

МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

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.

Стаття присвячена питанням розвитку методів підтримки прийняття рішень у галузі судноводіння та їх практичному застосуванню в інтелектуальних навігаційних інформаційних системах (ІНІС). Проведено порівняльний аналіз аварійності сучасного світового судноплавства за останні два десятиріччя, визначено її динаміку та з'ясовані основні чинники виникнення аварій. Доведено, що домінуюча частка аварій обумовлена негативним впливом людського фактора на процеси управління суднами, що, як наслідок, призводить до зіткнень, посадок на мілину, а також до виникнення небезпечних ситуацій на судні та відмов у роботі його систем. Показані типи помилок, обумовлених впливом людини на процеси керування судном та запропоновані можливі шляхи зменшення їх кількості. Визначено роль та місце ІНІС та систем підтримки прийняття рішень (СППР) у вирішенні задач підвищення якості та ефективності процесів управління суднами та судновими системами з метою зменшення рівня аварійності. Доведено, що ІНІС мають значний потенціал у вирішенні проблеми зменшення кількості помилок, спричинених впливом людського фактора на процеси керування суднами та допоміжними системами, і, як наслідок, сприятимуть зменшенню кількості аварій у світовому судноплавстві. Показано зростаючу роль сучасних інформаційних технологій, зокрема методів штучного інтелекту та інтелектуального аналізу даних у вирішенні питань підвищення безпеки сучасного судноплавства, зростання рівня його автоматизації. Запропоновано класифікацію методів прийняття рішень у галузі судноводіння за класами задач, що вирішуються. Визначено особливості практичного застосування кожної групи методів в ІНІС та окреслено перспективні шляхи їх подальшого розвитку. Розроблено загальну структуру ІНІС та запропоновано застосування чотирьохетапного циклу для реалізації процесу прийняття рішень із диференційованим використанням різних груп методів та джерел вихідних даних на кожному з етапів. Визначено пріоритетні шляхи та перспективи подальшого застосування СППР та ІНІС у судноплавстві, а також їх місце і роль у розвитку галузі безпекажних та автономних морських суден.

Ключові слова: інтелектуальні системи; навігаційні системи; судноводіння; системи підтримки прийняття рішень; методи прийняття рішень; штучний інтелект, управління судном; безпека мореплавства.

DOI: 10.33815/2313-4763.2024.2.29.099-110

Вступ. Попри негативні наслідки пандемії коронавірусу та напружену безпекову ситуацію у світі, розвиток міжнародного морського судноплавства триває, а його обсяги, як і кількість суден світового торговельного флоту, мають стійку тенденцію до щорічного збільшення [1]. Разом з тим, збільшення обсягів морських перевезень також обумовлює зростання як витрат на експлуатацію суден, так і кількості аварій, спричинених процесами судноплавства, у тому числі зі значними негативними техногенними, економічними та екологічними наслідками.

Таким чином, виникає протиріччя, яке обумовлене, з одного боку, наявною потребою підвищення обсягів світових морських перевезень, їх швидкості та безпечності, а з іншого – досягнення цього за умов максимального зменшення всіх видів економічних та часових витрат, що пов'язані з їх реалізацією. Розв'язання зазначеного протиріччя можливе лише в площині одночасного системного і комплексного застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій в усіх сферах керування процесами транспортування вантажів морськими шляхами: забезпечення безпеки морських перевезень, логістики, керування вантажними операціями, технічної експлуатації суден, оптимізації роботи портової інфраструктури тощо.

Окремими питаннями, які потребують вирішення в контексті успішного розв'язання зазначеної проблеми, постають питання комплексного аналізу причин виникнення морських аварій та їх наслідків, визначення пріоритетних шляхів та методів їх попередження та

мінімізації економічних та людських втрат, а також негативного впливу на навколишнє середовище. Важливе місце у вирішенні вищевказаних питань займає інтеграція в галузь судноплавства новітніх інформаційних технологій і методів обробки даних, які дозволяють істотно пришвидшити та покращити якість процесів управління суднами, судовими системами та допоміжними пристроями.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та методів обробки даних, а також наявні запити практики в галузі судноводіння, обумовили створення та запровадження судових електронних картографічних навігаційних інформаційних систем (ЕКНІС), інтегрованих інформаційних систем ходового містка [2] та їх подальший розвиток і вдосконалення у вигляді інтелектуальних навігаційних інформаційних систем (ІНІС) та систем підтримки прийняття рішень (СППР) [3–8], що сприяло відповідному зростанню інтересу дослідників та кількості наукових публікацій у зазначеному напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведений аналіз публікацій різних авторів за тематикою дослідження [3–24], дозволив виявити доволі широке коло напрямів і методів, що застосовуються для вирішення задач підвищення безпечності і точності сучасного судноводіння та управління загальносудновими системами в цілому.

