

УДК 656.12

DOI: 10.31653/2306-5761.37.2025.30-46

PRIORITY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT AND WAYS OF IMPROVING DECISION SUPPORT SYSTEMS IN NAVIGATION

ПРИОРИТЕНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СУДНОВОДІННІ

A. Ben , *Vice-rector for Research, professor*

А.П. Бень, *проректор з науково-педагогічної роботи, професор*

Kherson State Maritime Academy, Ukraine

Херсонська державна морська академія, Україна

ABSTRACT

The article is devoted to the issues of creation and development of decision support systems (DSS) in the field of navigation. A classification of DSS by areas of practical application is proposed and the features of their construction are determined. A classification of decision-making methods in the field of navigation is proposed by classes of tasks to be solved and the features of the practical application of each group of methods are determined. The structure of the information interaction cycle between the decision-maker and the DSS is determined, and its individual phases are analyzed. The prospects of using the decision-maker model in DSS to increase the efficiency of information exchange and decision-making processes are shown. The general structure of DSS is developed and the use of a four-stage cycle for implementing the decision-making process with differentiated use of different groups of methods and sources of input data at each stage is proposed. Priority areas of use of DSS and artificial intelligence systems in navigation and prospects for their further development have been identified.

Keywords: decision support systems, navigation, decision-making methods, navigation safety, ship control, human factor, shipmaster model.

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена питанням створення та розвитку систем підтримки прийняття рішень (СППР) у сфері навігації. Запропоновано класифікацію СППР за сферами практичного застосування та визначено особливості їх побудови. Розроблено класифікацію методів прийняття рішень у навігації за класами задач, що розв'язуються, і визначено особливості практичного використання кожної групи методів. Визначено структуру циклу інформаційної взаємодії між особою, яка приймає рішення, та СППР, проаналізовано окремі його фази. Показано перспективність використання моделі особи, що приймає рішення, у складі СППР для підвищення ефективності обміну інформацією та процесів прийняття рішень. Розроблено загальну структуру СППР і запропоновано використання чотирьох-етапного циклу реалізації процесу прийняття рішень з диференційованим застосуванням різних груп методів і джерел вхідних даних на кожному етапі. Визначено пріоритетні напрями використання СППР та систем штучного інтелекту в навігації, а також перспективи їх подальшого розвитку.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, методи прийняття рішень, судноводіння, безпека судноплавства, управління судном, людський фактор, модель судноводія.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Розвиток сучасного судноплавства нерозривно пов'язаний із широким впровадженням нових інформаційних технологій, стрімким розвитком засобів супутникової навігації та електронних картографічних інформаційних та навігаційних систем. Існуючі на сьогодні розробки в галузі створення інформаційних систем управління рухом суден спрямовані в основному на розрахунок безпечних зон руху і не враховують впливу так званого «людського чинника» на процеси сприйняття інформації судноводієм, формування та прийняття ним рішень, а також загальної взаємодії всіх учасників навігаційної ситуації.

Разом з тим, слід зазначити, що значне зростання інтенсивності морських перевезень за останнє десятиріччя призвело до збільшення кількості морських аварій, у тому числі з людськими жертвами і складними техногенними наслідками, тому підвищення безпеки судноводіння є однією з найбільш важливих проблем сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Застосування сучасних інформаційних систем управління рухом судна, з одного боку – полегшує працю судноводіїв, але з іншого – чим складніше функції таких систем, тим гостріше відчувається потреба в координуванні роботи технічних засобів управління судном та формування інформації, що надається судноводієві. Проведені рядом вітчизняних та зарубіжних авторів дослідження [1-12] показують, що впровадження новітніх технічних засобів управління рухом судна природним чином «відокремлює» судноводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки, оскільки він не в змозі одночасно аналізувати значні обсяги навігаційної інформації та безпосередньо контролювати цей рівень в реальному часі. Як показує аналіз причин виникнення аварій на морі, головним їх фактором є і залишається, так званий, людський фактор (близько 85 % усіх випадків) – більшість навігаційних аварій відбувається не через відмову технічних засобів навігації або управління рухом судна, а через неготовність судноводіїв своєчасно приймати рішення відповідно до ситуації, яка складається.

Аналіз існуючих робіт, які присвячені теорії і практиці створення СППР в судноводінні, показує, що на даний час зазначені питання опрацьовані недостатньо і викликають значний інтерес серед дослідників.

Питання створення та використання СППР в судноводінні докладно розглянуто в низці робіт вітчизняних та зарубіжних авторів [1-21]. Хоча перші згадки про експертні системи в судноводінні беруть свій початок з 80-х років ХХ-ст. [22, 23], слід зазначити, що реальне практичне застосування СППР в судноводінні та проведення наукових досліджень в цій галузі розпочалося на початку ХХІ-ст. Вищевказані обставини були обумовлені, перш за все, інтенсивним розвитком та впровадженням сучасних інформаційних технологій в усіх сферах діяльності людства. Широке запровадження засобів електронної навігації, та поява концепції E-Navigation [4], призвело до розробки інтегрованих систем ходового містка [24, 25], і обумовило необхідність створення сучасних автоматизованих систем керування рухом судна. Таким чином, виникла проблема створення СППР з керування процесами розходження, маневрування та загального планування руху.

Важливими питаннями постали проблеми вибору оптимальних маршрутів суден з позицій мінімізації витрат палива та забезпечення безпеки перевезень [5-12], побудови логістичних ланцюжків транспортування товарів, складання оптимальних вантажних планів суден-контейнеровозів [13], керування вантажними операціями при перевезенні великовагових та небезпечних вантажів, тощо [14]. Окремим напрямком для теоретичних

досліджень та практичних напрацювань стало розв'язання питань, пов'язаних з оптимізацією роботи портових терміналів та інфраструктури портів [15, 16].

Великий клас задач для СППР в судноплаванні сформували також проблеми керування ризиками в галузі, а саме: страхування суден та вантажу, керування фрахтуванням, розрахунок рівня ризиків морських перевезень [17], агентування та бербоут-чартер суден.

