

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Одеська морська академія»

БЕНЬ Андрій Павлович



УДК 656.51.062

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ
СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СУДНОВОДІННІ**

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2026

Дисертацією є рукопис.
Дисертація виконана в Херсонський державній морській академії.
Робота виконана самостійно.

Офіційні опоненти: **БУРМАКА Ігор Олексійович**, доктор
технічних наук, професор, директор
навчально-наукового інституту навігації
Національного університету «Одеська морська
академія» МОН України;

МЕЛЬНИК Олексій Миколайович, доктор
технічних наук, професор, завідувач кафедри
судноводіння і морської безпеки Одеського
Національного морського університету МОН
України;

ШМЕЛЬОВА Тетяна Федорівна, доктор
технічних наук, професор, професор кафедри
аеронавігаційних систем Державного університету
«Київський авіаційний інститут» МОН України

Захист відбудеться 25 березня 2026 року о 10-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65052, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корпус 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: 65052, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, та за електронною адресою: <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>

Автореферат розісланий 23 лютого 2026 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Незважаючи на негативні наслідки пандемії коронавірусу та напружену безпекову ситуацію, розвиток міжнародного морського судноплавства триває. Обсяги перевезень та кількість суден світового торговельного флоту демонструють стійку тенденцію до щорічного збільшення. Саме це обумовлює зростання не лише витрат на експлуатацію суден, а й кількості аварій, спричинених судноплавством, у тому числі із значними негативними техногенними, економічними та екологічними наслідками. Як доводить аналіз причин виникнення морських навігаційних аварій, переважна їх більшість (до 85 % усіх випадків) відбувається не через відмову технічних засобів навігації або управління рухом судна, а через неготовність операторів суден своєчасно прийняти ефективні і якісні рішення, адекватні конкретній ситуації. Мінімізація негативного впливу людського фактора на безпеку мореплавства з одночасним підвищенням ефективності та точності управління рухом суден, включаючи автономні та спеціалізовані судна, обумовлює запит практики, пов'язаний з гострою необхідністю удосконалення тренажерної підготовки морських фахівців із застосуванням ефективних сучасних інтелектуальних інструментів і технологій.

Впровадження новітніх інформаційних технологій та концепції *e-Navigation* створює передумови для вирішення проблем підвищення безпеки судноплавства, проте збільшення інформаційного навантаження на судноводія, як на особу що приймає рішення (ОПР), вимагає перегляду підходів до організації процесів управління судном.

Вирішенню питань підвищення безпеки судноводіння шляхом зниження ризиків зіткнень суден, створення навігаційних інформаційних систем (НІС), автоматизованих систем управління рухом, організації процесів управління, створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) присвячені дослідження відомих вітчизняних та зарубіжних вчених, таких як: Алексішин В. Г., Бурмака І. О., Вагущенко Л. Л., Кондратенко Ю. П., Мальцев А. С., Піпченко О. Д., Тихонов І. В., Цимбал М. М., Lisowski J., Patraiko D., Pietrzykowski Z., Wang F., Zhang M. Разом з тим, слід зазначити, що проблемні питання підвищення ефективності функціонування та практичного застосування таких НІС, з урахуванням особливостей процесів взаємодії з особою, що приймає рішення, особливо в критичних ситуаціях та за умов негативного впливу «людського фактора» або «людського чинника», потребують подальшої формалізації, уточнення та вирішення.

Таким чином, наукова проблема зумовлена запитом практики та полягає у наявності протиріччя між необхідністю одночасного підвищення ефективності та безпеки судноплавства з одного боку, та зростанням інтенсивності руху та вимог щодо мінімізації економічних і часових витрат, пов'язаних із управлінням суднами з іншого боку. Вирішення цього протиріччя ускладнюється недостатньою формалізацією процесів прийняття рішень у критичних ситуаціях, відсутністю ефективних механізмів зниження негативного впливу людського фактора та необхідністю адаптації систем управління до умов зростаючої автономності суден.

Стійка тенденція скорочення чисельності членів суднової команди та стрімке зростання частки безекіпажних і автономних суден у світовому судноплаванні визначають необхідні складові розв'язання цього протиріччя: підвищення рівня автоматизації процесами управління рухом судна та судновими технічними засобами, застосування новітніх методів керування та СППР. Наявний світовий досвід розробки СППР в судноводінні показує, що для ефективного практичного використання зазначених складових та НІС необхідне виконання низки важливих вимог, обумовлених, з одного боку, особливостями функціонування СППР, а з іншого – умовами прийняття рішень в судноводінні.

У дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-технічну проблему підвищення безпеки та ефективності судноводіння шляхом розробки теоретичних та методологічних засад створення і впровадження СППР судноводія, які забезпечують інтелектуальну обробку навігаційної інформації, оцінку ризиків та формування рекомендацій з управління судном у режимі реального часу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження спрямоване на реалізацію Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України №430-р від 30 травня 2018 року). Дисертаційну роботу виконано відповідно до положень Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 1307 та її нової редакції, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2020 р.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт, що фінансувалися із видатків загального фонду державного бюджету та успішно завершені під керівництвом і безпосередньою участю автора у 2015–2022 рр., а саме: «Розробка систем підтримки прийняття рішень судноводія», номер державної реєстрації 0115U002517; «Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення», номер державної реєстрації 0117U002176; «Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден», номер державної реєстрації 0119U100948; «Розробка новітніх моделей та програмних засобів для автоматизованих систем керування рухом морських суден цивільного та спеціального призначення», номер державної реєстрації 0121U109680.

Дослідження є складовою виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Херсонської державної морської академії (ХДМА) на 2021–2025 рр., яке фінансовано за рахунок коштів державного бюджету, № 0121U114703 (2021 р., 2023 р.), де автор є керівником і виконавцем щорічних етапів роботи. Вказані дослідження проведено на базі науково-дослідної лабораторії «Розробка систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден», яка створена у ХДМА за ініціативою і безпосередньою участю автора у 2020 році.

Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності та безпечності судноводіння шляхом впровадження систем підтримки прийняття рішень судноводія.

Досягнення поставленої мети обумовлює необхідність вирішення наступних взаємопов'язаних *задач*:

- комплексно дослідити поточний стан питань розробки та запровадження СППР в галузі судноводіння – визначити коло існуючих проблем та пріоритетних шляхів їх вирішення;
- дослідити особливості створення та застосування СППР судноводія, а також процесів обробки інформації та прийняття рішень у таких системах відповідно до вимог міжнародних нормативно-правових документів, що регламентують рух суден;
- розробити та удосконалити математичні моделі та методи підтримки прийняття рішень при розходженні, маневруванні та динамічному позиціонуванні суден з урахуванням вимог до їх подальшого практичного застосування у СППР судноводія;
- дослідити питання негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом суден та визначити ефективні шляхи щодо його зниження, розробити методи підвищення ефективності процесів інформаційної взаємодії судноводія та СППР;
- дослідити та удосконалити методи автоматизації процесів прийняття рішень з управління рухом суден, визначити особливості їх застосування у критичних умовах та наявності обмежень часу;
- здійснити практичну апробацію, імітаційне моделювання і верифікацію розроблених методів підтримки прийняття рішень з управління рухом суден із застосуванням сертифікованих навігаційних тренажерів.

Об'єктом дослідження є процеси прийняття рішень в судноводінні.

Предметом дослідження є сукупність теоретико-методологічних та прикладних методів створення та застосування систем підтримки прийняття рішень у судноводінні.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі в процесі вирішення поставлених задач були комплексно застосовані наступні методи:

- системного аналізу при декомпозиції головної задачі дисертації на окремі складові задачі;
- ситуаційного аналізу при аналізі навігаційних ситуацій, визначенні рівня їх небезпеки та побудови сценаріїв можливих дій;
- сценарно-прецедентного підходу для процедур прийняття рішень з управління рухом судна;
- математичного моделювання при визначенні траєкторії руху судна;
- аналітичної геометрії та векторної алгебри при вирішенні навігаційних задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування суден;
- теорії автоматичного та оптимального керування при створенні процедур автоматизованого вибору траєкторій руху суден;
- диференційного обчислення у оптимізаційних задачах;

- імітаційного моделювання при симуляції навігаційних ситуацій з використанням сертифікованих навігаційних тренажерів.

Наукова новизна дослідження визначається вирішенням основних наукових завдань. У процесі виконання дослідження, здобувачем особисто отримано наступні нові наукові результати.

Вперше:

- запропонована категоризація напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, та визначено пріоритетні шляхи розвитку кожного напрямку, що дозволило виокремити проблеми, пов'язані із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні, визначити ефективні методи їх вирішення;

- запропоновано застосування комплексного підходу до створення СППР в галузі судноводіння, якій базується на комбінованому використанні аналітичних моделей руху суден, методів ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій та методів ШІ, що дозволяє підвищити оперативність та точність рішень з управління судном, що приймаються;

- розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, які відрізняються врахуванням особливостей процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння, що дозволяє скоротити витрати часу на формування та прийняття рішень, підвищити рівень їх точності та адекватності щодо навігаційної ситуації, яка має місце;

- запропоновано застосування інформаційної взаємодії судноводія з СППР, яке відрізняється використанням чотирьохфазного циклу обробки, що дає змогу підвищити якість і та рівень безпомилковості процесів інформаційного обміну в ергатичній системі «СППР – особа що приймає рішення (ОПР)»;

- запропонована структура СППР судноводія, головною відмінністю якої від відомих є застосування моделі роботи судноводія та здійснення адаптивного процесу взаємодії з судноводієм відповідно до пріоритетності обробки інформаційних повідомлень. Пропонована структура дозволяє знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном та мінімізувати суб'єктивність рішень, що приймаються.

Удосконалено:

- комплексний метод кількісної оцінки небезпеки зіткнення суден, який відрізняється визначенням області взаємних обов'язків суден та гранично допустимих дистанцій найкоротшого зближення, що дає можливість розраховувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна;

- методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування, які відрізняються адаптацією до застосування у СППР за умов наявності обмежень часу та у критичних ситуаціях, що дозволяє підвищити швидкість та адекватність рішень, що приймаються;

- методи ідентифікації та оцінки негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом судна та запропоновано методи його зниження в СППР судноводія, основною відмінністю яких є автоматизація процесів прийняття

рішень з управління рухом судна для при розходженні, маневруванні, та у критичних ситуаціях, за умов наявності обмежень часу, що дозволяє знизити навігаційні ризики;

- методику розрахунку полюса повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яка відрізняється адаптацією до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках.

Отримала подальший розвиток:

- методика здійснення динамічного позиціонування судна, яка відрізняється урахуванням особливостей процесу взаємодії системи динамічного позиціонування з оператором, що дозволяє знизити ймовірність виникнення помилкових дій у процесі керування об'єктом ДП;

- методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів, яка відрізняється від існуючих можливістю адаптивного корегування вантажного плану відповідно до змін у маршруті судна, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати на виконання рейсу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що отримані у дисертації результати, можуть бути застосовані в освітньому процесі морських навчальних закладів під час підготовки майбутніх судноводіїв, а також у навчально-тренажерних центрах при здійсненні тренажерної підготовки фахівців морської галузі, при створенні спеціалізованих апаратних та програмних засобів з управління рухом суден, розробці та впровадженні СППР та інтелектуальних навігаційних інформаційних систем у галузі судноводіння.

Результати дисертаційного дослідження застосовуються у навчальному процесі морських навчальних закладів при підготовці курсантів, підвищенні кваліфікації фахівців морської галузі, а також у тренажерній підготовці морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах, а саме:

- освітньому процесі Національного університету «Одеська морська академія» (акт від 28.08.2025 р.), Херсонської державної морської академії (акт від 25.06.2025), Одеського Національного морського університету (акт від 27.06.2025);

- при проведенні тренажерної підготовки морських фахівців в спеціалізованих морських тренажерних центрах – Херсонському морському спеціалізованому тренажерному центрі (акт 013-1/1/2025 від 08.07.2025 р.), Центрі підготовки та атестації плавскладу НУ«ОМА» (акт від 21.08.2025 р.) та у крьюінговій компанії «Марлоу Навігейшен» (акт від 21.08.2025 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційну роботу здобувачем виконано власноручно, без залучення співавторів. Теоретичні визначення, наукові результати і положення, наукові й практичні висновки та рекомендації, які викладені у роботі та виносяться на захист, отримані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідались, обговорювались та були схвалені на 32 наукових заходах міжнародного та загальнодержавного рівня.

Публікації результатів дослідження. За результатами роботи опубліковано 100 наукових праць, з них 21 – одноосібно. Зокрема, 44 публікації у наукових профільних виданнях (з яких 9 публікацій індексуються у базах даних *Scopus* та *Web of Science*), 2 монографії, 1 навчальний посібник. За результатами дослідження отримано 8 патентів на корисну модель України, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних скорочень, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 387 сторінок, де, крім основного тексту на 270 сторінках, міститься 92 рисунки та 9 таблиць. Список використаних джерел складається з 235 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено важливу науково-технічну проблему підвищення безпеки та ефективності судноводіння в умовах впровадження сучасних інформаційних технологій. Обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, окреслено зв'язки дослідження з національними програмами, планами, темами. Виконано аналіз запиту практики, виходячи з якого сформульовані наукові протиріччя, які обмежують і ускладнюють розв'язання проблеми підвищення ефективності та безпеки судноводіння в сучасних умовах.

Сформульовано мету, завдання дослідження, викладено основні методи, об'єкт і предмет дослідження. Сформульовано наукову новизну й викладено практичне значення отриманих результатів. Зазначено особистий внесок здобувача, наведено дані про публікації і апробацію результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено загальний аналіз стану зі запровадження сучасних інформаційних технологій та СППР у галузі судноводіння. Досліджено сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку СППР в судноводінні, а також пріоритетні напрямки застосування таких систем, (рис. 1). На підставі проведеного аналізу предметної галузі визначено загальну методологію створення таких систем, структуру та основні етапи їх життєвого циклу, особливості їх створення та впровадження. Визначено коло ключових факторів, що впливають на процеси обробки інформації в СППР судноводія та їх вплив на вибір методів обробки даних.

Проведено аналіз поточного стану аварійності у судноводінні протягом 2002–2022 рр., на підставі якого визначено його основні чинники.

Виявлено, що ключовим фактором виникнення морських аварій є вплив так званого «людського чинника» – виникнення аварій внаслідок помилок керування членів суднової команди відповідними системами і пристроями. Частка таких аварій складає близько 80 % від їх загальної кількості. Визначено місце і роль СППР у подоланні проблеми негативного впливу людського фактору та окреслено шляхи його запобігання.



Рисунок 1. Класифікація напрямків застосування СППР в галузі судноводіння

Розглянуто існуючі методи прийняття рішень у галузі судноводіння та їх застосування для зниження рівня аварійності суден. Запропоновано категоризацію напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, визначено пріоритетні шляхи розвитку кожного напрямку, що дозволило виокремити проблеми, пов'язані із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні, визначити ефективні методи їх вирішення.

Детально досліджено особливості процесу прийняття рішень в ергатичній системі «СППР – особа, що приймає рішення (ОПР)». Визначено структуру СППР судноводія, перелік її обов'язкових ключових функцій, та шляхи їх практичної реалізації.

Визначено особливості процесів інформаційного обміну в ергатичній системі «СППР-ОПР» (рис. 2). З метою покращення якості процесів підтримки прийняття рішень запропоновано застосування чотирьохфазної моделі циклу інформаційної взаємодії судноводія та СППР.

Представлена модель включає наступні етапи: 1) аналіз поточної навігаційної ситуації та ідентифікація загроз; 2) визначення потенційних ризиків на основі комплексних критеріїв; 3) прогнозування наслідків та оцінка можливих збитків; 4) формування та ранжування можливих варіантів рішень.

Визначено коло методів, які слід застосовувати в процесі створення та практичної реалізації СППР судноводія.

Проведено аналіз особливостей застосування в СППР судноводія міжнародних нормативних документів, що регламентують рух суден, зокрема Міжнародних правил запобігання зіткнень суден (МПЗЗС-72) та визначено шляхи зниження негативного впливу людського фактора на процеси управління судном. Обґрунтовано основний напрям дослідження – підвищення ефективності судноводіння шляхом впровадження СППР судноводія.

