

Трофименко І.В., Пліта Л.Л., Іваненко В.М., Федунів В.М.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АПАРАТУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ДЛЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ СУДЕН

Метою роботи є попередження і зниження кількості випадків зіткнень суден на морі шляхом вивчення та аналізу причин виникнення таких подій та обґрунтування вибору апарату формалізації знань на основі відповідних міжнародних правил для систем підтримки прийняття рішень. Поставлена мета досягається шляхом аналізу відкритої статистики щодо зіткнень суден у світі, сукупності причин їх виникнення й обґрунтування вибору апарату формалізації знань для перспективної системи підтримки прийняття рішень судноводієм. Основою Міжнародних правил попередження зіткнень суден у морі 1972 року (МППЗС-72) є безпечне розходження судна з деякою кінцевою кількістю суден на заданій відстані шляхом врахування закономірностей маневрених характеристик суден та їх управляючих впливів. Недотримання стандартних процедур і правил МППЗС-72 є найважливішою причиною виникнення зіткнень суден. Причини невиконання МППЗС-72 згруповано у три класи: помилки судноводіїв при застосуванні міжнародних правил, змушений відступ від МППЗС-72, ігнорування вказаних правил. Стислий аналіз формалізації правил запобігання зіткненню суден, застосовуваних у системах підтримки прийняття рішень судноводія, свідчить, що дані правила описують лише попарну взаємодію суден. Для формування адекватної картини навігаційної ситуації та, що склалася у реальності, та формування сценаріїв розвитку поточної ситуації запропоновано розглядати повну множину всіх взаємодіючих пар. Значущим науковим результатом для врахування неточності наявної числової і лінгвістичної інформації є висновок щодо застосування інтервальних оцінок у параметри руху суден на основі нечітких множин другого типу як основного апарату формалізації правил попередження зіткнення суден. Для попередження зіткнення суден пропонується двоєдиний підхід, згідно якого, з одного боку, вдосконалюються процедури на містку, забезпечується безперервне вивчення МППСС-72 і правил з експлуатації своїх суден членами екіпажу, а, з іншого, створюється система підтримки прийняття рішень судноводієм, основу якої складають формалізовані правила МППСС-72, що регламентують процеси розбіжності суден.

Ключові слова: судно, попередження зіткнень, розбіжність суден, міжнародні правила, формалізація, система підтримки прийняття рішень.

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки на морі, і зокрема, попередження зіткнень суден (ЗПС) є одним з найважливіших завдань у водній галузі. Джерела [1, 2] однозначно визначають, що метою попередження зіткнень суден є виключення ризиків зіткнення суден та забезпечення безпечного плавання в будь-яких умовах. Отже, основний зміст ЗПС складають сукупність взаємодіючих з навколишнім середовищем взаємозалежних елементів, правил та обмежень, які вимагаються як «звичайною, так і ефективною морською практикою» [1, 2].

Зіткнення суден має дуже сумні матеріальні наслідки. Як правило, під час зіткнень відбувається у кращому випадку пошкодження або навіть втрата самих суден або вантажів. Крім того, такі події можуть супроводжуватися розливами нафтопродуктів і забрудненням навколишнього середовища. У такому разі на усунення матеріальних збитків від зіткнення суден витрачаються чималі суми. Якщо такі події супроводжуються травмами або загибеллю пасажирів або членів екіпажу, то суми матеріальних втрат судновласників зростають багатократно. У цьому зв'язку першочерговим завданням є виявлення і вивчення причин зіткнення суден. Основними причинами зіткнення суден на морі, як правило, є неправильне або

неефективне застосування екіпажами суден Міжнародних правил попередження зіткнень суден [1, 2].

З іншого боку, на зменшення кількості зіткнень впливає технічне оснащення сучасних суден. Мова йде як про впровадження передових досягнень науки і техніки при проектуванні суден і їх будівництві, так і про використання новітніх технологій і засобів у процесі судноводіння. Але такі новації докорінним чином не вплинули на зменшення кількості зіткнень суден на морі. Тому створення нових і вдосконалення існуючих технічних засобів автоматизації процесів попередження зіткнень суден на основі Міжнародних правил ПЗС є другим актуальним завданням дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вже багато десятиріч автори по всьому світові прискіпливо вивчають питання забезпечення безпеки на морі взагалі й ефективності застосування Міжнародних правил, зокрема. Одне з провідних місць у цьому зв'язку належить дослідженню проблем ПЗС [3 - 6].

