



**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ
ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА
АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ**

03035, м. Київ-35, вул. Митрополита Василя
Липківського, 35, т./ф. (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

**MINISTRY OF ENVIRONMENTAL
PROTECTION AND NATURAL RESOURCES
OF UKRAINE
STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF
POST-GRADUATE EDUCATION AND
MANAGEMENT**

35, Metropolitan Vasil Lypkivskyi str., Kyiv, 03035,
Ukraine, tel./fax (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.03 у Національному
авіаційному університеті МОН
України

03680, м. Київ, пр. Любомира
Гузара,1.

ВІДГУК

офіційного опонента,

проректора з наукової роботи

Державної академії післядипломної освіти та управління,
Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України,
доктора технічних наук, професора *МАШКОВА Олега Альбертовича*
на дисертацію *ГАБРУКА Ростислава Анатолійовича*
за темою: "Методологія динамічного програмування
безпеки полієргатичного управління суден в
гетерогенних умовах акваторій техноприродних
комплексів",

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом

Актуальність теми дисертації.

Початок ХХІ сторіччя характеризується швидким розвитком технологій та їх практичним впровадженням в морській галузі, а також розширенням сфери застосування відомих технічних досягнень. Зростання інтенсивності використання систем динамічного позиціонування, розширення області їх застосування, збільшення видів технологічних робіт, які виконує рухомий об'єкт водного транспорту під час динамічного позиціонування - все це

51.13/94
29.03.2021

підвищує імовірність виникнення аварійних подій, як від відомих джерел загроз, так і від нових джерел, що сформувалися під впливом суперпозиції оточуючих гетерогенних загрозливих факторів.

Однією з найважливіших проблем морського флоту є забезпечення безпеки мореплавання. Необхідність вирішення цієї проблеми обумовлена високим рівнем аварійності світового морського флоту. Узагальнення статистики за результатами аналізів аварійності і загибелі суден світового флоту, що проводяться В.К. Залеевим, В. А. Колокшанським, В.І. Щегольовим, А.П. Яскевічем та ін., свідчить про те, що близько 60 - 70% всіх аварій морських суден складають навігаційні і тенденція їх зниження за останні 30 років спостерігається незначною, а такі види аварійності суден як зіткнення і навали залишаються майже незмінними.

Рішення задач навігаційного забезпечення безпеки плавання великотоннажних суден, особливо в умовах обмеженого простору, знаходиться в прямій залежності від функціональних можливостей системи управління і вміння судноводіїв вибирати ефективну організацію процесів планування маршруту, прогнозування траєкторії руху і маневрування судна.

Науково-технічні досягнення останніх десятиліть якісно змінюють підходи до вирішення завдань судноводіння і дозволяють перейти до автоматизованого інформаційного забезпечення щодо координат судна, обстановки і інших елементів руху. Причому, інформаційне забезпечення має властивості дублювання і надмірності від різних систем, що не використовується в повному обсязі для забезпечення безпеки мореплавання при традиційних "ручних" методах управління судном, так і в системах автоматизації судноводіння.

Цей недолік може бути усунутий, а надмірність інформації найкращим чином використана при автоматизації процесів управління рухом судна на основі нових технологій в класі адаптивних і інтелектуальних систем. Такі системи мають якісно новим рівнем функціонування і дозволяють

узагальнити досвід і вміння судноводіїв та більш швидко передавати їх молодим фахівцям.

Одним з перспективних шляхів розробки адаптивних систем управління і реалізації вимог щодо забезпечення безпеки плавання в умовах невизначеності руху судна і зовнішнього середовища можна виділити застосування методів пов'язаних з визначенням та формалізацією вільного простору навколо судна - зони навігаційної безпеки.

У 60-х роках минулого століття в дослідженнях професора А.І. Родіонова запропоновані різні варіанти "зон можливості маневру", "тривимірних областей розподілу маневру", а японським викладачем Y.Fujii - концепція і модель "території судна" (a ship domains), які є прообразами зони навігаційної безпеки.

У 70-80-х роках англійські дослідники E.M.Goodwin, T.G.Coldwell і інші вдосконалили теорію "ship domains", визначаючи форму і параметри зони навігаційної безпеки для типових ситуацій і районів плавання.

У 1986 році австралійським професором M.K. James застосована концепція "теорії нечітких множин", подальший розвиток якої в Далянському морському університеті дозволило отримати модель прийняття рішень при розбіжності двох суден у відкритому морі.

Польськими дослідниками розвивається концепція ідеї професора А.І. Родіонова тривимірного "домену судна" як геометричній області, що дає можливість ідентифікувати небезпечні ситуації щодо як зіткнення двох суден, так і зіткнення свого судна з навігаційними небезпеками. Розміри "домену" включають статичні (розміри і форма корпусу, запас під кілем і т.д.) і динамічні (ширина смуги руху судна, вплив вітру, течії і т.д.) складові.

За визначенням С.Г. Погосова: "Навколо судна як на ходу, так і на стоянці завжди має бути простір, в межах якого воно, вживши необхідних заходів, може уникнути безпосереднього контакту з іншими об'єктами, силове взаємодія з якими загрожує аварійними наслідками". Принцип розгляду положення на обмеженої акваторії не самого судна, а його зони

навігаційної безпеки, так само як взаємодія зон навігаційної безпеки, а не суден, полегшує і навіть в ряді випадків дає можливість вирішувати, причому оперативно, завдання, пов'язані з оцінкою розмірів портових вод, а також плаванням в них. На обмеженій акваторії судном слід керувати так, щоб в межах його зони навігаційної безпеки не було б інших об'єктів, що становлять навігаційну небезпеку. Коли мова йде про інші об'єкти, то, якщо це судна, маються на увазі не вони самі, а їх зони навігаційної безпеки.

З визначення В.П.Таратинова слід більш узагальнене поняття зони навігаційної безпеки: "З позицій системного аналізу зону навігаційної безпеки можна визначити як систему, що має свою особливу структуру, що об'єднує внутрішні і зовнішні чинники. Їх взаємодія дозволить вибрати оптимальні поєднання, що визначають найбільш ефективне використання судна як транспортного засобу. Обидва параметра структури взаєморегулюючих, визначаючи тим самим розміри і форми зони небезпечного зближення. До внутрішніх факторів належать розміри судна, його маневрені якості, швидкість, точність використовуваних методів і засобів судноводіння, а також практичний досвід екіпажу. До зовнішніх факторів можна віднести видимість, силу і напрям вітру, течії, хвилювання, характеристики судноплавного простору (глибина, ширина, навігаційне забезпечення і т.д.). З перерахованих факторів керованими є швидкість і курс судна. Побічно керованими є стійкість судна на курсі і поворотність. Зовнішні гідрометеорологічні фактори некеровані і змінні в часі. Однак на короткий проміжок часу їх можна вважати постійними. При проходженні вузьких проходів і каналами межі зони небезпечного зближення часто збігаються з небезпечними ізобатами і т.д. ".

Таратинов В.П. створив теоретичні основи математичних моделей процесів руху судна, формування вільного водного простору навколо нього у вигляді конфігурації суцільного деформованого середовища зони навігаційної безпеки, які дозволили б розробляти методологію синтезу адаптивних алгоритмів керування рухом конфігурації судно-зона

навігаційної безпеки як єдиного деформованого цілого. Така модель дозволяє об'єднати геометричні поняття вільного простору навколо судна і динамічну поведінку зони навігаційної безпеки при контакті з огорожувальними лініями або небезпеками і адаптуватися до переважаючих умов плавання з урахуванням досвіду і індивідуальних схильностей судноводіїв здійснюють загальне управління процесами судноводіння. В рамках цього наукового напрямку їм була розроблена методологія вирішення низки теоретичних і прикладних задач побудови алгоритмів керування за принципом ієрархічної декомпозиції процесів від лінійної і кутовий швидкостей руху судна - на нижньому рівні, до координат його положення і деформації зони навігаційної безпеки - на верхньому рівні.