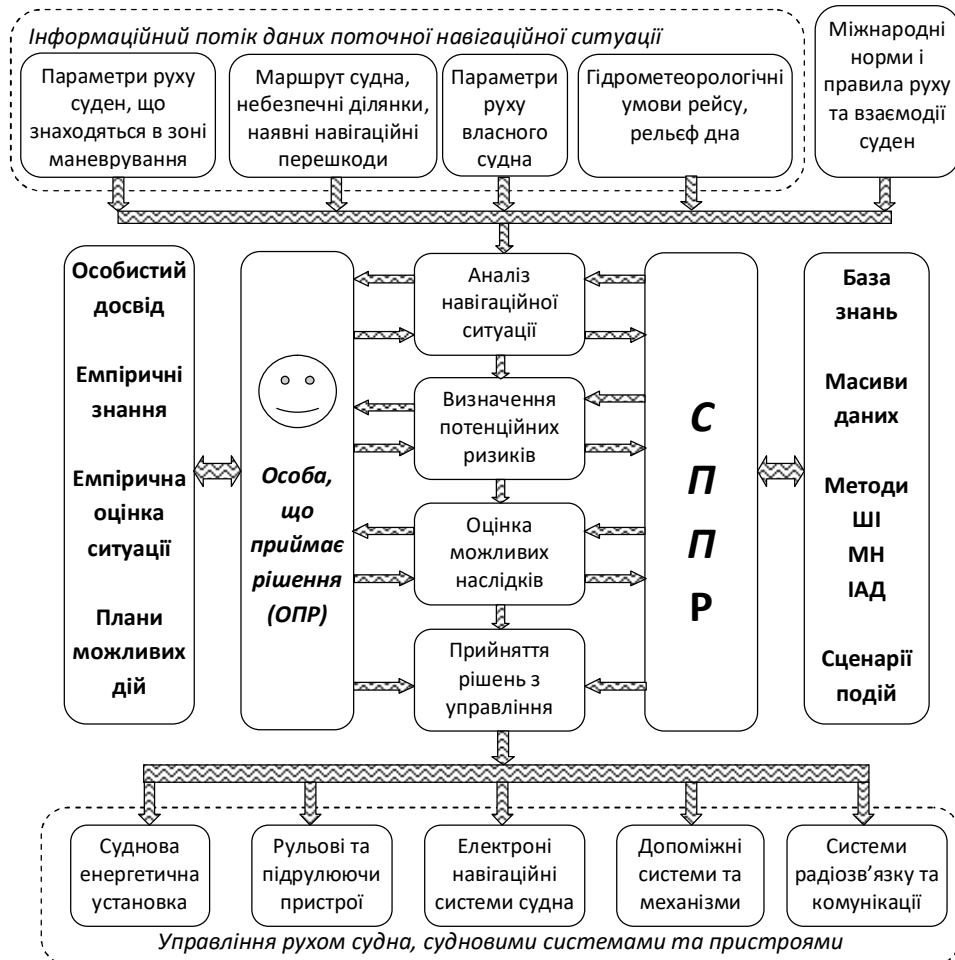


Рисунок 2. Структура СППР судноводія та інформаційних потоків у процесі прийняття рішень

Другий розділ дослідження присвячений методологічному обґрунтуванню його проведення. Здійснено обґрунтування вибору теми дисертації, визначено методологічні та технічні його аспекти. На основі аналізу загальної проблеми сформульовано робочу гіпотезу наукового дослідження, визначено його мету і головну задачу.

Виконано декомпозицію головної задачі дослідження на окремі її складові задачі та визначено коло методів, що мають бути застосовані для їх вирішення. Визначено послідовність вирішення окремих задач дослідження, розроблено технологічну карту процесу його виконання.

Наведено узагальнену методику вирішення наукових задач, поставлених у роботі, яка визначає основні етапи виконання дослідження та визначає його теоретичну та практичну складову. Сформульоване основне наукове положення роботи, показана її значущість та практична цінність.

У третьому розділі дисертаційного дослідження розглянуто принципи побудови та функціонування СППР судноводія: визначено склад її модулів та структуру потоків інформаційного обміну між ними. Проведено аналіз процесів сприйняття й обробки інформації судноводієм, виявлено ключові особливості, які повинні бути враховані у процесі створення та застосування СППР. Визначено базові вимоги до математичних моделей та алгоритмів обробки навігаційних

даних, які мають бути використані в СППР судноводія.

Запропоновано методику класифікації навігаційних ситуацій та визначення можливих дій судноводія відповідно вимог МПЗЗС-72, адаптовану до застосування у СППР. Розроблено метод оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій та процедуру прийняття рішень з управління рухом судна, особливістю якої є ранжування множини суден-цілей в області розходження за рівнем їх небезпечності із застосуванням комплексних критеріїв оцінки (рис. 3).

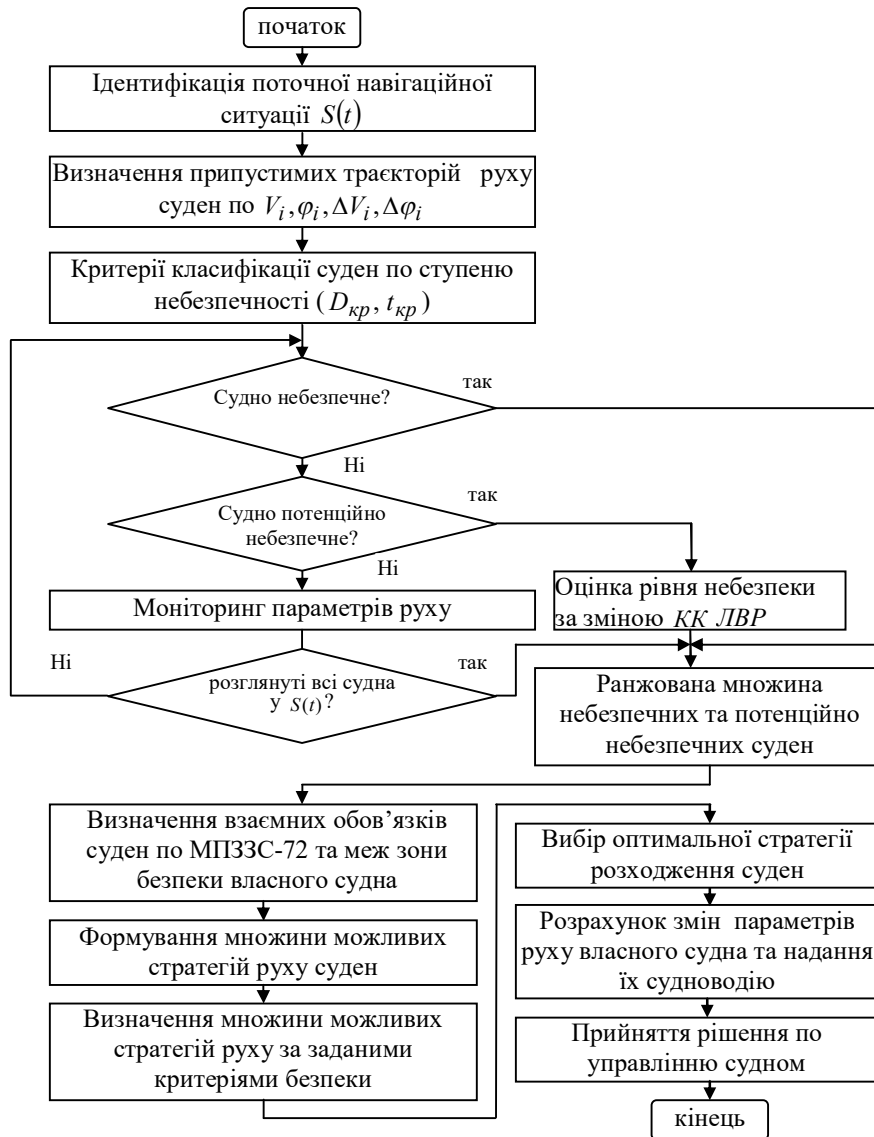


Рисунок 3. Процедура прийняття рішень у СППР судноводія

Розроблений алгоритм роботи СППР судноводія передбачає виконання наступної послідовності дій:

- ідентифікація суден, що знаходяться в зоні можливого зіткнення;
- моніторинг параметрів руху суден та динаміки їх зміни;
- оцінка похибки параметрів руху, які одержано;
- класифікація суден за ступенем небезпеки;
- визначення пар взаємодіючих суден, для яких формуються можливі сценарії

руху;

- визначення областей взаємних обов’язків відповідно до МПЗЗС-72 і меж зони безпеки власного судна;
- формування множини можливих сценаріїв (стратегій) руху суден;
- визначення стратегій руху, що відповідають заданим критеріям безпеки;
- вироблення можливих альтернатив з управління судном і надання їх судноводію.

Судно вилучається із розгляду СППР у випадку ідентифікації його як безпечного, але моніторинг параметрів руху триває при перебуванні його в межах зони дії РЛС.

В якості комплексного критерію оцінки рівня небезпеки зіткнення застосовується критерій оцінки небезпеки зіткнення з судном-ціллю за зміною курсового кута (КК) лінії його відносного руху (ЛВР).

В якості вихідних даних для формування комплексних критеріїв оцінки рівня небезпеки суден-цілей застосовуються наступні навігаційні параметри: дистанції, ЛВР, пеленги і швидкості.

Для ситуації зближення двох суден, яка представлена на рис. 4. Судно A характеризується параметрами: V_n, K_n, D_0 (V_n – швидкість судна A , K_n – курс судна A , D_0 – дистанція до судна B), судно B характеризується параметрами: V_u, K_u, D_0 (V_u – судна B , K_u – курс судна B , D_0 – дистанція до судна A). K_0 – поточний курс лінії відносного руху (ЛВР) цілі, K_1, K_2 – можливі ЛВР цілі; $\alpha_c, \alpha_{лк}, \alpha_{пк}$ – кути перетину відповідних ЛВР із курсом судна A , а D_0, D_2, D_3 – від судна B до точок перетину його ЛВР із курсом судна A . D_1 – дистанція до точки перетину курсів, P – різниця курсів.

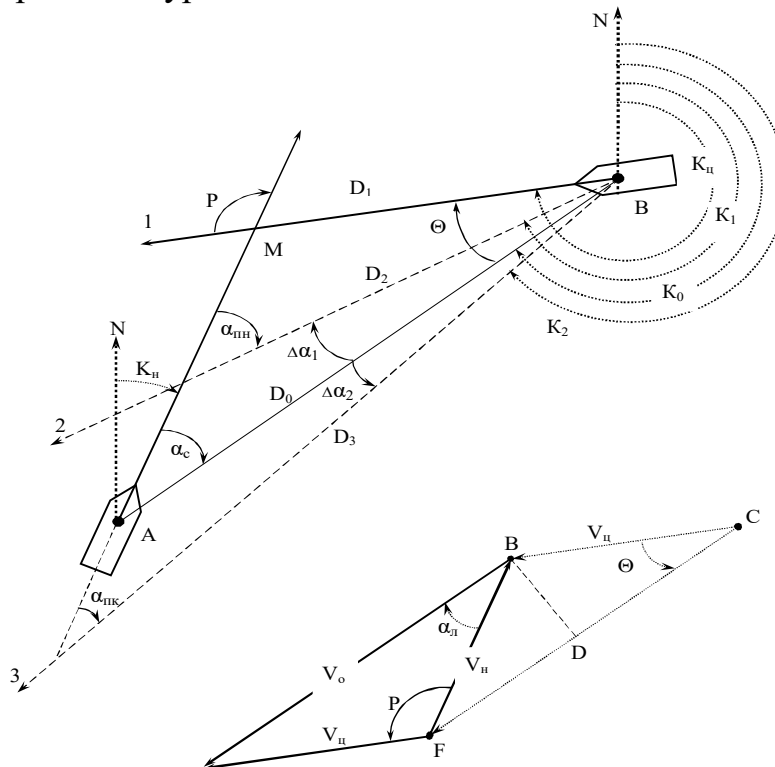


Рисунок 4. Оцінка рівня небезпеки зіткнення суден за зміною кута ЛВР

Якщо $\alpha_c < \alpha_{nn}$, то ЛВР перетинає курс по носу, якщо $\alpha_c > \alpha_{nk}$, то ЛВР перетинає курс по кормі. Аналогічно, для суден зліва – якщо $\alpha_c < \alpha_{ln}$, то ЛВР перетинає курс по носу, якщо $\alpha_c > \alpha_{lk}$, то ЛВР перетинає курс по кормі. Відстані між судном та точками перетину ЛВРів судна з курсом судна будуть залежати від величини кутів α_{nk} , α_{nn} , які пов'язані з кутом α_c співвідношенням $\alpha_{nk} + \Delta\alpha_1 = \alpha_c = \alpha_{nk} - \Delta\alpha_2$.

Відповідно до зміни КК ЛВР побудовано класифікацію можливих ситуацій зближення суден, згідно з якою здійснюється оцінювання рівня небезпеки зіткнення. Оцінка небезпеки зіткнення за єдиним інформаційним параметром – зміною напрямку ЛВР, дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень судноводієм щодо вибору маневру для розходження. У порівнянні з традиційними підходами, що використовують спостережувані або обчислювані параметри, запропонований метод дає змогу заздалегідь визначити небезпеку розвитку навігаційної ситуації.

Обробка навігаційної інформації в СППР судноводія здійснюється із застосуванням сценарно-прецедентного підходу, якій є одним із методів ШІ. У СППР прецедент являє собою структуру, що складається з опису поточної навігаційної ситуації, і рішення, що містить список можливих варіантів прийняття рішення управління судном, а також опис ситуації, яка (можливо) матиме місце після вибору прецеденту (реалізації прийнятого рішення), рис. 5).

Прецедент $p \in \mathcal{P}$ є парою $\langle s, u \rangle \in \mathcal{P} = S \times U$, що складається з навігаційної ситуації $s \in S$ та пов'язаного з нею рішення щодо керування судном $u \in U$. Кожній ситуації s можуть відповідати кілька рішень, таким чином, допустимі прецеденти виду $\langle s, u \rangle$ і $\langle s, u' \rangle$, які відрізняються у випадку, якщо $u \neq u'$.

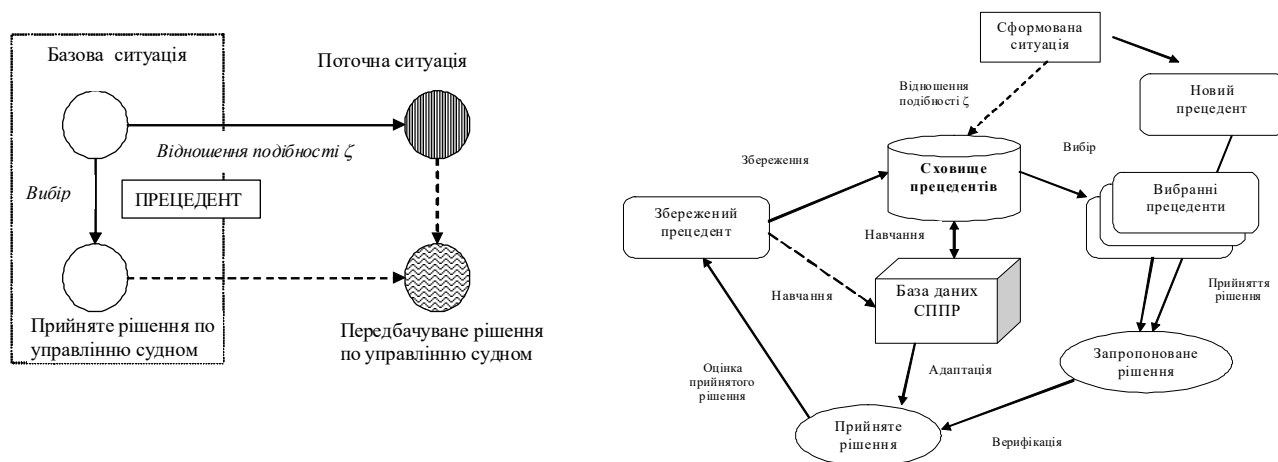


Рисунок 5. Фази циклу прийняття рішень в СППР судноводія

Дані в СППР представлені множиною прецедентів P :

$$P = \{\langle s_1, u_1 \rangle, \langle s_2, u_2 \rangle, \dots, \langle s_n, u_n \rangle\} \quad (1)$$

Вибір найбільш відповідного у конкретній ситуації прецеденту дозволяє сформувати на його основі готове рішення або потребує проведення додаткових

дій з адаптації рішення з метою врахування відмінностей у характеристиках поточної та базової ситуації. Якщо відповідний прецедент не знайдено або процес адаптації потребує залучення додаткової інформації, ухвалення рішення потребуватиме звернення до бази знань СППР. Як тільки поточна ситуація ідентифікована, судноводій може прийняти рішення із запропонованих системою альтернатив на основі вже наявних (збережених) прецедентів, або самостійно.

Кожна поточна навігаційна ситуація S в момент часу t , $-S(t)$, характеризується наявністю в зоні розходження n суден, де i -е судно ($i \in [1, n]$) описується множиною $M_i = \{x_i, y_i, V_i, \psi_i, \Delta V_i, \Delta \psi_i\}$, яка складається із шести параметрів: координати (x_i, y_i) , швидкість V_i , курс ψ_i , та похідні ΔV_i , $\Delta \psi_i$ які визначають динаміку змін V_i та ψ_i . Значення (x_i, y_i) , V_i та ψ_i надходять до ЗАРП, а значення ΔV_i , $\Delta \psi_i$ розраховуються в СППР на основі попередніх значень V_i та ψ_i . Параметри руху i -го судна позначимо множиною $M_i = \{x_i, y_i, V_i, \psi_i, \Delta V_i, \Delta \psi_i\}$. Тоді, для будь-якого дискретно заданого моменту часу t навігаційна ситуація $S(t)$ буде представлена у вигляді: $S(t) = (M_0, ..., M_i, ..., M_n)$.