Так, сучасні ІНІС вже починають інтегрувати в собі найбільш перспективні та затребувані можливості систем підтримки прийняття рішень (СППР), інтелектуального аналізу даних (ІАД), машинного навчання (МН), розпізнавання зображень (машинний зір), сценарно-прецедентного планування дій, та інші наявні кращі надбання в галузі штучного інтелекту (ШІ).

Слід зазначити, що протягом останнього десятиріччя значна увага приділяється створенню моделей і методів керування безекіпажних і повністю автономних суден [9], і в цьому контексті створення та застосування ІНІС та СППР для управління такими об'єктами є особливо важливим напрямом наукових досліджень.

Попри це, однак, слід зазначити, що хоча зростання в майбутньому у світовому суднопластві частки автономних суден для перевезення вантажів і обіцяє позитивним чином вплинути на рівень аварійності, внаслідок зменшення негативного впливу людського фактора на процеси управління суднами, цей процес іде доволі повільно, та, у підсумку, не дозволить ніколи повністю відмовитись від наявності машинної команди на борту судна внаслідок постійної наявності потреб перевезення шкідливих та небезпечних вантажів, енергоносіїв, а також потреб пасажирського флоту та військових.

Таким чином, людський фактор у сфері застосування сучасних інформаційних технологій завжди буде наявним, що лише призведе до стрімкого зростання ролі ІНІС у суднопластві в цілому, як головної сполучної ланки між людиною та автоматизованими системами керування рухом суден. Тому дослідження та вдосконалення методів, що застосовуються в ІНІС для реалізації процесів прийняття рішень, а також вирішення питань, безпосередньо пов'язаних із створенням та практичним запровадженням таких систем, являє собою актуальну науково-практичну проблему сьогодення, що й обумовило вибір мети та основних задач дослідження.

Мета та задачі дослідження. *Метою* дослідження є: провести порівняльний аналіз сучасних методів прийняття рішень з управління рухом суден та визначити особливості їх практичної реалізації в ІНІС, розробити узагальнену структурну схему ІНІС судноводія, визначити її основні функції та шляхи їх практичної реалізації.

Об'єкт дослідження: інтелектуальні навігаційні інформаційні системи в судноводінні.

Предмет дослідження: застосування методів прийняття рішень з управління рухом суден в інтелектуальних навігаційних інформаційних системах судноводія.

Досягнення поставленої мети дослідження передбачає вирішення наступних задач:

1. Провести порівняльний аналіз основних причин аварійності світового флоту та визначити пріоритетні напрями наукових досліджень, спрямованих на зниження її рівня.

2. Визначити роль і місце ІНІС в сучасному судноплаванні, та вплив їх застосування на процеси зниження рівня аварійності.

3. Здійснити класифікацію методів прийняття рішень у галузі забезпечення безпеки судноплавства за класами задач, що вирішуються, та визначити особливості їх практичної реалізації в ІНІС.

4. Розробити загальну структуру ІНІС, визначити коло її базових функцій та шляхи їх реалізації.

Виклад основного матеріалу. Проведений аналіз даних щодо кількості суден світового торгового флоту за період 2002–2022 рр., а також рівня аварійності, на підставі інформації, яка отримана з джерел [1] та [25], дозволяє зробити висновки стосовно наявності стійкої тенденції до зростання обох показників (рис. 1). Важливо зазначити, що в абсолютних показниках кількість аварій суден у 2021 році у порівнянні з 2002 роком зростає у 1,74 рази (на 74%), при цьому найбільша кількість аварій припадає на контейнеровози, пасажирські судна та суховантажі. Але слід також враховувати, що і кількість суден за зазначений період часу зростає майже вдвічі, тому у співвідношенні до кількості суден показник аварійності майже не зазнав змін.