Так, у статті [3] розкрито, яким чином розвивалися основні ідеї, що стосуються зменшення аварійності на морі, насамперед, через попередження зіткнень суден на морі. Розглянуто основні етапи, історію розробки та основний зміст Міжнародних правил попередження зіткнень суден на морі. Визначено дієвість даних правил стосовно України. Розглянуто передісторію та порядок приєднання України до Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі відповідно до однойменної Постанови Верховної Ради України від 17 листопада 1992 року. Положення даного документа є фундаментальними щодо забезпечення безпеки мореплавства в експлуатаційній, технічній та навігаційній сферах і враховані у багатьох нормативних актах України.

Робота [5] у більшому ступені відноситься до юридично-правових. Комплексний характер даної роботи дозволяє на широкому теоретико-правовому полі проводити розслідування й аналіз морських аварій та інцидентів, здійснювати їх міжнародно-правову регламентацію, виявляти особливості юридично-правової природи морських аварій та морських інцидентів. Особлива увага приділена визначенню рівня відповідності законодавства України з морських питань міжнародним стандартам, встановленим Міжнародною морською організацією (ІМО). На цієї базі досліджуються проблеми імплементації міжнародних стандартів з розслідування морських аварій та інцидентів до національного законодавства.

Процеси розходження суден найбільш повно сконцентровані у Міжнародних правилах попередження зіткненню суден на морі (1972 рік). Дані постулати є основоположним нормативним документом, що регламентує розходження. Тому чисельна армія дослідників, які працюють у галузі інтелектуальних й автоматизованих систем управління рухом суден, постійно роблять спроби формалізувати ці правила [7-11].

Так, у статті [11] наведена фреймова модель подання міжнародних правил запобігання зіткненню суден. Запропонований апарат формалізації пропонується застосовувати у системах підтримки прийняття рішень судноводія, а саме, при описі навігаційних ситуацій і в подальшому у процесі логічного виведення можливих рішень системою підтримки прийняття рішень.

Однак, у розглянутих роботах відсутній системний підхід щодо виявлення першопричин виникнення зіткнень суден. Відсутність такого комплексного підходу вносить певні проблеми для систематизації та визначення критеріїв вибору апарату формалізації знань для систем підтримки прийняття рішень попередження зіткнень суден на морі.

Мета дослідження. Попередження і зниження кількості випадків зіткнень суден на морі шляхом вивчення та аналізу причин виникнення таких подій та обґрунтування вибору апарату формалізації знань на основі відповідних міжнародних правил для систем підтримки прийняття рішень.

Основні результати дослідження. Морська практика свідчить, що одним з найважливіших елементів системи безпеки судноводіння у загальному сенсі є попередження зіткнення суден на морі (рис. 1).

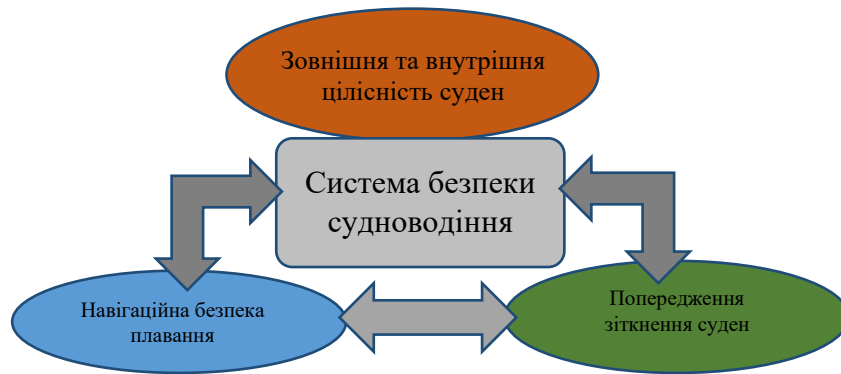


Рисунок 1 – Елементи системи безпеки судноводіння

P&I (англ. P&I Club, де Protection and Indemnity, що означає «захист і компенсація») – форма страхування відповідальності судновласника або фрахтувальника за діяльність. Основною метою P&I-страхування є захист інтересів власника судна від претензій третіх осіб й убезпечення його від можливих збитків у разі заподіяння шкоди третій стороні. Даний вид страхування відноситься до основних, експлуатація судна без нього практично неможлива. Так, за даними клубу взаємного страхування P&I, за кількістю лише 3% усіх претензій P&I пов'язані із зіткненнями суден [6] (рис. 2), а за вартістю – вже 12% (рис. 3).