Аналіз руху суден в зоні розходження здійснюється з урахуванням низки статичних та динамічних обмежень Z , до яких відносяться:

- навігаційні обмеження в зоні розходження, що існують на поточний час – Z_1 ;
- виконання вимог МПЗЗС-72 – Z_2 ;
- виконання вимог критеріїв безпечного розходження на мінімально безпечній дистанції зближення $D_{кр}$, часу зближення $t_{кр}$, пеленгу Π або кута курсу KK – Z_3 ;
- обмеження, які зумовлені врахуванням кінематичних параметрів руху суден та їх характеристик маневрування – Z_4 .

Множина Z_2 являє собою статичне обмеження і може бути записана у вигляді бінарної функції п'ятьох аргументів, значення яких визначається як:

$$Z_2 = Z_2^1 \cup \overline{Z_2^1} (\overline{Z_2^2 Z_2^3} \cup \overline{Z_2^4 Z_2^5}), \quad (2)$$

де: $\overline{Z_2^1}$ – зіткнення з іншим судном у будь-якому напрямі;

$\overline{Z_2^2}$ – наближення або віддалення судна;

$\overline{Z_2^3}$ – проходження судна попереду по носу або позаду по кормі;

$\overline{Z_2^4}$ – наближення судна по носу або по кормі;

$\overline{Z_2^5}$ – наближення судна справа або зліва;

Загальна множина обмежень Z може бути представлена у вигляді: $Z = Z_1 \cap Z_2 \cap Z_3 \cap Z_4$. Обмеження Z дозволяють визначити матриці стратегій управління $U_0^i(S(t))$ для власного судна та кожного судна яке є учасником навігаційної ситуації $S(t)$.

Застосування запропонованого підходу до формалізації правил МПЗЗС-72 дозволило реалізувати в СППР імітаційну модель розходження суден, що враховує як вимоги МПЗЗС-72 так і логіку дій судноводіїв. Для подальшого уточнення сценаріїв розвитку навігаційних ситуацій в СППР здійснюється оцінка параметрів руху суден, на підставі якого відбувається прогнозування можливих траєкторій їх руху з метою обмеження кількості можливих сценаріїв розходження, що підлягають аналізу.

Визначено структуру процесу інформаційної взаємодії судноводія та СППР при прийнятті рішень та показано, що його якість та ефективність може бути підвищена шляхом врахування особливостей сприйняття та обробки навігаційної інформації судноводієм.

У розділі, також, розглянуто питання застосування СППР при вирішенні задач формування оптимальних вантажних планів суден-контейнеровозів. Розроблена структура СППР з формування вантажного плану контейнеровоза для мультипортових контейнерних перевезень. Застосування представленої СППР оптимізує процес формування вантажного плану судна-контейнеровоза з одночасним урахуванням його технологічної та економічної складової, що дозволяє поліпшити економічні показники виконання рейсу за умов дотримання обов'язкових безпекових вимог.

Четвертий розділ дисертації присвячено дослідженню питань підтримки прийняття рішень при вирішенні задач розходження, маневрування, та динамічного позиціонування суден. З метою зменшення кількості навігаційних ситуацій, які підлягають аналізу в СППР судноводія, створено класифікацію навігаційних ситуацій (табл. 1) залежно від взаємного розташування суден та проходження ліній їх відносного руху (рис. 6).

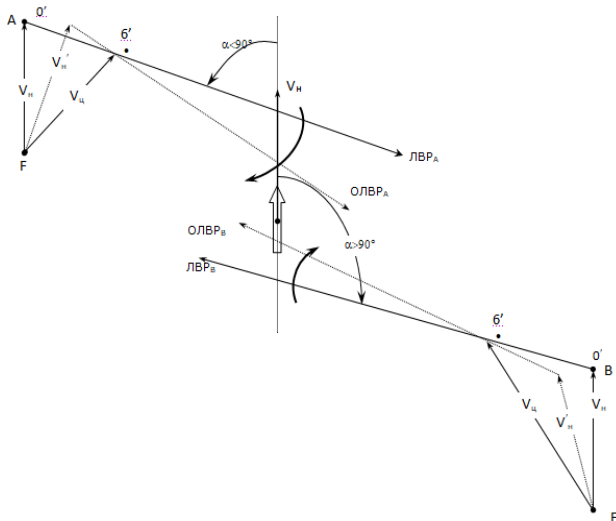


Рисунок 6. Зміщення ЛВР судна та класифікація навігаційних ситуацій

Таблиця 1 – Класифікація ситуацій розходження суден

Судна	КК ЛВР	№ зп	Характеристика проходження ЛВР
Праворуч	$\alpha < 90^\circ$	1	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha < 90^\circ$	2	ЛВР проходить через нас
	$\alpha < 90^\circ$	3	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha = 90^\circ$	4	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha = 90^\circ$	5	ЛВР проходить через нас
	$\alpha = 90^\circ$	6	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha > 90^\circ$	7	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha > 90^\circ$	8	ЛВР проходить через нас
	$\alpha > 90^\circ$	9	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
Ліворуч	$\alpha < 90^\circ$	10	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha < 90^\circ$	11	ЛВР проходить через нас
	$\alpha < 90^\circ$	12	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha = 90^\circ$	13	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha = 90^\circ$	14	ЛВР проходить через нас
	$\alpha = 90^\circ$	15	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha > 90^\circ$	16	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha > 90^\circ$	17	ЛВР проходить через нас
	$\alpha > 90^\circ$	18	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі

Зміна ЛВР та очікуваної лінії відносного руху (ОЛВР) представлені на рис. 6. Судно А розташоване зліва, курсовий кут ЛВР $\alpha < 90^\circ$, ЛВР перетинає лінію курсу по кормі. Зміна відносного руху судна характеризується двома параметрами:

- напрямком розвороту очікуваної лінії відносного переміщення щодо первісної ЛВР – за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки;
- зміною розташування ОЛВР відносно власного судна – віддаляється або наближається до власного судна.

З метою уникнення зіткнення суден СППР судноводія формує маневр розходження таким чином, щоб ОЛВР віддалялась від власного судна.

На основі запропонованої класифікації навігаційних ситуацій розроблено алгоритм ситуаційного аналізу, аналізатори вибору маневру власного судна та розрахункові схеми для визначення відстаней до суден-цілей.

Спочатку наявна навігаційна ситуація підлягає обробці в модулі ситуаційного аналізу, який за даними АІС розраховує відстань до всіх суден у вигляді матриці, і відкидає з подальшої обробки ті, відстань до яких збільшується. Як показує виконаний під час проведення дослідження аналіз, в більшості випадків число таких суден досягає 50 %.

Наступним кроком є аналіз характеру зміни відносного руху за трьома факторами:

- розташування інших суден щодо діаметральної площини власного – праворуч або ліворуч;
- величиною кута між ЛВР і діаметральною площиною свого судна, курсового кута ЛВР – $\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha > 90^\circ$;
- відносним курсом між лінією діаметральної площини власного та іншого судна, $P < 90^\circ$, $P = 90^\circ$, $P > 90^\circ$, – перетинає курс по носу, проходить через нас або перетинає лінію курсу по кормі.

Алгоритм вибору виду маневру полягає у розрахунку відстані між суднами і часу настання ситуації останнього моменту з урахуванням геометрії зближення, параметрів руху цілей і власного судна, його маневрених характеристик і цілей для всіх альтернатив виконання маневру. Структура алгоритму ситуаційного аналізу наведена на рис. 7.

Відстань між власним судном і суднами, що спостерігаються на момент часу t позначено як: $D_{01}(t), D_{02}(t), \dots, D_{0i}(t), \dots, D_{0n}(t)$, а між іншими і власним через $D_{10}(t), D_{20}(t), \dots, D_{i0}(t), \dots, D_{n0}(t)$.

СППР аналізує зміни дистанцій між власним судном та кожним судном-ціллю через інтервал часу $1 \div 3$ с. Якщо для відповідних елементів матриць, що характеризують поточну та минулу навігаційну ситуацію виконується умова $D_{ij}(t+1) - D_{ij}(t) > 0$, то таке судно розглядається СППР як безпечне, проте моніторинг дистанції до вказаного судна продовжується.

Алгоритм вибору виду маневру полягає у розрахунку відстані між суднами і часу настання ситуації останнього моменту з урахуванням геометрії зближення, параметрів руху цілей і власного судна, його маневрених характеристик і цілей для всіх альтернатив виконання і тієї, яка настає останньою.

Також у четвертому розділі розглянуті питання підтримки прийняття рішень судноводія при надмірному, небезпечному та аварійному зближенню суден і вибору маневру власного судна у таких випадках.

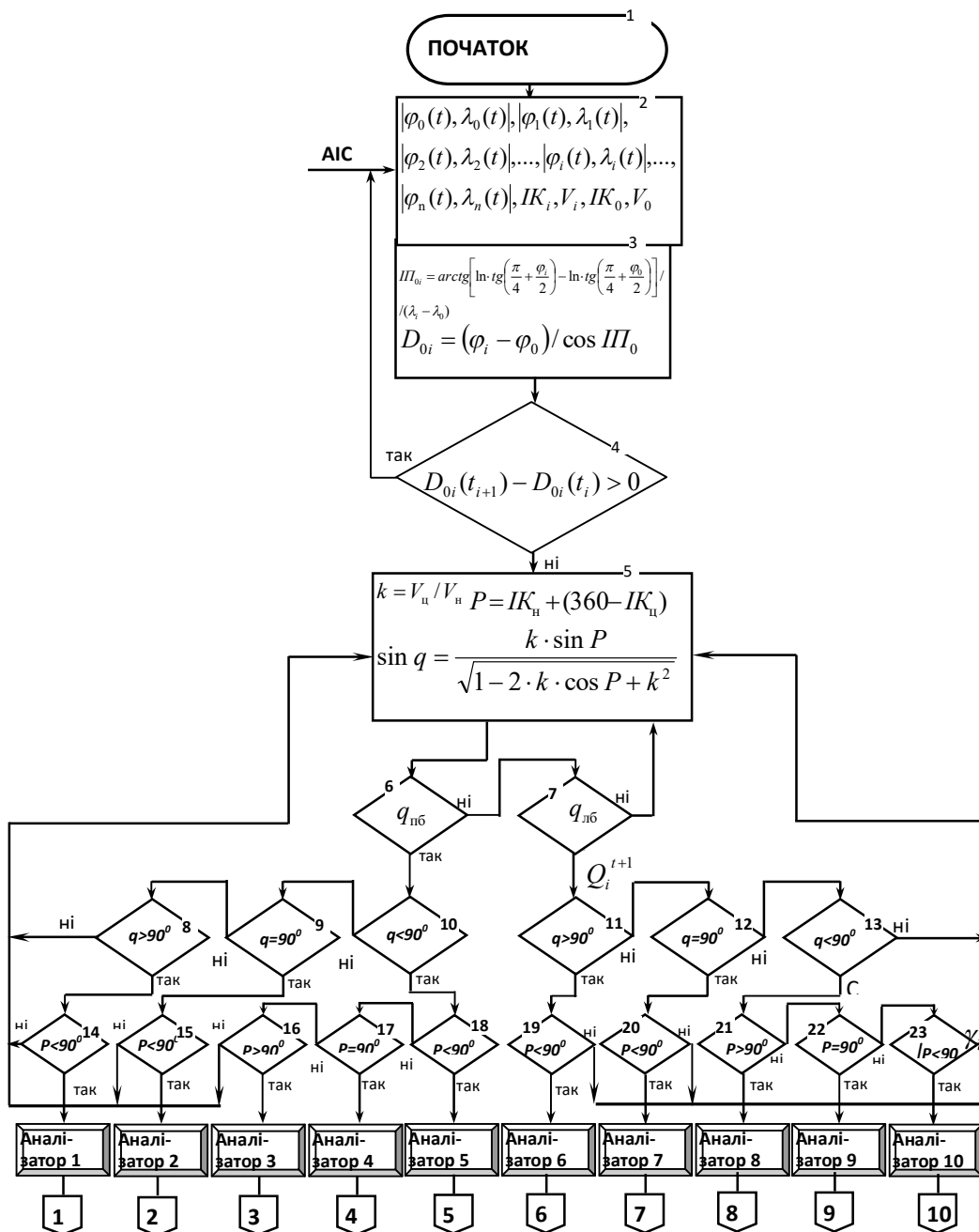


Рисунок 7. Структура алгоритму ситуаційного аналізу

Для вирішення зазначеної задачі було розроблено розрахункові схеми, процедури й алгоритми, які містять вперше запропоновані способи і методики функціонування системи управління судном і контролю над процесом переміщення та зближення, включаючи оцінку надмірного і небезпечного зближення, а також вибір маневру для запобігання аварійної ситуації на підставі даних АІС.

Аналізатор визначає розрахункову схему зближення, формує її візуалізацію і виконує розрахунок відстані до небезпечного судна і часу віддачі відповідної команди з управління власним судном для запобігання аварійного зближення.

Обчислення за кожною розрахунковою схемою для заданої ситуації зближення закінчуються візуалізацією часу і дистанції до небезпечного судна в момент

надмірного, небезпечного й аварійного зближення.

Запропонований метод класифікації навігаційних ситуацій відрізняється від існуючих тим, що передбачає визначення надмірного, небезпечного та аварійного зближення суден, та забезпечує в СППР судноводія вибір режимів розходження залежно від навігаційної ситуації, яка склалася.

Удосконалено метод підтримки прийняття рішень при маневруванні суден. При русі судна в умовах обмеженого простору для визначення місця використовуються берегові і плаваючі засоби навігаційного обладнання та візуальні методи навігації. Технічні засоби майже не застосовуються, що знижує точність визначення положення судна. Запропоновано при здійсненні маневрування судна застосовувати інформацію стосовно зміни положення характерних точок судна, які впливають на здатність судноводія здійснювати управління його рухом (рис. 8 (а)).

Основними параметрами судна, та його характерними точками, які мають бути враховані при здійсненні маневрування в обмеженому просторі є наступні: центр управління (ЦУ) – точка на містку судна, де знаходиться судноводій; полюс повороту (ПП) – точка на лінії діаметральної площини в межах судна або за його межами, навколо якої відбувається обертання корпусу; центр тяжіння (ЦТ) – точка на лінії діаметральної площини в якій прикладена рівнодіюча сил тяжіння; крайні характерні точки – носові лівого борту H_L , носові правого борту H_P , кормові лівого борту K_L і кормові правого борту K_P визначають ширину маневреного зміщення судна при нишпоренні і повороті; довжина судна між перпендикулярами $L_{\perp\perp}$ – відстань між крайніми носовими і кормовими точками ватерлінії.

Вказані параметри та характерні точки судна визначають інформаційне забезпечення СППР судноводія при управлінні маневруванням і впливають на його безпеку.

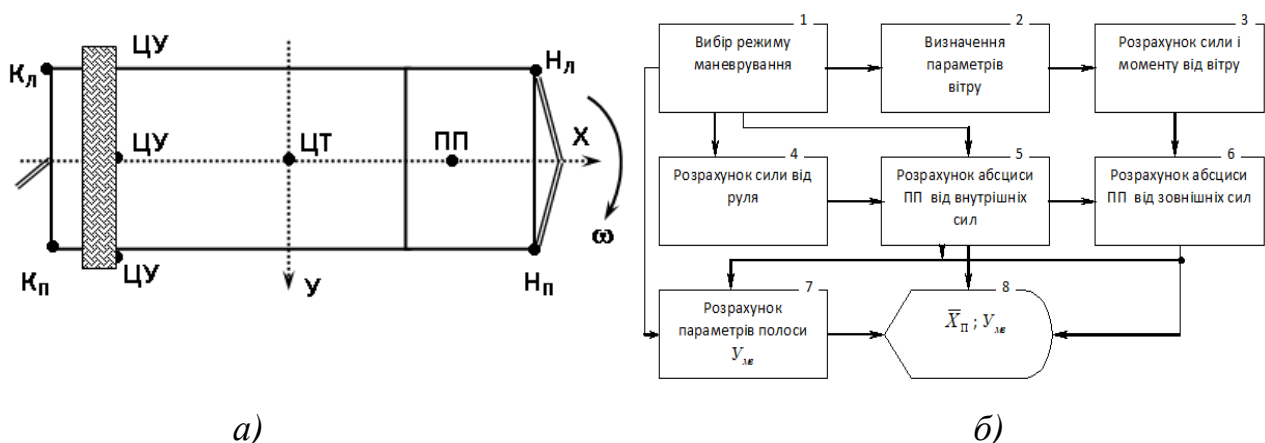


Рисунок 8. Характерні точки судна (а) та управління маневруванням (б)

На підставі проведених досліджень було удосконалено модуль розрахунку абсциси ПП судна для СППР судноводія, якій враховує вплив усіх діючих на судно внутрішніх і зовнішніх сил. Він складається з наступних блоків:

- вибору режиму маневрування;
- оцінки напрямку і швидкості вітру;
- врахування сили і моменту від вітру при маневруванні;
- врахування сили від керма;
- розрахунку абсциси ПП від внутрішніх сил,
- розрахунку сили, плеча і моменту від буксирів,
- розрахунку ширини смуги руху, маневреного зміщення і ймовірної ширини смуги;
- візуалізації абсциси ПП та бокового зміщення.

