

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИБОРУ МАНЕВРУ СУДНА ЗГІДНО З ВИМОГАМИ МПЗЗС-72

Бень А. П., к.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: a_ben@i.ua, ORCID: 0000-0002-9029-3489;

Матейчук В. М., Ph.D., доцент кафедри управління судном Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: mateichykv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9328-0651.

Стаття присвячена питанням застосування Міжнародних правил запобігання зіткнень суден (МПЗЗС-72) у системах підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія. Проведено аналіз досліджень у галузі створення формальних моделей МПЗЗС-72 та їх практичного застосування в системах управління рухом суден. Виявлено, що на поточний момент часу перспективним напрямом наукових досліджень є створення методів оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій згідно з вимогами МПЗЗС-72, адаптованих до застосування в СППР судноводія. Доведено, що важливим аспектом успішного застосування МПЗЗС-72 у судноводінні є не лише створення їх адекватних формальних моделей, адаптованих до застосування СППР судноводія та автоматизованих системах керування рухом суден, а й розвиток тренажерних систем підготовки морських фахівців з метою підвищення їх компетентності в галузі практичних навичок застосування правил під час несення вахти. Розроблено класифікацію навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден згідно з вимогами МПЗЗС-72 та метод оцінки рівня їх небезпеки відповідно до параметрів руху. Здійснено практичну реалізацію запропонованої класифікації та методу оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій у СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг змін навігаційних ситуацій. Пріоритетним напрямом практичного застосування СППР, що створена, є забезпечення тренажерної підготовки морських фахівців з метою отримання практичних навичок застосування МПЗЗС-72 на навігаційному містку. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка окремого програмного модуля СППР для ведення статистичного аналізу успішності тренажерної підготовки фахівців, які проходять її на навігаційному тренажері, в розрізі визначення складнощів застосування окремих правил МПЗЗС-72 для різних типів навігаційних ситуацій та умов плавання.

Ключові слова: судноводіння; системи підтримки прийняття рішень; МПЗЗС-72; навігаційна ситуація; управління судном; навігаційний тренажер; тренажерна підготовка; безпека мореплавства.

DOI: 10.33815/2313-4763.2025.1.30.133-144

Вступ. МПЗЗС-72 є основоположним нормативним документом, який регламентує процеси розходження суден, тому питанням формалізації правил присвячено досить велику кількість робіт дослідників, що працюють у галузі інтелектуальних та автоматизованих систем управління рухом суден [1–10]. Слід зазначити, що інтенсивне впровадження досягнень сучасних інформаційних технологій у галузі судноводіння, яке відбувається протягом останніх двох десятиліть, привертає увагу дослідників із різних країн світу до створення новітніх автоматизованих та інтелектуальних систем керування рухом суден, а також систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія [11–17]. Розробка таких систем, зі свого боку, обумовлює потребу в створенні відповідних математичних моделей, методів, апаратних та програмних засобів, які забезпечуватимуть імплементацію вимог МПЗЗС-72 на практиці.

З огляду на вищезазначене, а також, беручи до уваги інтенсифікацію застосування засобів обробки навігаційної інформації в галузі судноводіння, виникає нагальна потреба розробки методів класифікації навігаційних ситуацій, та формальних моделей МПЗЗС-72, придатних до застосування в інтелектуальних системах керування рухом суден.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням формалізації вимог правил МПЗЗС-72 з метою їх подальшого застосування в інтелектуальних навігаційних

інформаційних системах, системах підтримки прийняття рішень та автоматизованих системах управління рухом суден, у тому числі автономних, присвячена низка робіт закордонних та вітчизняних дослідників, в яких розглянуто різні аспекти практичного застосування МПЗЗС-72 [1–9], та створення відповідних систем управління [11–20].

Так, у роботі [1] описано підходи, які слід враховувати при розробці алгоритмів, що покладено в основу функціонування СППР судноводія для прийняття рішень у ситуаціях розходження суден. Зазначені СППР можуть бути застосовані як безпосередньо на борту судна, так і для процесів дистанційного керування суднами, а також для автономних систем керування.

У статті [2] запропонована дворівнева гібридна система координації руху суден для запобігання зіткнень двох або трьох суден у ситуаціях їхнього небезпечного зближення. В основу роботи системи покладено формальні моделі координації руху суден побудовані відповідно до дотримання вимог МПЗЗС-72. Також у статті наведено приклад практичної реалізації створеної системи.

У статті [3] представлено ефективний алгоритм уникнення зіткнень, який використовує порогові функції керування, засновані на застосуванні маневрених характеристик суден у поєднанні з вимогами МПЗЗС-72. На відміну від традиційних методів управління рухом судна, яким бракує явного врахування технічних можливостей здійснення судном повороту та зміни напрямку руху з метою уникнення зіткнення, автори пропонують дві функції керування, що розраховуються на основі параметрів лівих та правих кіл повороту. Ці функції встановлюють умови безпеки руху суден шляхом визначення дистанцій між суднами та центрами кіл їх повороту, що, зі свого боку, дозволяє ефективно визначити, як напрямки руху для ухилення від зіткнення, так і можливості повороту власного судна.

У роботі [4] проведені дослідження в напрямку визначення прогалін у розумінні та застосуванні МПЗЗС-72 серед морських студентів та досвідчених офіцерів. Автори проаналізували основні причини зіткнень суден, та з'ясували, що домінуючими факторами виникнення морських аварій є людський фактор і неправильне тлумачення правил. За допомогою анкетування цільових груп, було перевірено рівень їх розуміння правил, та виявлено, що недоліки у знаннях найчастіше виникають через неправильну інтерпретацію правил та їх помилкове застосування. За результатами дослідження визначено, що професійну компетентність навігаційних офіцерів можна покращити шляхом застосування відповідних методів навчання, які включають використання реальних сценаріїв, електронного навчання та мають на меті допомогти студентам не лише запам'ятати правила, а й зрозуміти їх вірне застосування на практиці.