На поточний момент існує нагальна проблема в створенні сучасних систем підтримки прийняття рішень (СППР) в галузі судноводіння, що враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами та забезпечують прийняття нею рішень в складних навігаційних умовах та критичних ситуаціях. Важливою складовою є також розвиток та вдосконалення математичних моделей та методів аналізу даних і прийняття рішень в таких системах, що і обумовило вибір мети і основних завдань дослідження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою дослідження є визначення пріоритетних напрямів розвитку СППР в судноводінні та вдосконалення методів і процесів прийняття рішень в таких системах.

Об'єкт дослідження: процеси підтримки прийняття рішень в судноводінні.

Предмет дослідження: методи прийняття рішень з управління рухом суден в системах підтримки прийняття рішень судноводія.

Досягнення поставленої мети дослідження передбачає вирішення наступних задач:

1. Визначити роль і місце СППР в сучасному судноплаванні, та вплив їх застосування на зниження рівня аварійності.
2. Здійснити класифікацію методів прийняття рішень в галузі забезпечення безпеки судноплавства за класами задач, що вирішуються, та визначити особливості їх практичної реалізації в СППР.
3. Розробити загальну структуру СППР судноводія, визначити коло її базових функцій та особливості інформаційних процедур обробки даних в процесах підтримки прийняття рішень.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Серед основних напрямів, за якими здійснюється впровадження СППР в судноплаванні, слід зазначити наступні [1]:

- автономні судна та системи автономної навігації;
- СППР з керування рухом суден в складних навігаційних умовах та за наявності факторів ризику;
- технічна діагностика та прогнозування відмов суднового обладнання;
- енергетичний менеджмент процесів експлуатації суднових енергетичних установок та електрообладнання;
- керування вантажними операціями контейнеровозів та суден, що перевозять негабаритні і великовагові вантажі;
- планування ефективної роботи портової інфраструктури та портових терміналів;
- раціональне планування маршрутів руху суден та управління логістикою морських перевезень.

Також слід зазначити, що активний розвиток та практичне застосування СППР в галузі судноплавства обумовив появу низки важливих питань, які потребують нагального вирішення. Переважна кількість таких питань пов'язана з інтенсивним розвитком новітніх інформаційних

технології та істотним збільшенням обсягів інформації, що застосовуються в процесах прийняття рішень. З огляду на вищевказане, необхідно звернути увагу на появу наступних вимог до СППР:

- збільшення кількості інформаційних джерел та інтенсивності інформаційних потоків, з якими доводиться мати справу особам, що приймають рішення (ОПР);
- підвищення загальних вимог до оперативності і своєчасності прийняття рішень в умовах високого рівня відповідальності за їх наслідки;
- потреба максимального зменшення рівня суб'єктивності оцінки ситуації;
- за можливістю, максимальне зменшення впливу так званого людського фактору [26-28] на процеси прийняття рішень.

Узагальнена класифікація напрямків застосування СППР в судноплаванні, наведена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація напрямків застосування СППР в галузі судноплавання [1]

Серед методів прийняття рішень, що застосовуються в галузі забезпечення безпеки судноплавання, в залежності від типів задач, на вирішення яких вони спрямовані, можна виділити кілька окремих специфічних напрямів. У роботі [2] запропонована класифікація напрямів наукових досліджень та методів підтримки прийняття рішень, що застосовуються для вирішення задач запобігання зіткнень суден та уникнення навігаційних небезпек і посідань на міліну, яка представлена у таблиці 1. Розглянемо докладніше специфіку та особливості методів досліджень за кожним напрямом.

Напрямок досліджень «Загальне керування морськими ризиками та безпекою мореплавства» охоплює методи, що фокусуються на вирішенні задач, пов'язаних з імплементацією міжнародних норм, правил та систем керування безпекою судноплавання з метою підвищення його безпеки. Дослідження за напрямом мають підтримку з боку Міжнародної морської організації (IMO), ISO, багатьох класифікаційних товариств та регіональних морських організацій. Методи підтримки прийняття рішень у зазначеному напрямі слід розділити на дві великі підгрупи: до першої відносяться методи, що вирішують питання, пов'язані з оцінкою довгострокових або стратегічних ризиків в судноплаванні, до

другої – методи, пов’язані з оцінкою оперативних ризиків, безпосередньо пов’язаних з операціями керування судном [29].

Значна частка досліджень зазначеного напрямку пов’язана з потребами дотримання вимог ISO 31000 [30, 31], IMO FSA та ISM, а також виконанням норм міжнародного законодавства, які регламентують правила руху суден, зокрема МППЗС-72 [32] та POLARIS [33]. Важливою складовою напрямку, яка перебуває в стадії активного розвитку, є створення прикладних програмних та апаратних засобів, що дозволяють реалізувати на практиці процеси неухильного дотримання судноводіями вимог вказаних нормативних документів. Зазначені обставини обумовлені насамперед тим, що на практиці судноводіям складно обробляти в режимі реального часу великі обсяги навігаційних даних з одночасним врахуванням нормативних вимог, які регламентують рух суден, що призводить до виникнення помилок в процесах керування судном і обумовлює появу негативного впливу так званого людського чинника.

Окремим пріоритетним під напрямом досліджень в межах вищевказаного, є розробка методів і засобів керування автономними суднами. Стратегічний план діяльності ІМО на 2018–2023 р. вказує на наявну гостру необхідність імплементації в міжнародні нормативні документи норм і правил, що регламентують рух автономних суден. Згідно [34], ІМО визначає чотири рівня автономності суден: судно з автоматизацією процесів і прийняттям рішень, дистанційно кероване судно з машиною командою на борту, дистанційно кероване судно без команди на борту, повністю автономне судно. Також ІМО анонсувало розробку нових правил керування ризиками та безпекою для автономних суден, які вступлять в дію з 01.01.2028 р. Застосування таких суден обумовить стрімке зростання частки наукових досліджень, пов’язаних із застосуванням методів штучного інтелекту (ШІ), інтелектуального аналізу даних (ІАД), машинного навчання (МН) та інших методів в галузі сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, що будуть розглянуті нижче.