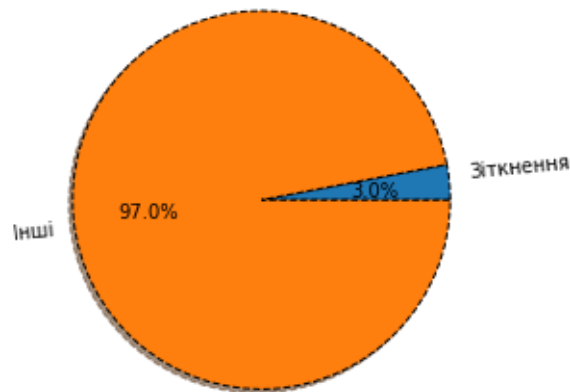


Рисунок 2 – Співвідношення за кількістю претензій P&I, пов'язаних із зіткненнями, до інших претензій

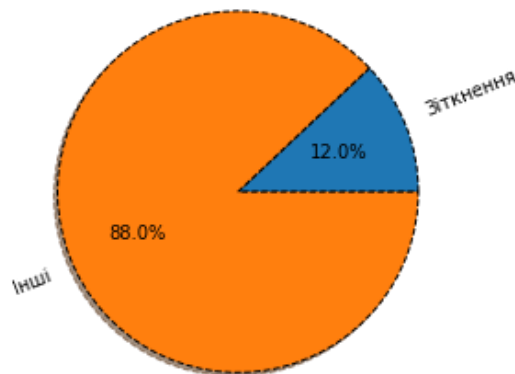


Рисунок 3 – Співвідношення за вартістю претензій P&I, пов'язаних із зіткненнями, до інших претензій

Статистика однозначно свідчить, що переважна більшість зіткнень відбувається в зонах щільного руху у складних умовах, які характеризуються поганою видимістю, відмовою обладнання та ін. Але не все так просто: людський чинник виявився основною причиною щонайменше понад 70% усіх зіткнень. Детальний розгляд конкретних аварійних морських подій показує, що на вказані вище умови накладаються недбалість і невиконання окремими посадовими особами і командою судна цілком основних навігаційних обов'язків. Крім того, з розслідувань виявлені основні причини зіткнень:

- порушення правил і принципів несення вахти;
- брак, надлишок та суперечливість інформації про поточну ситуацію, що складається;
- неграмотність у визначенні пріоритетів з боку командного складу щодо розв'язання складних навігаційних ситуацій;
- пріоритет на виконанні адміністративних завдань;
- порушення або недотримання стандартних процедур і міжнародних правил;
- неможливість ефективно використовувати наявні дані та ресурси;
- недостатня навченість особового складу для організації ефективної взаємодії на судні.

Недотримання стандартних процедур і міжнародних правил фахівці вважають однією з найважливіших причин виникнення зіткнень суден.

До кожної посадової особи на судні, яка відноситься до осіб, що приймають рішення, висуваються певні вимоги. Так, всі судноводії мають твердо знати стандартні процедури і міжнародні правила для ефективного вироблення рішень на основі інтегрованого відображення інформації про судно і зовнішнє середовище. Міжнародні правила з організації та забезпечення безпеки мореплавства (STSW-78/95, МППЗС-72 та ін.) висувають обов'язкові мінімальні вимоги до капітанів, вахтових помічників та осіб рядового складу, що несуть вахту на містку.

Міжнародні правила попередження зіткнень суден у морі (МППЗС-72) дозволили сформулювати основні принципи розходження суден. У жовтні 1972 року у Лондоні були прийняті в останній редакції правила, що діють у даний час і обов'язкові для всіх моряків [1, 2]. Базис МППЗС-72 для безпечного розходження з деякою кінцевою кількістю суден на заданій відстані складають закономірності маневрених характеристик суден та їх управляючих впливів.

