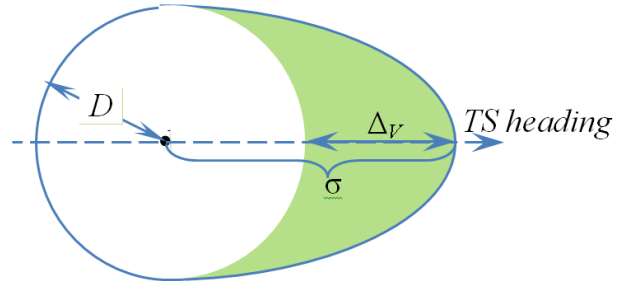


Рис. 1. Домен цілі, що враховує більшу небезпеку перетину її курсу по носу

Для обчислення значень параметрів D і Δ_V домену (див. рис. 1), що відповідають умовам плавання, використовувалися такі вихідні дані:

- тип акваторії: необмежена та обмежена;
- статистичні нижня та верхня межі значень D в NM: $D_V=0,7$ і $D^\wedge=1,5$ для необмежених та $D_V=0,4$ і $D^\wedge=0,8$ для обмежених вод;
- тип погоди: нормальна ($\Pi=0$), погана ($\Pi=1$);
- щільність руху: мала ($\Lambda=0$, $N_S \leq 10$), середня ($\Lambda=1$, $10 < N_S \leq 30$), висока ($\Lambda=2$, $N_S > 30$), де N_S — кількість суден на квадратну милю без урахування їх розмірів та геометрії руху;
- середня довжина морського судна (L_C) та довжина OS і TS (L_A , L_B);
- відношення швидкостей TS і OS (F_{BA});
- відсутність ($\Phi=0$) і наявність ($\Phi=1$) небезпечного вантажу на OS або/і TS;

Для необмежених і обмежених вод значення параметра D , що відповідає умовам плавання, обчислювалося за формулою:

$$D = D_0 + 2\Pi \cdot U - \Lambda \cdot U + \Phi \cdot U + (L_A + L_B)/2; \quad (1)$$

$$\text{де } D_0 = 0,5(D^\wedge + D_V) - L_C; \quad U = (D^\wedge - D_V)/6.$$

Для розрахунку значення Δ_V , що відповідає умовам плавання, використовувалася формула

$$\Delta_V = D k_1 F_{BA} (1 - k_2 D / D_\mu); \quad (2)$$

де k_1 , k_2 і D_μ – коефіцієнти і поріг значень D ($k_1=1,5$; $k_2=0,95$ і $D_\mu=2,0$ NM).

Інтерпретація понять «досить велика» і «рйшуча» дія. Рйшучою зазвичай вважається досить велика і коротка за часом дія. Середні з використовуваних для уникнення зйткнень на суднах в даний час змйн курсу і швидкості, зазначені вище. При аналізі інформації AIS про 782 розходження суден отримано [10], що в ситуацйях обгону змйни курсу не перевищували 42°, 76% з яких були менше 25°; у head-on ситуацйях 99% ухилень були менше 30°; у ситуацйях пересичення курсів змйни курсу досягали 74°, 76% з них були менше 30°.

Інтерпретація понять «Своєчасна» дія, «коли стає очевидним» і «настйльки близько». Ця операцйя зводиться до визначення меж S_1, S_2, S_3 мйж етапами зближення суден. Узагальнені значення перших двох меж, що використовуються на сучасному етапі на суднах, були отримані в ряді робіт [6, 10, 19, 26] на основі статистичного аналізу. У роботі [26] також на цйй основі були визначені для відкритого моря середні значення початку дій GWV для рйзних швидкостей зближення: (при невеликій - 4 NM, середній - 8 NM, великій - 12 NM), і що для малих GWV ця дистанцйя менша. На вйдмйну вйд визначення S_1, S_2 межа S_3 етапу екстремальних дій знаходилася в основному за значеннями параметрйв тйєї чи йншої моделі динамйки судна. Алгоритми встановлення цйєї межі наведені в ряді робіт, зокрема [5, 32].

Алгоритм отримання границь етапу своєчасних для GWV змйн курсу при розходженнй. Йстотний вплив на межі S_1, S_2 мають значення D , спйввйдношення швидкостей OS і TS, і кут мйж йх курсами. Тому було поставлено завдання розробки алгоритму, що дозволяє за D і змйнам (θ_1 і θ_2) курсу, що визначаються за F_{BA} , знаходити межі етапу E2. Вважалось, що обидва судна з механйчним двигуном і OS є GWV. Згйдно з дослідженнями [6, 10, 19, 26] на практицйй вйдхилення OS вйд курсу слйдування для розходження зазвичай не перевищували 40°, і лише в декйлькох ситуацйях перетину курсів вони були значно бйльшими. Це зокрема можна пояснити тим, що коли $90^\circ < q \leq 112,5^\circ$, змйна курсу вправо на кут $\delta = 2q - 180^\circ$ призводить до зйткнення, як і при русі без його змйни. Щоб розййтися, OS в цих