Таблиця 1. Класифікація напрямів наукових досліджень в галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються

№	Спрямовання досліджень	Коло задач, що вирішуються
1	Загальне керування морськими ризиками та безпекою мореплавства.	Створення нормативних документів і правил з метою покращення безпеки мореплавства, шляхом застосування стратегій керування ризиками, що гармонізовані з міжнародними стандартами безпеки.
2	Аналіз статичних ризиків.	Оцінка та зменшення ризиків мореплавства на основі наявних масивів статистичних даних для визначених районів та маршрутів суден за минулі періоди часу.
3	Аналіз динамічних ризиків	Оцінка та зменшення ризиків мореплавства в режимі реального часу на основі наявної навігаційної ситуації та можливих змін зовнішніх факторів, що впливають на її розвиток.
4	Аналіз зіткнень суден та посідань на міліну.	Оцінка масштабів та наслідків збитків, обумовлених зіткненнями суден та їх посіданням на міліну, з метою визначення

		найбільш безпечних та ефективних стратегій керування рухом суден.
5	Управління та планування руху суден із застосуванням математичних моделей руху.	Створення математичних моделей управління рухом суден в різних умовах плавання та за наявності зовнішніх факторів впливу з метою підвищення точності та безпечності навігації
6	Управління та планування руху суден з використанням ШІ, ІАД, МН та ін.	Створення новітніх технологій управління рухом суден з використанням методів ШІ, ІАД, МН метою підвищення точності та безпечності навігації в складних навігаційних умовах та за наявності зовнішніх факторів впливу, що динамічно змінюються.

Напрямок досліджень, що пов'язаний з аналізом постійних ризиків охоплює методи ідентифікації, оцінки та мінімізації ризиків судноплавства на стратегічному рівні. Зазначені методи дозволяють визначити існуючі фактори ризику, здійснити класифікацію ситуацій за рівнем ризиків та забезпечити відповідний вибір керуючих впливів, спрямованих на їх мінімізацію. Переважна більшість методів, що застосовується для аналізу постійних ризиків, розглядає такі фактори ризику як: людський фактор, вплив зовнішнього середовища, характеристики руху судна та параметри функціонування його систем, організаційні фактори впливу. Найбільш пріоритетним на поточний момент часу є вирішення питань запобігання зіткнень суден, посідання на міліну та оцінки ризиків, що виникають під час експлуатації автономних та безекіпажних суден [19, 35].

В цілому, зазначений напрямок досліджень є найбільшим за обсягом серед напрямів, що наведені в таблиці 1., і може бути додатково розподілений ще на дев'ять піднапрямів в залежності від типів математичних моделей, що застосовуються для вирішення поставлених задач. До таких піднапрямів слід віднести: методи нечіткої логіки [20], дерева подій та дерева відмов [36], аналіз видів відмов та їх наслідків [37], байесівські мережі [38], методи імітаційного моделювання [39], методи системного аналізу [40], геометричне моделювання [41], методи оцінки впливу людського фактору [42], інші (або комбіновані) методи.

Головною метою напряму досліджень «Аналіз динамічних ризиків» є виявлення та оцінка ризиків, що обумовлені рухом суден. Методи зазначеного напряму спрямовані на ідентифікацію небезпечних ситуацій що виникають під час руху суден (зіткнення з іншими суднами, посідання на міліну та зіткнення з нерухомими об'єктами, навігаційні небезпеки, тощо) з метою формування сценаріїв дій з керування рухом суден, спрямованих на уникнення таких ситуацій. Виходячи з математичних моделей, що застосовуються, зазначений напрямок також може бути розділений на п'ять піднапрямів, а саме: метод пошуку точок найбільшого зближення, метод безпечної зони судна, метод динамічної безпечної зони судна, метод швидкостей перешкод, гібридні методи [18, 19, 29].

Напрямок досліджень «Аналіз зіткнень суден та посідання на міліну» розглядає методи оцінки наслідків морських аварій суден та рівнів потенційних збитків, до яких вони призводять, з метою мінімізації їх негативного впливу. Таким чином, зазначені методи слугують для визначення дій, спрямованих на зменшення масштабів пошкоджень суден під час морських аварій.

Для визначення масштабів наслідків пошкодження суден під час зіткнень застосовуються аналітичні та імітаційні моделі, а також емпіричні моделі, що базуються на статистичних відомостях що до пошкоджень суден, що мали місце в минулому під час різних типів аварій. Контакт корпусу судна, що рухається, з твердими перешкодами або посідання на мілину призводить до структурних деформацій, масштаб яких залежить від множини факторів (швидкість руху, місце, напрям та тривалість зіткнення та ін.) і може бути оцінений шляхом застосування певних математичних або імітаційних моделей та методів. В зазначених моделях корпус судна розглядається як тверде тіло, що рухається в просторі з шістьма ступенями свободи (6DoF) та знаходиться під впливом зовнішніх (хвилі, вітер та течії) та власних рушійних сил (момент інерції, амортизаційні ефекти від руху корпусу у воді, відхилення від траєкторії руху, кінетична енергія тощо) [43].

Виходячи з математичного апарату, що застосовується для вирішення вказаних задач, зазначений напрям досліджень може бути розділений на чотири піднапрями: ймовірнісні методи, аналітичні методи, методи машинного навчання, комбіновані методи [8, 19, 20, 29, 36, 37].

Управління та планування руху суден з використанням методів ШІ для запобігання зіткнень є напрямом досліджень, якій протягом останніх кількох років набув найбільш стрімкого розвитку [28], як завдяки процесам бурхливої інтеграції новітніх інформаційних технологій в галузі судноводіння так і появі нового сегменту в галузі – автономних та дистанційно керованих, безекіпажних суден. Ключовими задачами, на розв'язання яких спрямовані методи даного напрямку є: прогнозування можливих траєкторій руху суден задля запобігання зіткнень, вибір найкращого маршруту руху суден під час виконання трансокеанських переходів за критеріями економії палива та безпеки виконання рейсу у відповідності до гідрометеорологічних умов, керування рухом у вузькостях та каналах, автоматизоване та повністю автономне керування безекіпажними суднами [44].