У статті [5] пропонується застосування у системах уникнення зіткнень суден нового інтелектуального алгоритму виявлення небезпечних навігаційних ситуацій, заснованого на застосуванні нечіткої логіки у поєднанні з правилами МПЗЗС-72. Основна увага приділяється сценаріям, пов'язаним із розходженням кількох суден, оскільки їм притаманний істотно вищий ризик виникнення зіткнень. Система оцінює рівень ризиків зіткнень для кожного судна, використовуючи в якості вихідних даних масштабовану дистанцію до найближчої точки зближення та час до найближчої точки зближення. На основі розрахованого рівня ризику зіткнення, кута зустрічі та відносного кута руху кожного судна, визначеного відносно інших, система ухвалює рішення щодо уникнення зіткнень.

Робота [6] присвячена вирішенню проблеми формалізації МПЗЗС-72 у технічних системах. Автори пропонують застосовувати онтологічну модель поведінки суден, засновану на МПЗЗС-72, використовуючи методи графів знань. У такому випадку судно розглядається як просторово-часовий об'єкт, а його поведінка описується як зміни окремих параметрів руху у часових та просторових масштабах.

У роботі [7] досліджуються актуальні питання та потенційні виклики застосування МПЗЗС-72 у контексті розвитку автономних суден. Автори аналізують чинні правила, які були розроблені для суден, керованих людиною, і розглядають їхню відповідність потребам та можливостям практичного застосування для повністю автономних систем.

Стаття [8] присвячена вивченню проблем безпеки на морі, пов'язаних із ризиками зіткнень суден та ролі МПЗЗС-72 у їх вирішенні. Автори зазначають, що, попри свою важливість як основного міжнародного регуляторного документа, формулювання МПЗЗС-72 не завжди є повністю зрозумілими для судноводіїв, що часто призводить до виникнення непорозумінь та двозначностей трактувань правил. У статті підкреслюється, що, хоча і наразі ведеться багато дискусій щодо застосування МПЗЗС-72, внесення істотних змін у їх чинну редакцію вбачається малоімовірним. Тому, замість перероблення правил, пропонується зосередитись на вдосконаленні методів, які забезпечать ефективніше використання правил на практиці, перш за все у сферах освіти та тренажерної підготовки морських фахівців.

У роботі [9] досліджуються особливості застосування МПЗЗС-72 в СППР судноводія. Автори зазначають, що СППР, які застосовуються для навігації морських суден, повинні забезпечувати коректну реалізацію дотримання вимог МПЗЗС-72 в процесах керування рухом. У статті запропоновано нову методiku визначення безпечної зони навколо власного судна, засновану на застосуванні просторово-часової логіки.

За підсумками проведеного аналізу літературних джерел із проблеми, що досліджується, [1–20], можна зробити висновок, що важливими аспектами успішного застосування МПЗЗС-72 в судноводінні є не лише створення їх адекватних формальних моделей, адаптованих до застосування у СППР судноводія та автоматизованих системах керування рухом суден, а й розвиток тренажерних систем підготовки морських фахівців із метою підвищення їх компетентності в галузі практичних навичок застосування правил під час несення вахти на навігаційному містку.

Таким чином, створення методів оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій згідно з вимогами МПЗЗС-72 та їх подальше практичне використання в СППР судноводія, пріоритетним напрямом застосування якої буде тренажерна підготовка морських фахівців, являє собою актуальну науково-практичну задачу сьогодення, і є предметом даного дослідження.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є побудова класифікації навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден згідно з вимогами МПЗЗС-72, та розробка методу оцінки рівня їх небезпеки залежно від наявних параметрів руху суден, які виконують маневр розходження, адаптованої до застосування в СППР судноводія.

Об'єкт дослідження: процес застосування правил МПЗЗС-72 в СППР судноводія.

Предмет дослідження: метод оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій у СППР судноводія та прийняття рішень з управління рухом судна відповідно до вимог МПЗЗС-72.

Досягнення поставленої мети дослідження передбачає вирішення наступних задач:

1. Розробити класифікацію навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден згідно з вимогами МПЗЗС-72.

2. Розробити метод оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій розходження суден згідно з правилами МПЗЗС-72 відповідно до параметрів їх руху.

3. Здійснити практичну реалізацію запропонованої класифікації та методу оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій у СППР судноводія, яка інтегрована з навігаційним обладнанням тренажера «Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000».

Виклад основного матеріалу. Важливість правил, як ключового нормативного документа в судноводінні, обумовлює необхідність розробки методу оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій згідно з вимогами МПЗЗС-72, придатного для використання в СППР судноводія. Із метою створення зазначеного методу, спочатку, відповідно до першої задачі дослідження, було розроблено класифікацію базових навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден.

Перш за все, слід зазначити, що структурно МПЗЗС-72 складаються з шести частин, які містять 41 правило, і чотирьох додатків [10], (рис. 1).