випадках повинно повернути вправо на кут, бйльший за δ . З урахуванням цього для розрахунку S_1, S_2 використовувалися такі значення θ_1 і θ_2

$$\theta_1 = 15^\circ + \Delta\theta; \theta_2 = 35^\circ + \Delta\theta; \quad (3)$$

де $\Delta\theta = c_F F_{BA} + (\text{IF}(90^\circ \leq q \leq 112,5^\circ) \text{ THEN } 2q - 180^\circ \text{ ELSE } 0^\circ)$.

Знаходження вйдовйдних куту змйни курсу θ значень DBS на початку повороту OS без урахування (S) та з урахуванням (S_Z) динамйки OS розглянемо в показанйй на рис. 2 ситуацййй. На цьому рисунку: AB – вйдстань мйж суднами в початковий момент; M, C і P, Z – точки йнйцйацйй повороту без урахування та з урахуванням динамйки OS, Δ_D – поправка для врахування спйввйдношення мйж змйнами D і S . При розгляді вважається, що лйня K_W проходить через центр маси TS. У цьому випадку ($K_W - K_A$) дорйвноє RB.

Алгоритм розрахунку S і S_Z за θ включає наступні операцййй:

- 1) За сторонами V_A, V_B і куту $\gamma = (K_A - K_B)$ вйдйленого на рисунку червоним кольором трикутника швидкостей знаходяться V_W і K_W до змйни курсу OS.
- 2) Аналогйчно зй зеленого трикутника швидкостей отримуються значення V_{WS} і K_{WS} пйсля повороту OS на курс $K_{AS} = K_A + \theta$.
- 3) Знаходиться параметр $D_S = D + \Delta_D$, де $\Delta_D \approx 0,8 - 0,4D$.
- 4) Розраховуються значення: $S = D_S / \sin(K_{WS} - K_W)$; $AP = AB - S$; $AM = AP / F_{WA}$.
- 5) Використовуючи ту чи йншу модель динамйки OS, отримуються траекторйя повороту, вйдстань CM і вйдрйзок $AC = AM - CM$. Дйлянка повороту вйдйлена на рис. 2 жирною лйнею.
- 6) Знаходиться $S_Z = AC \cdot F_{WA}$.

При повороті вправо і влйво на один кут значення S вйдрйзняються. З огляду на положення МПЗС-72, для ситуацйй head-on і перетину курсів бралися значення S , що вйдовйдають змйни курсу вправо. Для ситуацйй обгону використовувалося бйльше зй значень S при повороті вправо і влйво. У табл. 2 наведені отримані за даною методикою без урахування динамйки OS значення $RB, TA, \Delta\theta, S_1 \div S_2$ при рйзних γ і F_{BA} , для $D = 1,0$ NM і $c_F = 8,0$.

Таблиця 2. Значення RB , TA , $\Delta\theta$, $S_1 \div S_2$ при різних γ і F_{BA}

$\gamma^\circ \setminus F_{BA}$	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	4,0
180	0°; 0°; 4°; 6,4÷3,4	0°; 0°; 6°; 6,7÷3,5	0°; 0°; 8°; 7,0÷3,8	0°; 0°; 12°; 7,5÷4,4	0°; 0°; 16°; 7,9÷4,9	0°; 0°; 32°; 9,1÷6,8
150	10°; -20°; 4°; 6,3÷3,2	13°; -17°; 6°; 6,7÷3,5	15°; -15°; 8°; 7,0÷3,8	18°; -12°; 12°; 7,5÷4,4	20°; -10°; 16°; 7,9÷4,8	24°; -6°; 32°; 8,7÷6,2
120	19°; -41°; 4°; 6,1÷3,1	25°; -35°; 3°; 6,6÷3,5	30°; -30°; 8°; 7,0÷3,8	37°; -23°; 12°; 7,8÷4,5	41°; -19°; 16°; 8,5÷5,1	49°; -11°; 32°; 9,7÷6,6
90	27°; -63°; 4°; 5,6÷2,9	37°; -53°; 6°; 6,2÷3,3	45°; -45°; 8°; 7,0÷3,8	56°; -34°; 12°; 8,8÷4,9	63°; -27°; 16°; 10,4÷5,9	76°; -14°; 32°; 13,8÷8,5
60	30°; -90°; 4°; 4,7÷2,5	46°; -74°; 6°; 5,4÷3,0	60°; -60°; 8°; 7,0÷3,8	79°; -41°; 12°; 12,8÷6,3	90°; -30°; 16°; 22,0÷9,6	106°; -14°; 65°; 13,2÷8,2
45	29°; -106°; 4°; 4,0÷2,3	48°; -87°; 6°; 4,8÷2,7	68°; -68°; 8°; 7,0÷3,8	93°; -42°; 19°; 16,9÷7,5	106°; -30°; 49°; 12,4÷6,7	123°; -12°; 32°; OS=SOV
30	24°; -126°; 4°; 3,7÷2,0	47°; -103°; 6°; 3,8÷2,3	75°; -75°; 8°; 7,0÷3,8	112°; -38°; 55°; 10,1÷5,4	126°; -24°; 16°; OS є SOV	141°; -9°; 32°; OS є SOV
15	14°; -151°; 4°; 2,8÷1,7	35°; -130°; 6°; 2,5÷1,8	83°; -83°; 8°; 7,0÷3,8	139°; -26°; 12°; OS є SOV	151°; -14°; 16°; OS є SOV	160°; -5°; 32°; OS є SOV
0	0°; -180°; 4°; 2,4÷1,5	0°; -180°; 6°; 1,6÷1,4	DBS не зменшується	180°; 0°; 12°; OS є SOV	180°; 0°; 16°; OS є SOV	180°; 0°; 32°; OS є SOV