Проблеми безпеки мореплавання щорічно загострюються і обумовлюються численними факторами, що приводять до підвищення кількості аварійних ситуацій, випадків і пригод з пасажирськими і торговими судами. В останнє десятиліття одним з головних чинників підвищення аварійності, арешту і захоплення суден визначено відсутність системних рішень з інформаційної безпеки судноплавства, встановлена недостатність, недостовірність і несвоєчасність забезпечення судноводіїв необхідною інформацією для безпечного управління судном. Для інформаційного забезпечення судноплавства морські держави роблять досить багато необхідних заходів щодо його вдосконалення. Створюються сучасні глобальні інформаційні системи, в яких інтегровані існуючі відомчі мережі, окремі бази даних і розрахункові завдання з новими механізмами обробки даних. Рівень розвитку інформаційних ресурсів таких систем для управління рухом суден сьогодні досить високий. Однак, незважаючи на досконалість і великі можливості систем, що забезпечують судноплавство необхідною інформацією, спостерігається безпрецедентне зростання порушень інформаційної безпеки в мореплавання. Навіть в умовах інтенсивного використання високих технологій та інструментів захисту інформаційних даних загальне число порушень інформаційної безпеки судноплавства в світі

щорічно збільшується більш ніж в два рази, а тяжкість їх наслідків на навігаційну безпеку посилюється. За статистикою правоохоронних органів, число виявлених злочинів тільки в сфері забезпечення комп'ютерної інформації зростає щорічно в середньому в 3 - 4 рази. Загрози інформаційної безпеки судна, порушення, злочини настільки великі, що встановлений перелік спонукав до створення їх наукової систематизації, спеціального вивчення з метою оцінки пов'язаних з ними ризиків і роз-ки заходів щодо їх попередження. Проведені дослідження показали, що в числі основних причин проблем безпеки мореплавання є недостатність уваги до захищеності інформації в суднопластві. Відсутня продумана, затверджена політика і норма-активне забезпечення інформаційної безпеки суднопластва і судна, що базуються на організаційних, технічних, економічних рішеннях з подальшим контролем їх реалізації та оцінкою ефективності. Оцінка комплексу проблем суднопластва дозволила виявити новий сегмент в безпеки море-плавання - інформаційну безпеку суднопластва.

Сучасні тенденції розвитку систем управління характеризуються широким застосуванням обчислювальних пристроїв, де діють інтелектуальні агенти. Це пов'язано з вимогами інтенсифікації та оптимізації експлуатації рухомого об'єкта водного транспорту, які викликали необхідність глибшого і різнобічного врахування динамічних загрозливих впливів різного характеру, що збурюють об'єкт керування (система динамічного позиціонування) в локально обмеженому просторі виконання конкретної технологічної роботи на детермінованому просторово-часовому проміжку.

Складна ієрархічна полієргатична система знаходиться під впливом чинників навколишнього середовища та у потоці подій, а дистанційне позиціонування реалізується як процес високоточної навігації рухомого об'єкта водного транспорту в збуреному локально обмеженому просторі для цільового виконання технологічної роботи. При настанні аварійної події загроза життю людей, загроза екологічної катастрофи, а також високі економічні ризики визначають підвищені вимоги до гарантування безпеки

мореплавання при реалізації процесу високоточної навігації в умовах гетерогенно збуреного локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу. Тому гарантування безаварійного динамічного позиціонування рухомого об'єкта водного транспорту у локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи та в цілому безпеки судноплавства на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації являється головним питанням, а дослідження в цьому напрямі актуальними.

Інтенсивний технологічний розвиток з одного боку являється запорукою подальшого впровадження автоматизованих інтелектуальних систем управління рухомими об'єктами водного транспорту. З іншого боку технологічний розвиток зумовлює подальше дослідження та освоєння ресурсів світового океану, які розташовані у віддалених акваторіях з наявністю великої кількості загрозливих чинників, що вимагає застосування систем динамічного позиціонування для реалізації законів термінального управління вектором стану рухомих об'єктів водного транспорту при виконанні технологічної роботи.

Проведений аналіз сучасного стану та перспективного розвитку світового флоту з системами динамічного позиціонування, доказує, що сфера застосування систем динамічного позиціонування, яка значно розширилася з початку ХХІ сторіччя, буде продовжувати розширюватися, і системи динамічного позиціонування продовжать впроваджуватися на рухомих об'єктах водного транспорту. Для морської галузі України системи динамічного позиціонування є перспективними системами для устаткування існуючих рухомих об'єктів водного транспорту, а також мають бути впроваджені при побудові нових рухомих об'єктів водного транспорту. Аналіз правил Регістра судноплавства України довів, що реєстр здатний проводити класифікацію систем динамічного позиціонування та її технічних компонентів відповідно до міжнародних стандартів, що підтверджує можливість України, як морської держави, оперувати флотом рухомих об'єктів водного транспорту з системами динамічного позиціонування.

Світове зростання інтенсивності використання систем динамічного позиціонування виводить проблему підвищення безпеки динамічного позиціонування в умовах гетерогенних збурень техноприродних комплексів на перший план. Класифіковані ризики аварійних подій у акваторії техноприродного комплексу несуть пряму загрозу життю людей та екології. Все це, в купі з високими економічними збитками від настання аварійної події, а також несвоєчасного виконання технологічної роботи, визначає підвищені вимоги до гарантування безпеки мореплавання при реалізації процесу високоточної навігації в умовах гетерогенно збуреного локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу. Відсутність єдиного методологічного підходу до оцінки безпеки з метою її гарантування приводить до того, що загрози можуть виникати при впровадженні окремих відомих моделей.

Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів.

При вирішенні цієї проблеми автор у своїх дослідженнях спирався на праці вітчизняних і зарубіжних вчених, які зробили значний внесок у розвиток теорії управління Г.В. Соболева, Я.І. Войткунського, Ю.В. Ремеза, Т. Фоссен (Т. Fossen), Г.Г. Єрмолаєва, М.М. Лєскова, Ю.А., Лукомського та інших відомих вітчизняних та закордонних вчених. Питанням присвячено труди А.І. Короткіна. Коло питань застосування сучасних навігаційних систем та підвищення рівня безпеки досліджено М.С. Алексейчуком, М.М. Цимбалом, Л.Л. Вагущенко, Г.Л. Барановим, О.Е. Потьомкіним, О. А. Машковим, В.М. Синєглазовим, І.В. Тихоновим, О.О. Писарчуком. Зокрема В.П. Харченко, В.В. Коніним та Л.С. Бєляєвським написано фундаментальні праці по радіонавігації, А.С. Мальцевим досліджено питання безпеки мореплавання та ДП. Вагомий внесок у розвиток методів підтримки прийняття рішень при управлінні складними системами було зроблено Т.Ф. Шмельовою, С.В. Павловою, В.І. Чепіженко.

Проблемам дослідження та визначення причинно-наслідкових взаємозв'язків між чинниками та наслідками присвячено труди відомого японського вченого К. Ісікави (K. Ishikawa).

При управлінні суднами в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів виникає відоме у практиці управління складних систем протиріччя: забезпечення заданого рівня безпеки складної динамічної системи техноприродного комплексу з одного боку, з іншого – відсутність методів поліергатичного управління навігацією рухомих об'єктів водного транспорту під час динамічного позиціонування в гетерогенних збурених умовах локально обмеженого простору.