Алгоритмом попередження зіткнення суден називається суворе логічне послідовність дій судноводіїв щодо недопущення такої ситуації.

Міжнародна морська організація проводить аналіз причин невиконання МППЗС-72. Це дозволяє у процесі поведених розборів роботи наголос на усуненні виявлених причин і підвищувати ефективність професійної діяльності судноводіїв. Разом з тим, аналіз результатів досліджень навігаційних аварій, проведений у UK Marine Accident Reporting Scheme (MARS), показав дуже велику роль суб'єктивного фактору у виникненні навігаційних аварій. За їх даними, до 75% навігаційних аварій відбулися через невиконання судноводіями саме МППЗС-72. При цьому дослідники об'єднали у групи основні причини, що спонукали судноводіїв не виконувати норми МППЗС-72 (рис. 4) [6]:

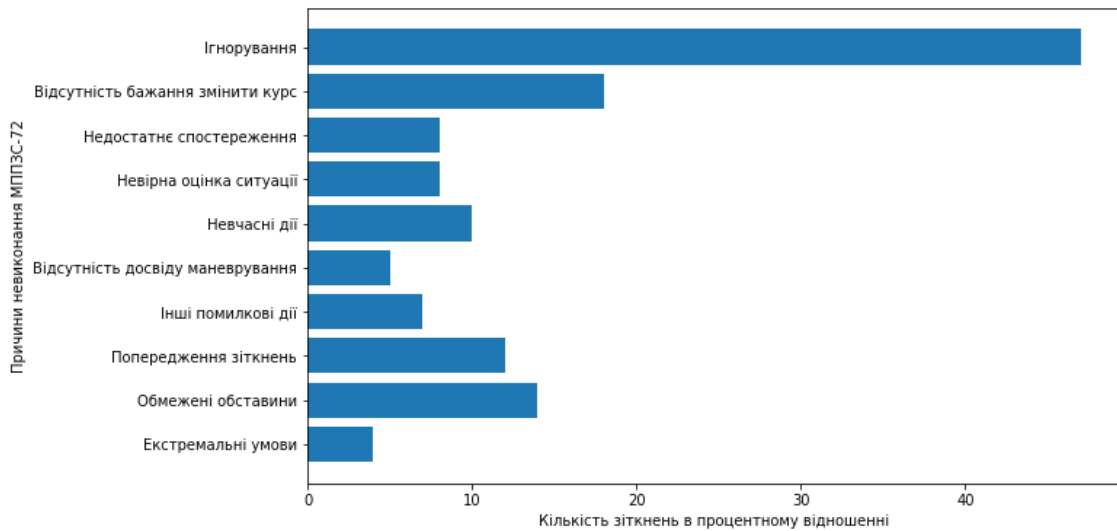


Рисунок 4 – Причини невиконання МППЗС-72

1) До першої групи, яку назвемо «помилки судноводіїв при застосуванні МППЗС-72», відносяться суб'єктивні помилки, що обумовлені систематичними недоліками в навчанні та підготовці судноводіїв, а також його поточним психічним та(або) фізіологічним станом у конкретний момент часу, коли він виконував свої обов'язки на містку. Такий «ланцюг помилок» найчастіше призводить до порушень в існуючих процедурах управління судном.

2) Якщо судноводій не може за будь-яких причин виконати, відповідно до МППЗС-72, процедури (прийняти рішення) щодо попередження зіткнення суден за Правилами, то це утворює другу групу причин – змушений відступ від Правил.

3) Третю групу причин невиконання МППЗС-72 складають навмисні дії судноводіїв за домовленістю, тобто навмисне ігнорування Правил, коли судноводій, намагаючись уникнути зіткнення суден, ігнорує прописані правила, принципи і підходи, замінюючи їх будь-якими миттєвими технологічними, технічними, комерційними або іншими інтересами. Іншими словами, судноводій, відмовляючись виконувати Правила, незаконно домовляється з іншим судноводієм про виконання такого маневру, який не передбачений у МППЗС-72.