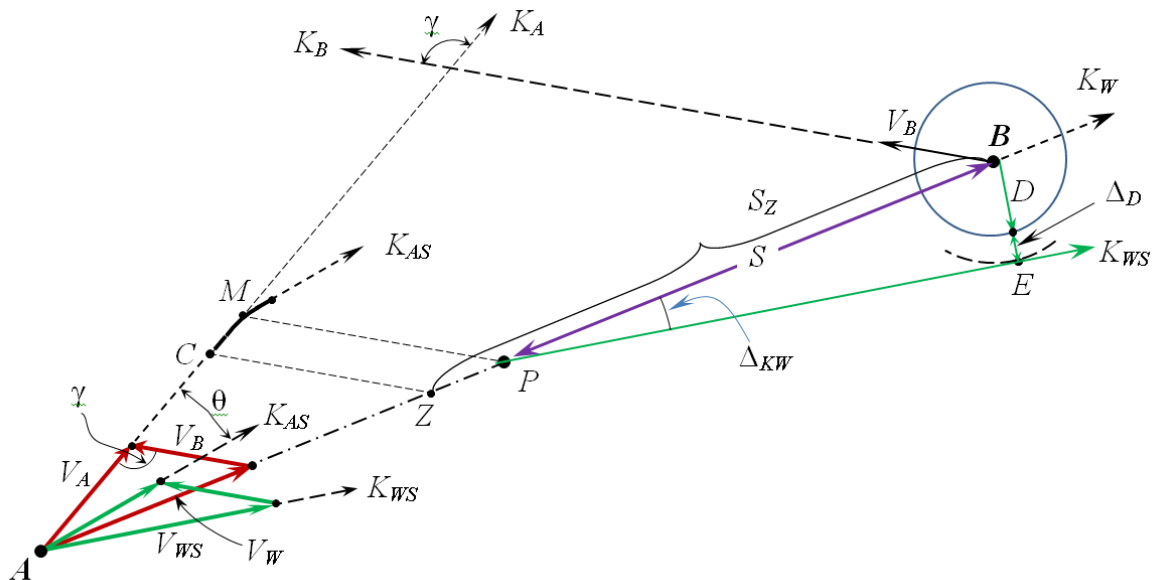


Рис. 2. До визначення початку зміни курсу на заданий кут

Зеленим кольором у таблиці показано дані обгону судном OS судна TS. Червоним кольором наведено дані ситуацій перетину курсу, в яких $90^\circ < q \leq 112,5^\circ$. Позначені жирним чорним кольором результати стосуються ситуацій, в яких OS не є GWV. Якщо при розрахунку табл. 2 взяти $D=0,5$ NM або $D=2,0$ NM, то

S_1, S_2 відповідно будуть в 1,3 рази менше і 1,4 рази більше.

Інтерпретація поняття «Безпечна» швидкість. Фактори, які слід враховувати при визначенні V , наведені в правилі 6. Знайти функцію V з аргументами, що є значеннями всіх

цих факторів, неможливо. Зазвичай ∇ вважається рівною швидкості, при якій гальмівний шлях судна у даних умовах дорівнює тій чи іншій лімітуючій дистанції. Для обмеженої видимості цю дистанцію поки рекомендується приймати рівною половині дальності видимості. Більшість капітанів вважають цю рекомендацію надто жорсткою, враховуючи використання на судах сучасного навігаційного обладнання та неможливості її дотримання на багатьох сучасних судах. Наприклад, як виконати цю вимогу швидкісному контейнеровозу, якщо його мінімальна швидкість руху вперед становить 7–9 вузлів; або супертанкеру, що має великий гальмівний шлях через колосальну інерцію, а також довжину 300–450 м, коли з містка в тумані не видно навіть півбака? Тому в дослідницьких роботах, зокрема [3, 20, 28], пропонуються інші значення ∇ . Найчастіше вважається можливим при обмеженій видимості приймати ∇ рівною половині дистанції виявлення малих суден по РЛС. Алгоритм знаходження ∇ в умовах хорошої і середньої видимості з урахуванням маневреності судна, ситуаційної обізнаності, щільності руху і географічних факторів наведено в роботі [3].