Разом з тим, слід зазначити, що застосування СППР для вирішення практичних задач управління рухом суден та устаткуванням потребує також врахування особливостей взаємодії таких систем з ОПР, або судноводієм.

Слід враховувати, що при прийнятті рішення, судноводій зазвичай керується нижченаведеними правилами [1]:

1. Під час здійснення аналізу ситуації, що склалася, судноводій підсвідомо оцінює динаміку навігаційних параметрів, здійснюючі прогнозування їх змін у часі і формуючи, таким чином, навігаційну ситуацію, що матиме місце у майбутньому.

2. За сприятливих умов (відсутність втоми, нескладна ситуація вибору рішення, стали фактори впливу зовнішнього середовища) судноводій здатний самостійно долати фактори неточності та неповноти вихідних даних, та швидко приймати вірне рішення, спираючись лише на наявний досвід.

3. За несприятливих умов, судноводій підсвідомо здійснює «огрублення» ситуації, що склалася, аналізуючи лише певну кількість, «найбільш важливих», з його суб'єктивної точки зору, параметрів з метою більш швидкого ухвалення рішення.

4. Судноводій зазвичай формує для себе можливий сценарій розвитку подальших дій спираючись на власний досвід прийняття рішень в подібних ситуаціях, якщо вони вже мали місце в минулому, проте не завжди подібні сценарії є коректними і достовірними, що, як наслідок, призводить до прийняття ним суб'єктивних рішень.

5. Судноводій постійно оцінює рівень досягнення ним поставлених результатів керування, що завжди супроводжується певним рівнем емоційного відчуття успіху або тривоги в залежності від складності ситуації, яка має місце.

Саме вищезазначені особливості у поєднанні з постійним збільшенням обсягів інформації, що потребує оперативної обробки, і є першочерговими чинниками виникнення такого явища, як людський фактор. Можливі шляхи його подолання докладно розглянуто у роботах [26-28,42]. З метою зменшення негативного впливу людського фактору, та підвищення ефективності взаємодії СППР із судноводієм в цілому, доцільно враховувати структуру процесів інформаційного обміну, та застосовувати в СППР інтегровану модель ОПР, або судноводія.

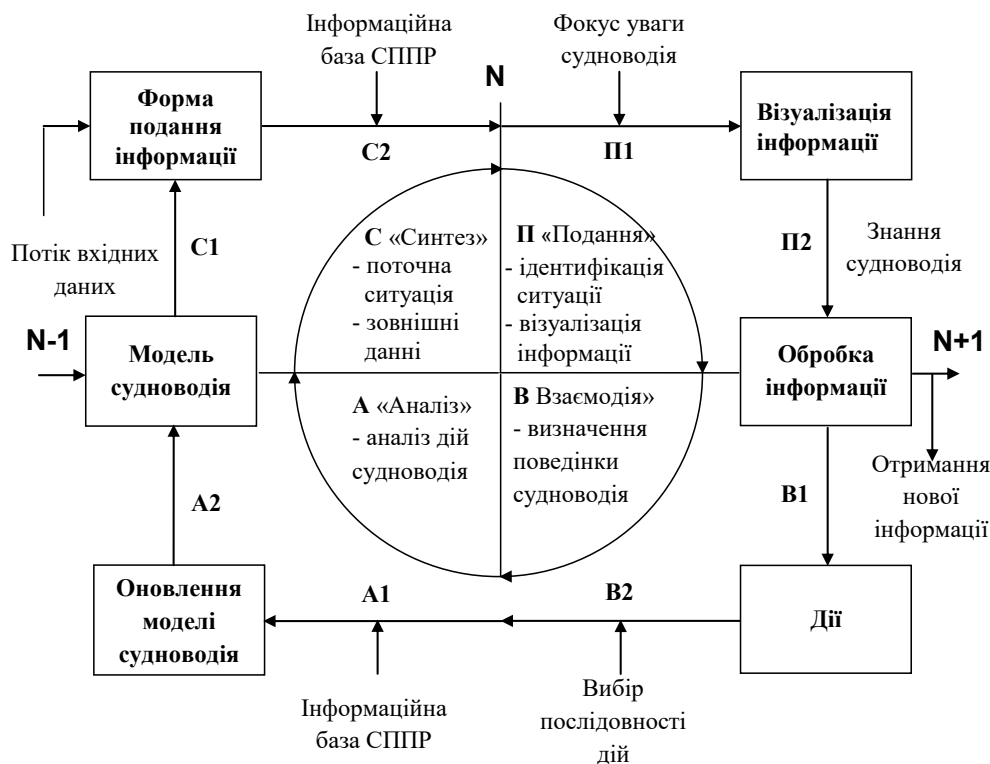


Рис. 2. Цикл інформаційної взаємодії судноводія з СППР [2]

В такому випадку взаємодія СППР та ОПР розглядається у вигляді безперервного ланцюжка послідовних циклів, де цикл інформаційної взаємодії складається з чотирьох фаз: «С»-«П»-«В»-«А» («Синтез», «Подання», «Взаємодія», «Аналіз»).

Під час циклу інформаційної взаємодії СППР застосовує модель судноводія з метою визначення пріоритетності розв'язання задач, що вирішуються, визначення форми візуалізації вихідних даних та змісту інформаційних повідомлень. Одночасно в СППР також здійснюється накопичення інформації про дії судноводія, яка в подальшому застосовується для уточнення його моделі.

Наявність моделі ОПР дозволяє знизити рівень інформаційного навантаження на ОПР та підвищити швидкість процесів обміну інформацією. Вищевказане набуває особливо важливого значення за умов прийняття рішень в критичних ситуаціях та наявності обмежень часу на їх формування та практичну реалізацію. Докладно особливості практичного запровадження зазначеного підходу розглянуті у роботі [29].

Результати дослідження їх аналіз. Аналізуючи сукупність напрямів досліджень та методів прийняття рішень, що застосовуються в галузі забезпечення безпеки судноплавства, можна виділити коло обов'язкових ключових функцій СППР та визначити шляхи її практичної реалізації.