У рамках зазначеного протиріччя актуальною науковою проблемою є розробка методології управління навігацією рухомих об'єктів водного транспорту з метою підвищення рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів.

Застосування отриманих результатів досліджень дозволить знизити вплив людського фактору при прийнятті рішень в задачах, пов'язаних з управлінням морським судном. Результати досліджень, наведені в даній роботі, можуть бути використані для побудови автоматичних систем управління.

Незважаючи на істотні досягнення в теорії поліергатичного управління складними системами, існує клас динамічних систем, для яких постановка задач, методи та алгоритми підвищення безпеки руху розроблені не повною мірою.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми створення єдиної методології забезпечення та підтримки гарантованого рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів.

Тому тема дисертаційної роботи Габрука Ростислава Анатолійовича, яка присвячена рішення цієї наукової проблеми є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректне формулює її постанову.

Аналіз сучасного стану безпеки позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту та міжнародних стандартів класифікації, аналіз методів позиціонування технічних засобів освоєння, аналіз аварійності рухомих об'єктів водного транспорту під час виконання динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі техноприродних комплексів та постановка завдання дослідження, які виконано досить кваліфіковано, склали основу побудови методології динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів.

Полієргатичне управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів науково визначається на єдиній методологічній основі математичного аналізу та синтезу складних технічних систем. Тому автор обґрунтовано використовує методи системного підходу в якості наряду методології досліджень об'єкта як цілісної ієрархічної множини упорядкованих складних елементів (систем різних рівнів ієрархії), що мають між собою відношення та зв'язки; загальної теорії систем та системного аналізу, які являються конкретизацією принципів та методів системного підходу для наукової та методологічної концепції дослідження об'єктів, що являються динамічними складними системами; математичного моделювання, які розглядаються як пізнавальна суть системного підходу; теорії імовірностей; морфологічного структурного аналізу і синтезу; динамічного програмування; теорії множин; метод Ісікави для аналізу кореневих причин аварійності; в роботі використано аксіоматику Колмогорова, імовірнісний простір Колмогорова, а також марківські процеси та марківські ланцюги, як базис для побудови імовірнісних моделей; методи теорії випадкових процесів, які пов'язані з математичним аналізом випадкових явищ, в яких

присутній фактор часу; гідродинаміки та аеродинаміки для математичного опису зон складних динамічних підсистем; експертних оцінок; математичної статистики; методи проведення експериментів та обробки даних.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату, який є адекватним моделі управління ризиками та підтримки гарантованого рівня безпеки польотів при авіаційній діяльності.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках зроблено науково обґрунтовано і логічно по результатам моделювання поліергатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленого наукового завдання; повнотою розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкту дослідження, що охоплюють його змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження і можливістю відтворення результатів дослідження.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертації ґрунтуються на:

- використанні результатів аналізу сучасного стану безпеки рухомого об'єкту водного транспорту;
- коректності застосування методів теорії автоматичного керування, теорії ергатичного керування;

- узгодженістю із наявними результатами інших авторів, які надруковано у вітчизняній та зарубіжній літературі;

- даних про їх успішне практичне застосування при комп'ютерному моделюванні, та порівняння отриманих результатів з відомими даними незалежних дослідників та результатами моделювання.

Наукова новизна та важливість результатів, які одержані автором в дисертації, полягають в наступному:

У дисертаційній роботі розв'язана науково-технічна проблема, яка спрямована на підвищення рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів.

Метою роботи визначено «гарантування перспективного рівня безпеки складної динамічної системи техноприродного комплексу шляхом динамічного програмування задач поліергатичного управління навігацією рухомих об'єктів водного транспорту під час динамічного позиціонування в гетерогенних збурених умовах локально обмеженого простору».

Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно вирішення наступних наукових завдань:

Здійснено аналіз сучасного стану проблематики безпеки позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту шляхом структурного аналізу динамічних складних систем техноприродних комплексів і процесів в них, а також ієрархічних, поліергатичних систем навігаційного управління рухомими об'єктами водного транспорту.

Обґрунтовано науково-методологічний апарат гарантування рівня безпеки шляхом динамічного програмування задач поліергатичного управління навігацією рухомого об'єкту водного транспорту в умовах протікання гетерогенних* процесів локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу.

Здійснено формалізацію архітектури техноприродних комплексів з керованим рівнем безпеки засобів навігації та управління рухом суден.

Сформовано методи синтезу безаварійних структур складних динамічних систем.

Проведено математичне моделювання засобів навігації та управління, варіантів організації управління рухомими об'єктами водного транспорту.

Проведено оцінювання ефективності запропонованих засобів динамічного програмування безпеки поліергатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів. Визначено перспективи подальших наукових досліджень.

Проведений аналіз вітчизняної, міжнародної статистики та нормативної документації засвідчив про подальший розвиток широкомасштабного впровадження новітніх засобів високоточної навігації та управління руху з метою підвищення безпеки, що стає актуальним для України при подальшій розробці нафтогазових ресурсів шельфу.

Визначено тенденцію стабілізації відносної кількості аварій на техноприродних комплексах, що впливає на зростання збитків за фактом експлуатації та потребує проведення наукових досліджень по підвищенню рівня безпеки.

Проведений аналіз аварійності рухомих об'єктів водного транспорту під час динамічного позиціонування при виконанні технологічної роботи в гетерогенно збурених умовах локально обмеженого простору техноприродного комплексу та неотримання гарантованого рівня безпеки дозволив визначити, що існує багатофакторність взаємовпливів між джерелами загрозливих збурень та станом в той самий час засобів навігації, ресурсів реалізації управління в поточних умовах, що варіюються та змінюються.

Відомі науково-технічні підходи до вирішення завдання гарантування безпеки динамічного позиціонування мають високу ефективність лише у межах області застосування свого математичного апарату. Використання суперпозиції підходів для розширення меж зводиться до проявів міждисциплінарних розривів, а також до того, що обчислювальна складність моделювання системи

«Рухомий об'єкт водного транспорту-техноприродний комплекс» зростає, що приводить до витрат часу на їх впровадження, подальше вдосконалення.

Доведено необхідність застосування системного підходу в якості напряму досліджень об'єкта як цілісної ієрархічної множини упорядкованих складних елементів, а актуальність наукового завдання полягає в необхідності визначення рівня безпеки рухомого об'єкта водного транспорту, який обладнано системою динамічного позиціонування будь-якого класу, під час динамічного позиціонування в умовах впливу усіх наявних гетерогенних джерел поточних загроз локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу.

За допомогою загальної теорії систем та системного аналізу, які являються конкретизацією принципів та методів системного підходу, автором вперше сформульовано постановку задачі динамічного програмування безпеки полієргатичного управління рухомим об'єктом водного транспорту шляхом розв'язання багатокритеріального завдання гарантування прогнозного (або поточного) імовірнісного рівня безпечної реалізації процесу високоточної навігації в збуреному середовищі.

Запропоновано класифікацію і позначення рівнів ієрархії, що дозволило провести декомпозицію об'єкту досліджень для формалізації задач навігації і управління для динамічного програмування безпеки полієргатичного управління, а також провести синтез аналітичних моделей гетерогенних факторів збурень.

Сформовано критерії, які рекомендовано використовувати при оцінюванні безпеки рухомих об'єктів водного транспорту і визначено вигляд індикаторної функції та її множину допустимих значень, яка визначається за допомогою оцінки ризиків та наявності засобів їх контролю.