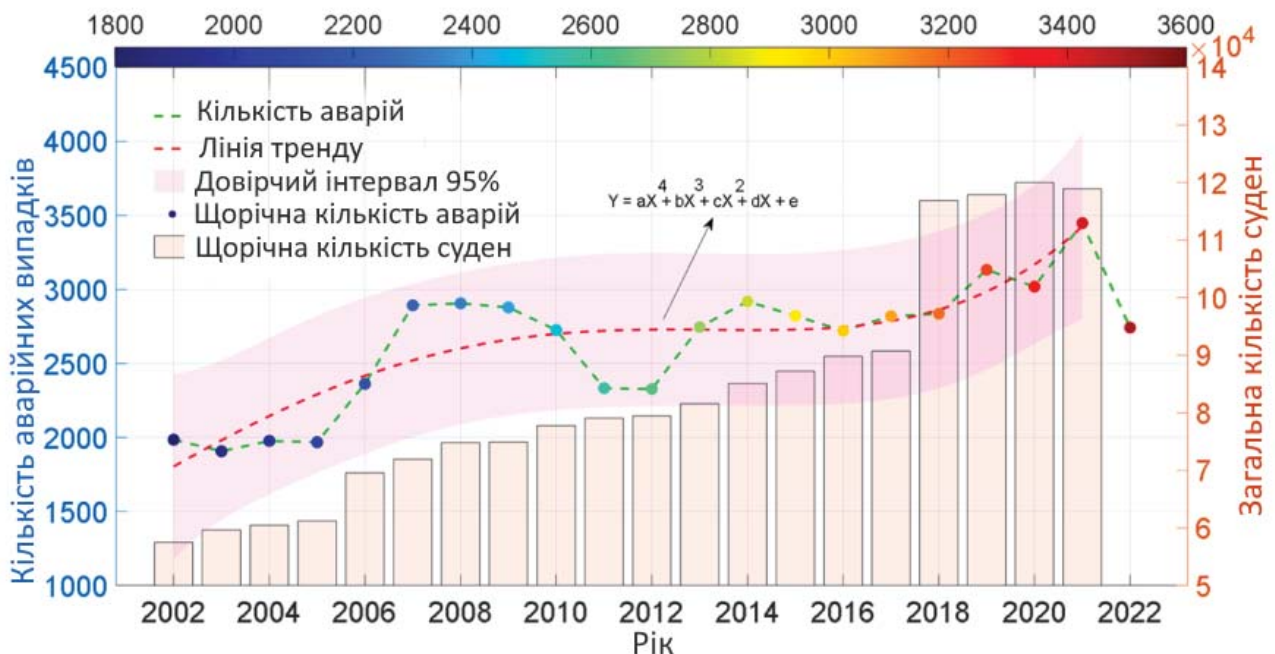


Рисунок 1 – Показники аварійності світового судноплавства за 2002–2022 рр. [25]

Проте, слід мати на увазі, що кожна аварія морського судна створює високі техногенні, екологічні та економічні ризики, що можуть мати суттєвий вплив на світове судноплавство в цілому (наприклад, припинення внаслідок аварій, руху суден у Суецькому, Панамському каналах, протоці Босфор, забруднення Мексиканської затоки та ін.). Тому об'єктивне зростання імовірності настання таких подій майже вдвічі, обумовлює гостру потребу пошуку шляхів зниження аварійності світового судноплавства в абсолютних показниках.

Першим кроком у даному напрямку має бути виявлення основних чинників виникнення аварій суден і з'ясування відносної частки кожного з них від загальної кількості. Розглядаючи причини, що обумовлюють виникнення аварій морських суден згідно з даними джерела [25] (рис. 2), можна виявити, що причиною третини всіх аварійних випадків (33%) є зіткнення суден одне з одним (14%) та посідання на міліну (19%).

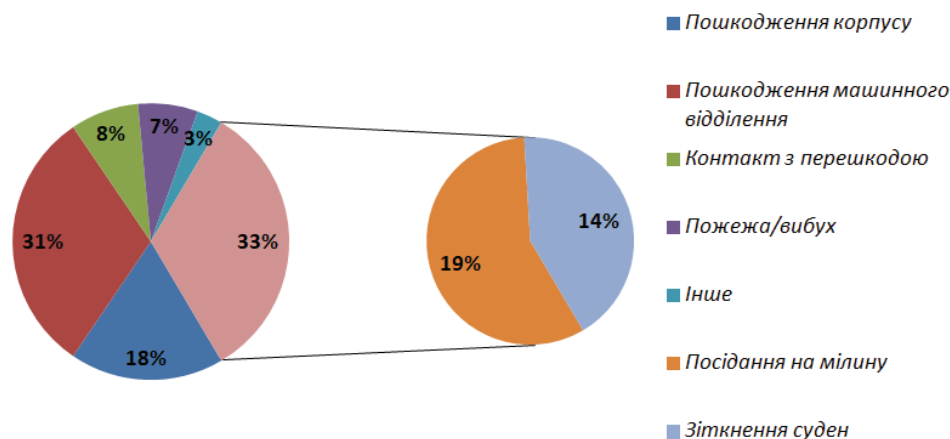


Рисунок 2 – Розподіл основних причин аварійності суден [25]