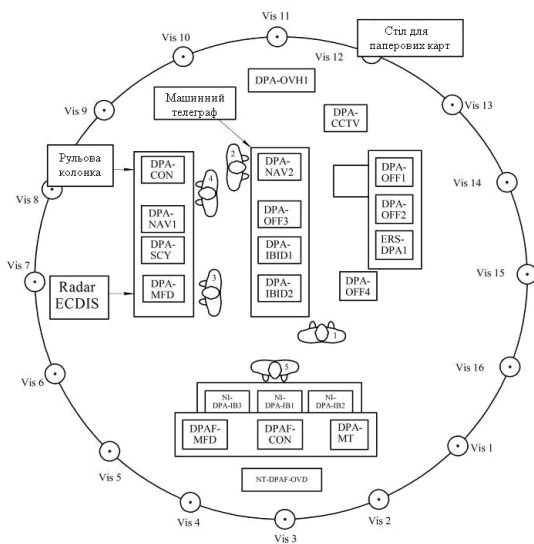
Також у четвертому розділі розглянуті питання підвищення надійності управління динамічним позиціонуванням судна. Визначено, що система динамічного позиціонування (СДП) судна представляє собою складну ергатичну систему «оператор ДП – технічні засоби управління судном – підрулюючі пристрої», яка функціонує в режимі реального часу і потребує постійного контролю з боку оператора ДП. Класифіковані характерні типи відмов СДП та основні чинники їх виникнення.

Визначено, що якість та надійність функціонування СДП суден в істотній мірі залежить від якості процесів інформаційної взаємодії таких систем з оператором та його кваліфікації і професійних навичок керування СДП. Таким чином, функціональною особливістю СППР судноводія для виконання ДП операції є те, що вона не формує управлінські рішення, а постійно контролює його роботу з метою недопущення вжиття ним неправильних дій з управління СДП.

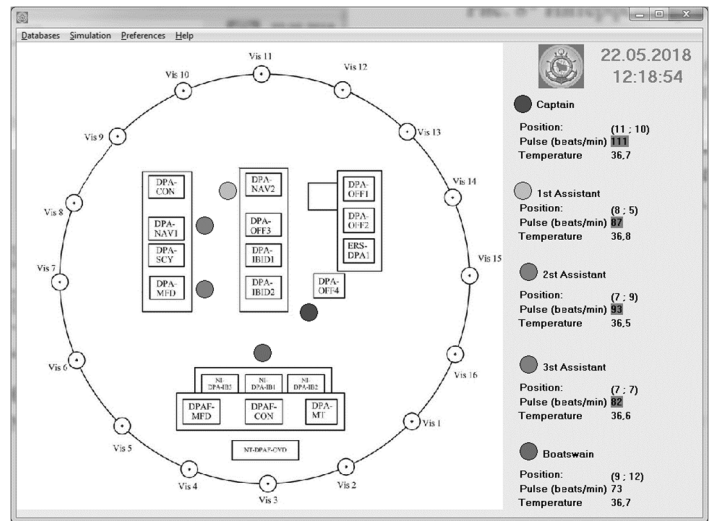
Підвищення якості процесів взаємодії ОСДП та СДП може бути досягнуто шляхом запровадження СППР, яка забезпечує формування, відповідно до поточної навігаційної ситуації, попереджувальних (проактивних) інформаційних повідомлень, спрямованих на запобігання вжиття оператором помилкових або небезпечних дій з керування СДП.

У п'ятому розділі дослідження розглянуто питання людського фактора у процесах прийняття рішень у галузі судноводіння та шляхи зниження його впливу. Визначено, що узгодження параметрів взаємодії людини і технічних засобів, а також ефективний розподіл функцій між ними є одним з найважливіших завдань безпечного управління судновими системами, що, в свою чергу, може бути досягнуто шляхом запровадження новітніх інформаційних технологій та систем керування, перш за все інформаційних навігаційних систем та СППР судноводія.

Доведено, що проблема негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом суден потребує комплексного вирішення: з одного боку, необхідно максимально намагатись знизити першопричини виникнення людського фактора як такого, а з іншого – відповідно, покращувати інтерфейси судових НІС, СППР, автоматизованих систем управління, з метою поліпшення якості процесів взаємодії людини з вищевказаними системами тощо. Визначено особливості побудови інформаційних інтерфейсів судових НІС, та методи ідентифікації людського фактора в таких системах (рис. 9).



а)



б)

Рисунок 9. Розташування інтерфейсів навігаційного тренажера NTPRO 5000 (а) та визначення впливу людського фактора (б)

Запропоновано метод ідентифікації впливу людського фактора на процеси керування судном шляхом аналізу послідовностей дій судноводія, а також комплексного аналізу процесу інформаційної взаємодії судноводія та НІС в цілому. Обґрунтовано доцільність застосування кількісної оцінки впливу людського фактора в системі «Судноводій-НІС» на основі ентропійного підходу.

Визначено, що при плануванні шляху руху судна, судноводій підбирає послідовність етапів виконання навігаційних завдань. Сформована таким чином послідовність $\{B_1, \dots, B_i\}$, є індивідуальна траєкторія дій, яка надалі може бути застосована у НІС або СППР для ідентифікації конкретного судноводія та побудови його моделі взаємодії.

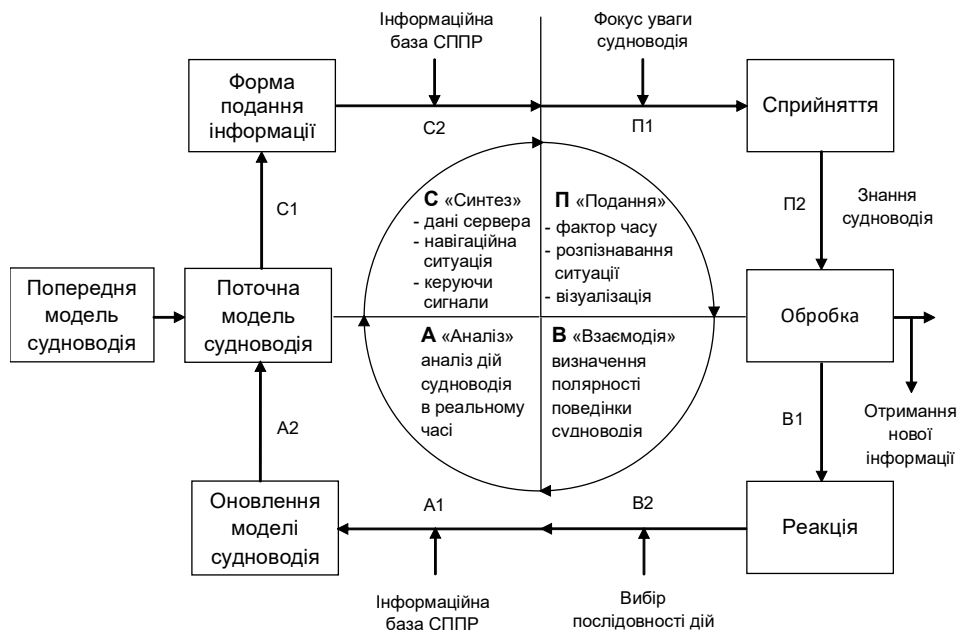


Рисунок 10. Процес взаємодії судноводія з СППР та формування його інформаційної моделі

У процесі проходження судна за маршрутом, СППР аналізує кількісні результати проявів людського фактора шляхом аналізу наступних характеристик: швидкість прийняття рішень, рівень успішності виконання окремих завдань, а також приналежність до певного класу моделей поведінки. У процесі інформаційної взаємодії формується модель поведінки судноводія, визначаються найбільш «сильні», стійкі зв'язки між діями і реакціями. Траєкторія дій судноводія зберігається в СППР з метою поліпшення процесів подальшої взаємодії.

Показано, що створення адекватних реальним процесам моделей судноводіїв дозволяє визначати індивідуальну стратегію їх поведінки, що, в свою чергу, надає можливість ідентифікувати можливий негативний вплив людського фактора на процеси управління судном та упереджувати його наслідки.

Для наявної множини X_i альтернатив взаємодії судноводія з ІНС (траєкторії дій), i – індивідуальний індекс судноводія, що входить до складу вахтової служби $I = \{1, 2, \dots, n\}$, СППР визначає бінарні відносини Θ_i , що інтерпретуються, як сильні і слабкі сторони i -го судноводія, згідно з якими відбувається порівняння різні альтернативи з X_i . Для l факторів впливу вектор $x_i \in X_i$ складається з набору $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^l)$ інформаційних потоків, який отримує i -й судноводій.

Набір векторів $x = (x_i) \in X$, де $X = \prod_{i \in I} X_i$ – добуток множин X_i є розподілом в групі I . Наявна множина допустимих усіх розподілів представлена множиною $B \subset X$. $B = \left\{ x \in X \mid \sum_{i=1}^l x_i \leq \Omega \right\}$ є множиною всіх перерозподілів, сумарний запас яких становить менше деякого фіксованого набору факторів l .

При виявленні дисбалансу $x \in B$, i -й судноводій відчуває певний ІП, який можна виразити дійсним числом $t_i(x)$. Кожен i -й судноводій має перевагу на множині допустимих станів B , яке дозволяє СППР порівнювати різні стани x' , $x \in B$ з точки зору його індивідуальних особливостей сприйняття інформації, а $t_i(x)$ – біполярна функція корисності, яка представляє Q_i . Таким чином, для переваги Θ_i визначеній на X_i існує певна функція корисності $u_i(x_i)$.

На основі аналізу моделі окремого судноводія $i \in I$, СППР вимірює диференціацію по корисності деякого розподілу $x = (x_i) \in B$ за допомогою індивідуальної міри, такої, що:

$$t_i(x) = \sum_{j \in I} \max[u_i(x_j) - u_i(x_i), 0] \quad (3)$$

Завданням СППР є визначення для кожного судноводія $i \in I$ певного ІП γ_i , $0 \leq \gamma_i \leq 1$. Набір порогів ІП, $\{\gamma_i\} = \gamma$, інтерпретується як множина пріоритетів, що призначаються СППР.

Таким чином, послідовність дій СППР, пов'язаних з процесом формування моделі судноводія замикається в цикл, який повторюється, і з кожною ітерацією якого відбувається оновлення моделі судноводія, та, як наслідок, зміна його ІП.

Завданням СППР є знаходження ІП як періоду інтелектуальної поведінки

судноводія і виявлення небезпечних дій або бездіяльності, що призводять до негативних наслідків. З метою конвертації даних сервера навігаційного тренажера, де накопичуються у реляційну систему управління базами даних *MySQL* та формат *Microsoft Excel* розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє також проводити аналіз на предмет виявлення зіткнень судна в процесі тренажерної підготовки.

Також у п'ятому розділі дисертації розглянуті питання моделювання проявів людського фактора команди навігаційного містка у процесі прийняття рішень з керування судном.

Представлені моделі взаємодії членів вахтової служби та запропоновано комплекс програмно-апаратних засобів контролю переміщень та психофізіологічного стану членів команди на навігаційному містку. Визначено вплив рівня підготовки окремих членів команди на вибір комунікаційних стратегій в процесах прийняття ними управлінських рішень. Доведено, що неузгодженість процесів інформаційної взаємодії є додатковим негативним чинником, якій слід брати до уваги при оцінці впливу людського фактора на процеси управління судном.

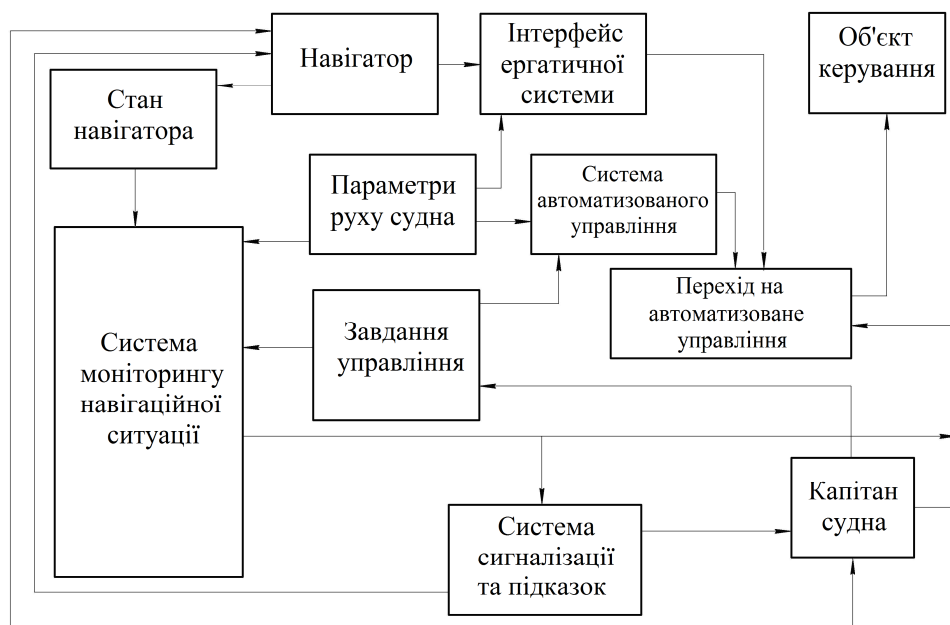


Рисунок 11. Загальна схема ергатичної системи керування судном

Визначено, що ефективним засобом подолання негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом судна є застосування автоматизованих систем керування та перехід на використання таких систем у випадках наявності помилкових дій судноводія (-ів), їх відсутності, або у критичних ситуаціях та наявності обмежень часу на прийняття рішень.

З урахуванням досліджених особливостей процесів взаємодії судноводія з технічними засобами, розроблено схему ергатичної системи керування судном, рис. 11, яка дозволяє знизити негативний вплив людського фактора.

Відмінною рисою запропонованого підходу у порівнянні з існуючими, є реалізація функцій переходу на автоматизоване керування судном у випадках

виявлення помилкових дій судноводія, їх відсутності, та/або у критичних ситуаціях.

У шостому розділі розглянуто питання автоматизації процесів прийняття рішень з управління рухом судна. Визначено відмінні риси та особливості процесів керування екіпажними та автономними суднами, а також структури відповідних автоматизованих систем управління.

Доведено, що з огляду на інтенсивний розвиток галузі автономних та безекіпажних морських суден, а також суден, обладнаних системами ДП, існує потреба у розробці методів підвищення точності і надійності процесів управління такими суднами, а також створення із застосуванням вказаних методів відповідного математичного забезпечення та програмних засобів, що дозволить покращити якість і надійність процесів управління в умовах відмов навігаційних приладів, вимірників і рушійно-керуючих пристроїв.

З метою вирішення вказаної задачі, створено узагальнену математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель керуючих пристроїв, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погрешностей і відмов, яка представлена у вигляді:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{U}) + \mathbf{W}, \quad (4)$$

$$\mathbf{X}_m = \mathbf{X} + \Delta\mathbf{X}_m + \delta\mathbf{X}_m + \nabla\mathbf{X}_m, \quad (5)$$

$$\mathbf{U} = (\mathbf{U}_l(\boldsymbol{\theta}) + \Delta\mathbf{U}_l, \mathbf{U}_a(\boldsymbol{\delta}) + \Delta\mathbf{U}_a). \quad (6)$$

де: $\mathbf{X} = (V_x, V_y, V_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \varphi, \theta, \psi, X_g, Y_g, Z_g)$ – вектор стану судна,

$\mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z)$ – вектор лінійної швидкості судна у зв'язаній системі координат,

$\boldsymbol{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ – вектор кутової швидкості судна у зв'язаній системі координат,

φ, θ, ψ – кути крену, диферента і рискання, що визначають кутове положення пов'язаної системи координат щодо базової,

X_g, Y_g, Z_g – положення центру мас судна у базовій системі координат,

\mathbf{U} – вектор управлінь,

$\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{U})$ – вектор-функція правих частин системи диференціальних рівнянь,

\mathbf{W} – вектор зовнішніх дій від вітру, течії, хвиль,

$\mathbf{X}_m = (V_{xm}, V_{ym}, V_{zm}, \omega_{xm}, \omega_{ym}, \omega_{zm}, \varphi_m, \theta_m, \psi_m, X_{gm}, Y_{gm}, Z_{gm})$ – вектор вимірів і його компоненти,

$\Delta\mathbf{X}_m = (\Delta V_{xm}, \Delta V_{ym}, \Delta V_{zm}, \Delta\omega_{xm}, \Delta\omega_{ym}, \Delta\omega_{zm}, \Delta\varphi_m, \Delta\theta_m, \Delta\psi_m, \Delta X_{gm}, \Delta Y_{gm}, \Delta Z_{gm})$ –

вектор систематичних помилок вимірів і його компоненти,

$\delta\mathbf{X}_m = (\delta V_{xm}, \delta V_{ym}, \delta V_{zm}, \delta\omega_{xm}, \delta\omega_{ym}, \delta\omega_{zm}, \delta\varphi_m, \delta\theta_m, \delta\psi_m, \delta X_{gm}, \delta Y_{gm}, \delta Z_{gm})$ – вектор

флуктуаційних помилок вимірів і його компоненти,

$\nabla\mathbf{X}_m = (\nabla V_{xm}, \nabla V_{ym}, \nabla V_{zm}, \nabla\omega_{xm}, \nabla\omega_{ym}, \nabla\omega_{zm}, \nabla\varphi_m, \nabla\theta_m, \nabla\psi_m, \nabla X_{gm}, \nabla Y_{gm}, \nabla Z_{gm})$ –

вектор відхилень показників вимірників при маневруваннях і відмовах,

$U_l(\theta)$ – вектор сил, що управляють в каналі лінійного руху,

ΔU_l – вектор зміни сил, що управляють, при відмовах виконавчих пристроїв в каналах лінійного руху,

$U_a(\delta)$ – вектор моментів, що керують, в каналі кутового руху,

ΔU_a – вектор зміни моментів, що керують, при відмовах виконавчих пристроїв в каналах кутового руху,

θ – вектор управління двигунами,

δ – вектор управління рулями.