Розглядаючи процес прийняття рішень в ергатичній системі «СППР-ОПР» як цілісний багатоетапний процес взаємодії, можна виділити цикл прийняття рішень, що полягає в послідовній реалізації чотирьох взаємопов'язаних етапів [2]:

- аналіз поточної навігаційної ситуації на підставі наявних вхідних даних та існуючих норм та правил, що регламентують рух суден;
- визначення потенційних ризиків, що існують в умовах, які склалися на поточний момент часу, та оцінка ймовірності їх настання;
- визначення можливих наслідків, що матимуть місце у випадку настання кожного із ризиків, та кількісна оцінка пошкоджень або матеріальних збитків, які будуть в такому разі отримані;
- прийняття рішень з управління судном на підставі комплексної згортки критеріїв мінімізації ризиків/негативних наслідків за умов дотримання існуючих міжнародних вимог.

Важливо відзначити, що задля забезпечення ефективної обробки інформації в колі постійної інформаційної взаємодії «СППР-ОПР» під час кожного з чотирьох вищезазначених етапів процесу прийняття рішень, слід застосовувати різні методи з узагальненої класифікації напрямів, наведених в таблиці 1, а саме наступні:

1. На першому етапі доцільним є застосування методів ідентифікації та класифікації ситуацій, а також методів, що належать до першого та третього піднапряму методів досліджень, зазначених в таблиці 1. Результатом виконання етапу є визначення множин статичних та динамічних небезпек, а також обмежень, що накладаються на траєкторію руху власного судна.

2. Під час виконання другого етапу процесу прийняття рішень визначаються потенційні фактори ризику, що можуть виникнути в процесі руху судна згідно з передбаченим маршрутом. На даному етапі слід застосовувати методи (окремі, або їх комбінації) що належать до другого та третього піднапрямів методів досліджень, зазначених в таблиці 1. Результатом етапу є формування множини факторів ризику, яка підлягає подальшому аналізу, впорядкуванню та скороченню.

3. На третьому етапі процесу прийняття рішень здійснюється оцінка наслідків – збитків та втрат, що можуть виникнути у разі настання одного або декількох визначених ризиків. За масштабами ймовірних наслідків здійснюється поділ усіх наявних ризиків на прийнятні, істотні та неприйнятні. Істотні та неприйнятні ризики розглядаються на наступному етапі для визначення керуючих впливів на рух судна та процеси функціонування його систем з метою уникнення ризикових ситуацій. Третій етап реалізується із застосуванням методів, які відносяться до четвертого піднапряму.

Четвертий етап передбачає широке застосування методів, зазначених у п'ятому та шостому піднапрямах таблиці 1, а саме: методів математичного моделювання, ШІ, ІАД та сценарно-прецедентного підходу, з метою формування підмножини можливих рішень.

Також слід зауважити, що при практичній реалізації СППР вкрай необхідним є застосування модульного принципу побудови системи, відповідно до якого кожен з вищезазначених етапів реалізується в окремому програмному модулі СППР, а уніфікованими є лише формати потоків даних між ними. В такому випадку з'являється необхідність швидкої модернізації та модифікації СППР у відповідності до потреб конкретного судновласника, або у зв'язку з необхідністю внесення змін, обумовлених змінами у чинних міжнародних нормативних документах у галузі судноплавства.

Збільшення кількості автономних та безекіпажних суден потребує подальшого поглиблення та розвитку наукових досліджень не лише галузі сучасних методів прийняття рішень з керування такими суднами (ШІ, ІАД, МН та ін..) але і нових технологічних рішень в розвитку каналів високошвидкісної передачі даних, оскільки для успішної практичної

реалізації зазначені методи потребують переробки великих обсягів інформації стосовно руху суден в режимі реального часу. В зазначеному контексті важливим напрямом є розвиток берегових навігаційних систем та портової інфраструктури в рамках розвитку нової технології систем водного транспорту «New Generation of Waterborne Transportation Systems» (NG-WTS) [45].

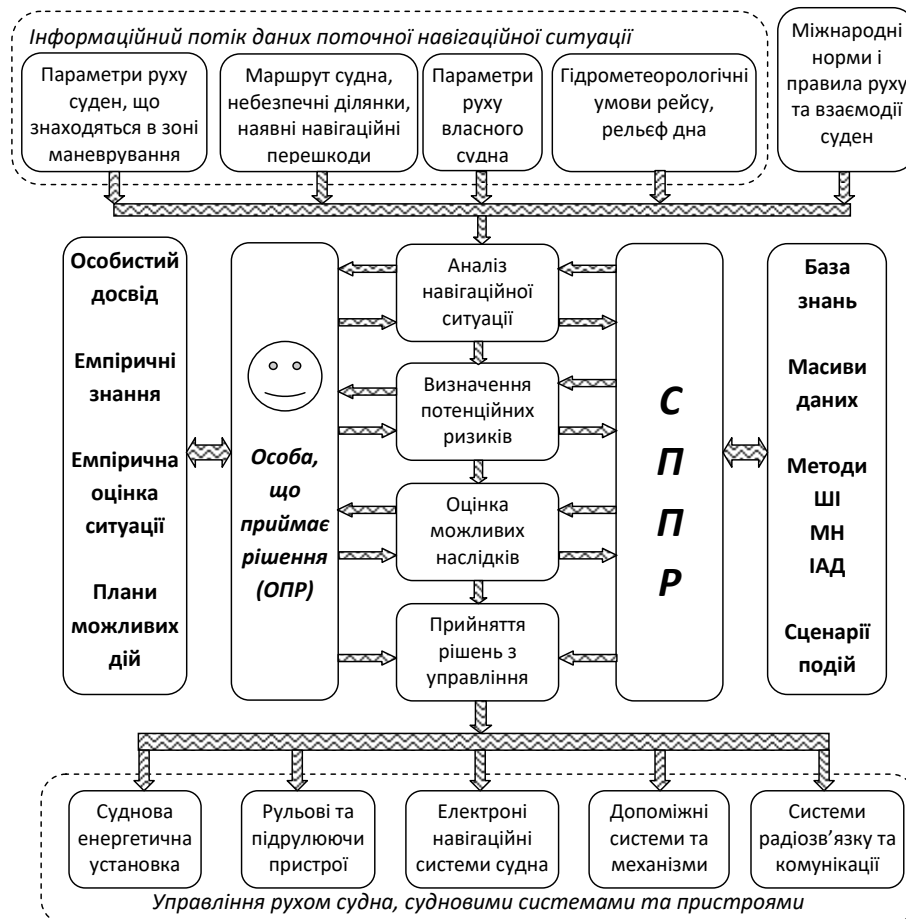


Рис. 3. Загальна структура інформаційних потоків та етапів прийняття рішень у СППР судноводія