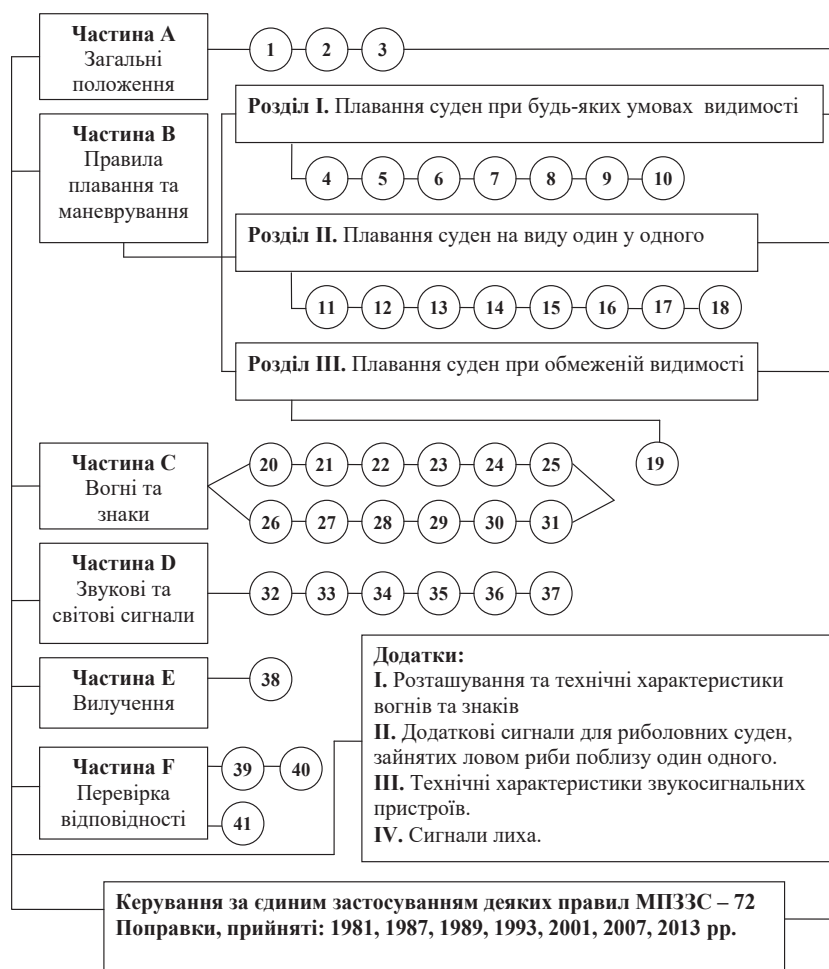


Рисунок 1 – Структура правил МПЗЗС-72

З точки зору розробки класифікації навігаційних ситуацій за рівнем небезпечності руху суден, для СППР судноводія найбільший інтерес представляють правила, які містяться у частини В – «Правила плавання і маневрування» (за винятком правил 4,5 і 11, що визначають умови застосування інших правил з частини В). Відомості, які містяться в частинах А, С, D, Е, F правил носять переважно декларативний характер і не є предметом розгляду даної статті.

МПЗЗС-72 містить дві незалежні системи координації взаємодіючих суден: для умов доброї й обмеженої видимості відповідно. В умовах доброї видимості МПЗЗС-72 передбачені взаємні обов'язки суден залежно від їх початкової відносної позиції, району плавання, можливостей маневрування, які визначаються типом суден, їх конструктивними особливостями або технічним станом. За умов доброї видимості застосовуються правила Розділу 1 та Розділу 2 частини В, слід зазначити, що з точки зору реалізації функцій СППР необхідно здійснювати постійний контроль дотримання правил 6–8 Розділу 1 та 13–18 Розділу 2. Розділ 2 частини В регламентує процеси розходження та взаємодії власного судна з іншими, тому його аналізу слід приділити особливу увагу.

Проведений аналіз частини В правил МПЗЗС-72, дозволив визначити базові навігаційні ситуації, що виникають у процесі розходження суден, а також побудувати їх класифікацію відповідно до дій судноводія та правил МПЗЗС-72, що застосовуються у кожному випадку. Встановлено, що базовими навігаційними ситуаціями, які виникають при розходженні суден залежно від параметрів їх руху та взаємного розташування є наступні вісім типів ситуацій:

1. *Зустрічний курс*: два судна прямують один на одного або майже на зустрічних курсах.

Ознаки: курси майже протилежні (різниця $\approx 180^\circ \pm 10^\circ$).

Дії згідно МПЗЗС-72: Обидва судна повинні відвернути праворуч, щоб розминутися лівими бортами (Правило 14).

2. *Перетин курсів:* Судна прямують на перехресних курсах, і траєкторії можуть перетнутися.

Ознаки: один з капітанів бачить інше судно на правому траверзі, різниця курсів складає від 45° до 135° .

Дії згідно МПЗЗС-72: судно, яке бачить інше справа, повинне дати дорогу (Правило 15), судно, що має перевагу, повинно зберігати курс і швидкість (Правило 17).

3. *Обгін:* одне судно наздоганяє інше зі швидкістю, що перевищує його хід.

Ознаки: обгін відбувається в межах $22,5^\circ$ позаду траверзу судна, яке обганяють.

Дії згідно МПЗЗС-72: судно, що обганяє, повинне триматися осторонь і забезпечити безпечне розходження (Правило 13), судно, яке обганяють, не повинне змінювати курс.

4. *Паралельні курси:* судна йдуть однаковим курсом і напрямком, але на різних дистанціях, і ризик зіткнення мінімальний.

Ознаки: рух суден паралельними курсами.

Дії згідно МПЗЗС-72: не вимагає дій, але навігаційна ситуація потребує постійного моніторингу (Правило 5).

5. *Небезпечне зближення:* Судна зближуються до мінімально допустимої дистанції, незалежно від курсу.

Ознаки: мінімальна дистанція зближення менше ніж 1 милі (CPA < 1 милі).

Дії згідно МПЗЗС-72: потребує негайного реагування відповідно до ситуації, що склалася (Правило 8).

6. *Ускладнені умови видимості:* туман, дощ, ніч, сильний вітер, імла, погана видимість.