Визначено, що в імовірнісному просторі Колмогорова в умовах багатфакторних стаціонарних пуасонівських потоків загрозливих подій, необхідні показники безпеки людино - машинних систем управління рухомими об'єктами водного транспорту досягаються завдяки адекватному, надійному і точному функціонуванню технічної складової при здійсненні грамотного і

належного управління та контролю оператором системи динамічного позиціонування, що дозволило перейти до функціональних залежностей для дослідження імовірності безпечного полієргатичного управління.

За допомогою стаціонаризації стохастичних процесів впливу і реалізації канальних перетворень багатфакторних потоків станів марківських процесів було чітко визначено стани складної динамічної системи, що дало можливість сформувати графи функціонування полієргатичної системи.

Сформовано відповідні рівняння Колмогорова-Чепмена, завдяки чому, за допомогою графів, визначено комплексні умови як безаварійної реалізації полієргатичного управління, так і настання аварійних подій.

Розроблено комплексну аналітичну модель функціонування людської складової полієргатичної системи, яка в імовірнісному просторі за Колмогоровим відтворює функціонування різних варіантів вахтового складу професійних осіб в умовах потоків загрозливих подій і при виконанні різного виду технологічних робіт, для оцінювання імовірнісних показників безпеки в штатних та позаштатних умовах.

Доведено, що абсолютна безперервність функції розподілу випадкової величини в введеному ймовірнісному просторі за Колмогоровим з використанням методів σ -алгебри є необхідною умовою для практичної реалізації і адекватності отриманих даних за формалізованими математичними моделями.

Критерієм існування абсолютно безперервного розподілу виступає факт існування не негативної функції майже всюди відносно міри Лебега, яка має сенс щільності розподілу випадкової величини в ймовірнісному просторі за Колмогоровим, що дозволило сформувати методологічні основи синтезу адекватних імовірнісних моделей.

Встановлено глибину аналізу методології, який для вірного обчислення імовірності надійного функціонування складних технічних систем за ієрархічним місцем має відбуватись до того рівня, коли складові елементи можуть бути описано приблизними функціями розподілу.

Розроблено модель зміни рівня безпеки складних технічних об'єктів в умовах множинних ризиків, що дозволило практично контролювати імовірнісні показники безвідмовної роботи.

Проведено опис бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання рухомого об'єкта водного транспорту з відображенням структури резервування компонентів для різних класів систем динамічного позиціонування на основі вимог Регістру судноплавства України та міжнародних нормативних документів, що дозволило скласти схеми функціональної стійкості складних технічних систем, а також визначити перспективні об'єкти при необхідності додаткового резервування.

Сформовано відповідні рівняння для оцінки імовірності функціональної стійкості на основі схем функціональної стійкості для бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання за допомогою якого реалізуються закони термінального управління вектором стану рухомого об'єкта водного транспорту під час динамічного позиціонування.

Визначено розподіл функцій для реалізації безпечної навігації, які виконуються технічними інтелектуальними агентами, їх резервування, що дозволило виявляти вплив на показники безпеки в структурно-функціональній моделі ієрархічної взаємодії.

Вперше автором сформовано методологію динамічного програмування безпеки полієргатичного управління, яка має кількісні оцінки в якості динамічних критеріїв для моделі порогового типу, яка реалізує стратегію гарантування безпеки полієргатичного управління на всьому часовому проміжку шляхом залучення додаткових ресурсів. Методологія може бути використана для РОВТ з СДП будь-якого класу.

Програмним чином реалізовано сформовані математичні моделі систем полієргатичного управління процесом ДП рухомого об'єкта водного транспорту у середовищі програмування MATLAB за допомогою пакету Simulink. Забезпечено їх синергетичну взаємодію та гнучкість налаштування за

допомогою модульного принципу. Визначено та обґрунтовано уніфіковані типові моделі.

Сформовано технологію упереджених прогнозних розрахунків із застосуванням розробленого автором програмного забезпечення «Інспектор поліергатичних систем» (Авторське свідоцтво № 64517) при проведенні попередньої оцінці ризиків при плануванні динамічного позиціонування в акваторії можливої експлуатації рухомих об'єктів водного транспорту. Що дозволяє оптимальним чином підібрати структуру і склад професійних осіб, що виконують управління процесом високоточної навігації, а також визначити структуру і рівень резервування технічної складової в умовах гетерогенних збурень акваторії техноприродного комплексу.

Удосконалений метод структурного аналізу і синтезу динамічних складних систем дозволив на кожному етапі динамічного програмування наступного дискретного кроку алгоритму реалізації гарантованої безпеки, завчасно враховувати пріоритет покращення ситуації за рахунок додаткової мобілізації наявних ресурсів.

На базі розроблених математичних моделей техноприродного комплексу для потреб оцінки рівня безпеки мореплавання, а також ризиків та витрат ресурсів створено програмне забезпечення у середовищі програмування MATLAB за модульним та ієрархічним принципами з використанням пакету Simulink. Що спрощує його налаштування та дозволяє використання на борту або при стратегічному плануванні комерційного використання судна в конкретних умовах, а також як елемент тренажерного комплексу при підготовці судноводіїв.

Підтверджено практично ефективність запропонованої методології при впровадженні програмного забезпечення «Інспектор поліергатичних систем» у групі з 3 рухомих об'єктів водного транспорту система динамічного позиціонування другого класу при виконанні динамічного позиціонування, де за 3 роки впровадження аварійність зменшилася на 14 %.

Результати практичного впровадження результатів дисертаційного дослідження, про що свідчать авторське свідоцтво, патент на корисну модель, акти впровадження, дозволяють підвищити рівень безпеки мореплавання на протязі всього часового проміжку експлуатації рухомого об'єкту водного транспорту в різних навігаційних режимах.

Основні результати роботи становлять науково-методологічну основу рекомендацій для подальших досліджень в області функціонування складних динамічних систем при реалізації процесів високоточної навігації і управління в умовах гетерогенних збурень для здійснення технологічної роботи судном за потреб техноприродного комплексу. Впровадження результатів допомагає підвищити безпеку використання систем динамічного позиціонування.

Результати проведеного дисертаційного дослідження можуть бути використані практично на борту суден, у навчальному процесі, а також при підвищенні кваліфікації операторів систем динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту. Системні протиріччя взаємодії поліергатичного управління в умовах ризиків та невизначеності гармонізовані за рахунок того, що всі поставлені часткові наукові завдання повністю вирішено.

На основі виконаних розрахунків та проведених досліджень отримано такі нові результати.

Вперше

- розроблено та науково обґрунтовано методологію гарантування рівня безпеки поліергатичної системи рухомого об'єкту водного транспорту, яка відрізняється від відомих поточним контролем на всьому часовому проміжку за комплексними критеріями, що згорнуті до показників імовірнісної безпеки за оцінкою функціональної стійкості, з використанням у гетерогенних умовах техноприродних комплексів наявних ресурсів, які визначають шляхом динамічного програмування інтелектуальні агенти управління навігацією;

- створена та науково обґрунтована комплексна модель техноприродного комплексу, яка відрізняється від відомих тим, що

адекватність опису гетерогенної ситуації забезпечується відповідним розподілом інтелектуальних функцій, що дозволяє визначати відповідний склад вахтового персоналу для здійснення безпечної навігації в локально обмеженому просторі;

- визначені комплексні критерії гарантування безпеки динамічного позиціонування за умовами функціональної стійкості процесів навігації та управління рухомими об'єктами водного транспорту, що дозволило шляхом покрокового динамічного програмування обраховувати імовірності безпечного функціонування складної полієргатичної системи управління з урахуванням ризиків технологічної роботи.

Удосконалено

- метод морфологічного структурного аналізу і синтезу для динамічних складних систем, який на відміну від існуючого, на кожному етапі динамічного програмування наступного дискретного кроку алгоритму реалізації гарантованої безпеки, завчасно враховує пріоритет покращення ситуації за рахунок додаткової мобілізації ресурсів.