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Зниження кількості аварій суден може бути досягнуте шляхом широкого запровадження СППР в галузі судноводіння. Важливою складовою успішного застосування СППР судноводія є обґрунтований і коректний вибір належних методів обробки інформації в цілісній ергатичній системі «СППР-ОПР» на відповідних етапах прийняття рішень. Виділення в циклі прийняття рішень чотирьох базових етапів з диференційованим застосуванням різних методів обробки даних та прийняття рішень на кожному з них позитивно вплине на якість та оперативність формування рішень з управління рухом суден.

Застосування принципу модульності побудови забезпечує необхідні передумови до її швидкої модернізації та модифікації у відповідності до потреб конкретного судновласника, або у зв'язку з необхідністю внесення змін, обумовлених змінами у чинних міжнародних нормативних документах у галузі судноплавства.

Наукова новизна дослідження полягає у здійсненні класифікації СППР та методів прийняття рішень в галузі безпеки судноплавства за класами задач, що вирішуються, та

визначення, на її основі, структури СППР з управління рухом судна та особливостей інформаційних процедур, які застосовуються в процесах прийняття рішень та взаємодії з особою, що приймає рішення (ОПР).

Практичне значення полягає у можливості впровадження такої системи в процесах керування рухом суден в критичних ситуаціях, а також під час тренажерної підготовки та практичного навчання судноводіїв.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] 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>
- [2] Бень А.П. Методи прийняття рішень з управління рухом суден в інтелектуальних навігаційних інформаційних системах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 2 (29). С. 99-110. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.2.29.099-110>
- [3] Мальцев А. С., Бень А. П. Системи підтримки прийняття рішень щодо управління рухом судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с.
- [4] Бень А.П., Паламарчук И.В. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішення судноводія у рамках концепції e-Navigation. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). С. 19-24.
- [5] Lazarowska A. A trajectory base method for ship's safe path planning/ 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Procedia Computer Science 96 (2016), pp. 1022-1031. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.118>.
- [6] Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*. 2005. Vol. 2. P. 1285-1292.
- [7] Timchenko V., Kondratenko Y., Kreinovich V. Decision Support System for the Safety of Ship Navigation Based on Optical Color Logic Gates // Information Technology and Implementation (IT&I-2022), pp. 42–52.
- [8] Krata P., Kniat A., Vettor R., Krata H., Guedes Soares C. The Development of a Combined Method to Quickly Assess Ship Speed and Fuel Consumption at Different Powertrain Load and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2021. Vol. 15, № 2. P. 437–444. <https://doi.org/10.12716/1001.15.02.23>.
- [9] Cai Y., Wen Y.Q.: Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2014. Vol. 8, № 4. P. 551-556. <https://doi.org/10.12716/1001.08.04.09>.
- [10] Паламарчук І. В. Моделювання розходження суден в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2020. № 1 (22). С. 45-53. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2020.1.22.045-053>.
- [11] Якусевич Ю. Г., Тришин В. В., Дорофєєва З. Я. Побудова навігаційної системи судна на основі сучасних інформаційних технологій. *Кібернетика та системний аналіз*. №4(70). 2021. С. 83–88. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.70.12>.
- [12] 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>.

- [13] Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. Система підтримки прийняття рішень по завантаженню великотоннажного контейнеровозу. *Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. Серія: "Комп'ютерні технології"*. 2016. Вип. 271. Т. 283. С. 60–63.
- [14] Kebedow K. G., Oppen J. Including Containers with Dangerous Goods in the Multi-Port Master Bay Planning Problem. *MENDEL*. 2018. vol. 24. no. 2. P. 23-36. <https://doi.org/10.13164/mendel.2018.2.023>.
- [15] Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*. 2014. vol. 236, no. 1. P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.023>.
- [16] Rodriguez-Molins M., Salido M.A., Barber F. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39(1). P. 978–989. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.098>.
- [17] Yishan L., Zhiqiang G., Jie Y. et al. Prediction of ship collision risk based on CART. *IET Intelligent Transport Systems*. 2018. Vol. 12. Issue 10. pp. 1345-1350. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5281>.
- [18] Dugan S. A., Skjetne R., Wróbel K., Montewka J., Gil M., Utne I. B. Integration Test Procedures for a Collision Avoidance Decision Support System Using STPA. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2023. Vol. 17, № 2. P. 375–381. <https://doi.org/10.12716/1001.17.02.14>.
- [19] Huang Y., Chen L., Chen P., Negenborn R. R., Van Gelder PHAJM. Ship collision avoidance methods: state-of-the-art. *Safety Science*, 2020,121, P. 451–473. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.018>.
- [20] Li Y., Song G., Yip T.-L., Yeo G.-T. Fuzzy Logic-Based Decision-Making Method for Ultra-Large Ship Berthing Using Pilotage Data *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12, 717. <https://doi.org/10.3390/jmse12050717>.
- [21] Pietrzykowski Z., Wołęjsza P., Borkowski P. Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* 2017. Vol. 70. P. 447–464. <https://doi.org/10.1017/S0373463316000746>.
- [22] Koyama T. and Yan J. An expert system approach to collision avoidance, 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
- [23] Smeaton G. , Coenen F. Developing an intelligent marine navigation system. *Computing & Control Engineering Journal*. 1990. Vol. 1. Issue 2. P. 95-103. <https://doi.org/10.1049/cce:19900024>.
- [24] Вагущенко Л. Л. Суднові навігаційно-інформаційні системи. Одеса: НУ "ОМА", 2016. 238 с.
- [25] Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Підтримка рішень щодо розходження з судами: Фенікс, 2010. – 229 с.
- [26] Лелеко Н.В. Шляхи підвищення якості взаємодії оператора із системою динамічного позиціонування. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018. № 1 (18). С. 27–33.
- [27] Nosov P.S., Ben A.P., Safonova A.F., Palamarchuk I.V. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Науковий журнал*