Ознаки: обмеження зорового контролю руху.

Дії згідно МПЗЗС-72: зниження швидкості руху, ведення радіолокаційного спостереження, подавання звукових сигналів (Правила 19, 35).

7. *Обмежений простір для маневрування:* маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях.

Ознаки: русло річки, канал, протока, порт.

Дії згідно МПЗЗС-72: судна, що не можуть маневрувати вільно (наприклад, великі танкери), мають пріоритет (Правило 9, Правило 10, Правило 34).

8. *Аварійні ситуації:* відмова суднових систем та механізмів.

Ознаки: Вихід із ладу двигуна, стерна, втрата ходу.

Дії згідно МПЗЗС-72: рішення приймаються відповідно до пріоритету безпеки і сповіщення інших суден (AIS, сигнали, Правило 36, Правило 37).

Узагальнена класифікація навігаційних ситуацій та дій судоводія і правил МПЗЗС-72, що відповідають їм, наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Класифікація основних навігаційних ситуацій

№	Тип ситуації	Ключові дії	Правила МПЗЗС-72
1	Зустрічний курс	Обидва судна відвертають праворуч	14
2	Перетин курсів	Судно, яке бачить інше праворуч, поступається	15, 16, 17
3	Обгін	Судно, що обганяє – поступається	13
4	Паралельний курс	Моніторинг навігаційної ситуації	5
5	Небезпечне зближення	Зміна курсу/швидкості	8, 16
6	Погана видимість	Сповільнення руху, радар, сигнали	19, 35
7	Обмежене маневрування	Пріоритет суднам, обмеженим у маневрі	9, 10, 34
8	Аварійна ситуація	Уникнення зіткнення, сповіщення	36,37

Слід окремо зазначити, що з позицій аналізу рівня небезпеки навігаційної ситуації в СППР судноводія стосовно можливого зіткнення суден, ключовим є Правило 7 – «Небезпека зіткнення». З метою визначення дій судноводія, спрямованих на уникнення зіткнення, для кожного судна, за яким ведеться спостереження, рекомендується проводити аналіз траєкторії руху за шістьма ключовими параметрами: пеленг та дистанція до цілі, істинний курс та швидкість цілі, дистанція найкоротшого зближення (CPA) та час до найкоротшого зближення (TCPA).

Проведений аналіз низки робіт різних авторів [16–20], дозволив виявити, що на поточний момент часу не існує єдиної класифікації рівня небезпеки навігаційних ситуацій стосовно зіткнення суден залежно від параметрів їх руху та взаємного розташування.

З метою вирішення вказаної проблеми, для визначення рівня небезпеки навігаційних ситуацій, була розроблена класифікація суден цілей за небезпекою зіткнення (табл. 2), яка також може бути додатково відкоригована з урахуванням типів суден цілей.

Перевагою пропонованого підходу у порівнянні з вже чинними є можливість одночасного врахування при оцінці навігаційної ситуації CPA, TCPA, а також типів суден та їх геометричних розмірів, що дозволяє здійснити більш адекватну оцінку рівнів ризиків, які виникають у процесі розходження та маневрування.

Слід зазначити, що важливим практичним напрямом застосування СППР судноводія є їх використання в навчальному процесі морських навчальних закладів під час проведення тренажерної підготовки курсантів – майбутніх судноводіїв. У процесі проходження вищезазначеної підготовки курсанти повинні не лише продемонструвати знання МПЗЗС-72, а й, що найважливіше, навички їх коректного та своєчасного застосування на практиці – в процесі управління рухом судна в складних навігаційних ситуаціях – маневруванні та розходженні з іншими суднами із використанням сертифікованого тренажерного обладнання.

Таблиця 2 – Класифікація суден цілей за небезпекою зіткнення

CPA, милі	TCPA, хвилини				
	<5	5–10	10–15	15–20	>20
<0.5	дуже значна	дуже значна	дуже значна	дуже значна	значна
0.5–1	дуже значна	дуже значна	значна	значна	значна
1–1.5	дуже значна	значна	значна	значна	незначна
1.5–2	значна	значна	незначна	незначна	незначна
>2	значна	незначна	незначна	незначна	незначна

За допомогою мови програмування C#, автори розробили програмне забезпечення СППР судноводія, яке підтримує інформаційний обмін зі штатним обладнанням навігаційного тренажера від компанії Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000» за допомогою інтерфейсу Serial Com Port. Навігаційна інформація з тренажерного обладнання Navi-Trainer Professional 5000 надходить до СППР судноводія у вигляді повідомлень NMEA. NMEA – це спеціальний протокол для підтримки взаємодії морського навігаційного обладнання від різних виробників, розроблений Національною асоціацією морської електроніки. Повідомлення NMEA містить заголовок, набір даних і поле контрольної суми для перевірки точності переданої інформації. Для функціонування програмного забезпечення СППР важливими є наступні показники навігаційного обладнання: Log, Gyro, Aps. Log, Gyro – для визначення вектора руху власного судна. Aps – для визначення пеленга та дистанції суден цілей, їх параметрів руху.

Програмне забезпечення СППР, що створено, надає можливість налаштування критеріїв визначення ризику зіткнення шляхом введення параметрів безпечної дистанції та часу розходження з суднами цілями. Здійснюється візуалізація параметрів руху власного судна, та параметрів руху суден цілей: пеленги, дистанції до інших суден, їх швидкості та курси, дистанції найкоротшого зближення (CPA), час до найкоротшого зближення (TCPA).