Отримали подальший розвиток:

- метод динамічного програмування безпеки, який відрізняється від відомих тим, що в імовірнісному просторі Колмогорова оперативно розв'язується багатокритеріальне завдання ситуативного гарантування безпеки полієргатичного управління рухомими об'єктами водного транспорту в гетерогенній збуреній акваторії;

- метод підвищення кваліфікаційної здатності оператора управління рухомим об'єктом водного транспорту в умовах ризиків та невизначеності, що генеруються швидкоплинними процесами гетерогенних збурень локально обмеженого простору техноприродного комплексу, що на відміну від відомих засобів імітаційного моделювання загрозливих ситуацій, дозволяють визначати закономірності ефективних рішень, які гарантують переходи з потенційно небезпечних станів у безпечний простір функціональної стійкості завдяки візуалізації розмічених графів марківських процесів.

Таким чином, запропоновані моделі, методи, методики і алгоритми забезпечують гарантування перспективного рівня безпеки складної динамічної системи техноприродного комплексу шляхом динамічного програмування задач поліергатичного управління навігацією рухомих об'єктів водного транспорту під час динамічного позиціонування в гетерогенних збурених умовах локально обмеженого простору.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

Сьогодні можливо визначити, що розробка та впровадження методології динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів є новим перспективним науковим напрямом дослідження. Зараз працюють або готуються до розгортання різні підходи до поліергатичного керування рухомими об'єктами.

Проблемам транспортної безпеки на різних видах транспорту присвячені праці Шелухіна М.Л., Ареф'єва С.О., Мізюка В.В., Шкарлета С.М., Шемяєвої Л.Г. Питання транспортної безпеки на водному транспорті досліджено в незначній кількості робіт російських та вітчизняних вчених, зокрема Сидоренко В.Ф., Ванданов Т.Б., Ралько В.В., Абчук В.А., Тубольцева Г.В. Більшість з них наголошували на підвищенні ефективності контрольно-наглядової діяльності на водному транспорті. Але потребує дослідження аналіз основних причин порушення безпеки в системі загальної транспортної безпеки на водному транспорті. На кожному виді транспорту є затверджена система управління безпекою, яка визначає основні організаційні, нормативні, технічні, фінансові та інші заходи, що проводяться протягом року для забезпечення безпеки руху, польотів, судноплавства. Незважаючи на застосування різних правил безпеки судноплавства та технічне вдосконалення морських суден, кількість аварій залишається значною. За останніх 150 років за даними зарубіжних аналітиків тільки в мирні роки

загинуло понад 40000 торгових суден. Це рівнозначно затопленню кожну чверть століття всіх суден, що знаходяться в експлуатації. Тому визначення основних причин аварій на морському та річковому транспорті дозволить визначити найдієвіші шляхи щодо їх подолання.

Застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволило забезпечити судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу. Це здійснюється за допомогою автоматизованих ідентифікаційних систем і комплексів автоматизованої радіолокаційної прокладки маршруту, дозволило приймати грамотні рішення щодо безпечного судноплавства.

Призначенням навігаційної системи або комплексу навігаційних систем на засобах водного транспорту є вироблення в результаті проведення вихідних вимірювань і їх подальшої обробки вектору навігаційних параметрів, що використовується у подальшому в системах управління рухом, забезпечення безпеки плавання тощо.

Зрозуміло, що крім цих параметрів навігаційні системи забезпечують вироблення й іншої інформації виходячи з призначення об'єкта: інформація про відхилення судна від заданої точки, при проходженні вузькості; інформація про положення об'єкта відносно осі фарватеру тощо.

У зв'язку з чим, вимоги до точності наведеного універсального набору можуть істотно відрізнятися для різних суден, визначаючи обсяг і складність навігаційного обладнання.

Як правило, до складу навігаційного обладнання судна входять системи безперервної дії: або система числення координат, що використовує вимірювач швидкості та курсу та здійснює інтегрування проекцій вектору швидкості на горизонтальні осі географічної системи координат, або інерціальна система чутливими елементами якої є вимірювачі прискорень (акселерометри) і гіроскопи.

Використання цих систем відбувається не тільки через безперервність їх дій, а і через її автономність, тобто відсутністю контактів з будь-якими

зовнішніми джерелами інформації, а й можливістю вироблення за допомогою їх практично всіх компонентів вектору основних навігаційних параметрів.

Вироблення навігаційних параметрів у цих системах ґрунтується на обробці радіотехнічних сигналів від системи датчиків первинної інформації (вимірювачів швидкості та курсу, прискорення та кутів, які задають положення гіроскопів) і в припущенні відсутності похибок цих датчиків забезпечує безпомилкове вироблення навігаційних параметрів.

Так серед радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту розрізняють:

- наземні радіонавігаційні системи (РНС), наприклад:

- 1) РНС «ДЕККА» (Система «Декка» є різниця-дальномірною РНС з синхронізацією фази сигналів, що передаються опорними наземними передаючими станціями);

- 2) РНС «Лоран-С» (Система «Лоран-С» являє собою імпульсно-фазовою різниця-дальномірною РНС із синхронізацією моментів випромінювання та фази імпульсних сигналів, випромінюваних опорними наземними передаючими ретранслюючими станціями);

- супутникові радіонавігаційні системи (СРНС), наприклад:

- 1) СРНС «NAVSTAR» (GPS) (США);

- 2) СРНС «ГЛОНАСС» (Росія).

Радіотехнічні системи (РТС) відносяться до класу інформаційно-управляючих технічних систем, що здійснюють отримання, передачу або руйнування інформації за допомогою радіохвиль. Відмітною ознакою РТС є:

- наявність радіосигналу (одного або декількох), що складається з джерела радіохвиль, які є носієм інформації;

- наявність середовища, в якому розповсюджуються радіохвилі;

- наявність приймача, що отримує інформацію шляхом відповідної обробки радіохвиль, які досягають його приймальної апаратури (антени).

Проведений аналіз свідчить, що застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту

дозволило забезпечити судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу. Це стало можливим за допомогою автоматизованих ідентифікаційних систем і комплексів автоматизованої радіолокаційної прокладки маршруту, що в свою чергу дозволило приймати грамотні рішення щодо безпечного судноплавства.

Навігаційне забезпечення сучасних та перспективних засобів водного транспорту призначено для оперативного вирішення завдань управління рухомими об'єктами на новому якісному рівні. При цьому слід враховувати, що правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – при експлуатації засобів водного транспорту залежить від їх технічного стану. Так, наявність у складі радіонавігаційних комплексів великої кількості електронних елементів і радіоканалів й агресивне середовище їх експлуатації (велика вологість, постійний рух (качання), солоня вода тощо) підвищують роль методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів під час експлуатації для забезпечення безаварійного функціонування засобів водного транспорту.

При визначенні технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту виникає відоме у практиці контролю складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього. У рамках зазначеного протиріччя актуальною науковою проблемою є розробка методів синтезу вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

У теперішній час застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволило забезпечити судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу. Це здійснюється за допомогою автоматизованих ідентифікаційних систем і комплексів автоматизованої радіолокаційної прокладки маршруту, дозволило приймати грамотні рішення щодо безпечного судноплавства.

Динамічне програмування є водночас і методом математичної оптимізації і методом комп'ютерного програмування. В обох контекстах воно використовує підхід спрощення пошуку розв'язку складної задачі, розбиття її на простіші підзадачі, часто методом рекурсії. Хоча деякі задачі не можуть бути розв'язані таким чином, рішення, які охоплюють кілька точок у часі дійсно часто розбиваються рекурсивне на підзадачі. Белман називав це принципом оптимальності. Подібно до цього, в комп'ютерних науках про проблему, яка може бути розбита на підзадачі рекурсивно, говорять що вона має оптимальну підструктуру.