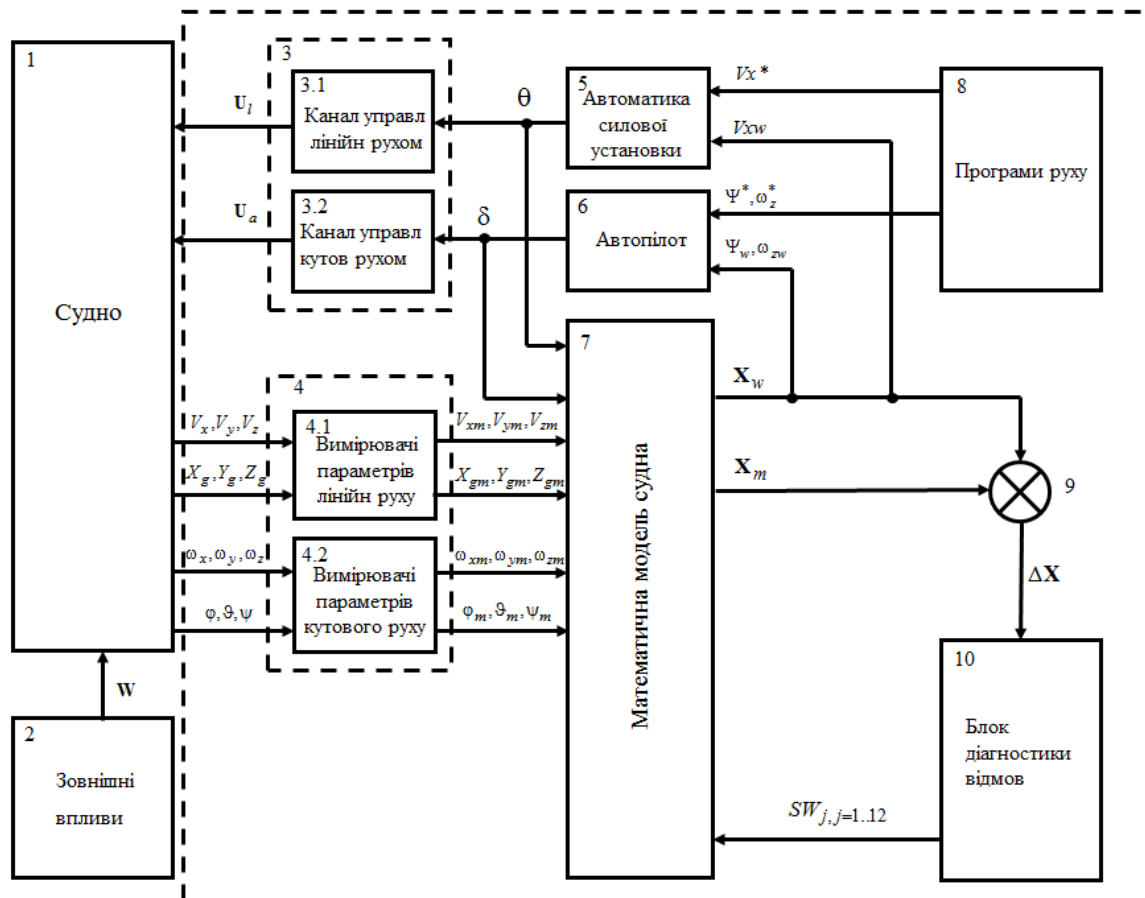


Рисунок 12. Структура автоматизованої системи управління рухом судна

Необхідно сформувати такі управління θ і δ , які забезпечували б управління судном (4) в умовах наявності перешкод і відмов вимірників (5) і рушійно-керуючих пристроїв (6).

Розроблена математична модель руху судна забезпечує:

- підвищення надійності систем управління судном за рахунок виявлення відмов вимірників в каналах лінійного і кутового руху об'єкта управління за результатами аналізу динаміки його руху;

- підвищення надійності за рахунок парирування відмов вимірників шляхом заміни їх інформації тією, що заміщає (отриманою від іншого датчика, працюючого у парі з тим, що відмовив в одному каналі виміру, наприклад, при

відмові вимірника лінійної швидкості його інформація може бути заміщена інформацією вимірника положення і навпаки, а при відмові вимірника кутової швидкості його інформація може бути заміщена інформацією вимірника кутового положення і навпаки);

- підвищення надійності за рахунок виявлення відмов керуючих пристроїв за результатами аналізу динаміки руху об'єкта управління;

- підвищення точності при маневруванні судна за рахунок виявлення неприпустимих відхилень вимірників і заміщення їх інформації до моменту закінчення маневру (наприклад, при розгоні, гальмуванні, розвороті судна має місце інерційна девіація гірокомпаса. На час маневрування показники гірокомпаса можуть бути замінені показниками вимірника кутової швидкості в каналі рискання).

Також у шостому розділі досліджені питання автоматизації процесів розходження судна з багатьма маневруючими цілями та автоматизації керування рухом судна у шторм. Представлені математичні моделі та структура автоматизованої системи керування орієнтовані на застосування в галузі розробки безекіпажних автономних суден, частка яких у світовому судноплаванні має стійку тенденцію до зростання.

Одними з найбільш важливих питань в галузі автоматизації управління суднами є питання зменшення витрат палива (підвищення енергоефективності) а також точності та надійності керування рухом за наявності зовнішніх збурюючих впливів (шторм, вітер, течії та інші збурення). З метою їх розв'язання запропоновано за рахунок наявності на спеціалізованих суднах (судна, обладнані системою ДП та судна з підрулюючими пристроями) надлишковості рушійно-керуючого комплексу (кількість незалежних керувань більша за кількість ступенів свободи, що підлягають керуванню), яка закладена конструктивно з міркувань надійності, використовувати зазначену надлишковість також для підвищення ефективності процесів керування.

Наприклад, застосування додаткових пристроїв у рушійно-керуючому комплексі може бути використано для зменшення енергетичних витрат на переміщення судна, шляхом здійснення руху без дрейфу, з меншим гідродинамічним опором, збільшення результуючих керуючих сили і моменту завдяки оптимальному перерозподілу керувань окремих керуючих пристроїв всередині самої структури. Вказані задачі виникають, наприклад, під час тривалого процесу ДП, коли доцільно: мінімізувати енергоспоживання структури на підтримання позиції; максимально збільшити бокову керуючу силу для відходу від платформи, при наявності сильного прижимного вітру; максимально збільшити поздовжню керуючу силу для найшвидшого поздовжнього переміщення.

Для вирішення вказаних задач запропоновано застосування схеми надлишкового керування, яка наведена на рис. 13.

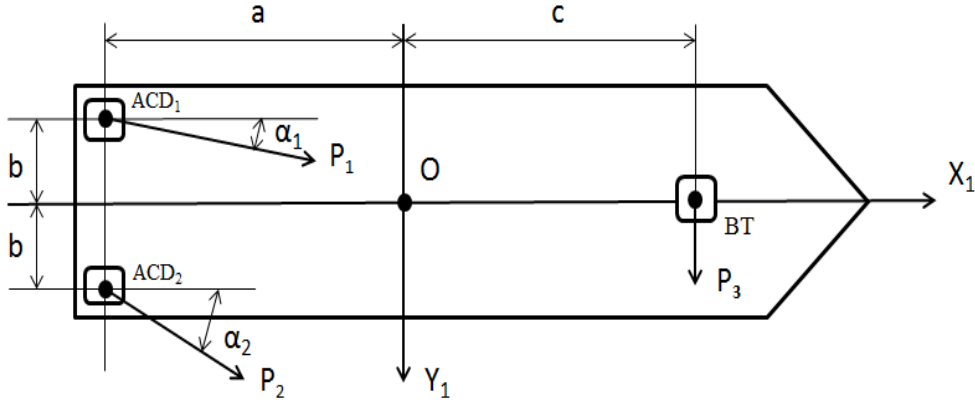


Рисунок 13. Схема надлишкового керування судном OSV3

Надлишкова структура керування включає першу гвинто-рульову колонку ACD1, координати якої $(-a, -b, 0)$, другу гвинто-рульову колонку ACD2, координати якої $(-a, b, 0)$, та носовий підрулюючий пристрій BT, координати якого $(c, 0, 0)$. Гвинто-рульова колонка ACD1 створює вектор сили упору гвинта $\mathbf{P}_1 = (P_1 \cos \alpha_1, P_1 \sin \alpha_1, 0)$, та має обмеження на керування $-P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_1| \leq P_{ACD}^{\max}, -\pi \leq |\alpha_1| \leq \pi$. Гвинто-рульова колонка ACD2 створює вектор сили упору гвинта $\mathbf{P}_2 = (P_2 \cos \alpha_2, P_2 \sin \alpha_2, 0)$ та має обмеження на керування $-P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_2| \leq P_{ACD}^{\max}, -\pi \leq |\alpha_2| \leq \pi$. Носовий підрулюючий пристрій BT створює бокову силу $\mathbf{P}_3 = (0, P_3, 0)$ та має обмеження на керування $-P_{BT}^{\max} \leq |\mathbf{P}_3| \leq P_{BT}^{\max}$.

Математичну модель наведеної на рис. 13 структури запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} P_x = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 \\ P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c \end{cases} \quad (7)$$

де P_x – сумарна поздовжня керуюча сила структури, P_y – сумарна бокова керуюча сила структури, M_z – сумарний керуючий момент структури у каналі рискання. Система (7) включає п'ять параметрів керування $P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3$. Для керування поздовжнім, боковим та кутовим рухом судна у каналі рискання потрібно 3 незалежні керування P_x, P_y, M_z , тобто надлишковість структури становить $5-3=2$. Вказані два надлишкові керування можуть бути використані для оптимізації процесів керування і налаштування структури. У загальному вигляді цільова функція керування надлишковою структурою (7) може бути записана у вигляді: $Q(P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3) \rightarrow \text{extr}$ (залежно від задачі, шуканим може бути як мінімум, так і максимум цільової функції).

Керування здійснюється з урахуванням обмежень:

$$\begin{cases} P_x(n) = P_1(n)\cos\alpha_1(n) + P_2(n)\cos\alpha_2(n) \\ P_y(n) = P_1(n)\sin\alpha_1(n) + P_2(n)\sin\alpha_2(n) + P_3(n) \\ M_z(n) = P_1(n)b\cos\alpha_1(n) - P_2(n)b\cos\alpha_2(n) - P_1(n)a\sin\alpha_1(n) - P_2(n)a\sin\alpha_2(n) + P_3(n)c \\ P_1(n) = P_1(n-1) + \dot{P}_1(n)\Delta t \\ \alpha_1(n) = \alpha_1(n-1) + \dot{\alpha}_1(n)\Delta t \\ P_2(n) = P_2(n-1) + \dot{P}_2(n)\Delta t \\ \alpha_2(n) = \alpha_2(n-1) + \dot{\alpha}_2(n)\Delta t \\ P_3(n) = P_3(n-1) + \dot{P}_3(n)\Delta t \end{cases} \quad (8)$$

де: $P_x(n), P_y(n), M_z(n)$ – необхідні для керування сили і момент на n -му такті обчислення;

$P_1(n), \alpha_1(n), P_2(n), \alpha_2(n), P_3(n)$ – сили упору і кути повороту ACD1, ACD2 та сила упору ВТ на n кроці обчислення;

$P_1(n-1), \alpha_1(n-1), P_2(n-1), \alpha_2(n-1), P_3(n-1)$ – сили упору і кути повороту ACD1, ACD2 та сила упору ВТ на $(n-1)$ такті обчислення;

$\dot{P}_1, \dot{\alpha}_1, \dot{P}_2, \dot{\alpha}_2, \dot{P}_3$ – оптимізаційні параметри (швидкості зміни параметрів керувань);

Δt – крок обчислення.

Додатково потрібно враховувати технічні обмеження на параметри керування і швидкості зміни параметрів керувань:

$$\begin{cases} |P_1| \leq P_{ACD}^{\max}, |\alpha_1| \leq \pi, |P_2| \leq P_{ACD}^{\max}, |\alpha_2| \leq \pi, |P_3| \leq P_{BT}^{\max} \\ |\dot{P}_1| \leq \dot{P}_{ACD}^{\max}, |\dot{P}_2| \leq \dot{P}_{ACD}^{\max}, |\dot{\alpha}_1| \leq \dot{\alpha}_{ACD}^{\max}, |\dot{\alpha}_2| \leq \dot{\alpha}_{ACD}^{\max}, |\dot{P}_3| \leq \dot{P}_{BT}^{\max} \end{cases} \quad (9)$$

Для визначення оптимізаційних параметрів $\dot{P}_1(n), \dot{\alpha}_1(n), \dot{P}_2(n), \dot{\alpha}_2(n), \dot{P}_3(n)$, що задовольняють цільовій функції, нелінійним обмеженням (8) та лінійним обмеженням (9), застосовано оптимізаційну процедуру з використанням оптимізаційної функції MATLAB **fmincon**.

У цьому розділі «Розробка та тестування модулів СППР на стенді імітаційного моделювання» представлено результати імітаційного моделювання та практичної апробації розроблених методів підтримки прийняття рішень з управління рухом суден із застосуванням сертифікованих навігаційних тренажерів

Наведено інформацію стосовно застосованого тренажерного обладнання та створеного стенда імітаційного моделювання, якій дозволяє здійснити реалізацію наступних завдань:

- інтегрування імітатора бортового обчислювача та ПК з програмами обміну та програмними модулями автоматичного керування рухом судна у локальну обчислювальну мережу тренажера;
- організацію інформаційного обміну між тренажерним обладнанням та

програмами імітатора бортового обчислювача з метою створення єдиного замкнутого контуру «Система керування – тренажерне обладнання»;

- формування та запуск на робочому місці інструктора навігаційних завдань (вибір судна, яким буде керувати автоматична система, району плавання, необхідних об'єктів тренажерної сцени, погодних умов, відмов командних приладів та рушійно-керуючих пристроїв тощо);

- аналіз ступеня небезпечності навігаційних ситуацій, що мають місце, та формування відповідних інформаційних повідомлень для судноводія.

Функціонально стенд імітаційного моделювання складається з наступних компонент: робоче місце інструктора навігаційного тренажера *Navi Trainer Professional 5000*, центральна стійка тренажера, у якій розміщено сервер, інформаційні та математичні моделі, комутаційне обладнання, джерела безперебійного живлення, повнофункціональний навігаційний місток та окремі навігаційні містки – робочі місця для проходження тренажерної підготовки.

Розроблений стенд імітаційного моделювання (рис. 14) захищено патентом на корисну модель України.

Обмін інформацією між імітатором та навігаційним тренажером *NTPro 5000* здійснюється через локальну обчислювальну мережу за допомогою інтерфейсу імітатора *NMEA NTPro 5000*.

З метою перевірки працездатності та валідації запропонованих у роботі методів управління рухом суден, було проведено низку експериментів із використанням створеного стенда імітаційного моделювання у замкнутому контурі з сертифікованими навігаційними тренажерами.

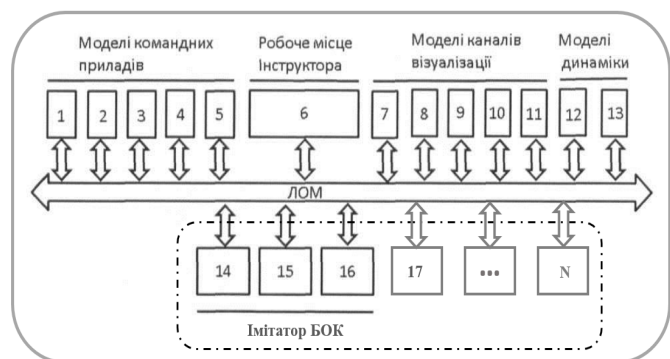


Рисунок 14. Навігаційний тренажер та стенд імітаційного моделювання

На сервері організовано домен *NTPRO.LAN* та зберігається програмне забезпечення навігаційних тренажерів. Моделі призначені для моделювання динаміки руху суден, цілей, інших об'єктів тренажерної сцени.