Обмін інформацією з тренажерним обладнанням дозволяє щосекунди отримувати актуальну інформацію параметрів руху всіх суден у зоні спостереження. Таким чином здійснюється оцінка ризику зіткнення з усіма суднами цілями, у тому числі з тими, що маневрують. На підставі створеної класифікації навігаційних ситуацій та з урахуванням вимог правил розходження суден, СППР судноводія в реальному часі оцінює ризики зіткнення з суднами цілями, що визначаються відповідно до навігаційної ситуації, яка наявна на поточний момент часу. Всі наявні судна цілі класифікуються згідно трьом категоріям: небезпечна ціль, потенційно небезпечна ціль, ціль, яка не представляє загрози. Візуальне маркування суден цілей відбувається із застосуванням принципів когнітивної графіки: небезпечні судна маркуються червоним кольором, потенційно небезпечні – жовтим, ті, що не являють загрози, – зеленим.

Додатково, у процесі функціонування СППР здійснюється виведення правил запобігання зіткнень МПЗЗС-72 за якими класифіковано навколишні судна та відбувалося маневрування, а також надаються рекомендації судноводію щодо зміни курсу та/або швидкості власного судна, які необхідні для запобігання зіткненню.

На основі навігаційної інформації програмне забезпечення автоматично аналізує навігаційну обстановку та дає рекомендації щодо безпечного розходження з суднами цілями відповідно до вимог правил.

У вікні інтерфейсу СППР відображаються навігаційні дані власного судна, такі як: гірокомпасний курс, швидкість судна відносно води. Функціонал програмного забезпечення дозволяє встановлювати налаштування дистанції відображення суден цілей, параметрів дистанції найкоротшого зближення, величини векторів руху суден цілей та характеру векторів (відносні або абсолютні). Ліворуч у вікні програми присутній функціонал, що забезпечує процеси обміну даними між тренажерним обладнанням навігаційного тренажера Navi-Trainer Professional 5000.

На початковому етапі на інформаційному дисплеї програмного забезпечення наносяться позиції суден на розгортці радара, на основі інформації, що подається з навігаційного обладнання. Після обробки даних за допомогою системи ARPA на інформаційному дисплеї наносяться вектори суден цілей, інформація щодо швидкості та курсу всіх суден цілей, значення CPA та TCPA для кожної цілі. Інформація про параметри руху суден також відображається у спеціальній області у правій стороні екрана з вкладками для перемикачів на різні судна цілі (рис. 2).

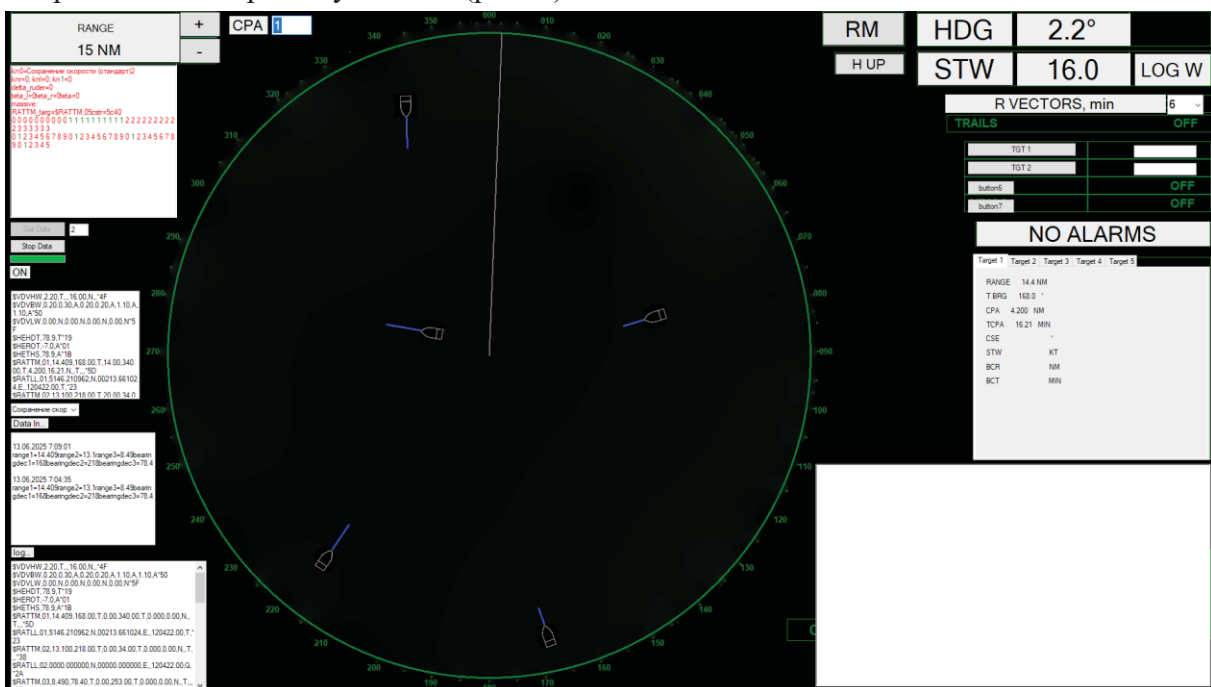


Рисунок 2 – Етап нанесення векторів руху суден цілей на інформаційному дисплеї

На наступному етапі відбувається аналіз суден цілей за критеріями небезпеки зіткнення та визначення правил МПЗЗС-72, які описують дії суден для запобігання зіткнень, їх відображення в інформаційному вікні та рекомендацій щодо уникнення зіткнення. При наведенні на цілі з'являється детальна інформація щодо параметрів руху судна та рекомендація щодо розходження з суднами (рис. 3).

Таким чином, СППР судноводія постійно відображає актуальну навігаційну ситуацію щодо розходження з суднами із зазначенням правил МПЗЗС та рівня небезпеки кожного судна.