Якщо підзадачі можуть бути вкладеними рекурсивно всередині більших задач, так що методи динамічного програмування можуть бути застосовні, то існує залежність між рішенням загальної задачі, і рішенням підзадач. В методах оптимізації це відношення виражається рівнянням Беллмана.

З точки зору математичної оптимізації, динамічне програмування полягає в спрощенні знаходження загального оптимального розв'язку, шляхом пошуку розв'язків в підзадачах, отриманих розбиттям задачі на послідовні проміжки часу. Це виражається у визначенні послідовності значень функцій $V_1, V_2, \dots, V_n$, з аргументом u , котрий позначає стан системи в моменти часу i від 1 до n . Визначенням $V_n(u)$ є значення, отримане в стані u в кінцевий момент часу n . Значення V_i в попередні моменти часу $i = n-1, n-2, \dots, 2, 1$ можуть бути знайдені рухаючись назад, використовуючи рекурсивну залежність, названу рівняння Беллмана. Для $i = 2, \dots, n$, значення V_{i-1} для будь-якого стану u визначається з V_i через

максимізацію значення простої функції (зазвичай, суми) виграшу від рішення в момент часу $i - 1$ і функції V_i у новому стані системи, якби це рішення було втілено. Оскільки V_i вже було розраховано для потрібних станів, то вище наведена операція забезпечує необхідне оптимальне значення V_{i-1} для цих станів. Нарешті, V_1 як початковий стан системи є значенням оптимального рішення. Оптимальне значення змінних рішення може бути відновлене одне за одним виконанням обернених у часі обчислень.

Проведений аналіз свідчить, що застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволяє забезпечити безпечне судноплавство. При цьому правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – залежить від їх технічного стану. Так, наявність у складі радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту великої кількості електронних елементів і радіоканалів й агресивне середовище їх експлуатації підвищують роль методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів під час експлуатації для забезпечення безаварійного функціонування засобів водного транспорту.

У теперішній час супутникові системи стають частиною нашого повсякденного життя і суттєвим елементом комерційної та суспільної інфраструктури. Зокрема, вони знайшли широке застосування в області дистанційного зондування природних ресурсів, розвитку інфраструктури та контролю міського господарства, у сільському господарстві та соціальних науках. Інтенсивний розвиток космічної навігації дозволив створити супутникові методи точного визначення координат рухомих в просторі об'єктів. При цьому використовується сузір'я супутників, координати яких ідентифікуються в будь-який момент часу з метою визначення навігаційних даних рухомих різноманітних об'єктів наземного, морського і повітряного базування. В даний час існує ряд світових супутникових навігаційних систем GNSS (Global Navigation Satellite System): американська NAVSTAR/GPS (NAVigation System with Time And Ranging; Global Positioning System);

російська ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система – ГНСС); європейська супутникова система Галілео; китайська навігаційна система Бейдоу; японська регіональна навігаційна система QZSS тощо. Найбільш розповсюдженими з вищенаведеного списку є системи ГЛОНАСС і GPS, які першопочатково використовувалися при вирішенні навігаційних задач переважно для військово-оборонних цілей і флоту. Поступово відкрилася можливість їх успішного застосування в інших сферах людської діяльності, в тому числі у прецизійному землеробстві, тобто для точного визначення просторових координат сільськогосподарської техніки у реальному часі. В області точного землеробства для прийняття управлінських рішень з мінімальними витратами при розв'язанні ряду прикладних задач нарізла гостра необхідність високоточного визначення місцезнаходження кожного підконтрольного рухомого об'єкта за допомогою глобальної системи позиціонування.

На території України в основному функціонують навігаційні системи з використанням сигналів GPS і ГЛОНАСС, які дозволяють в режимі реального часу і з відносно високою точністю визначати місцезнаходження необхідного об'єкта.

Успіх у розвитку радіонавігаційних систем і в їх широкомасштабному використанні повністю полягає у революції, яку справило впровадження великих інтегральних схем. Це зробило навігаційні приймачі легкими, компактними і на порядок дешевше. Винятковим досягненням виявилась розробка перманентної станції, що генерує поправки, які вносять зміни в кодові та фазові вимірювання на рухомому приймачі, в результаті чого досягається підвищена точність позиціонування.

За останні десятиріччя вироблено декілька поколінь приймачів, що базуються на нових технологіях – DGPS (Differential Global Positioning System), RTK (Real Time Kinematics), RTX (Real Time eXtended). Вміст програмно-апаратного забезпечення як DGPS, так і RTK й RTX, є комерційною таємницею їхніх розробників, що ускладнює їх удосконалення

при застосуванні у вітчизняних розробках подібного класу. Альтернативою технології RTK, яка дає точність у плані 2,5 см, є RTX з точністю на рівні 3,8 см. Коригувальний RTX-сигнал доступний, наприклад, для користувачів інтегрованих дисплеїв та приймачів лінійки Trimble, що свідчить про технічну перевагу закордонних розробників в порівнянні з вітчизняними, які вимушені купувати іноземне обладнання та відповідне програмне забезпечення для створення дієвих систем, орієнтованих на аграрний сектор.

Забезпечення навігаційної безпеки плавання розглянуто в працях О. М. Коломійца, В.Г. Алексишина, Л.А. Козиря С.В. Симоненка, В.І. Богомьї В.І., В.С. Давидова, В.В. Дороніна, Д.П. Пашкова, І.В. Тіхонова, Г.Л. Баранова.

В задачах лінійного та нелінійного програмування керований процес, відносно якого приймається рішення, вважається статичним, тобто незалежним від часу, тому оптимальне рішення (керування) знаходиться лише на один етап планування. Такі задачі називаються одноетапними або однокроковими. В задачах динамічного програмування керований процес залежить від часу, тому знаходиться ряд рішень (для кожного етапу), що забезпечують оптимальний розвиток всього процесу в цілому. Задачі динамічного програмування називаються багатоетапними або багатокроковими. Динамічне програмування являє собою математичний апарат, що дозволяє реалізувати оптимальне керування багатокроковими процесами прийняття рішень. Зауважимо, що досить часто шляхом певного перефразування і деякі статичні задачі можуть бути зведені до багатоетапних. Основним методом динамічного програмування є розроблений американським математиком Р. Беллманом та його учнями метод рекурентних співвідношень, відомий як метод функціональних рівнянь Беллмана, в основі якого лежить такий принцип оптимальності: якщо керування процесом є оптимальним, то воно буде оптимальним і для процесу, що залишається після першого кроку. В більш загальному вигляді принцип оптимальності формулюється так: яким би не був стан системи перед черговим кроком, керування на цьому кроці потрібно вибирати так,

щоб оптимізувати результат на цьому кроці плюс результат на всіх наступних кроках. Цей принцип, що є справедливим для так званих адитивних та мультиплікативних показників керування (цільових функцій), дозволяє встановити співвідношення між екстремальними значеннями цільової функції в задачах з різною тривалістю процесу та різними початковими станами.

Основними причинами аварійних подій на морському та річковому транспорті є:

1. Людський фактор, пов'язаний з неврахуванням капітанами суден, судноводіями вимог доброї морської практики, не врахуванням маневрених елементів судна та невиконанням вимог щодо несення вахтової служби до дій в аварійних ситуаціях та рекомендації доброї морської практики, що не забезпечило своєчасних та адекватних дій для запобігання потрапляння суден на мілину.