Ще 8% аварій припадає на зіткнення суден з перешкодами. Таким чином, майже половина (41%) всіх аварійних випадків пов'язані саме з похибками в управлінні рухом суден.

Додатково слід зазначити, що, значна частка аварій, що належать до інших категорій (аварії у машинному відділенні, пожежі, пошкодження конструкцій судна) також доволі часто мають причиною свого виникнення негативний вплив так званого «людського чинника», тобто безпосередньо пов'язані з помилками керування членів суднової команди відповідними системами та пристроями. Частка таких аварій за даними різних авторів [2, 3, 6–8, 26], складає не менш ніж 70–80% від їх загальної кількості.

Помилки, що обумовлені негативним впливом людського фактора виникають внаслідок того, що під час прийняття рішення людина-оператор, або особа, що приймає рішення (ОПР) покладається на свій емпіричний (суб'єктивний) вибір та напівемпіричні знання (критерії прийняття рішень), що може призвести до виникнення двох типів помилок «Відомі помилки» та «Невідомі помилки» [26]. Помилки першого типу виникають внаслідок браку знань, або частково обізнаністю ОПР (недооцінка зовнішніх факторів впливу на траєкторію руху судна, неможливість спрогнозувати подальший сценарій розвитку навігаційної ситуації тощо). Помилки другого типу більш складні, оскільки пов'язані з повною відсутністю обізнаності ОПР про певні фактори або ризики (неправильна оцінка дій інших суден, неправильна оцінка поточної навігаційної ситуації). Проте, помилок другого типу можна уникнути, або істотно знизити їх кількість, шляхом застосування ІНІС або СППР, що використовують новітні інформаційні технології передачі та аналізу даних (ШІ, ІАД, МО та ін.).

Зазначені системи можна застосовувати для прогнозування можливих небажаних подій та сценаріїв розвитку навігаційних ситуацій і керування судновими системами, пропонуючи ОПР упереджувальні (проактивні) управлінські рішення, спрямовані на запобігання виникнення аварій.

Таким чином, ІНІС мають значний потенціал у вирішенні проблеми зменшення кількості помилок, спричинених впливом людського фактора на процеси керування суднами та допоміжними системами, і, як наслідок, сприятимуть зменшенню кількості аварій у світовому судноплаванні. Саме тому дослідження та вдосконалення методів прийняття рішень, які застосовуються в ІНІС, а також визначення пріоритетних шляхів їх практичного запровадження являє собою важливу задачу сьогодення.

Серед методів прийняття рішень, що застосовуються в галузі забезпечення безпеки судноплавання, залежно від типів задач, на вирішення яких вони спрямовані, можна виокремити кілька окремих специфічних напрямів. Нижче запропонована класифікація напрямів наукових досліджень та методів підтримки прийняття рішень, що застосовуються в ІНІС для вирішення задач запобігання зіткнень суден та уникнення навігаційних небезпек і посідань на міліну наведена у таблиці 1. Розглянемо докладніше специфіку та особливості наукових досліджень за кожним з вищенаведених напрямів.

Методи досліджень за напрямом «Загальне керування морськими ризиками та безпекою мореплавства» фокусуються на вирішенні задач, пов'язаних з імплементацією міжнародних норм, правил та систем керування безпекою судноплавства з метою підвищення його безпечності. Дослідження за напрямом мають підтримку з боку Міжнародної морської організації (ІМО), ІСО, 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 у судноплаванні, до другої – методи, пов'язані з оцінкою оперативних ризиків, безпосередньо пов'язаних з операціями керування судном [17].

Значна частка досліджень зазначеного напрямку пов'язана з потребами дотримання вимог ІСО 31000 [27, 28], ІМО FSA та ІСМ, а також виконанням норм міжнародного законодавства, які регламентують правила руху суден, зокрема МППЗС-72 [29] та POLARIS [30]. Важливою складовою напрямку, яка перебуває в стадії активного розвитку, є створення прикладних програмних та апаратних засобів, 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 у процесах керування судном і обумовлює появу негативного впливу так званого людського чинника.