Очевидно, що в основі розглянутих причин зіткнень суден, що викликають відмічені помилки, лежить так званий «людський» фактор. У цьому зв'язку напрошується очевидний висновок, що, по меншій мірі, зниження, а, максимум, подолання негативного впливу суб'єктивного фактору, дозволить докорінно вирішити дуже чутливу проблему щодо запобігання зіткненням суден. Одним з генеральних напрямків щодо подолання цієї проблеми фахівці вважають постійну цілеспрямовану роботу щодо удосконалення існуючих і створення нових програмних й апаратних засобів управління судном, підвищення рівня їхньої автоматизації, використання систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія.

Так, автори роботи [11] у процесі розроблення СППР судноводія зіштовхнулися з проблемою формалізації знань, викладених у МППСС-72. Даний документ має у своєму складі 38 правил, об'єднаних у п'ять частин, і чотири додатки. Декларативний характер відомостей, що містяться в частинах А, С, D, Е правил, дозволяє їх майже безболісно подати у СППР. Інша ситуація складається з правилами, викладеними у частині В «правила плавання і маневрування» МППСС-72 [1]. Їх формалізація викликає певні труднощі, обумовлені попарною взаємодією суден, описаною у МППСС-72. Ї саме попарна взаємодія суден розглядається під час формування сценаріїв розвитку поточної ситуації у СППР. Однак на практиці часто мають місце ситуації, коли взаємодіють не два, а більша кількість суден. У цьому випадку при загальній кількості N суден у зоні розбіжності кількість взаємодіючих пар суден дорівнює кількості поєднань C_N^2 , що, як нам відомо з комбінаторики, складає [11]:

$$C_N^2 = \frac{N!}{(N-2)!2!} \quad (1)$$

Значення, яке можна отримати за виразом (1), на перший погляд представляє собою дуже велику величину. Але на практиці при наявності 20 суден у зоні розбіжності значення C_N^2 складає лише 190. Досвід показує, що у переважній більшості випадків одночасно взаємодіють від 2 до 7 суден. Тому кількість взаємодіючих пар для таких ситуацій складає від 1 до 21. Безумовно, навіть 3-4 можливі варіанти взаємодії судноводіїв самостійно, без допомоги технічних засобів, промоделювати складно. Проте сучасні обчислювальні засоби за умови введення додаткових обмежень, наприклад врахування ступеня небезпеки судна одне для одного і введення на цієї основі відповідної попередньої класифікації суден, дозволяють виконувати такі розрахунки у режимі реального часу.

Відомі різні підходи щодо побудови СППР, ефективність яких багато у чому визначається обраним апаратом формалізації. Так, запропонована у роботі [11] СППР має обмежені можливості щодо вирішення поставлених завдань. Дані обмеження визначені обраним апаратом формалізації правил плавання і маневрування. Якщо декларативні знання для запропонованої системи формалізуються досить легко, то формалізація нечітких оцінок інтервального типу для правил плавання і маневрування має певні труднощі. Крім того, виниклі при обробці кінцевих значень інтервалу суттєві помилки необхідно усереднювати, найчастіше використовуючи апарат традиційної інтервальної математики. Але у більшості випадків даний підхід також має певні обмеження. Тому, на наш погляд, для формалізації правил плавання і маневрування, викладених у МППСС-72, цікавим напрямом проведення досліджень є спроба описати параметри руху суден шляхом введення інтервальних оцінок, використовуючи нечіткі множини другого типу. Головною перевагою нечітких множин другого типу є можливість врахування неточності і числової, і лінгвістичної інформації.

Висновки. Ретельно проведений аналіз аварій і катастроф на морі наочно демонструє, що зберігається стійка тенденція, згідно якої більшість зіткнень суден відбувається через негативний вплив людського фактору, а саме порушення МППСС-72 й усвідомлене (або неусвідомлене) недотримання командою судна основних принципів несення вахти на містку.

Тому необхідно продовжувати роботу над вдосконаленням технологій безпеки і навчання особового складу в рамках різних конвенцій STCW, ISM тощо.