2. Незадовільна підготовка судна та організація вахтової служби під час плавання у прибережній частині Чорного моря, зокрема, відсутність складання відповідного Плану переходу, використання магнітного компасу, морських навігаційних карт та ведення на них відповідної навігаційної прокладки з метою спостереження за рухом, позицією та місцем судна для забезпечення безаварійного плавання судна.

3. Капітанами суден не забезпечено розроблення відповідного плану плавання судна у обмежених умовах каналів та річок, та врахування маневрових характеристик судна при виконанні повороту судна, зокрема при складних погодних умовах.

4. Недотримання капітанами суден вимог Обов'язкових постанов по морських портах та відповідних Правил плавання щодо використання буксирного забезпечення, а також у частині отримання відповідного дозволу інспекторів на всі операції в акваторії порту, зокрема початок плавання у портових водах, швартування до причалу і відходу від причалу, перешвартування тощо.

5. Порушення капітанами суден та судновласниками вимог Правил судноплавства на внутрішніх водних шляхах України, затверджених наказом Міністерства транспорту України від 16.02.2004 № 91, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 12.07.2004 за № 872/9471, та Положення про порядок видачі посвідчення судноводія торговельного судна, яке допущено до плавання судноплавними річковими внутрішніми водними шляхами, затвердженого наказом Міністерства інфраструктури України від 07.10.2014 № 490, зареєстрованого в Міністерстві юстиції 24.10.2014 за № 1324/26101, щодо здійснення плавання без державного річкового лоцмана при відсутності на судні відповідного кваліфікованого екіпажу для забезпечення безпеки осіб, які є на борту, а також безпеки плавання.

6. Порушення правил використання маломірних (малих) суден на водних об'єктах областей України (використання плавзасобів без належного технічного огляду, реєстрації та у невідповідних районах і умовах плавання).

7. Неналежний контроль з боку капітана та командного складу судна за виконанням вантажних операцій, дотриманням плану по розміщенню вантажу та баласту у танках з урахуванням навігаційних обмежень та безпечного запасу глибини під кілем судна, а також завчасне визначення і врахування рівня оцінки ризику, згідно з резолюцією ІМО А.741(18) (МКУБ) при плаванні судна в обмежених умовах річки Дніпро.

8. Не дотримання капітанами суден рекомендацій звичайної морської практики з практичних прийомів та способів управління судном, використання на радіолокаторі паралельних індексів і контрольних пеленгів та дистанцій до відповідних точок повороту під час плавання в обмежених умовах Бузько-Дніпровсько-лиманського каналу.

9. Капітаном/судноводієм судна не забезпечена належна організація виконання правил технічного обслуговування і експлуатації головного двигуна, зокрема відсутність контролю за станом паливних і масляних фільтрів та їх вчасною заміною відповідно до плану технічного

обслуговування або раніше через незадовільний (засмічений) стан паливних та масляних фільтрів.

10. Не дотримання капітанами та командним складом суден вимог Обов'язкових постанов по морських портах України щодо попередження забруднення акваторії порту та навколишнього середовища в територіальних водах України, а також не забезпечення безпечного виконання вантажних операцій та спостереження за водною поверхнею і своєчасним повідомленням відповідних служб порту про випадки забруднення акваторії порту власним судном або про виявлення таких випадків з інших суден. За результатами проведених розслідувань аварійних подій, що трапилися за період січень-червень 2020 року, встановлено, що причинами їх виникнення були:

1) організаційні причини – 8 випадків (50 %) (неналежна організація несення вахтової служби на ходовому містку для забезпечення безпечної стоянки судна на якорі в штормових умовах, під час виконання маневрових операцій по швартуванню/відшвартуванню судна з лоцманом на борту, а також при плаванні у прибережній частині Чорного моря та обмежених умовах р. Дніпро);

2) технічні причини – 2 випадки (13%) (неналежна організація виконання правил технічного обслуговування і експлуатації головних двигунів, зокрема відсутність контролю за станом паливних і масляних фільтрів та їх вчасною заміною відповідно до плану технічного обслуговування або раніше через незадовільний (засмічений) стан паливних та масляних фільтрів);

3) навігаційні причини – 5 випадків (31%) (потрапляння на мілину під час плавання, неналежне використання буксирного забезпечення, а також не виконання відповідного маневру для запобігання зіткненню на маломірному судні);

4) психофізіологічні – 1 випадок (6%) (порушення відповідних Правил плавання та техніки безпеки). При цьому, виникнення аварійної події може бути як в наслідок однієї, так і декількох причин одночасно.

При описі процесів руху судна і конфігурації зони навігаційної безпеки для вирішення поставлених завдань і синтезу системи управління цими процесами необхідно враховувати загальні наукові положення теорії управління, які в умовах невизначеності обстановки зводяться до трьох аспектів:

1. Побудова програмного управління, тобто визначення керуючих впливів у часі для переходу конфігурації судно-зона навігаційної безпеки з початкового стану в кінцеве з бажаним якістю процесів управління по жорсткої програмі, без використання додаткової інформації в ході процесу для корекції руху. Такий принцип обмежує якість управління і може бути використаний при попередньому прогнозуванні рухів судна для завдання програми руху конфігурації судно-зона навігаційної безпеки.

2. Синтез управління зі зворотним зв'язком, що включає в себе проблему визначення поточних координат судна і конфігурації зони навігаційної безпеки за доступними спостереженнями величинам. Тут важливі питання найкращого узгодження спостереження і керування з точки зору оптимальності кінцевих результатів процесу управління. Оскільки відомі ознаки оптимальності вказують локальне поведінка в околиці кожної точки даної траєкторії. Складність полягає у виборі параметрів і керуючих впливів, що забезпечують розподіл оптимальної траєкторії із заданого початкового в заданий кінцевий стан.

3. Адаптація алгоритмів управління, тобто забезпечення оптимальності функціонування системи управління в умовах невизначеності: обстановки, в якій потрібно приймати рішення і керувати; формулювання конкретних завдань, вимог, які повинні враховуватися при прийнятті рішення; математичної моделі руху конфігурації судно-зона навігаційної безпеки і дії сил; випадковості самого рішення і похибок роботи всіх систем судна.

Таким чином, адаптивна система управління цілеспрямованим рухом конфігурації судно-зона навігаційної безпеки повинна мати ієрархічну організацію для вирішення класу задач за принципом управління "клас

ситуацій - дія" та стабілізації руху в обраному класі ситуацій. Згідно системного підходу ця система може представлятися стратегічним і тактичним рівнями управління.

Тактичний рівень управління визначається взаємодією чотирьох основних частин, що складають класичну систему автоматичного управління: об'єкта управління (конфігурація судно- зона навігаційної безпеки), засобів (механізмів) управління, пристрої управління (адаптивної системи), інформаційно-вимірювальних пристроїв. До цього рівня можна віднести сучасні системи автоматичного управління курсом судна (Авторульові), а також траєкторією, такі як "Бірюза", "Датабрідж", "MIRANS", "NACOS 55-2", "VISION 2100 CPER-RY" і ін. положення про чотирьох основних частинах системи управління мають принципово важливе значення для обліку маневрених властивостей судна, можливостей судноводія в системі управління, відпущеного йому природою і дані досвідом експлуатації судна, при вирішенні поставлених завдань.

Аналіз матеріалів розслідування техногенних аварій й катастроф вказує на суттєвий вплив людського чинника до причин їх виникнення, тобто низьку надійність біологічної складової автоматизованої системи керування. Іншими словами, за тих чи інших обставин біологічний ланцюг (оператор) не зміг створити ефективний керуючий вплив для утримання системи в межах дозволених станів.