Окремим пріоритетним під напрямом досліджень у межах вищевказаного, є розробка методів і засобів керування автономними суднами. Стратегічний план діяльності ІМО на 2018–2023 рр. вказує на наявну гостру потребу імплементації в міжнародні нормативні документи норм і правил, що регламентують рух автономних суден. Згідно [31], ІМО визначає чотири рівні 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 ШІ, ІАД, МН та інших методів у галузі сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, що будуть розглянуті нижче.

Таблиця 1 – Класифікація напрямів наукових досліджень за колом задач, що вирішуються

№	Спрямовання методів 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, із 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 у 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 із 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 наявні 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 безкіпажних суден [16, 17].

У цілому, зазначений напрям досліджень є найбільшим за обсягом серед напрямів, що наведені в таблиці 1, і може бути додатково розподілений ще на дев'ять піднапрямів залежно від типів математичних моделей, що застосовуються для вирішення поставлених задач. До таких піднапрямів слід віднести: методи нечіткої логіки [18], дерева подій та дерева відмов [19], аналіз видів відмов та їх наслідків [20], байєсівські мережі [21], методи імітаційного моделювання [22], методи системного аналізу [23], геометричне моделювання [24], методи оцінки впливу людського фактора [26], 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 із керування рухом суден, спрямованих на уникнення таких ситуацій. Виходячи, з математичних моделей, що застосовуються, зазначений напрям 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 [13, 16, 17].

Напрямок досліджень «Аналіз зіткнень суден та посідань 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 міліну 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. У 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) [12].

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 [11, 15–19].

Управління та планування руху суден із використанням методів ШІ для запобігання зіткнень є напрямом досліджень, який протягом останніх кількох років набув найбільш стрімкого розвитку [14], як завдяки процесам бурхливої інтеграції новітніх інформаційних технологій у галузі судноводіння так і появи нового сегменту в галузі – автономних та дистанційно керованих, безкіпажних 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 відповідно до гідрометеорологічних умов, керування рухом у вузькостях та каналах, автоматизоване та повністю автономне керування безкіпажними суднами.

Аналізуючи сукупність напрямів досліджень та методів прийняття рішень, що застосовуються в галузі забезпечення безпеки судноплавства, можна виділити коло обов’язкових ключових функцій, які повинні бути реалізовані в ІНІС, визначити структуру ІНІС та шляхи її практичної реалізації.

Розглядаючи процес прийняття рішень в ергатичній системі «ІНІС-ОПР» як цілісний багатоетапний процес взаємодії, можна виділити цикл прийняття рішень, що полягає в послідовній реалізації чотирьох взаємопов’язаних етапів (рис. 3):

- аналіз поточної навігаційної ситуації на підставі наявних вхідних даних та чинних 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 у такому разі отримані;
- прийняття рішень з управління судном на підставі комплексної згортки критеріїв мінімізації ризиків/негативних наслідків за умов дотримання чинних міжнародних вимог.