Добре збалансована і навчена команда професіоналів, якісна загальна робота команди судна щодо забезпечення безпеки судноплавства та ефективного управління ресурсами забезпечують безпечно та ефективно використання судна. При цьому судновласники і капітани суден створюють необхідні умови щодо проходження членами екіпажу безперервного навчання і підвищення кваліфікації з експлуатації своїх суден і досконалого вивчення МППСС-72 для закріплення та вдосконалення процедур і стандартів виконання обов'язків на містку. Основною функцією навчання вважається проактивний підхід до безпеки, який спрямований на виявлення, аналіз і зменшення небезпек до того, як вони можуть вплинути на безпечну експлуатацію судна.

Іншим напрямом досліджень щодо забезпечення попередження зіткнення суден вважається розробка відповідних систем підтримки прийняття рішень. Одним з найважливіших завдань у цьому випадку вважається формалізація правил МППСС-72, які є основоположним нормативним документом, що регламентує процеси розбіжності суден. Отже, раціональне поєднання сучасних методів, технологій і методик навчання екіпажу судна, новітніх інформаційних технологій і апаратних засобів забезпечують ефективно вирішення завдань попередження зіткнення суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конвенція про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року : Конвенція Міжнар. мор. орг. від 20.10.1972 р. : станом на 17 листоп. 1992 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137#Text (дата звернення: 15.05.2024).
2. Про приєднання України до Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року : Постанова Верхов. Ради України від 17.11.1992 р. № 2785-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2785-12#Text> (дата звернення: 15.05.2024).
3. Плачкова Т. М. Міжнародні правила попередження зіткнень суден у системі правового забезпечення безпеки мореплавства. *Правове життя сучасної України : у 2 т. : матер. наук.-практ. конф., м. Одеса, 17 трав. 2019 р. / відп. ред. Г. О. Ульянова. Одеса : ВД «Гельветика», 2019. Т. 1. С. 488–491.*
4. Завітаєв В. Л. Судноводіння на внутрішніх і прибережних морських шляхах : Навчальний посібник. Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. 282 с.
5. Вишневський В. Л. Міжнародно-правова регламентація розслідування морських аварій та інцидентів : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.11. Національний університет «Одеська морська академія» ; Інститут держави і права імені В. М. Корецького НАН України. Київ, 2021. 347 с.
6. Collisions – Why do they occur? URL: <https://sailorscove.quora.com/Collisions-Why-do-they-occur-GARD> (дата звернення: 15.05.2024).
7. Цимбал Н. Н., Бужбецкий Р. Ю. Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении. *Судовождение*. 2006. № 12. С. 124–129.
8. Цимбал Н. Н., Бурмака И. А., Тюпиков Е. Е. Гибкие стратегии расхождения судов. Одесса : КП ОГТ, 2007. 424 с.
9. Цимбал Н. Н., Бужбецкий Р. Ю. Учет ограниченный МППСС-72 при выборе маневра расхождения судов. *Судовождение*. 2006. № 11. С. 134–138.
10. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system. *The Archives of Transport*. 2005. № 3–4. Vol. XVII. P. 133–147.
11. Бень А. П. Формализация правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2011. № 3. С. 327–331 URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/59935/31-Ben.pdf?sequence=1> (дата звернення: 15.05.2024).

REFERENCES

1. *Konventsiiia pro Mizhnarodni pravyla zapobihannia zitknenniu suden na mori 1972 roku* (International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972): Convention of the International Maritime Organization dated 20.10.1972: as of November 17, 1992. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137#Text (accessed: 15.05.2024). (in Ukrainian).
2. *Pro pryiednannia Ukrainy do Konventsii pro Mizhnarodni pravyla zapobihannia zitknenniu suden na mori 1972 roku* (On Ukraine's Accession to the International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972): Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated 17.11.1992 No. 2785-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2785-12#Text> (accessed: 15.05.2024). (in Ukrainian).
3. Plachkova, T.M. (2019). *Mizhnarodni pravyla poperedzhennia zitknen' suden u systemi pravovoho zabezpechennia bezpeky moreplavstva* [International Regulations for Preventing Collisions at Sea in the System of Legal Support for Maritime Safety]. In G.O. Ulyanova (Ed.), *Pravove zhyttia suchasnoi Ukrainy: Proceedings of the Scientific and Practical Conference* (Vol. 1, pp. 488–491). Odessa: Helvetica Publishing House. (in Ukrainian).
4. Zavitaiev, V.L. (2019). *Sudnovodinnia na vnutrishnikh i prybrezhnykh mors'kykh shliakhakh: Navchal'nyj posibnyk* [Navigation on Inland and Coastal Waterways: A Textbook]. Kyiv: Lira-K Publishing House. (in Ukrainian).
5. Vyshnevs'kyj, V.L. (2021). *Mizhnarodno-pravova rehlementatsiia rozsliduvannia mors'kykh avarij ta intsydentiv* [International Legal Regulation of the Investigation of Maritime Accidents and