В статті [10] представлені результати аналізу архівних даних берегових AIS про розходження суден. Ця інформація та дані про видимість були зібрані в районі західного узбережжя Норвегії в період з 2014 по 2021 рік. Було встановлено, що судна в поганих умовах видимості, не знижували або незначно зменшували швидкість. Це пов'язано з тим, що на швидкість суден впливають не тільки фактори, що відносяться до безпеки, але і фактори, пов'язані з ефективністю і зниженням витрат, з необхідністю доставки вантажів точно в призначений час, і вказує на необхідність заходів для усунення таких порушень МПЗС-72. Також це свідчить про непогану, на думку капітанів, ситуаційну обізнаність при обмеженій видимості, що забезпечується судновими навігаційними засобами.

Оновлення МПЗС-72. Окремі з недоліків МПЗС-72 виникли, на наш погляд, через недооцінку існуючих принципів класифікації елементів (об'єктів, процесів тощо) при поділі

їх множини на окремі види (підмножини). Відзначимо з цих принципів тільки два: рівність вихідної множини елементів сумі виділених підмножин, і не перетин цих підмножин.

Правило 5 (Спостереження). Прийняття рішень щодо запобігання зіткненням ґрунтується на інформації про своє судно та його зовнішнє середовище. Ця інформація поділяється на таку, що вимагає частих оновлень (оперативну), та таку, що не вимагає такої необхідності. До другого виду, зокрема, належить картографічна та гідрометеорологічна інформація. Мають значення при розходженні і відомості про щільність руху в різних районах Світового океану, що отримуються від інформаційних служб, таких як Global Maritime Traffic Density Service (GMTDS) та ін. Акумулює і надає різного виду дані для розходження ECDIS. Також слід зазначити, що з плином часу візуальна та аудіальна інформація, яка використовується при вирішенні завдань навігації, поступово замінюється інформацією від технічних засобів. Правило 5 визначає вимоги до отримання оперативної інформації за допомогою зору, слуху та бортових датчиків. У світлі сказаного, доречним є обговорення доцільності поширення вимоги правила 5 на всю інформацію, що використовується при підготовці та прийнятті антиколізійних рішень.

Правило 6 (Безпечна швидкість). З позиції вимог до нормативно-правових документів параграф (b) цього правила виглядає надмірно деталізованим. У ньому наводяться обмеження радіолокаційного обладнання, які добре відомі всім судноводіям. В цьому правилі немає згадки про AIS та інші системи, що застосовуються для попередження зіткнень. Мабуть, можна це правило не розділяти на параграфи (a) і (b), а в список, наведений у параграфі (a), додати підлягаючі обліку «*обмеження радіолокаційного обладнання, AIS та інших використовуваних навігаційних засобів*».

Правило 7 (Небезпека зіткнення). При вирішенні завдань розходження на маневреному

планшеті, в системах ARPA, AIS, ECDIS ризик зіткнення виявляється за допомогою попередньо встановлених для DCPA і TCPA меж безпеки. Цей критерій і названі межі в МПЗЗС-72 не представлені. Наведений у правилі 7 критерій небезпеки цілі (помітно не змінюється її пеленг) в даний час застосовується тільки при візуальному спостереженні. Він не є достатнім, оскільки охоплює і судна на етапі E0. Крім того, при формалізації цього правила важливо, що для суден, які не маневрують у процесі зближення, значення DCPA є постійним, так що і межа безпечних значень DCPA може бути конкретним значенням. Зміна пеленгу зростає при збільшенні DCPA, швидкості зближення і зменшенні DBS. Тому критерій безпечних значень зміни пеленгу повинен враховувати ці фактори. На цій підставі, параграф (d) правила 7, можна представити, наприклад, у вигляді: *Небезпека зіткнення повинна вважатися існуючою, якщо і дистанція найкоротшого зближення і відстань між суднами виходять за межі безпеки, що відповідають умовам і обставинам плавання.*

Правила розділів II та III частини В МПЗЗС-72. В судноплаванні розрізняють видимість: погану, що не перевищує 2 NM (у Правилах вона названа обмеженою); середню – від 2 до 5 NM; і хорошу – більше 5 NM. Розділ II частини В МПЗЗС-72 містить правила 11-18 плавання для суден, що знаходяться на виду одне в одного в умовах хорошої і середньої видимості, а розділ III - правило 19 плавання суден при обмеженій видимості. При використанні інформації РЛС і AIS нерідко при середній, іноді і при хорошій видимості правила розділу II застосовуються, коли судна ще не бачать одне одного. Звідси випливає, що назва цього розділу виявляється неадекватною варіантам застосування на практиці його правил. З огляду на це, є сенс назвати розділ II - «*Плавання суден при середній і хорошій видимості*». Це позбавить від необхідності встановлення на виду, чи ні, судна одне у одного, що особливо важливо для автономних суден.