- «Радіоелектроніка, інформатика, управління». 2019. № 2 (49). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15>.
- [28] MacKinnon S. N., Weber R., Olindersson F. and Lundh M. Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective/In book: Advances in Human Aspects of Transportation, N. Stanton (Ed.): AHFE 2020, AISC 1212, pp. 429–435. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50943-9_54.
- [29] Zhang M. Big data analytics methods for collision and grounding risk analysis in real conditions: framework, evaluation, and applications. Aalto University; Doctoral thesis, 2023, 202 p.p.
- [30] IMO. Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the imo rule-making process. London, UK: International Maritime Organization - MSC/Circ.1023- MEPC/Circ.392, 2002.
- [31] ISO. ISO 31000:2018. Risk management – guidelines. International Organization for Standardization, 2018.
- [32] IMO. Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).
- [33] IMO. Maritime safety committee POLARIS – proposed system for determining operational limitations in ice. In: Submitted by the International Association of Classification Societies, MSC 94/3/7, 9th Session, Agenda 3, September 12; 2014. 2014.
- [34] IMO. Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS) - MSC.1-Circ.1638, London, UK. 2021.
- [35] Du L, Goerlandt F, Kujala P. Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering and System Safety*, 200, 2020, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106933>.
- [36] Tunçel A. L., Yüksekşildiz E., Akyuz E., & Arslan O. Probability-based extensive quantitative risk analysis: collision and grounding case studies for bulk carrier and general cargo ships. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 2021. 15(1), 89–105. <https://doi.org/10.1080/18366503.2021.1994191>.
- [37] Başhan, V., Demirel, H. & Gul, M. An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety. *Soft Computing*, 24, 2020, 18749–18764. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05108-y>.
- [38] Bünyamin Kamal, Erkan Çakır, Data-driven Bayes approach on marine accidents occurring in Istanbul strait, *Applied Ocean Research*, 2022, Volume 123, 103180. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103180>.
- [39] Axel Hörteborn, Jonas W. Ringsberg, A method for risk analysis of ship collisions with stationary infrastructure using AIS data and a ship manoeuvring simulator, *Ocean Engineering*, 2021, Volume 235, 109396. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109396>.
- [40] Leveson N. G. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. The MIT Press, 2016. p. 560.
- [41] Kujala P., Hänninen M., Arola T., Ylitalo J. Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 94, Issue 8, 2009, pp. 1349–1357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2009.02.028>.

- [42] Wu B., Yip T. L., Yan X., Soares C. G. Review of techniques and challenges of human and organizational factors analysis in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*, 2022, 219:108249. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108249>.
- [43] Sang Jin Kim, Mihkel Kõrgersaar, Nima Ahmadi, Ghalib Taimuri, Pentti Kujala, Spyros Hirdaris, The influence of fluid structure interaction modelling on the dynamic response of ships subject to collision and grounding, *Marine Structures*, Vol. 75, 2021, 102875. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102875>.
- [44] Abudu R., Bridgelall R. Autonomous Ships: A Thematic Review. *World* 2024, 5, P. 276–292. <https://doi.org/10.3390/world5020015>.
- [45] Yan X., Li C., Liu J., You X., Wang S., Ma F. Architecture and key technologies for new generation of waterborne transportation system. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5):22. <https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.003>.

REFERENCES

- [1] A. P. Ben, "Decision support systems in ship navigation: current state and prospects for further development," *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, no. 1(28), pp. 152–162, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.152-162>
- [2] A. P. Ben, "Decision-making methods for ship traffic control in intelligent navigational information systems," *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, no. 2(29), pp. 99–110, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.2.29.099-110>
- [3] A. S. Maltsev and A. P. Ben, *Decision support systems for ship traffic control*. Kherson: KhSMA Publishing, 2019, 244 p.
- [4] A. P. Ben and I. V. Palamarchuk, "Principles of building decision support systems for shipmasters within the e-Navigation concept," *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, no. 2(13), pp. 19–24, 2015.
- [5] Lazarowska A. A trajectory base method for ship's safe path planning/ 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, *Procedia Computer Science* 96 (2016), pp. 1022-1031. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.118>.
- [6] Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*. 2005. Vol. 2. P. 1285-1292.
- [7] Timchenko V., Kondratenko Y., Kreinovich V. Decision Support System for the Safety of Ship Navigation Based on Optical Color Logic Gates // *Information Technology and Implementation (IT&I-2022)*, pp. 42–52.
- [8] Krata P., Kniat A., Vettor R., Krata H., Guedes Soares C. The Development of a Combined Method to Quickly Assess Ship Speed and Fuel Consumption at Different Powertrain Load and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2021. Vol. 15, № 2. P. 437–444. <https://doi.org/10.12716/1001.15.02.23>.
- [9] Cai Y., Wen Y.Q.: Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2014. Vol. 8, № 4. P. 551-556. <https://doi.org/10.12716/1001.08.04.09>.