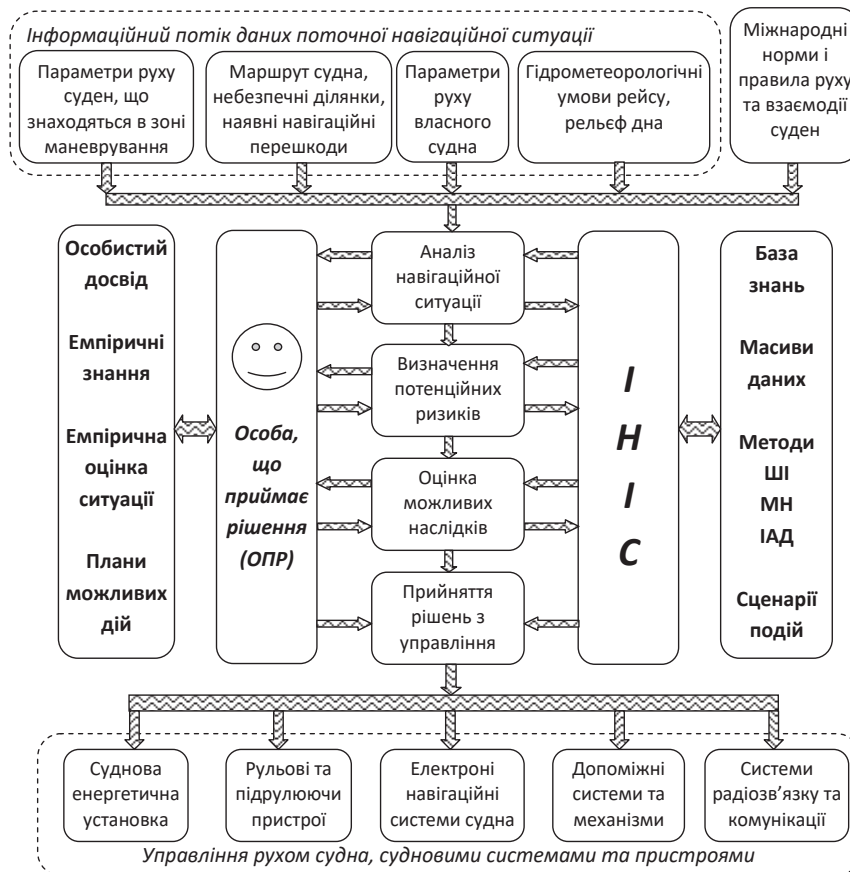


Рисунок 3 – Структура ІНІС та інформаційних потоків у процесі прийняття рішень

При цьому слід зазначити, що вказані етапи відбуваються послідовно та одночасно як безпосередньо з боку ІНІС, так і з боку ОПР, при цьому, однак, сторони застосовують різні підходи до їх реалізації. Так, ОПР у процесі прийняття рішень спирається на власні знання, емпіричні методи та інтуїцію, будуючи певні плани майбутніх дій, тоді як ІНІС застосовує спеціалізовані бази статистичних даних та сучасні методи їх обробки, що дозволяє будувати можливі сценарії подальшого розвитку навігаційної ситуації та формувати на їх основі можливі рішення. Обидва контури (ОПР та ІНІС) обробки інформації під час прийняття рішень є взаємодоповнюючими і саме в їх синергії та злагодженій взаємодії і полягає ключ успішної реалізації процесів безпечного управління рухом судна.

Важливо відзначити, що задля забезпечення ефективної обробки інформації в колі постійної інформаційної взаємодії «ІНІС-ОПР» під час кожного з чотирьох вищезазначених етапів процесу прийняття рішень, слід застосовувати різні методи з узагальненої класифікації напрямів, наведених у 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 піднапрямку методів досліджень, зазначених у 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 піднапрямків методів досліджень, зазначених у 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 піднапрямку.

4. Четвертий етап передбачає широке застосування методів, зазначених у п'ятому та шостому піднапрямках таблиці 1, а саме: методів математичного моделювання, ШІ, ІАД та сценарно-прецедентного підходу, із метою формування остаточного рішення з управління судном (для ІНІС) або підмножини можливих рішень (для СППР).

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

Висновки. Проведений аналіз аварійності сучасного судноплавства за останні два десятиріччя дозволив визначити наявність стійкої тенденції до збільшення кількості аварій в абсолютних показниках, яка обумовлена передусім зростанням кількості суден світового флоту та загальною інтенсифікацією морських перевезень у цілому. Слід також зазначити, що зростання рівня автоматизації сучасних суден та запровадження новітніх систем навігації та керування рухом, призводить до збільшення частки аварій, обумовлених негативним впливом на процеси прийняття рішень так званого людського чинника, оскільки у цьому випадку саме ОПР постає найбільш «слабкою ланкою» зазначеного процесу.

Зниження кількості аварій суден може бути досягнуте шляхом широкого запровадження ІНІС та СППР у галузі судноводіння, при цьому важливою передумовою їх

успішного застосування є обґрунтований і коректний вибір належних методів обробки інформації в цілісній ергатичній системі «ІНІС-ОПР» на відповідних етапах прийняття рішень. Виділення в циклі прийняття рішень у системі «ІНІС-ОПР» чотирьох базових етапів із 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 ІНІС забезпечує необхідні передумови до її швидкої модернізації та модифікації відповідно до потреб конкретного судновласника, або у зв'язку з необхідністю внесення змін, обумовлених змінами у чинних міжнародних нормативних документах у галузі судноплавства.