Правило 14 (Ситуація зближення суден, що йдуть прямо одне на одного). Перш за все значимо, що термін «курс» (CTW або COG) і поняття «майже протилежні курси» в цьому правилі бажано конкретизувати. Можна, наприклад, рекомендувати встановлювати тип ситуації за CTW, а при оцінці ризику зіткнення і виборі маневру розходження застосовувати COG. У Правилі 14 використовується дві умови виділення цієї ситуації: зближення на протилежних або майже протилежних курсах, і видимість один одного прямо по курсу. Еквівалентним цим умовам є збіг або майже збіг ліній курсів суден, і малість head-on сектора, в якому кожне з суден бачить інше. При такому визначенні цілі на протилежних до OS курсах, що не йдуть прямо на OS, виявляються не охоплені МПЗЗС-72. Для усунення цього недоліку параграф (b) з правила 14 бажано прибрати, і змінити назву цього Правила на «*Ситуація протилежних курсів*».

Правило 15 (Ситуація пересічення курсів). У цій ситуації при малих кутах пересічення ліній курсів можуть бути особливі випадки, коли на судні інше судно виявляється вже після перетину ним лінії шляху першого судна. У цих випадках у момент виявлення обидва судна розташовані одне в одного або на своїй правій, або на своїй лівій стороні. В результаті, при розділенні множини можливих зближень для встановлення GWV і SOV, ці, хоча і рідкісні, випадки виявляються не охопленими. На звичайних судах при їх появі досвід судноводія дозволяє визначити, яке з двох суден повинно поступитися дорогою. В алгоритмах для безпілотних суден для врахування цих випадків можна різницю між курсами OS і TS виразити в напівкруговому рахунку. Коли вона позитивна/негативна, OS буде GWV/SOV.

Правило 18 (Взаємні обов'язки суден). Відзначимо обговорювані в зв'язку з оновленням МПЗЗС-72 питання, що стосуються правила 18:

Чи слід для суден, що мають однаковий, але вищий при розходженні, ніж у суден з механічним двигуном, навігаційний статус, додати положення про координацію їх дій?

Поки це передбачено в правилі 12 лише для вітрильних суден.

Чи слід обумовлювати випадки, коли маневреність суден нижчого статусу набагато гірша, ніж у суден з вищим статусом (наприклад, у великотоннажних суден з механічним двигуном у порівнянні з невеликими вітрильними суднами).

Правило 19 (Плавання суден при обмеженій видимості). У цьому правилі бажано, крім РЛС, згадати AIS, включаючи її роль у більш точному, ніж за звуковими сигналами, визначенні навігаційного статусу суден. У цьому правилі використовується вираз «... не є тим, що обганяється», без уточнення, яке судно при обмеженій видимості вважається таким. Забезпечувана правилом 19 координація дій суден є менш жорсткою, ніж для суден, що бачать одне одного. Воно визначає тільки, чого слід уникати, а не що робити. Відмінність правових режимів координації при зміні видимості ускладнює вибір дій суден, особливо, коли туман у вигляді плям або смуг, і доводиться застосовувати то Правила 12-18, то Правило 19. Необхідність використання неоднакових режимів координації при вирішенні одного завдання в різних умовах зазвичай пояснюється відмінностями в них рівнів ситуаційної обізнаності. Застосування радіолокаційного обладнання, AIS та ECDIS істотно зменшило таку відмінність за неоднакової видимості. Це свідчить про можливість використання правового режиму, представленого в розділі II частині В МПЗЗС-72 для суден за обмеженої видимості. Обговорення такого варіанту при оновленні Правил, на нашу думку, є доречним.

Врахування особливостей MASS. Доповнення до МПЗЗС-72 для автономних суден спрямовані на заміну людського фактора алгоритмами, що вимагає чітких однозначних визначень термінів, обов'язкового використання Е-навігації, автоматичної ідентифікації суден та реалізації їхніх дій, а також застосування нових сигналів маневрування. ІМО було виділено чотири ступені автономності MASS: *Automated processes and decision*

support (судно з автоматизованими процесами та підтримкою прийняття рішень, на якому знаходяться судноводії); *Automatic* (судно, здатне виконувати певні завдання автоматично з судноводіями на борту, але потрібне їх втручання для виконання складних завдань); *Constrained autonomous* (судно, кероване людьми дистанційно з берега або іншого судна, здатне виконувати ряд завдань в автономному режимі); *Fully autonomous* (повністю автономне судно, здатне самостійно приймати рішення і виконувати необхідні дії без участі людини).