- [10] I. V. Palamarchuk, "Modeling of ship encounter situations in the decision support system for shipmasters," *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, no. 1(22), pp. 45–53, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2020.1.22.045-053>
- [11] Yu. G. Yakusevych, V. V. Tryshyn, and Z. Ya. Dorofieieva, "Development of a ship navigation system based on modern information technologies," *Cybernetics and Systems Analysis*, no. 4(70), pp. 83–88, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.70.12>
- [12] 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>.
- [13] V. V. Nikolskiy, M. V. Nikolskiy, and Yu. A. Nakul, "Decision support system for loading a large-capacity container ship," *Scientific Works of Petro Mohyla Black Sea State University. Series: Computer Technologies*, vol. 283, no. 271, pp. 60–63, 2016.
- [14] Kebedow K. G., Oppen J. Including Containers with Dangerous Goods in the Multi-Port Master Bay Planning Problem. *MENDEL*. 2018. vol. 24. no. 2. P. 23-36. <https://doi.org/10.13164/mendel.2018.2.023>.
- [15] Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*. 2014. vol. 236, no. 1. P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.023>.
- [16] Rodriguez-Molins M., Salido M.A., Barber F. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39(1). P. 978–989. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.098>.
- [17] Yishan L., Zhiqiang G., Jie Y. et al. Prediction of ship collision risk based on CART. *IET Intelligent Transport Systems*. 2018. Vol. 12. Issue 10. pp. 1345-1350. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5281>.
- [18] Dugan S. A., Skjetne R., Wróbel K., Montewka J., Gil M., Utne I. B. Integration Test Procedures for a Collision Avoidance Decision Support System Using STPA. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2023. Vol. 17, № 2. P. 375–381. <https://doi.org/10.12716/1001.17.02.14>.
- [19] Huang Y., Chen L., Chen P., Negenborn R. R., Van Gelder PHAJM. Ship collision avoidance methods: state-of-the-art. *Safety Science*, 2020,121, P. 451–473. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.018>.
- [20] Li Y., Song G., Yip T.-L., Yeo G.-T. Fuzzy Logic-Based Decision-Making Method for Ultra-Large Ship Berthing Using Pilotage Data *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12, 717. <https://doi.org/10.3390/jmse12050717>.
- [21] Pietrzykowski Z., Wołęjsza P., Borkowski P. Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* 2017. Vol. 70. P. 447–464. <https://doi.org/10.1017/S0373463316000746>.
- [22] Koyama T. and Yan J. An expert system approach to collision avoidance, 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
- [23] Smeaton G. , Coenen F. Developing an intelligent marine navigation system. *Computing & Control Engineering Journal*. 1990. Vol. 1. Issue 2. P. 95-103. <https://doi.org/10.1049/cce:19900024>.

- [24] L. L. Vagushchenko, *Ship Navigational-Information Systems*, Odesa: NU "OMA", 2016, 238 p.
- [25] L. L. Vagushchenko and A. L. Vagushchenko, *Decision Support for Ship Encounter Avoidance*, Kharkiv: Feniks, 2010, 229 p.
- [26] N. V. Leleko, "Ways to improve the quality of operator interaction with the dynamic positioning system," *Scientific Bulletin of Kherson State Maritime Academy*, no. 1(18), pp. 27–33, 2018.
- [27] Nosov P.S., Ben A.P., Safonova A.F., Palamarchuk I.V. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Науковий журнал «Радіoeлектроніка, інформатика, управління»*. 2019. № 2 (49). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15>.
- [28] MacKinnon S. N., Weber R., Olindersson F. and Lundh M. Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective/In book: *Advances in Human Aspects of Transportation*, N. Stanton (Ed.): AHFE 2020, AISC 1212, pp. 429–435. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50943-9_54.
- [29] Zhang M. Big data analytics methods for collision and grounding risk analysis in real conditions: framework, evaluation, and applications. Aalto University; Doctoral thesis, 2023, 202 p.p.
- [30] IMO. Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the imo rule-making process. London, UK: International Maritime Organization - MSC/Circ.1023- MEPC/Circ.392, 2002.
- [31] ISO. ISO 31000:2018. Risk management – guidelines. International Organization for Standardization, 2018.
- [32] IMO. Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).
- [33] IMO. Maritime safety committee POLARIS – proposed system for determining operational limitations in ice. In: Submitted by the International Association of Classification Societies, MSC 94/3/7,9th Session, Agenda 3, September 12; 2014. 2014.
- [34] IMO. Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS) - MSC.1-Circ.1638, London, UK. 2021.
- [35] Du L, Goerlandt F, Kujala P. Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering and System Safety*, 200, 2020, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106933>.
- [36] Tunçel A. L., Yüksekıyıldız E., Akyuz E., & Arslan O. Probability-based extensive quantitative risk analysis: collision and grounding case studies for bulk carrier and general cargo ships. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 2021. 15(1), 89–105. <https://doi.org/10.1080/18366503.2021.1994191>.
- [37] Başhan, V., Demirel, H. & Gul, M. An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety. *Soft Computing*, 24, 2020, 18749–18764. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05108-y>.
- [38] Bünyamin Kamal, Erkan Çakır, Data-driven Bayes approach on marine accidents occurring in Istanbul strait, *Applied Ocean Research*, 2022, Volume 123, 103180. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103180>.

- [39] Axel Hörteborn, Jonas W. Ringsberg, A method for risk analysis of ship collisions with stationary infrastructure using AIS data and a ship manoeuvring simulator, *Ocean Engineering*, 2021, Volume 235, 109396. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109396>.
- [40] Leveson N. G. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. The MIT Press, 2016. p. 560.
- [41] Kujala P., Hänninen M., Arola T., Ylitalo J. Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 94, Issue 8, 2009, pp. 1349–1357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2009.02.028>.
- [42] Wu B., Yip T. L., Yan X., Soares C. G. Review of techniques and challenges of human and organizational factors analysis in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*, 2022, 219:108249. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108249>.
- [43] Sang Jin Kim, Mihkel Kõrgersaar, Nima Ahmadi, Ghalib Taimuri, Pentti Kujala, Spyros Hirdaris, The influence of fluid structure interaction modelling on the dynamic response of ships subject to collision and grounding, *Marine Structures*, Vol. 75, 2021, 102875. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102875>.
- [44] Abudu R., Bridgelall R. Autonomous Ships: A Thematic Review. *World* 2024, 5, P. 276–292. <https://doi.org/10.3390/world5020015>.
- [45] Yan X., Li C., Liu J., You X., Wang S., Ma F. Architecture and key technologies for new generation of waterborne transportation system. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5):22. <https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.003>.