- Incidents] (Doctoral dissertation, National University «Odesa Maritime Academy», V.M. Koretsky Institute of State and Law of the National Academy of Sciences of Ukraine). Kyiv. (in Ukrainian).
6. Collisions – Why do they occur? URL: <https://sailorscove.quora.com/Collisions-Why-do-they-occur-GARD> (accessed: 15.05.2024).
 7. Tsymbal, N.N., & Buzhbetskij, R.Yu. (2006). *Formalizatsiya MPPSS-72 v chasti koordinatsii vzaimodejstviya sudov pri raskhozhenii* [Formalization of COLREGS-72 in Terms of Coordinating Vessel Interaction during Encounters]. *Sudovozhdenie*, 12, 124–129. (in Russian).
 8. Tsymbal, N.N., Burmaka, I.A., & Tyupikov, E.E. (2007). *Gibkie strategii raskhozheniya sudov* [Flexible Vessel Encounter Strategies]. Odessa: KP OGT. (in Russian).
 9. Tsymbal, N.N., & Buzhbetskij, R.Yu. (2006). *Uchet ogranichenij MPPSS-72 pri vybore manevra raskhozheniya sudov* [Considering COLREGS-72 Constraints When Choosing a Vessel Encounter Maneuver]. *Sudovozhdenie*, 11, 134–138. (in Russian).
 10. Lisowski, J. (2005). *Game control methods in navigator decision support system*. The Archives of Transport, 3-4(XVII), 133–147.
 11. Ben', A.P. (2011). *Formalizatsiya pravil MPPSS-72 v sisteme podderzhki prinyatiya reshenij sudovoditelya* [Formalization of COLREGS-72 Rules in the Navigator Decision Support System]. *Shtuchnyj intelekt*, 3, 327–331. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua> (accessed: 15.05.2024). (in Russian).

Trofymenko I.V., Plyta L.L., Ivanenko V.M., Fedunov V.M.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF KNOWLEDGE FORMALISATION APPARATUS FOR DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR THE PREVENTION OF SHIP COLLISIONS

The aim of the study is to prevent and reduce the number of ship collisions at sea by studying and analysing the causes of such events and justifying the choice of a knowledge formalisation apparatus based on relevant international rules for decision support systems. This goal is achieved by analysing open statistics on ship collisions in the world, the totality of their causes and justifying the choice of a knowledge formalisation apparatus for a promising decision support system for a ship's master. The basis of the International Regulations for the Prevention of Collisions at Sea, 1972 (COLREGs) is the safe separation of a ship from a certain finite number of ships at a given distance by considering the regularities of manoeuvring characteristics of ships and their controlling influences. Failure to comply with the standard procedures and rules of COLREGs is the most important cause of ship collisions. The reasons for non-compliance with COLREGs are grouped into three classes: mistakes made by navigators in applying international rules, forced deviation from COLREGs, and ignoring these rules. A brief analysis of the formalisation of ship collision avoidance rules used in decision support systems for navigators shows that these rules describe only pairwise interaction of ships. To form an adequate picture of the navigation situation and the actual situation, and to create scenarios for the development of the current situation, it is proposed to consider the full set of all interacting pairs. A significant scientific result for considering the inaccuracy of the available numerical and linguistic information is the conclusion that interval estimates of ship movement parameters based on fuzzy sets of the second type should be used as the main apparatus for formalising the rules for preventing ship collisions.

To prevent ship collision, a two-pronged approach is proposed, according to which, on the one hand, procedures on the bridge are improved, continuous study of COLREGs and rules for the operation of their vessels by crew members is ensured, and, on the other hand, a decision support system for the navigator is created, based on formalised COLREGs rules governing the processes of ship divergence.

Keywords: ship, collision prevention, ship separation, international rules, formalisation, decision support system.