На основі проведеного ІМО дослідження (RSE - Regulatory Scoping Exercise), результати якого представлені в [35, 36], було зроблено висновок про необхідність поправок до пов'язаних з MASS правил МПЗЗС-72. У травні 2023 року ІМО визнала [37] доцільність виконання роботи з формулювання цих поправок до МПЗЗС-72 тільки після розробки Кодексу MASS. Цей кодекс стане документом, що регулюватиме експлуатацію морських автономних надводних суден. Його розробка передбачає визначення відповідальності операторів, вимог до систем управління та взаємодії автономних суден зі звичайними й автономними суднами. План дій щодо створення Кодексу MASS виглядає наступним чином:

- Розробка та прийняття необов'язкового Кодексу MASS (до середини 2026 року). Положення цього варіанту кодексу мають рекомендаційний характер.
- Період добровільного виконання цих рекомендацій та аналіз їхнього застосування (до 2028 року).
- Визначення обов'язкового Кодексу MASS та розгляд доповнень до МПЗЗС-72 (не пізніше 1 липня 2030 року). Правові положення цього кодексу будуть загальнообов'язковими на законодавчому рівні.
- Набрання чинності кодексом (1 січня 2032 року).

Серед обговорюваних питань, пов'язаних з розробкою доповнень до МПЗЗС-72, для врахування особливостей MASS, відзначимо наступні:

- Визначення осіб, відповідальних за наслідки, які можуть виникнути через невиконання або нехтування МПЗЗС. Введення ролі «віддаленого оператора» та «керівника MASS» і відповідальності, аналогічної до відповідальності капітана та вахтового помічника (Правило 2).
- Введення термінів для MASS та операторів на березі (Правило 3).
- Використання цифрового обміну даними (Е-Навігація) для повідомлення іншим суднам інформації про план розходження, час початку його реалізації та узгодження маневрів розходження (Правила 7, 8, 9, 10, 19).
- Відображення нових датчиків інформації MASS (лідар, система комп'ютерного зору тощо), прирівнювання інформації систем комп'ютерного зору до візуальних даних (Правило 5).
- Використання, у тому числі в обмежених водах, завчасних, чітких автоматичних дій для розходження, та визначення вимог до них. Необхідність максимально точно імітувати плановані маневри (Правила 8, 16).
- Ідентифікація MASS. Присвоювання MASS, чи ні, окремого навігаційного статусу. Обов'язковість MASS автоматично передавати свій статус чи автономний режим іншим суднам (Правила 18, 19).
- Використання цифрових сигналів попередження замість звукових в умовах обмеженої видимості (Правило 19, 35).

Пропозиції щодо врахування в МПЗЗС-72 особливостей автономних суден представлені в статтях, наведених вище при аналізі публікацій, Коментарі ІМО щодо запропонованих доповнень до Правил навігації для автономних суден та вдосконалення Правил плавання і управління суднами представлені в [38, 39].

Основними труднощами при адаптації МПЗЗС-72 до повністю автономних суден є: забезпечення рівня ситуаційної обізнаності, що дорівнює або перевищує такий рівень у вахтового помічника на звичайних суднах, відображення з достатньою повнотою хорошої морської практики в алгоритмах, алгоритмізація відповідної різним обставинам і умовам

плавання (у всьому діапазоні їх зміни) інтерпретації МПЗЗС.

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

На основі проведеного аналізу визначено доцільність встановлювати межі етапів зближення суден тільки в лінійній мірі, щоб усунути відмінність в отриманих за такими межами в часовій і лінійній мірі результатах вирішення задач розходження.

Представлено ознаки МПЗЗС-72 як нормативно-правового документа, і чітко розділено завдання оновлення цих правил і поліпшення їх інтерпретації.

Визначено параметри для конкретизації стосовно експлуатаційних умов найбільш важливих понять МПЗЗС-72.

Запропоновано для використання при інтерпретації поняття «безпечна відстань» алгоритм розрахунку розмірів домену небезпеки, що базується на результатах статистичного аналізу та враховує вимогу уникати перетину курсу іншого судна по носу.

Запропоновано для застосування при інтерпретації понять «своєчасна» дія, «коли стає очевидним» новий спосіб для визначення етапу своєчасних дій GWV, вільний від недоліків, властивих існуючим методам.