Важливою відмінною рисою СППР, що створена, є її інтеграція з обладнанням навігаційного тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000», що дозволяє відпрацьовувати заздалегідь завдані навігаційні вправи із застосуванням сертифікованого тренажерного обладнання. Також важливим є те, що процеси прийняття рішень з управління рухом судна мають постійний інформаційний супровід у вигляді переліку правил МПЗЗС-72, які слід враховувати для поточної навігаційної ситуації.

Застосування запропонованої СППР судноводія в навчальному процесі морських навчальних закладів дозволить підвищити ефективність навчання та контролю знань здобувачів вищої освіти, а також створити сприятливі умови для опанування ними практичних навичок застосування МПЗЗС-72 у процесі несення вахти на навігаційному містку.

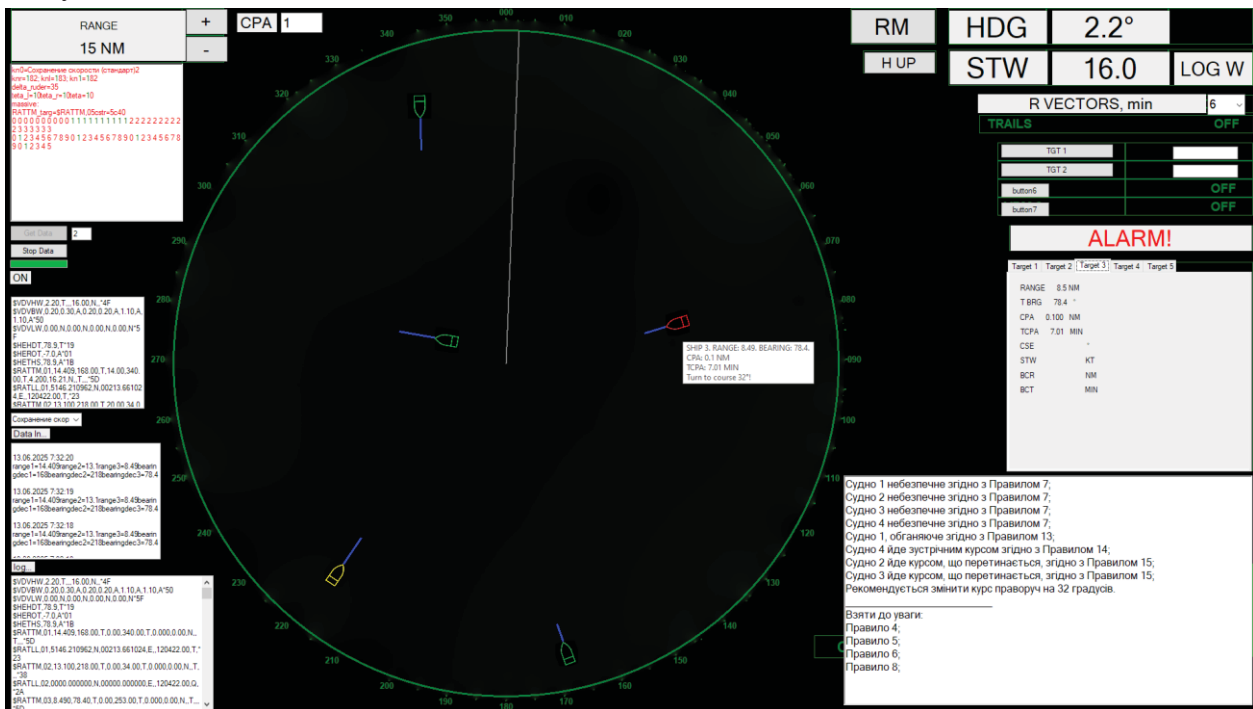


Рисунок 3 – Етап надання рекомендацій щодо розходження з суднами цілями з урахуванням правил МПЗЗС-72 та маркування суден-цілей відповідно до рівня їх небезпеки

Слід окремо зазначити, що поточна версія СППР судноводія не аналізує навігаційні небезпеки щодо мілини, берегової лінії чи плавання у вузькостях (Правила 9,10 МПЗЗС), тому навігаційні вправи слід проводити лише у відкритих водних просторах.

Висновки. Визначено пріоритетні напрями наукових досліджень у напрямку практичного застосування правил МПЗЗС-72 у СППР судноводія, автоматизованих системах управління рухом судна та навігаційними тренажерами. У підсумку з'ясовано, що важливими аспектами успішного застосування МПЗЗС-72 у судноводінні є не лише створення їх адекватних формальних моделей, адаптованих до застосування в технічних системах керування рухом суден, а й розвиток тренажерних систем підготовки морських фахівців із метою підвищення їх компетентності в галузі практичних навичок застосування правил під час несення вахти на навігаційному містку. Розроблено класифікацію навігаційних ситуацій,