В окремих лабораторіях встановлені віртуальні містки з необхідним обладнанням для візуалізації навігаційної обстановки та управління рухом судна.

Приклад імітаційного моделювання процесу автоматизованого розходження з п'ятьма небезпечними цілями, що маневрують, наведено на рис. 15.

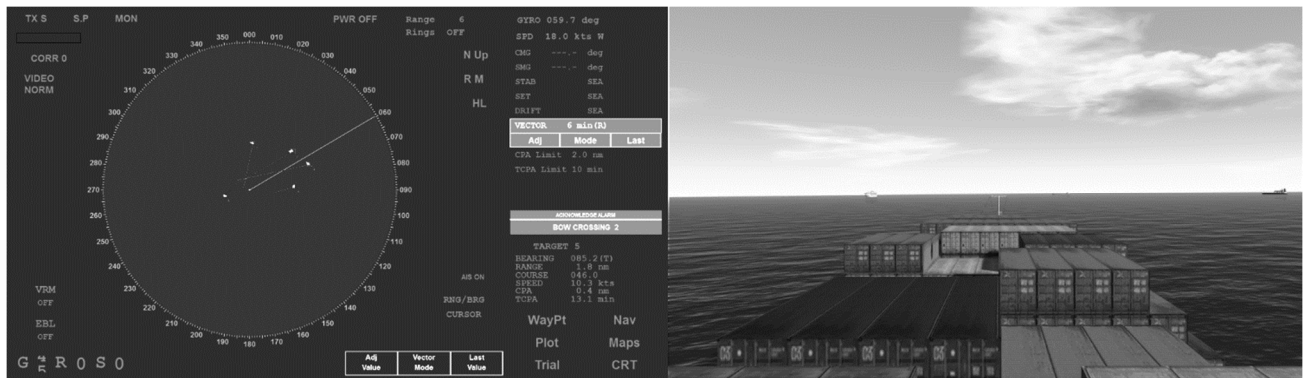


Рисунок 15. Автоматизоване розходження з п'ятьма небезпечними цілями, які маневрують

Здійснено моделювання процесів керування надлишковими структурами рушійно-керуючого комплексу судна для трьох видів цільових функцій:

- $Q_1(P_1, P_2, P_3) = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min$ (мінімізація енергоспоживання);
- $Q_2(P_y) = |P_y| \rightarrow \max$ (відхід судна лагом від платформи, за наявності вітру, що притискає, або при необхідності швидкого бокового переміщення);
- $Q_3(P_x) = |P_x| \rightarrow \max$ (відхід від платформи переднім або заднім ходом).

Результати проведеного моделювання представлені на рис. 16

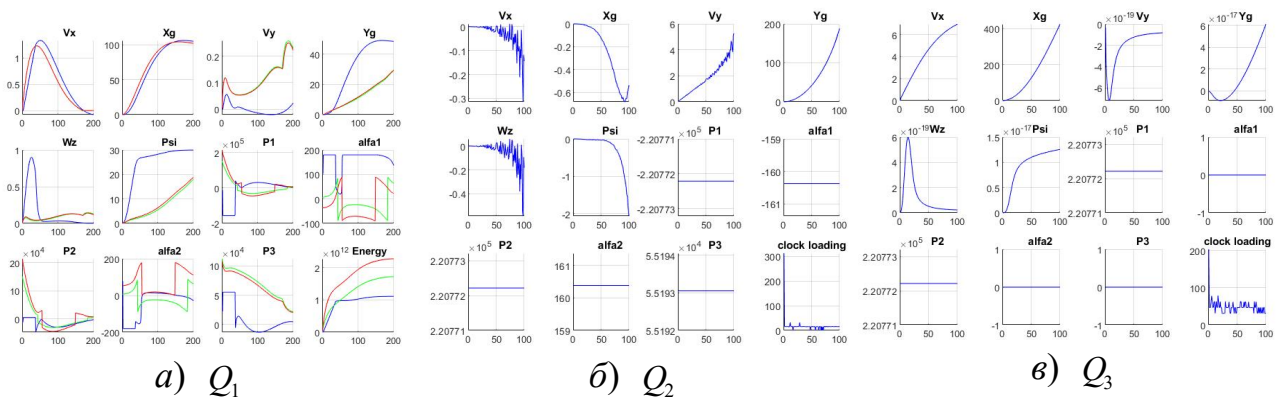


Рисунок 16. Моделювання процесів керування надлишковими структурами рушійно-керуючого комплексу судна, функції Q_1, Q_2, Q_3 .

За результатами проведеного експерименту визначено, що керування надлишковими структурами керуючих пристроїв може здійснюватися з використанням трьох цільових функцій: мінімального енергоспоживання на виконання операцій, максимальної поздовжньої сили, максимальної бокової сили.

Перша цільова функція може використовуватися при тривалому ДП судна, де можливим є зменшення енергоспоживання, щонайменш на 30 %.

Друга цільова функція може використовуватися при відході від платформи носом або кормою, при наявності вітру, що притискає, або для поздовжнього переміщення судна з максимальною швидкістю.

Третя цільова функція може використовуватися для відходу лагом від

платформи, при наявності вітру, що притискає, або для бокового переміщення з максимальною швидкістю. Результати експерименту показали, що оптимізація процесів керування дозволяє зменшити енергоспоживання щонайменш на 35 % та збільшити керуючі сили і момент, у порівнянні із відомими рішеннями. Разом з тим, додаткове навантаження на такт бортового обчислювача, який вирішує оптимізаційну задачу керування, становить 25-50 мс.

Окремо проведені експерименти з застосування модулів СППР судноводія. Створене програмне забезпечення СППР надає можливість налаштування критеріїв визначення ризику зіткнення шляхом введення параметрів безпечної дистанції та часу розходження з суднами цілями. Здійснюється візуалізація параметрів руху власного судна та параметрів руху суден цілей: пеленги, дистанції до інших суден, їх швидкості та курси, дистанції найкоротшого зближення (CPA), час до найкоротшого зближення (TCPA). Обмін інформацією з тренажерним обладнанням дозволяє щосекунди отримувати актуальну інформацію параметрів руху всіх суден в зоні спостереження. Таким чином здійснюється оцінка ризику зіткнення з усіма суднами цілями, у тому числі з тими, що маневрують.

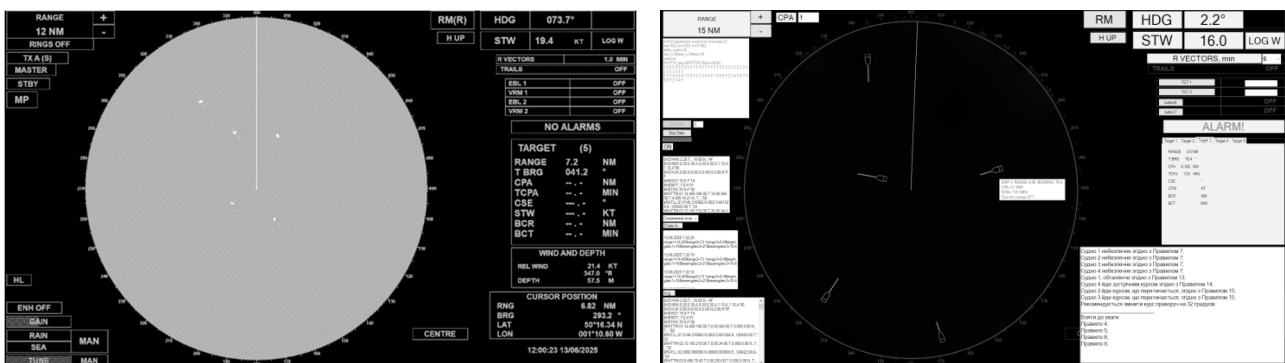


Рисунок 17. Візуалізація навігаційної інформації та формування інформаційних повідомлень в СППР судноводія

На підставі створеної класифікації навігаційних ситуацій та з урахуванням вимог правил розходження суден, СППР судноводія в реальному часі оцінює ризику зіткнення з суднами цілями, що визначаються відповідно до навігаційної ситуації, яка наявна на поточний момент часу. Всі існуючі судна цілі класифікуються згідно трьох категорій: небезпечна ціль, потенційно небезпечна ціль, ціль, яка не представляє загрози. Візуальне маркування суден-цілей відбувається із застосуванням принципів когнітивної графіки: небезпечні судна маркуються червоним кольором, потенційно небезпечні – жовтим, ті, що не являють загрози – зеленим.

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

На основі наявної навігаційної інформації програмне забезпечення

автоматично аналізує навігаційну обстановку та дає рекомендації щодо безпечного розходження з суднами цілями відповідно до вимог правил.

У вікні інтерфейсу СППР відображаються навігаційні дані власного судна, такі як: гірокомпасний курс, швидкість судна відносно води. Функціонал програмного забезпечення дозволяє встановлювати налаштування дистанції відображення суден цілей, параметрів дистанції найкоротшого зближення, величини векторів руху суден цілей та характеру векторів (відносні або абсолютні).

ВИСНОВКИ

Результатом виконання наукового дослідження є розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення безпеки експлуатації засобів водного транспорту, яке здійснено шляхом розробки наукової методології створення та застосування систем підтримки прийняття рішень у галузі судноводіння. За підсумками дослідження зроблено наступні основні висновки.

1. Вперше запропонована категоризація напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, та визначено пріоритетні шляхи розвитку кожного напрямку, що дозволило виокремити проблеми, пов'язані із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні, визначити ефективні методи їх вирішення.

2. На підставі поведеного аналізу предметної галузі висунуто гіпотезу наукового дослідження, яка полягає у припущенні, що підвищення ефективності та безпечності процесів управління рухом суден може бути досягнуте шляхом впровадження СППР судноводія.

3. Вперше запропоновано застосування комплексного підходу до створення СППР в галузі судноводіння, якій базується на комбінованому використанні аналітичних моделей руху суден, методів ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій та методів ІІІ, що дозволяє підвищити оперативність та точність рішень з управління судном, що приймаються.

4. Визначено, що при створенні СППР судноводія особлива увага повинна бути приділена процесам накопичення та обробки вихідних даних про навігаційні ситуації, а також методам прогнозування можливих сценаріїв їх розвитку з урахуванням основних положень МПЗЗС-72 та принципів кооперативної взаємодії суден в умовах реального часу.

5. Розроблені комплексні критерії оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій за зміною кута ЛВР суден-цілей, пеленгів та дистанцій. Застосування вказаних критеріїв у СППР судноводія дозволяє формувати прогнози розвитку навігаційних ситуацій та упереджувати виникнення найбільш небезпечних з них. З метою накопичення, обробки та узагальнення інформації стосовно процесів руху та взаємодії суден, запропоновано застосування сценарно-прецедентного підходу до побудови бази знань СППР.

6. Розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, що враховують особливості руху суден, процесу взаємодії людини з технічними

засобами судноводіння що дозволяє скоротити витрати часу на формування та прийняття рішень, підвищити рівень їх точності та адекватності щодо навігаційної ситуації, яка має місце. Уперше запропоновано застосування чотирьохфазного циклу інформаційної взаємодії судноводія з СППР, що дає змогу поліпшити якість та оперативність прийняття рішень з управління рухом судна. Отримала подальший розвиток методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів.

7. Запропоновано метод ситуаційного аналізу процесу розходження суден, який відрізняється від існуючих тим, що застосовуються комплексні критерії оцінки рівня небезпеки суден у поєднанні з принципами ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій, що, у свою чергу, дозволяє зменшити обсяги навігаційної інформації, яка підлягає обробці у СППР, та скоротити час, необхідний для формування рішень з управління рухом судна.

8. Удосконалено методику розрахунку полюса повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яку адаптовано до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках. Отримала подальший розвиток методика здійснення динамічного позиціонування судна, яка відрізняється урахуванням особливостей процесу взаємодії системи ДП з оператором, що дозволяє знизити ймовірність виникнення помилкових дій у процесі керування об'єктом ДП.

9. Доведено, що важливою складовою мінімізації негативного впливу людського фактора на процеси керування рухом судна, є оптимізація процесів взаємодії ОПР (судноводія) з СППР та технічними засобами управління, що може бути досягнуто, з одного боку, поліпшенням якості інтерфейсів НІС та СППР (що можливо переважно на етапі проєктування), а з іншого – безпосередньо поліпшенням якості процесів взаємодії користувача з такими системами, що може бути досягнуто в процесі експлуатації вказаних систем шляхом застосування вбудованої моделі користувача. Застосування запропонованого комплексного підходу дозволяє знизити кількість помилок у процесі інформаційної взаємодії у системі «судноводій – технічні засоби управління судном», та підвищити якість таких процесів в цілому.

10. Вперше запропоновано застосування моделі судноводія у СППР, що дозволяє поліпшити якість його інформаційної взаємодії з НІС та знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном.

11. Створено математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель пристроїв, що керують, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погрешностей і відмов, що дозволяє підвищити точність та надійність функціонування автоматизованих систем управління рухом суден.

12. Розроблено метод розходження, який дозволяє автоматично та оптимально розходитися з багатьма цілями, включаючи ті, що маневрують. Розроблений метод може застосовуватися для побудови автоматичних модулів розходження у бортовому обчислювачі автоматизованої системи, що дасть змогу автоматизувати

та оптимізувати процеси розходження, суттєво зменшити вплив людського чинника на процеси керування, зменшити втомлюваність екіпажу та в цілому підвищити безпеку судноплавства.

13. Досліджені питання автоматичного оптимального керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв судна. Розроблено методи, алгоритмічне і програмне забезпечення модулів оптимального керування рушійно-керуючим комплексом офшорного судна OSV3, які забезпечують оптимальні керування надлишковими структурами з використанням цільової функції.

14. Досліджені питання автоматичного оптимального штормування судна. Запропонована оригінальна система автоматичного керування рухом судна у шторм. Розроблені методи та алгоритми автоматичного штормування перевірені математичним моделюванням у замкнутому контурі з навігаційним тренажером *Navi Trainer 5000*. Практичне значення розроблених методів полягає у зменшенні ширини смуги руху судна, підвищенні його безпеки, зменшенні гідродинамічного опору та витрат палива, створенні сприятливих умов для виконання технологічних операцій, наприклад, швартування судна, зменшенні впливу людського чинника

15. Здійснено перевірку працездатності та ефективності розроблених методів, алгоритмічного та програмного забезпечення математичним моделюванням у середовищі *MATLAB* та/або на стенді імітаційного моделювання у замкнутому контурі «Імітатор бортового обчислювача – модель судна навігаційного тренажера» для різних районів плавання, погодних та навігаційних умов.

16. Здійснено практичну реалізацію методів класифікації та оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій в СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера *Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000»*. Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій. Практичне застосування СППР судноводія, що створена, дозволяє підвищити якість тренажерної підготовки морських фахівців та визначити проблемні аспекти, які виникають у судноводіїв в процесі дотримання вимог МПЗЗС-72.

17. Із застосуванням сертифікованого тренажерного обладнання проведено низку експериментів з визначення негативного впливу людського фактора, що дозволило розробити методи його ідентифікації та зниження впливу.

Основні практичні результати дослідження впроваджені у навчальний процес ЗВО, процеси тренажерної підготовки морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах та пройшли успішну апробацію на наукових заходах державного та міжнародного рівня.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Перелік статей у журналах, що реферуються науково-метричними базами даних Scopus, Web of Science

1. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Mateichuk V. N., Safonov M. S. Identification of «Human error» negative manifestation in maritime transport. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. № 4 (47). P 204–213. doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20 (*Web of Science*) (автором визначено фази діяльності судноводія, що характеризуються негативним впливом людського фактору, запропоновано методи його ідентифікації).
2. 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. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. № 2 (49). doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15 (*Web of Science*) (автором запропоновано з метою зниження негативного впливу людського фактору застосування моделі судноводія в СППР, розроблено метод її формування та оновлення у процесі взаємодії, проведені експериментальні дослідження на навігаційному тренажері).
3. Solovey, O., **Ben, A.**, Dudchenko, S., Nosov P. 2020. Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), P. 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856> (*Scopus*) (автором здійснено загальну постановку задачі дослідження, проведення експерименту).
4. Zinchenko S., **Ben A.**, Nosov P., Popovich I., Mamenko P., Mateychuk V. Improving the accuracy and reliability of automatic vessel motion control system. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. № 2. P. 183-195. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-19> (*Web of Science*) (автором створено методи підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем керування рухом суден).
5. Zinchenko S., **Ben A.**, Nosov P., Popovych I., Mateichuk V. The vessel movement optimisation with excessive control. *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*. 2020. № 3 (99). P. 86–96. DOI: [10.31489/2020Ph3/86-96](https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96) (*Web of Science*) (автором запропоновано метод підвищення енергоефективності та точності руху судна, проведення експерименту).
6. Nosov P. S., Zinchenko S. M., Popovych I. S., **Ben A. P.**, Nahrybelnyi Y. A., Mateichuk V. M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. Vol. 1. P. 146–161. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15> (*Web of Science*) - розроблено модуль СППР, проведено експерименти із застосуванням навігаційного тренажеру Navi-Trainer 5000.
7. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & **Ben, A.** Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093> (*Scopus*) (автором розроблено метод оцінки дій судноводія в критичних ситуаціях).
8. Nosov, P., Zinchenko, S., **Ben, A.**, Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Popovych, I.,

Moiseienko, V., Kruglyj, D. Navigation safety control system development through navigator action prediction by Data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 2 (9 (110)), 55–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237> (**Scopus**) (автором створено метод ідентифікації навігаційних ситуацій та визначення можливих дій судноводія, структура системи керування рухом судна в критичних ситуаціях).