В результаті критичного аналізу Частини В «Правила плавання і маневрування» МПЗЗС-72 було виявлено ряд недоліків у положеннях цих Правил. Розроблено пропозиції щодо їх усунення.

Результати роботи можуть бути використані при приведенні МПЗЗС-72 до рівня сучасності та при розробці алгоритмів для відповідної умовам і обставинам плавання інтерпретації цих Правил.

REFERENCES

- [1] Ahmed Y.A., Hannan M.A., Oraby M.Y., Maimun A. COLREGs Compliant Fuzzy-Based Collision Avoidance System for Multiple Ship Encounters. *J. Mar. Sci. Eng.* 9, 2021. pp. 790-804. doi.org/10.3390/jmse9080790.

- [2] Akdağ M., Solnshir P., Johansen T.A. Collaborative collision avoidance for Maritime Autonomous Surface Ships: A Review. *Ocean Engineering* 250, 110920, 2022. pp. 1-17. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110920.
- [3] Alptekin B., Kahraman N. Fuzzy Logic-Based Safe Speed Calculation Method for Maritime Autonomous Surface Ship. 2024 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). 2024. doi:10.1109/HORA61326.2024.10550736.
- [4] Bakdi A. and Vanem E. Fullest MIT33C Evaluation Using Fuzzy Logic for Collaborative Decision-Making Analysis of Autonomous Ships in Complex Situations, in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 10, 2022. pp. 18433-18445, doi: 10.1109/TITS.2022.3151826.
- [5] Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. P. 202.
- [6] Chauvin C., Lardjane S. Decision making and strategies in an interaction situation: Collision avoidance at sea. *Transportation Research Part F* 11. 2008. pp. 259–269. doi:10.1016/j.trf.2008.01.001.
- [7] Demirel E., Bayer D. The Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 9, No. 1, 2015. pp. 17-22, doi:10.12716/1001.09.01.02.
- [8] Dreyer L.O. Safe Speed for Maritime Autonomous Surface Ships – The Use of Automatic Identification System Data. *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference*. 2021. pp. 1126-1133. doi:10.3850/978-981-18-2016-8 200-cd.
- [9] Fang M.C., Tsai K.Y., Fang C.C. A Simplified Simulation Model of Ship Navigation for Safety and Collision Avoidance in Heavy Traffic Areas. *J. Navig.* 71, 2017, pp. 837–860.
- [10] Hagen I.B., Knutsen K.S., Johansen T.A., Brekke E.F. Exploration of COLREG-relevant parameters from historical AIS-data. *The Journal of Navigation*, 76:6. 2023. pp. 731–749. doi:10.1017/S0373463324000109
- [11] Hagen I.B., Vassbotn O., Skogvold M., Johansen T.A., Brekke E.F. Safety and COLREG evaluation for marine collision avoidance algorithms. *Ocean Engineering* 288. 2023. pp. 1–13. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115991.
- [12] Hannaford E., Maes P., Van Hassel E. Autonomous ships and the collision avoidance regulations: a licensed deck officer survey. *WMU J Marit Affairs* 21, 2022. pp. 233–266. doi.org/10.1007/s13437-022-00269-z.
- [13] Hansen P.N., Papageorgiou D., Galeazzi R, Stochastic COLREGs Evaluation for Safe Navigation under Uncertainty. License: CC BY-NC-ND 4.0. arXiv:2402.05662v1 [eess.SY] 08. 2024. pp. 1-14.
- [14] Hu L., Hu H, Naeem W., Wang Z. A review on COLREGs-compliant navigation of autonomous surface vehicles: From traditional to learning-based approaches, *Journal of Automation and Intelligence* 1. 2022. pp. 1–11. doi.org/10.1016/j.jai.2022.100003.
- [15] Huang, Y., Chen, L., Chen, P., Negenborn R. R., van Gelder P. H. A. J. M. Ship collision avoidance methods: State-of-the-art. *Safety Science*, 121, 2020. pp. 451–473. doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.018.
- [16] Hwang, T., Youn I.H., Collision Risk Situation Clustering to Design Collision Avoidance Algorithms for Maritime Autonomous Surface Ships. *J. Mar. Sci. Eng.* 10, 2022. 1381. doi.org/10.3390/jmse10101381