Перспективи подальших досліджень. Збільшення кількості автономних та безекіпажних суден потребує подальшого поглиблення та розвитку наукових досліджень не лише галузі сучасних методів прийняття рішень із керування такими суднами (ШІ, ІАД, МН та ін.), але і нових технологічних рішень у розвитку каналів високошвидкісної передачі даних, оскільки для успішної практичної реалізації зазначені методи потребують переробки великих обсягів інформації стосовно руху суден у режимі реального часу. У 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 System» (NG-WTS) [10]. Також необхідним є спрямування спільних зусиль міжнародної спільноти на розвиток загальної нормативно-правової бази, що регламентує рух автономних та безекіпажних морських суден та наслідки інцидентів з їх участю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. UNCTAD. Review of maritime transport. 2022.
2. Вагущенко Л. Л. Суднові навігаційно-інформаційні системи. Одеса : НУ «ОМА», 2016. 238 с.
3. 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.
4. 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.
5. Бень А. П. Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень судноводія / Бень А. П. // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. № 1 (6). С. 12–19.
6. Якусевич Ю. Г., Тришин В. В., Дорофеева З. Я. Побудова навігаційної системи судна на основі сучасних інформаційних технологій. *Кібернетика та системний аналіз*. №4(70). 2021. С. 83–88.
7. Бень А. П., Мальцев А. С. Системи підтримки прийняття рішень щодо управління рухом судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с.
8. Pietrzykowski Z., Wolejsza P., Borkowski P. Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* 2017. Vol. 70. P. 447–464.
9. Abudu R., Bridgelall R. Autonomous Ships: A Thematic Review. *World* 2024, 5, P. 276–292.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Tunçel A. L., Yüксеkyıldız 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.
20. 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.
21. Bünyamin Kamal, Erkan Çakır, Data-driven Bayes approach on marine accidents occurring in Istanbul strait, *Applied Ocean Research*, 2022, Volume 123, 103180.
22. 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.
23. Leveson N. G. *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. The MIT Press, 2016. p. 560.
24. 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.
25. <https://lloydlist.maritimeintelligence.informa.com/sectors/casualty>.
26. 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.
27. 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.
28. ISO. ISO 31000:2018. Risk management – guidelines. International Organization for Standardization, 2018.
29. IMO. Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).
30. 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.
31. IMO. Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS) – MSC.1-Circ.1638, London, UK. 2021.

REFERENCES

1. UNCTAD (2022). Review of maritime transport.
2. Vahushchenko, L. L. (2016). *Sudnovi navihatsiino-informatsiini systemy*. Odesa : NU «OMA», 238 с.

3. 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.
4. 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. 1035–1048.
5. Ben A. P. (2012). Perspektyvy rozvytku system pidtrymky pryiniattia rishen sudnovodiia / Ben A. P. // *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. – Kherson : Vydavnytstvo KhDMA. № 1 (6). S. 12–19.
6. Iakusevych, Yu. H., Tryshyn, V. V., Dorofieieva, Z. Ya. (2021). Pobudova navihatsiinoi systemy sudna na osnovi suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii. *Kibernetyka ta systemnyi analiz*. №4(70). C. 83–88.
7. Ben, A. P., Maltsev, A. S. (2019). Systemy pidtrymky pryiniattia rishen shchodo upravlinnia rukhom sudna // Monohrafiia. Kherson : Vydavnytstvo KhDMA. 244 s.
8. Pietrzykowski, Z., Wołajsza, P., Borkowski, P. (2017). Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* Vol. 70. P. 447–464.
9. Abudu, R., Bridgelall, R. (2024). Autonomous Ships: A Thematic Review. *World* 2024, 5, P. 276–292.
10. Yan, X., Li, C., Liu, J., You, X., Wang, S., Ma, F. (2021). Architecture and key technologies for new generation of waterborne transportation system. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 21(5):22.
11. Krata, P., Kniat, A., Vettor, R., Krata, H., Guedes Soares, C. (2021). 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*. Vol. 15, № 2. P. 437–444.
12. Sang Jin Kim, Mihkel Kõrgersaar, Nima Ahmadi, Ghalib Taimuri, Pentti Kujala, Spyros Hirdaris (2021). The influence of fluid structure interaction modelling on the dynamic response of ships subject to collision and grounding, *Marine Structures*, Vol. 75, 102875.
13. Dugan, S. A., Skjetne, R., Wróbel, K., Montewka, J., Gil, M., Utne, I. B. (2023). Integration Test Procedures for a Collision Avoidance Decision Support System Using STPA. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 17, № 2. P. 375–381.
14. MacKinnon, S. N., Weber, R., Olindersson, F. and Lundh, M. (2020). 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.
15. Zhang, M. (2023). Big data analytics methods for collision and grounding risk analysis in real conditions: framework, evaluation, and applications. Aalto University; Doctoral thesis, 202 p.
16. Du, L., Goerlandt, F., Kujala, P. (2020). 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, 106933.
17. Huang, Y., Chen, L., Chen, P., Negenborn, R. R., Van Gelder PHAJM (2020). Ship collision avoidance methods: state-of-the-art. *Safety Science*, 121, P. 451–473.
18. Li, Y., Song, G., Yip, T.-L., Yeo, G.-T. (2024). Fuzzy Logic-Based Decision-Making Method for Ultra-Large Ship Berthing Using Pilotage Data *J. Mar. Sci. Eng.* 12, 717.
19. Tunçel, A. L., Yüksesyıldız, E., Akyuz, E., & Arslan, O. (2021). Probability-based extensive quantitative risk analysis: collision and grounding case studies for bulk carrier and general cargo ships. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*. 15(1), 89–105.
20. Başhan, V., Demirel, H. & Gul, M. (2020). An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety. *Soft Computing*, 24, 18749–18764.
21. Bünyamin Kamal, Erkan Çakır (2022). Data-driven Bayes approach on marine accidents occurring in Istanbul strait, *Applied Ocean Research*, Volume 123, 103180.