що виникають у процесі розходження суден згідно з вимогами МПЗЗС-72 та метод оцінки рівня їх безпеки відповідно до параметрів руху суден. Здійснено практичну реалізацію запропонованої класифікації та методу оцінки рівня безпеки навігаційних ситуацій у СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій. Практичне застосування СППР судноводія, що створена, дозволить підвищити якість тренажерної підготовки морських фахівців та визначити проблемні аспекти, які виникають у судноводіїв у процесі виконання вимог МПЗЗС-72 у різних навігаційних ситуаціях.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямком подальших досліджень є удосконалення СППР судноводія, що створена, шляхом розширення її функціональних можливостей для вивчення правил 9 та 10 МПЗЗС-72, які регламентують дії судноводія під час руху судна у вузькостях, прибережних ділянках та за системами розподілу руху. Також перспективним вбачається створення окремого програмного модуля для ведення статистичного аналізу успішності тренажерної підготовки фахівців, які проходять її на навігаційному тренажері, у розрізі визначення складнощів застосування окремих правил МПЗЗС-72 для різних типів навігаційних ситуацій та умов плавання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jesús A. G. M., Reyes P. A. COLREGs and their application in collision avoidance algorithms: A critical analysis. *Ocean Engineering*, Volume 261, 2022, 112029, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112029>.
2. Kulakov M. A., Kozachenko A. Yu. and Stepanenko V. V. Hybrid control system by cooperation of vessels in situation of their dangerous rapprochement. “Судноводіння / Shipping & Navigation (28) <https://doi.org/10.31653/2306-5761.27.2018.103-108>.
3. Lee C., Park J., and Kim J. “Efficient COLREGs-Compliant Collision Avoidance using Turning Circle-based Control Barrier Function,” arXiv preprint arXiv:2504.19247, 2025.
4. Mohovic D., Mohovic R., Baric M. Deficiencies in Learning COLREGs and New Teaching Methodology for Nautical Engineering Students and Seafarers in Lifelong Learning Programs. *Journal of Navigation*. 2016; 69(4):765–776. <https://doi.org/10.1017/S037346331500096X>.
5. Ahmed Y. A., Hannan M. A., Oraby M. Y., & Maimun A. COLREGs Compliant Fuzzy-Based Collision Avoidance System for Multiple Ship Encounters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(8), 790. <https://doi.org/10.3390/jmse9080790>.
6. Zhong S., Wen Y., Huang Y., Cheng X., and Huang L. “Ontological Ship Behavior Modeling Based on COLREGs for Knowledge Reasoning,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 2, p. 203, 2022. <https://doi.org/10.3390/jmse10020203>.
7. Barbara Stepień. Towards a New Horizon: 1972 COLREG in the Era of Autonomous Ships, *Ocean Development & International Law*, 2024, 55:1–2, 170–184, <https://doi.org/10.1080/00908320.2024.2359908>.
8. Ergun D., and Dinçer B. The Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. 9. P. 17–22. <https://doi.org/10.12716/1001.09.01.02>.
9. Kreutzmann, A., Wolter, D., Dylla, F., and Lee, J. H. “Towards Safe Navigation by Formalizing Navigation Rules,” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 7, no. 2, pp. 161–168, 2013, <https://doi.org/10.12716/1001.07.02.01>.

10. IMO. Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).

11. Aylward K., Weber R., Lundh M., MacKinnon S. N., Dahlman J. Navigators' views of a collision avoidance decision support system for maritime navigation. *The Journal of Navigation* 75: 5, 2022. 1035–1048. <https://doi.org/10.1017/S0373463322000510>.

12. 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.* 2021, 9, 790. <https://doi.org/10.3390/jmse9080790>.

13. Zhong S., Wen Y., Huang Y., Cheng X., Huang L. Ontological Ship Behavior Modeling Based on COLREGs for Knowledge Reasoning. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 203. <https://doi.org/10.3390/jmse10020203>.

14. Kreuzmann A., Wolter D., Dylla F. & Lee J. H. Towards Safe Navigation by Formalizing Navigation Rules. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. Vol. 7, № 2. P. 161–168. 10.12716/1001.07.02.01.

15. Nosov P. S., Zinchenko S. M., Ben A. P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O. M. Models of decision making by a navigator under implicit agreements with colreg rules. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. №1 (20). С. 31–38. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.1.20.031039>.

16. Hansen, Peter & Papageorgiou, Dimitrios & Blanke, Mogens & Galeazzi, Roberto & Lützen, Marie & Mogensen, John & Bennedsen, Mette & Hansen, Dorte. (2020). COLREGs-based Situation Awareness for Marine Vessels – a Discrete Event Systems Approach. *IFAC-PapersOnLine*. 53. 14501–14508. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1453>.

17. Demirel E. & Bayer D. Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. Vol. 9, № 1. P. 17–23. <https://doi.org/10.12716/1001.09.01.02>.

18. Бень А. П. Системи підтримки прийняття рішень в судноводінні: сучасний стан та перспективи подальшого розвитку. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). С. 152–162. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.152-162>.

19. Бень А. П., Мальцев А. С. Системи підтримки прийняття рішень щодо управління рухом судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с.

20. Pietrzykowski Z., Wołjsza P., Borkowski P. Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* 2017. Vol. 70. P. 447–464. <https://doi.org/10.1017/S0373463316000746>.

REFERENCES

1. Jesús, A. G. M., Reyes, P. A. (2022). COLREGs and their application in collision avoidance algorithms: A critical analysis. *Ocean Engineering*, Volume 261, 112029, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112029>.

2. Kulakov, M. A., Kozachenko, A. Yu. and Stepanenko, V. V. (2018). Hybrid control system by cooperation of vessels in situation of their dangerous rapprochement. “Судноводіння / Shipping & Navigation (28) <https://doi.org/10.31653/2306-5761.27.2018.103-108>.”

3. Lee, C., Park, J., and Kim, J. (2025). “Efficient COLREGs-Compliant Collision Avoidance using Turning Circle-based Control Barrier Function,” arXiv preprint arXiv:2504.19247, 2025.

4. Mohovic, D., Mohovic, R., Baric, M. (2016). Deficiencies in Learning COLREGs and New Teaching Methodology for Nautical Engineering Students and Seafarers in Lifelong Learning Programs. *Journal of Navigation*. 69(4):765–776. <https://doi.org/10.1017/S037346331500096X>.