9. Ponomaryova, V., Nosov, P., **Ben, A.**, Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Dudchenko, S., Appazov, E., & Sokol, I. Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (127), 2024, 6–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955> (**Scopus**) (автором запропоновано метод визначення можливих дій судноводія).

Перелік статей у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України (категорії Б)

10. Шерстюк В. Г., **Бень А. П.** Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации. *Судовождение*. 2007. Вып. 14. – С. 141-144. (автором сформульовані принципи побудови системи підтримки прийняття рішень з управління судном, запропоновано алгоритм її функціонування).

11. Шерстюк В. Г., **Бень А. П.** Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном. *Штучний інтелект*. 2008., №3. – С. 490-499. <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/c5842be7-e387-4d43-945e-0f87d26adba9/download> (автором визначено особливості створення СППР в судноводінні, розроблено процедури та алгоритми обробки інформації в СППР судноводія).

12. **Бень А. П.**, Плющ В. Н. Критерии оценки опасности сближения судов. *Науковий вісник ХДМІ*. 2009. № 1 (1). – С. 12-15. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/18/13> (автором розроблено критерії оцінки небезпеки зіткнення суден за зміною дистанції та пеленгу).

13. **Бень А. П.** Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений. *Вестник ХНТУ: сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета*. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.

14. Мальцев А. С., **Бень А. П.**, Нгуен Тхань Шон. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов. *Судовождение*. 2009. Вып. 16. – С. 97-107. (автором запропонована класифікація оцінки навігаційних ситуацій за зміною кута ЛВР судна).

15. **Бень А. П.** Формализация решающих правил в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Судовождение*. 2010. № 19. – С. 8–14.

16. **Бень А. П.**, Плющ В.Н. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. № 1(2). – С. 24-35. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/53/48> (автором розроблено метод визначення оптимальної траєкторії руху судна при виконанні рятувальних операцій).

17. **Бень А. П.** Использование теоретико-игровой модели для представления и анализа навигационных ситуаций в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2010. № 3. С. 439–443.

<https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/036f6652-7dde-4970-93e2-e05e439a9d6d/download>

18. Бідюк П. І., **Бень А. П.** Розробка системи підтримки прийняття рішень (СППР) для прогнозування нестационарних процесів з автоматизацією вибору кращої моделі. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. – № 2 (3). – С. 4-12.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/86/74> (автором розроблена структура СППР, процедури вибору моделей).

19. **Бень А. П.** Формализация правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Искусственный интеллект*. 2011. – № 3. – С. 327-331.

<http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/bitstream/123456789/59935/1/31-Ben.pdf>

20. **Бень А. П.** Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении. *Искусственный интеллект*. 2012. № 3. – С. 222–227. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57171>

21. **Бень А. П.** Людський фактор в автоматизованих системах управління судном та шляхи зниження його впливу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 2 (7). – С. 26–30. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/270/291>

22. **Бень А. П.** Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень судоводія. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 1 (6). – С. 12–19.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/219/240>

23. **Бень А. П.** Кошелик Л. А. Анализ влияния свойств зерновых грузов на мореходные качества судов. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 1 (6). – С. 20–25.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/220/241> (автором визначено структуру та функції автоматизованої системи контролю стану вантажу).

24. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Использование интеллектуальной системы планирования трансокеанских переходов для снижения затрат топлива. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 2 (9). – С. 4-8. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/352> (автором виконано постановку задачі дослідження, визначено особливості створення та практичного застосування СППР у задачах планування трансокеанських переходів).

25. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 1 (12). – С. 4-9. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/459/227> (автором визначено особливості впливу людського фактору на процеси прийняття рішень в СППР та запропоновано шляхи підвищення ефективності функціонування ергатичної системи «ОПР-АСК»).

26. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-Navigation. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). – С. 19-24. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/799/796> (автором виконано загальну постановку задачі дослідження, визначено структуру СППР судоводія, інформаційні процедури обробки даних в СППР та розроблено алгоритм її функціонування).

27. Вільський Г., **Бень А.** Удосконалення інформаційної безпеки субстандартного судноплавства // *Безпека інформації*, 2015. – Т. 21, № 3. – С. 309-313. http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin_2015_21_3_14. (автором розроблено

структуру СППР з управління рухом суден та алгоритм її функціонування).

28. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Особливості побудови сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2016. № 1 (14). – С. 4-10. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/723/718> (автором здійснено загальну постановку задачі дослідження, визначено особливості процесу взаємодії «оператор – комп'ютеризована система» в інтелектуальних системах управління рухом суден).

29. **Бень А. П.**, Соловей А. С. Усовершенствование методов контроля подъемного угла во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. – № 1 (16). – С. 4–9. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/592/530> (автором запропонована структура СППР з управління вантажними операціями з великоваговими та негабаритними вантажами на спеціалізованих судах, визначені її основні функції).

30. Носов П. С., Волошинов С. А., **Бень А. П.**, Новиков А. В. Моделювання інтелектуальної діяльності особи що приймає рішення в умовах позаштатних ситуацій при управлінні судном. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. №2 (17). – С. 238-243. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/588/525> (автором розроблено модель взаємодії особи, що приймає рішення, з інформаційним інтерфейсом навігаційного обладнання).

31. Носов П. С., **Бень А. П.**, Носова Г. В., Карпова С. О. Моделі і принципи розвитку інформаційних інтерфейсів на морському транспорті. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018. – № 1 (18) – С. 76–82. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/527/470> (автором визначено динаміку розвитку інформаційних інтерфейсів навігаційних систем).

32. Петровський А. В., **Бень А. П.**, Ляшенко В. Г., Паламарчук І. В. Концепція системи підтримки прийняття рішень для управління маневром судна у каналах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018, № 1 (18). – С. 186–191. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/528/471> (автором розроблено структуру СППР з управління рухом судна у каналах).

33. **Бень А. П.**, Федоров А. І. Формування вантажного плану контейнеровозу при здійсненні мультипортових перевезень. *Судноводіння*. 2019. №29. – С. 10–19. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.10-19. (автором виконано загальну постановку задачі дослідження)

34. Паламарчук І. В., **Бень А. П.** Оцінка навігаційної ситуації в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Shipbuilding & marine infrastructure*, 2019, №1 (11) – С. 105-109. [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).12](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).12) (автором запропоновано метод оцінки небезпеки зіткнення суден за зміною кута ЛВР, розроблено алгоритм функціонування СППР судноводія).

35. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Nosova H. V., Novikov V. I. Model of attention distribution of the navigator while keeping a navigational watch. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. – № 2 (21). – С. 26-34.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.2.21.026-034> (автором визначено стани виконання навігаційних завдань судноводієм).

36. Nosov P. S., Zinchenko S. M., **Ben A. P.**, Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O. M. Models of decision making by a navigator under implicit agreements with COLREG

rules. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. № 1 (20). – С. 31-38. (автором визначено особливості процесів прийняття рішень судноводієм у критичних ситуаціях).

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.1.20.031-039>

37. Федоров А. І., **Бень А. П.** Формування вантажного плану контейнеровоза згідно з логічними правилами завантаження-вивантаження. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2019, №1 (475), – С. 129–134. [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).18](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).18) (автором здійснено загальну постановку задачі дослідження, запропоновано застосування автоматизованої системи керування процесом завантаження контейнеровозу).

38. **Бень А. П.**, Соколов А. В. Аналіз сучасного стану методів формування вантажних планів контейнеровозів та шляхи їх подальшого вдосконалення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2023. №1–2 (26–27). – С. 6-16. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.006-016> (автором здійснено загальну постановку задачі дослідження, виконано аналіз методів формування вантажних планів контейнеровозів з позицій подальшого практичного застосування в СППР).

39. **Бень А. П.**, Соколов А. В. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажних планів контейнеровозів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). – С. 175-184.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.175-184> (автором здійснено загальну постановку задачі дослідження, запропоновано структуру СППР з управління процесом формування вантажного плану контейнеровозу).

40. **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>

41. **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>

42. **Бень А. П.**, Матейчук В. М. Система підтримки прийняття рішень з вибору маневру судна згідно з вимогами МПЗЗС-72. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). – С. 133-144.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.133-144> (автором виконано загальну постановку задачі дослідження, розроблено класифікацію навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден та дій судноводія згідно вимог МПЗЗС-72, проведено експериментальні дослідження по застосуванню СППР, що створена).

43. **Бень А. П.**, Пелихівський Л. О., Соловей О. С. Сучасні методи запобігання зіткнення суден та їх застосування в управлінні автономними суднами. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). – С. 145-156. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.145-156> (автором виконано загальну постановку задачі дослідження, визначено особливості процесів керування безекіпажними та автономними суднами, запропоновано структуру системи керування безекіпажним автономним судном).

44. **Бень А. П.** Пріоритетні напрямки розвитку та шляхи вдосконалення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. *Судноводіння*. 2025. №37. – С. 30–46. DOI: 10.31653/2306-5761.37.2025.30-46.

Монографії

45. Мальцев А. С., Бень А. П. Системы поддержки принятия решений по управлению движением судна // Монографія. Херсон: Видавництво ХДМА, 2019. 244 с. (автором визначено принципи створення та застосування СППР в судноводінні, розроблено методи обробки навігаційної інформації, оцінки рівня небезпеки зіткнення суден, ситуаційного аналізу та прийняття рішень з управління рухом судна, зниження негативного впливу людського фактору в судноводінні).

46. Ben A. P., Palamarchuk I. V. Solving tasks of vessel collision avoidance and maneuvering during designing decision support systems of the navigator // New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph/ edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2019. P. 58–77. http://www.baltijapublishing.lv/download/all-science-3/all-science_part_3.pdf (автором виконано загальну постановку задачі дослідження, розроблено алгоритм функціонування СППР судноводія, метод обробки навігаційної інформації та формування бази даних СППР).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

47. Патент на корисну модель UA № 40401, МПК G08G3/00. Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху / А. С. Мальцев, А. П. Бень, Нгуен Тхан Шон; заявл. 10.10.2008, опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7/2009.

48. Бень А. П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010): матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1, Херсон, 2010. – С. 8-12.

49. Бень А. П. Представление правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1, Херсон, 2011. – С. 13-15. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-1.pdf>

50. Бень А. П., Кошлик Л. А. Разработка модуля «Влияние уровня автоматизации на безопасность управления судном» в учебном курсе «Менеджмент морских ресурсов». Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2, Херсон, 2011. – С. 37-39. (автором виконано постановку задачі дослідження).

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-2.pdf>

51. Бень А. П. Перспективи розвитку інтелектуальних систем управління рухом суден. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1, Херсон, 2012. – С. 152-154. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

52. Бень А. П., Кошлик Л. А. Автоматизированная система контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1, Херсон, 2012. – С. 158-163.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

(автором).

53. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В. Снижение влияния человеческого фактора в автоматизированных системах управления судна. *Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека: матеріали Науково-технічної конференції*. Одеса: ОНМА, 2012. – С. 96-99. (автором виконано постановку задачі дослідження).

54. Менеджмент морських ресурсів: Навчальний посібник / Безлуцька О. П., **Бень А. П.**, Колегаєв М. О., Кошелик Л. А., Кулікова Л. Б., Лещенко А. М., Нестеренко В. Б., Перепадя К. В., Тригуб С. М., Ходаковський В. Ф., Цимбал М. М. . – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с. https://files.duit.edu.ua/uploads/kftk/structure/library/electronic-library/Менеджмент-морських-ресурсів-учебник_compressed.pdf (автором підготовлено розділи «Вплив «людського фактору» на рівень аварійності суден» та «Вплив рівня автоматизації на безпеку управління судном»).

55. **Бень А. П.** Шляхи підвищення ефективності функціонування сучасних автоматизованих систем управління рухом суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2013. – С. 50-51.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf

56. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Методы планирования оптимальной траектории трансокеанского перехода. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2013. – С. 52-54. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf

(автором здійснено постановку задачі дослідження).

57. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Интеллектуальная система планирования трансокеанских переходов. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2014. – С. 154-156.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2014.pdf

(автором здійснено постановку задачі дослідження, визначено особливості створення та практичного застосування СППР у задачах планування трансокеанських переходів).

58. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В. Оптимизация параметров движения судна при планировании трансокеанских переходов. *Інформаційні управляючі системи та технології: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса: ОНМУ, 2014. – С. 109-111. (автором виконано постановку задачі дослідження).

59. **Бень А. П.** Системи підтримки прийняття рішень судноводія – ефективний засіб підвищення безпеки сучасного судноплавства. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015): матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2015. – С. 139-140. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2015.pdf

60. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В., Радин В. К. Снижение влияния человеческого фактора в системах поддержки принятия решений судоводителя. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон,

2015. – С. 257-258. (автором розроблено методику зниження впливу людського фактору).

61. Патент на корисну модель UA № 97227, МПК G08 G3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, **А. П. Бень**; заявл. 27.06.2014, опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5/2015.

62. Патент на корисну модель UA № 100293, МПК G08 G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, **А. П. Бень**; заявл. 26.11.2014, опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14/2015.

63. Патент на корисну модель UA № 106043, МПК G08G7/00 B63B43/00, G06Q90/00. Система підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден / **А. П. Бень**, Г. Б. Вільський, В. Ф. Ходаковський; заявл. 06.11.2015, опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7/2016.

64. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68552, Україна. Комп'ютерна програма «Система високоточного планування шляху переходу морського судна» / А. С. Мальцев, **А. П. Бень**, О. В. Терещенкова, В. І. Соколенко; заявл. 09.11.2016, опубл. 26.01.2017, Бюл. № 43.

65. **Бень А. П.** Сучасні системи підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2016. – С. 6-7. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2016.pdf

66. **Бень А. П.** Сучасні підходи до побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2016. – С. 59-60.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2016.pdf

67. Патент на корисну модель UA № 114868 МПК G08G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, **А. П. Бень**; заявл. 19.09.2016, опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6/2017.

68. **Бень А. П.** Високоточні інтелектуальні системи управління рухом морських суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2017. – С. 81 – 82.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2017.pdf

69. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Пути повышения эффективности современных морских перевозок. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон: ХДМА, 2017. С. 213-214. (автором здійснено постановку задачі дослідження).

70. Nosov P. S, **Ben A. P.**, Safonov M. S. Model construction of individual scenarios for the elimination of the human factor. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018) матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2018. – С. 224-225.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_-2018.pdf

(автором запропоновано метод визначення можливих дій судноводія).

71. Патент на корисну модель UA № 132741, МПК A61B 5/00 Аналізатор психоемоційного стану судноводія / П. С. Носов, С. М. Зінченко, В. М. Матейчук, В. Г. Ляшенко, **А. П. Бень**; заявл. 20.09.2018, опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5/2019.

72. Патент на корисну модель UA № 133709, МПК G06F8/35 G06Q99/00. Спосіб використання тренажерного обладнання для розробки та

тестування систем керування рухом суден / С. М. Зінченко, В. М. Матейчук, В. Г. Ляшенко, **А. П. Бень**, О. М. Товстокорий, О. О. Грошева; заявл. 20.08.2018, опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019.

73. **Бень А. П.**, Носов П. С., Паламарчук І. В. Створення систем підтримки прийняття рішень судноводія з урахуванням людського фактору під час позаштатних умов навігації. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 9-10.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

(автором запропоновано застосування поняття «інформаційний поріг»).

74. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Вимоги до систем підтримки прийняття рішень судноводія, що забезпечують розходження та маневрування суден з урахуванням МППЗС-72. *Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація: матеріали Науково-технічної конференції*, Одеса, НУ ОМА, 2019. – С. 98-100. (автором здійснено постановку задачі дослідження).

75. Васюхін М. І., Касім А. М., **Бень А. П.** Алгоритмічні методи та програмні засоби синтезу структури зорового образу оточуючої обстановки в інтегрованих геоінформаційних системах реального часу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 232-238.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

(автором запропоновано метод візуалізації полюсу повороту судна).