22. Axel Hörteborn, Jonas, W. Ringsberg (2021). A method for risk analysis of ship collisions with stationary infrastructure using AIS data and a ship manoeuvring simulator, *Ocean Engineering*, Volume 235, 109396.
23. Leveson, N. G. (2016). *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. The MIT Press. p. 560.
24. Kujala, P., Hänninen, M., Arola, T., Ylitalo, J. (2009). Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 94, Issue 8, pp. 1349–1357.
25. <https://lloydlist.maritimeintelligence.informa.com/sectors/casualty>.
26. Wu, B., Yip, T. L., Yan, X., Soares, C. G. (2022). Review of techniques and challenges of human and organizational factors analysis in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*, 219:108249.
27. IMO (2002). 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.
28. ISO (2018). ISO 31000:2018. Risk management – guidelines. International Organization for Standardization.
29. IMO (1972). Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).
30. IMO (2024). 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.
31. IMO (2021). Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS) – MSC.1-Circ.1638, London, UK.

Ben A. P. DECISION-MAKING METHODS FOR SHIP TRAFFIC CONTROL IN INTELLIGENT NAVIGATION INFORMATION SYSTEMS

The article is devoted to issues of development of decision-making support methods in the field of navigation and their practical application in intelligent navigation information systems (INIS). An analysis of the accident rate of modern world shipping over the past two decades was carried out, its dynamics were determined, and the main factors of the occurrence of accidents were clarified. It has been proven that the dominant share of accidents is due to the negative influence of the human factor on the processes of ship control, which, as a result, leads to collisions, groundings, as well as to the occurrence of dangerous situations on ships and failures in the operation of its systems. The types of errors caused by human influence on ship control processes are shown and possible ways to reduce their number are proposed. The role and place of INIS and decision-making support systems (DSS) in solving the problems of improving the quality and efficiency of ship and ship systems control processes with the aim of reducing the level of accidents have been determined. It has been proven that INIS have a significant potential in solving the problems of reducing the number of errors caused by the influence of human factor on processes of controlling ships and auxiliary systems, and, as a result, will contribute to reducing the number of accidents in world shipping. The growing role of modern information technologies, in particular the methods of artificial intelligence and intelligent data analysis, in the solved issues of improving the safety of modern shipping, increasing the level of its automation, is shown. The classification of decision-making methods in the field of shipping by classes of problems to be solved is proposed. Features of the practical application of each group of methods in INIS are determined, and promising ways of their further development are outlined. The general structure of INIS was developed, and the application of a four-stage cycle was proposed for the implementation of the decision-making process with the differentiated use of different groups of methods and sources of initial data at each of the stages. The priority ways and prospects for the further application of DSS and INIS in navigation, as well as their place and role in development of the industry of unmanned and autonomous sea vessels, have been determined.

Key words: intelligent systems; navigation systems; navigation; decision-making support systems; decision-making methods; artificial intelligence, ship control; safety of navigation.

© Бень А. П.

Статтю прийнято до редакції 05.12.2024