5. Ahmed, Y. A., Hannan, M. A., Oraby, M. Y., & Maimun, A. (2021). COLREGs Compliant Fuzzy-Based Collision Avoidance System for Multiple Ship Encounters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 790. <https://doi.org/10.3390/jmse9080790>.
6. Zhong, S., Wen, Y., Huang, Y., Cheng, X., and Huang, L. (2022). “Ontological Ship Behavior Modeling Based on COLREGs for Knowledge Reasoning,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 2, p. 203, <https://doi.org/10.3390/jmse10020203>.
7. Barbara, Stępień (2024). Towards a New Horizon: 1972 COLREG in the Era of Autonomous Ships, *Ocean Development & International Law*, 55:1–2, 170–184, <https://doi.org/10.1080/00908320.2024.2359908>.
8. Ergun, D., and Dinçer, B. (2015). The Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 9. P. 17–22. <https://doi.org/10.12716/1001.09.01.02>.
9. Kreutzmann, A., Wolter, D., Dylla, F., and Lee, J. H. (2013). “Towards Safe Navigation by Formalizing Navigation Rules,” *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 7, no. 2, pp. 161–168, <https://doi.org/10.12716/1001.07.02.01>.
10. IMO. Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).
11. Aylward, K., Weber, R., Lundh, M., MacKinnon, S. N., Dahlman, J. (2022). Navigators’ views of a collision avoidance decision support system for maritime navigation. *The Journal of Navigation* 75: 5, 2022. 1035–1048. <https://doi.org/10.1017/S0373463322000510>.
12. Ahmed, Y. A., Hannan, M. A., Oraby, M. Y., Maimun, A. (2021). COLREGs Compliant Fuzzy-Based Collision Avoidance System for Multiple Ship Encounters. *J. Mar. Sci. Eng.* 9, 790. <https://doi.org/10.3390/jmse9080790>.
13. Zhong, S., Wen, Y., Huang, Y., Cheng, X., Huang, L. (2022). Ontological Ship Behavior Modeling Based on COLREGs for Knowledge Reasoning. *J. Mar. Sci. Eng.* 10, 203. <https://doi.org/10.3390/jmse10020203>.
14. Kreutzmann, A., Wolter, D., Dylla, F. & Lee, J. H. (2013). Towards Safe Navigation by Formalizing Navigation Rules. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. Vol. 7, № 2. P. 161–168. [10.12716/1001.07.02.01](https://doi.org/10.12716/1001.07.02.01).
15. Nosov, P. S., Zinchenko, S. M., Ben, A. P., Nahrybelnyi, Ya. A., Dudchenko, O. M. (2019). Models of decision making by a navigator under implicit agreements with colreg rules. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. №1 (20). С. 31–38. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.1.20.031039>.
16. Hansen, Peter & Papageorgiou, Dimitrios & Blanke, Mogens & Galeazzi, Roberto & Lützen, Marie & Mogensen, John & Bennedsen, Mette & Hansen, Dorte (2020). COLREGs-based Situation Awareness for Marine Vessels – a Discrete Event Systems Approach. *IFAC-PapersOnLine*. 53. 14501–14508. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1453>.
17. Demirel, E. & Bayer, D. (2015). Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 9, № 1. P. 17–23. <https://doi.org/10.12716/1001.09.01.02>.
18. Ben, A. P. (2024). Systemy pidtrymky pryiniattia rishen v sudnovodinni: suchasnyi stan ta perspektyvy podalshoho rozvytku. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. № 1 (28). S. 152–162. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.152-162>.
19. Ben, A. P., Maltsev, A. S. (2019). Systemy pidtrymky pryiniattia rishen shchodo upravlinnia rukhom sudna // *Monohrafiia. Kherson : Vydavnytstvo KhDMA*. 244 s.
20. Pietrzykowski, Z., Wołjsza, P., Borkowski, P. (2017). Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* Vol. 70. P. 447–464. <https://doi.org/10.1017/S0373463316000746>.

Ben A. P., Mateichuk V. M. DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SELECTING A VESSEL MANEUVER ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF THE COLREG-72

The article is devoted to the issues of application of the Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at sea, 1972 (COLREG-72) in decision support systems (DSS) of the ship navigator. The analysis of research in the field of creation of formal models of COLREG-72 and their practical application in vessel traffic control systems is carried out. It was revealed that at the current time a promising direction of scientific research is the creation of methods for assessing the level of danger of navigational situations in accordance with the requirements of COLREG-72, adapted for use in DSS of the ship navigator. It has been proven that an important aspect of the successful application of COLREG-72 in navigation is not only the creation of their adequate formal models adapted to the use of the ship's DSS and automated vessel traffic control systems, but also the development of training systems for training marine specialists in order to increase their competence in the field of practical skills in applying rules while keeping watch on the navigation bridge. A classification of navigation situations that arise in the process of vessels diverging in accordance with the requirements of COLREG-72 and a method for assessing the level of their danger in accordance with the parameters of vessel movement have been developed. The proposed classification and method for assessing the level of danger of navigation situations have been implemented in the ship navigator's DSS, which is integrated with the navigation equipment of the Wartsila "Navi-Trainer Professional 5000" simulator. Software tools have been created to implement information exchange between the DSS and the simulator's navigation equipment in real time, which allows for constant monitoring of the process of changing navigation situations. The priority area of practical application of the created DSS is to provide simulator training for marine specialists in order to obtain practical skills in using COLREG-72 on the ship's navigation bridge. A promising area of further research is the development of a separate DSS software module for conducting statistical analysis of the success of simulator training of specialists who undergo it on a navigation simulator, in terms of determining the difficulties of applying individual rules of COLREG-72 for different types of navigation situations and sailing conditions.

Key words: navigation; decision support systems; COLREG-72; navigation situation; ship control; navigation simulator; simulator training; maritime safety.

© Бень А. П., Матейчук В. М.

Статтю прийнято до редакції 17.06.2025