76. Рева О. М., **Бень А. П.**, Ляшенко В. Г. Системні основи кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в судноводінні. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 69-71.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

(автором проаналізовано безпеку транспортної системи з позицій впливу людського чинника).

77. Носов П. С., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Крапивко Г. І., Барильник-Кураков І. Л. Розробка аналізатору психоемоційного стану судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 63-65.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

(автором проведено експеримент).

78. Nosov P., **Ben A.**, Zinchenko S., Popovych I., Mateichuk V., Nosova H. Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2732. P. 823-838.

<https://ceur-ws.org/Vol-2732/20200823.pdf> (**Scopus**), (автором створено моделі

сприйняття інформації, формування планів дій та прийняття рішень судноводієм).

79. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Аналіз траєкторії руху судна в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020. – С. 5-8.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/04/Матеріали_MINTT_2020.pdf

(автором розроблено метод оцінки небезпеки зіткнення суден за зміною кута ЛВР).

80. Бень А. П., Радін В. К., Паламарчук І. В. Шляхи зниження впливу людського фактору в судноводінні. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020. С. 69-71. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Матеріали_БЖД_2020.pdf (автором визначено особливості застосування СППР в судноводінні та шляхи зниження впливу людського фактору).

81. Патент на корисну модель UA № 149191, МПК G08 G3/02. Індикатор відхилення осі бура / А. С. Мальцев, І. Л. Сурінов, **А. П. Бень**; заявл. 11.12.2020, опубл. 27.10.2021, Бюл. № 43/2021.

82. Носов П. С., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Храмцовський В. О., Гуров А. А. Формальні підходи щодо ідентифікації критичних ситуацій в ергатичних системах управління судном. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2021): матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2021. С. 32–36.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/MINTT_2021.pdf (автором проведено експеримент на навігаційному тренажері).

83. **Ben A.**, Nosov P., Palamarchuk I., Fedorov A. Analysis of Navigation Data By Artificial Neural Networks For Development Of Decision-Making Support Systems. *Navigation, Shipping and Technology (NST-2021): матеріали науково-технічної конференції*. Одеса: НУ «Одеська морська академія», 18–19 листопада 2021 р., – С. 111–114. (автором запропоновано метод класифікації ситуацій).

84. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В., Радін В. К., Півоваров Ю. В., Федоров А. І. Система підтримки прийняття рішень судноводія в критичних ситуаціях. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021): матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон: ХДМА, 03–04 листопада 2021. – С. 35–37. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/PSDMI-2021.pdf> (автором визначено базові вимоги до СППР судноводія).

85. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Носов П. С. Підходи ідентифікації проявів фактора людини для забезпечення безпеки на морському транспорті. *Прогресивні технології засобів транспорту: матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород: УкрДУЗТ, 2021. – С.17-18.

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf> (автором визначено чинники негативного впливу людського фактору).

86. **Ben A. P.**, Nosov P. S., Zinchenko S. M. Formal-logical approaches to description of human factor influence on the vessel control. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (CEUTTO 2021)*. Херсон, 2021. – С. 274–276.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/36ірник-CEUTTOO-2021.pdf> (автором розроблено формально-логічні моделі опису можливих планів дій судноводія).

87. **Ben A. P.**, Zinchenko S. M., Nosov P. S., Popovych I. S. Automatic Control of the Vessel Movement in a Storm. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2021*. Одеса – Стамбул – Одеса, 2021. С. 486–493.

https://drive.google.com/file/d/1yrWFyXADMFD2POzd_tR3IUuowRX5h3o/view?usp=sharing (автором розроблено метод автоматизованого керування рухом

судна у штурм).

88. Cherniavskyi V. V., **Ben A. P.**, Zinchenko S. M. Automatic control of the on-board systems technical condition. *Прогресивні технології засобів транспорту: матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород: УкрДУЗТ, 2021. – С. 19-20. (автором розроблено метод контролю відмов обладнання).

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf>

89. Zinchenko S., Tovstokoryi O., **Ben A.**, Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies: book series*. 2021. Vol. 77. P. 266-281. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18 (**Scopus**) (автором запропоновано метод автоматизації процесів керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв).

90. Матейчук В. М., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Маменко П. П., Кириченко К. В., Півоваров Л. А. Автоматичне оцінювання навичок керування рухом судна. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, МРР&О-2022.* – Одеса, 2022. – С. 330–335. <https://docs.google.com/document/d/184F0Hkd9jsUBws7tlQ1TpTbLzr7BXZTd/edit?usp=sharing&oid=102375399727177576866&rtpof=true&sd=true> (автором удосконалено стенд імітаційного моделювання, інтегрований з навігаційним тренажером).

91. Зінченко С. М., Товстокорій О. М., **Бень А. П.**, Нагрибельний Я. А. Використання «нульових рухів» для налаштування надлишкових структур виконавчих пристроїв. *Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту (ДІ НУ «ОМА» – 2022): матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Ізмаїл, 2022, – С.33-37. DOI: [10.13140/RG.2.2.16687.41120](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16687.41120) (автором запропоновано метод керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв).

92. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Товстокорій О. М., Зінченко С. М. Визначення положення центру обертання судна з використанням математичної моделі. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2022): матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2022. – С. 7-11. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/03/MINTT-2022.pdf> (автором - удосконалено метод оцінювання параметрів вектору стану).

93. **Бень А. П.**, Соколов А. В. Шляхи вдосконалення процесу формування вантажного плану контейнеровозу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023): матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2023. – С. 101–103.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2023/06/Збірник_MINTT_2023.pdf (автором визначено низку вимог до формування вантажного плану контейнеровозу).

94. **Бень А. П.**, Чернявський В. В., Носов П. С. Системи підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту – нові реалії розвитку сучасного судноводіння. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2024): матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2024. – С. 29–30.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/05/Збірник-MINTT-2024-.pdf>

(автором визначено пріоритетні напрями застосування СППР в судноводінні).

95. **Бень А. П.** Перспективні напрями розвитку систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2024): матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса, 2024. – С. 63–65.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/11/PSDMI-ЗБІРНИК-2024.pdf>.

96. **Бень А. П.**, Носов П. С., Зінченко С. М. Результати наукових досліджень науково-дослідної лабораторії з розробки систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден Херсонської державної морської академії в 2023 році. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2024.* – Одеса, 2024. – С. 318–322.

https://drive.google.com/file/d/1G2rRItYsQVejaZQCQT2HzQc-pY7HTGh-/view?usp=drive_link (автором створена багатомодульна СППР судноводія).

97. **Бень А. П.**, Соколов А. В., Соловей О. С. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажного плану контейнеровозу. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2024.* – Одеса, 2024. – С. 293–295. https://drive.google.com/file/d/19Uq4DCIUfKISGyp3zMyIEhMN2cDrHlNs/view?usp=drive_link (автором визначено етапи формування вантажного плану контейнеровозу в СППР).

98. **Бень А. П.** Пріоритетні напрями застосування систем підтримки прийняття рішень в судноплавстві та перспективи їх подальшого розвитку. *Навігація та керування судном: нові підходи, навчання та моделювання: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2024. – С. 10-13. <https://drive.google.com/file/d/1fmyFygFKQt--p3cMs-nbgHBIMDJghMsm/view>

99. **Бень А. П.** Напрями застосування систем підтримки прийняття рішень в судноплавстві. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2025. – С. 12–14.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf>

100. Матейчук В. М., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Онишко Д. М. Навчальний тренажер з перевірки знань МПЗС–72. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2025. – С. 65–67.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf> (автором розроблена процедура класифікації суден за рівнем небезпечності).

АНОТАЦІЯ

Бень А. П. Теоретичні та методологічні засади створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, 2025.

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано і доведено вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення безпеки та ефективності судноводіння, яке здійснено за рахунок використання уперше запропонованих та удосконалення існуючих методів створення та застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) при вирішенні комплексних задач управління рухом суден.

За підсумками проведеного аналізу предметної галузі сформульована актуальна науково-технічна проблема – необхідність підвищення безпеки та ефективності судноводіння в умовах впровадження сучасних інформаційних технологій.

Виявлено, що існує протиріччя, яке обумовлене наявною потребою підвищення обсягів світових морських перевезень, їх швидкості та безпечності, з одного боку, а з іншого – досягнення вищевказаного за умов максимального зменшення всіх видів економічних та часових витрат, що пов'язані з їх реалізацією.

На основі проведеного аналізу аварійності морських суден встановлено наявність стійкої тенденції до збільшення кількості аварій в абсолютних показниках, яка обумовлена, передусім, зростанням кількості суден світового флоту та загальною інтенсифікацією морських перевезень в цілому.

Встановлено, що в умовах запровадження сучасних інформаційних технологій в судноводінні та концепції e-Navigation, найважливішою складовою підвищення безпеки сучасного судноводіння є створення та застосування інтелектуальних навігаційних інформаційних систем та СППР судноводія.

Здійснено категоризацію напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, та визначено пріоритети розвитку кожного напрямку. Вищевказане дозволило виокремити низку проблем, пов'язаних із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні та визначити шляхи їх вирішення.

Доведено, що на поточний момент часу застосування СППР у галузі судноводіння здатне істотно знизити рівень аварійності шляхом підвищення ефективності функціонування ергатичної системи «людина – технічні засоби судноводіння» та всебічного запровадження досягнень сучасних інформаційних технологій в автоматизацію процесів управління судном.

Запропоновано застосування комплексного підходу до створення СППР в галузі судноводіння, якій базується на комбінованому використанні аналітичних моделей руху суден, методів ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій та методів штучного інтелекту (ШІ), що дозволяє підвищити оперативність та точність прийняття рішень з управління судном.

Удосконалено комплексний метод кількісної оцінки небезпеки зіткнення суден, якій дозволяє визначити області взаємних обов'язків суден та гранично допустимі дистанції найкоротшого зближення, що дає можливість розраховувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна. Застосування вказаних критеріїв у СППР судноводія дозволяє формувати прогнози розвитку навігаційних ситуацій та упереджувати виникнення найбільш небезпечних з них. З метою накопичення, обробки та узагальнення інформації стосовно процесів

руху та взаємодії суден, запропоновано застосування сценарно-прецедентного підходу до побудови бази знань СППР.

Удосконалено методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування, які адаптовані до застосування у СППР за умов наявності обмежень часу та у критичних ситуаціях.

Отримала подальший розвиток методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів, що дає можливість зменшити витрати часу.

Удосконалено методику розрахунку полюса повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яку адаптовано до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках.

Розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, які враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння, що дозволяє скоротити витрати часу на формування та прийняття рішень, підвищити рівень їх точності та адекватності щодо навігаційної ситуації, яка має місце. Уперше запропоновано застосування чотирьохфазного циклу інформаційної взаємодії судноводія з СППР, що дає змогу поліпшити якість та оперативність прийняття рішень з управління рухом судна.

Запропонована структура СППР судноводія, яка базується на застосуванні моделі судноводія, та здійснює адаптивний процес взаємодії з судноводієм у відповідно до пріоритетності обробки інформаційних повідомлень, що дозволяє знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном та мінімізувати суб'єктивність рішень, які приймаються.

З метою підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем управління рухом суден створено математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель пристроїв, що керують, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погрешностей і відмов.

Розроблено метод розходження, який дозволяє автоматично та оптимально розходитися з багатьма цілями, включаючи ті, що маневрують. Розроблений метод може застосовуватися для побудови автоматичних модулів розходження у бортовому обчислювачі автоматизованої системи, що дає змогу автоматизувати та оптимізувати процеси розходження, суттєво зменшити вплив людського чинника на процеси керування, зменшити втомлюваність екіпажу та в цілому підвищити безпеку судноплавства.

Здійснено практичну реалізацію методів класифікації та оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій в СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій.

Виконано перевірку працездатності та ефективності розроблених методів, алгоритмічного та програмного забезпечення математичним моделюванням на стенді імітаційного моделювання у замкнутому контурі «Імітатор бортового обчислювача – модель судна навігаційного тренажера» для різних районів плавання, погодних та навігаційних умов.

Основні практичні результати дослідження впроваджені у навчальний процес ЗВО, процеси тренажерної підготовки морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах та пройшли успішну апробацію на наукових заходах державного та міжнародного рівня.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, безпека судноводіння, уникнення зіткнень суден, управління судном, людський фактор, автоматизована система керування, маневрування судна, динамічне позиціонування судна.

ANNOTATION

Ben A. P. *Theoretical and Methodological Foundations for Developing Decision Support Systems in Navigation*. – Qualification scientific work, manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.22.13 – Navigation and Traffic Control – National University "Odesa Maritime Academy", Odesa, 2025.

The dissertation scientifically substantiates and proves the solution to an urgent scientific and technical problem of improving the safety and efficiency of navigation, achieved through the use of newly proposed and improved existing methods for developing and applying Decision Support Systems (DSS) in solving complex vessel traffic control tasks.

Based on the analysis of the subject area, a current scientific and technical problem has been formulated: the need to enhance the safety and efficiency of navigation under the conditions of implementing modern information technologies.

It has been identified that there is a contradiction between the need to increase the volume, speed, and safety of global maritime transport on the one hand, and the requirement to achieve these objectives while minimizing all types of economic and time expenditures associated with their implementation on the other.

An analysis of maritime vessel accidents has revealed a persistent tendency toward an increase in the absolute number of accidents, primarily due to the growing number of vessels in the world fleet and the overall intensification of maritime transport.

It has been established that in the context of modern information technologies in navigation and the concept of e-Navigation, the most important component of enhancing navigation safety is the creation and application of intelligent navigational information systems and navigator's DSS.

A classification of existing research areas in navigation according to the tasks addressed has been carried out, and development priorities for each direction have been identified. This has made it possible to single out several problems associated with the use of DSS and intelligent systems in navigation and determine ways to solve them.

It has been shown that today, the use of DSS in navigation can significantly reduce the accident rate by improving the efficiency of the ergatic system "human – navigation

technical means” and ensuring the comprehensive integration of modern information technologies into vessel traffic automation processes.

A comprehensive approach has been proposed for developing DSS in navigation, based on the combined use of analytical vessel motion models, situational analysis methods for navigational situations, and artificial intelligence (AI) methods, which increases the timeliness and accuracy of vessel control decisions.

A comprehensive quantitative method for assessing collision risk has been improved, enabling the determination of mutual responsibility areas for vessels and the maximum allowable closest point of approach distances, which allows a DSS to calculate safety zone parameters around one’s own vessel. The use of these criteria in navigator’s DSS enables forecasting the development of navigational situations and preventing the most dangerous ones. To collect, process, and generalize information on vessel movement and interaction, a scenario-precedent approach for constructing the DSS knowledge base has been proposed. Methods for supporting navigator’s decision-making in solving tasks of collision avoidance, maneuvering, and dynamic positioning have been improved and adapted for DSS use under time constraints and in critical situations.

The methodology for applying DSS for optimizing container ship cargo plan development has been further developed, enabling time savings.

The technique for calculating the turning pivot point during maneuvering in narrow or restricted waters has been improved and adapted for practical application in navigator’s DSS, enhancing the accuracy of following planned trajectories in potentially hazardous areas.

Methodological foundations have been developed for creating navigator’s DSS that account for the specifics of human interaction with navigation technical systems, reducing the time required for decision-making and increasing the accuracy and adequacy of decisions relative to the actual navigational situation. For the first time, a four-phase cycle of information interaction between the navigator and the DSS is proposed, improving the quality and timeliness of vessel control decisions.

A DSS structure for navigators is proposed, based on the application of a navigator model and providing adaptive interaction based on the priority of processing informational messages. This reduces the negative influence of the human factor on vessel traffic control and minimizes the subjectivity of decisions.

To improve the accuracy and reliability of automated vessel traffic control systems, a mathematical model of vessel motion has been developed in the form of a system of nonlinear differential equations considering wind, current, and wave effects, along with a mathematical model of control devices represented as a system of linear differential equations including error and failure models.

A method for collision avoidance that enables automatic and optimal maneuvering against multiple targets, including maneuvering targets, has been developed. This method can be applied in automatic collision avoidance modules of onboard computers in automated systems, automating and optimizing avoidance processes, significantly reducing human factor influence, lowering crew fatigue, and improving overall navigation safety.

The practical implementation of classification and risk assessment methods for

navigational situations in a navigator's DSS has been carried out, integrated with the Wartsila "Navi-Trainer Professional 5000" simulator equipment. Software tools have been created to support real-time information exchange between the DSS and the simulator's navigational equipment, allowing continuous monitoring of navigational situation changes.

The functionality and efficiency of the developed methods, algorithms, and software have been validated using mathematical modeling on the closed-loop simulation stand "Onboard Computer Simulator – Ship Model of Navigation Simulator" for various navigational areas, weather, and navigational conditions.

The main practical results of the research have been implemented in higher education institutions, in the training processes of maritime specialists in specialized simulation centers, and successfully tested at national and international scientific events.

Keywords: decision support system, navigation safety, collision avoidance, vessel control, human factor, automated control system, vessel maneuvering, dynamic positioning