- [17] Hyo-Gon Kim, Sung-Jo Yun, Young-Ho Choi, Jae-Kwan Ryu, Jin-Ho Suh. Collision Avoidance Algorithm Based on COLREGs for Unmanned Surface Vehicle. *J. Mar. Sci. Eng.* 9(8), 2021. 863. doi.org/10.3390/jmse9080863.
- [18] Jo M., Choi W., Lim M., Seo S., Jiyeon Shin J. A study on improving the international regulations for preventing collisions at sea (COLREG) for the introduction of maritime autonomous surface ships (MASS), *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 8:4, 2428006, 2024. pp. 1–9. doi:10.1080/25725084.2024.2428006
- [19] Kim J.K., Park D.J. Determining the Proper Times and Sufficient Actions for the Collision Avoidance of Navigator-Centered Ships in the Open Sea Using Artificial Neural Networks. *J. Mar. Sci. Eng.* 2023, 11, 1384. doi.org/10.3390/jmse11071384
- [20] Kalinichenko G., Kalinichenko Y. Calculation of safe speed and minimally admissible distance of closing of ships during radar information usage. *Mechanical engineering. Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions*. 2018. pp. 58-60.
- [21] Miyoshi T., Fujimoto S., Rooks M. Study of Principles in COLREGs and Interpretations and Amendments of COLREGs for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). *Transactions of Navigation*. Vol. 6, No.1. 2021. pp. 11–18. doi:10.18949/jintransnavi.6.1_11.
- [22] Namgung H., Kim J.S. Collision Risk Inference System for MASSs Using COLREGs Rules Compliant Collision Avoidance. *IEEE Access*. VOLUME 9. 2021, pp. 7823–7835. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3049238.
- [23] Perera L.P., Batalden B-M.. Possible COLREGs Failures under Digital Helmsman of Autonomous Ships. In *Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS '19, Marseille, France*. 2019.
- [24] Pietrzykowski Z., Malujda R. Applicability of fuzzy logic to the COLREG rules interpretation. *Scientific Journals. Maritime University of Szczecin*. 30(102). 2012. pp. 109–114.
- [25] Porathe T. Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and the COLREGS: Do We Need Quantified Rules Or Is “the Ordinary Practice of Seamen” Specific Enough? *TransNav. the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Volume 13. Number 3. 2019. pp. 511-517. doi: 10.12716/1001.13.03.04
- [26] Przywarty M., Boć R., Brcko T., Perković M. Factors Influencing the Action Point of the Collision Avoidance Manoeuvre. *Appl. Sci.* 11, 7299. 2021. doi.org/ 10.3390/app11167299.
- [27] Rizwan M.A., Siddiqui A.A. The Role of AI in Enhancing Safety Standards in Autonomous Shipping: A Review of Collision Avoidance Systems. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends* Volume 11, Issue 1. 2025. pp. 665-671.
- [28] Rutkowski G. Determining Ship's Safe Speed and Best Possible Speed for Sea Voyage Legs. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 10, No. 3, 2016, pp. 425-430. doi:10.12716/1001.10.03.07.
- [29] Stępień B. Towards a New Horizon: 1972 COLREG in the Era of Autonomous Ships, *Ocean Development & International Law*, 55:1-2, 2024, pp. 170-184, doi:10.1080/00908320.2024.2359908.
- [30] Szlaczynski R, Szlaczynska J. A method of determining and visualizing safe motion parameters of a ship navigating in restricted waters. *Ocean Engineering*. Vol. 129, 2017. pp. 363-373. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.11.044.

- [31] Vagale A., Oucheikh R., Bye R.T., Osen O.L., Fossen T.I. Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles I: a review. *Journal of Marine Science and Technology*. 2021. pp. 1-15. doi.org/10.1007/s00773-020-00787-6.
- [32] Vagushchenko L.L., Vagushchenko A.L. Prevention of collision at excessive approach. *NU OMA. Shipping & Navigation*. No 27, 2017. pp. 53-61. doi: 10.31653/2306-5761.27.2017.53-60.
- [33] Vujičić S., Mohović Đ., Mohović R.: A Model of Determining the Closest Point of Approach Between Ships on the Open Sea. *Traffic&Transportation*, Vol. 29, No. 2, 2017. pp. 225-232.
- [34] Wróbel K., Gil M., Huang Y., Wawruch R. The Vagueness of COLREG versus Collision Avoidance Techniques—A Discussion on the Current State and Future Challenges Concerning the Operation of Autonomous Ships. *Sustainability*. 14, 16516. 2022. pp. 1–20. doi.org/10.3390/su142416516.
- [35] MSC 102/5/3. Summary of results of the second step and conclusion of the RSE for COLREGs concerning maritime autonomous surface ships (MASS). International Maritime Organization (IMO). 2020.
- [36] MSC.1/Circ.1638. Results of the regulatory scoping exercise (RSE) on maritime autonomous surface ships (MASS). International Maritime Organization (IMO). 2021.
- [37] MSC 107/22. Report of the maritime safety committee on 107th session. International Maritime Organization (IMO). 2023.
- [38] MSC 108/4/11. Comments on the proposal for a regulatory framework for maritime autonomous surface ships (MASS). International Maritime Organization (IMO). 2024.
- [39] MSC 108/4/7. Steering and sailing rules: Comments on proposed amendments. International Maritime Organization (IMO). 2024.