Автоматизовані системи, в яких людина виконує кібернетичні функції або виступає як об'єкт керування піддаються впливу випадкових дестабілізуючих факторів, на які система не може реагувати, тому що у системі відсутні апаратні, програмні та алгоритмічні засоби для обробки подібної інформації. Це в свою чергу призводить до зниження ефективності керування у системі, а у деяких випадках до виникнення аварій та катастроф.

Для виконання маневрів судно повинно мати керованість, під якою розуміється здатність системи відповідати певним змінам керованих координат (величин змінних по цілі управління) на певний і доцільне

керуючий вплив. З позицій теорії управління система володіє керованістю, якщо існує управління, яке переводить систему з одного стану в інший за кінцевий проміжок часу.

Обмеженість вибору керуючих впливів (керма, рушія), відсутність повної ясності в законах руху судна в результаті їх дії, вплив зовнішніх збурень (вітру, хвилювання, течії, мілководдя і т.д.) і зміна обстановки викликають відхилення поточних керованих величин від програмних. З'являється необхідність коригувати дії, що управляють, або змінювати програму і вибрати інший варіант руху до мети. При наявності на судах допоміжних (підруючих, гальмівних) пристроїв є більше можливостей у прийнятті рішень, надійності їх виконання. Але в даному випадку повинна бути вирішена проблема узгодженості управління спільною роботою кількох керівників органів і прогнозування результатів впливу їх сил на судно.

Для адаптації до заздалегідь невідомих постійно змінюваних умов чотири основні частини системи управління повинні бути доповнені відповідними функціональними або алгоритмічними частинами в пристрої управління. Вони повинні взаємодіяти з блоками адаптації та навчання при формуванні цілеспрямованого руху судна і поточної його корекції. Як методологічну основу цього рівня доцільно використовувати універсальні адаптивні алгоритми управління з прогнозуючою моделлю, що забезпечують оптимізацію за критерієм узагальненої роботи, що враховує сумарну за часом оцінку відхилень поточних координат стану та управлінь від програмних значень, а також швидкостей вироблення управлінь.

Для реалізації неформальних і позаштатних операцій і взаємозв'язку цих алгоритмів з верхнім рівнем ієрархії, виникає необхідність втручання судноводія в управління на стратегічному рівні адаптивної системи, використовувати його досвід, знання для забезпечення якісного та безпечного управління. Тому знання і навички досвідчених фахівців повинні деталізувати до такої міри, щоб здійснити їх опис і скласти відповідні алгоритми, що визначають логіко-математичну послідовність дій (для

типових ситуацій і суден), що призводять до поставленої мети. Цілеспрямований рух формується як функція станів судна, зовнішнього середовища, обстановки, вимог і завдань, тобто має місце ситуаційне управління на основі логічної зворотного зв'язку.

На етапі прийняття рішень і планування поведінки системи управління судноводієм в режимі формалізованого діалогу з системою формуються цілі, завдання, обмеження з урахуванням інформації, що надходить від інформаційно-вимірювальної системи і нижніх рівнів ієрархії. В результаті цього діалогу здійснюється вибір стратегії поведінки, що веде до поставленої мети, задаються основні елементи та рівні конфігурації зони навігаційної безпеки. При традиційних методах судноводіння цей етап управління відповідає попередньому опрацюванню переходу і складанню плану маневрування.

На етапі розпізнавання і моделювання навколишнього середовища шляхом накопичення досвіду і самонавчання відтворюється навігаційно-гідрографічна і ситуаційна обстановка, здійснюється її ідентифікація, класифікація та аналіз відповідно до плану, виробленого на більш високому рівні ієрархії. Ці операції необхідні для розрахунку параметрів конфігурації зони навігаційної безпеки, безпечного і найкоротшого маршруту руху. Інформаційна модель середовища об'єднує зміст навігаційних карт, посібників, керівництв для плавання, зберігається в системі і складається з трьох складових:

1) геометрична модель інформації полів різних навігаційних параметрів і збурень (переважаючих течій, вітрів і т.д.), в заданій системі координат;

2) топографічна модель інформації про район плавання в просторовому зображенні (всього водного простору, простору обмеженого небезпечними ізобатами, гарантованої смуги проводки в прогнозованих умовах);

3) семантична модель смислової інформації (правила плавання, заборонені райони, обмеження, вказівки і т.д.).

Синтез алгоритму керування рухом судна при проходці судна в заданій акваторії з урахуванням перебігу проведено в роботах В.М. Виноградова, Н.В. Іванівського, І.С. Горячева. Вони розглядали задачу синтезу алгоритму управління судном за критерієм середньоквадратичної величини ризику безпечного проходу вузької протоки при наявності течії, і проводився подальший його аналіз. Як приклад для синтезованого алгоритму проведено статистичне моделювання розрахунку ризику безпечного проходження протоки. Розрахунок ризику безпечного проходу судна вузького каналу проводився при наявності течії для різних випадкових параметрів. Слід зазначити, що навіть при максимальному значенні відхилень випадкових параметрів (максимальному ризику) система оптимального управління забезпечує знаходження характеристик руху судна в заданих (безпечних) межах.

Основою інформаційної моделі середовища можуть служити різні сучасні системи електронних карт. Модель середовища в міру накопичення та узагальнення інформації автоматично або за допомогою судноводія повинна навчатися новим поняттям і навичкам. Завдяки цьому система зможе "програвати" різні схеми поведінки ще до звершення будь-яких реальних подій, тобто виконувати інтелектуальні операції, які у людини ототожнюються з мисленням. Комбінація "ручних" і автоматичних методів навчання та адаптації дозволяє складати гнучкі програми дій, враховувати зміни зовнішнього середовища, неформальні операції мислення і досвід судноводія у визначенні основних функціональних і цільових параметрів системи управління.

На етапі прокладки маршруту і побудови програмних рухів конфігурації судно-зона навігаційної безпеки проводиться:

- 1) розрахунок маршруту, що гарантує безпечний і найкоротший шлях, обхід небезпек;
- 2) побудова по заданому маршруту програмного руху судна, що враховує: розміри, кінематичні і динамічні характеристики судна, параметри

конфігурації зони навігаційної безпеки, навігаційні і технічні обмеження, зміна зовнішніх умов, режимів роботи рушіїв і інших пристроїв, що створюють необхідні керуючі сили і впливу, тобто відбувається адаптивне планування цілеспрямованих рухів за рахунок управління судном.

Даний етап також повинен виконуватися комбінованими "ручними" - автоматичними методами в режимах попереднього прогнозування і оперативної перевірки і корекції програми руху.

Судноводій повинен мати можливість в будь-який момент часу втрутитися в процес управління судном в автоматичному режимі і екстрено змінити функціонування системи або безпосередньо забезпечити ручне управління судном на свій розсуд (зменшити або збільшити швидкість, дати задній хід, здійснити відворот, збільшити або зменшити швидкість повороту, змінити параметри конфігурації зони навігаційної безпеки і т.д.). При цьому система управління повинна прогнозувати рух судна відповідно до поточного управління і вказівок судноводія і давати рекомендації на підставі наявної інформаційної моделі зовнішнього середовища і розвитку навігаційної ситуації, але за судноводієм залишається право прийняти ці рекомендації для управління або діяти на свій розсуд, або знову перейти до автоматичного управління судном.

Така взаємодія підсистем забезпечить високу ступінь адаптації руху судна до зміни обстановки, якісне управління і дозволить удосконалювати поняття "хорошої морської практики" для використання в подальшому.

Відомо, що більшість завдань судноводіння відноситься до завдань приведення судна з вихідного положення в кінцеве, яке визначається заданими параметрами руху (вихід в задану точку, поворот на новий курс, розбіжність із зустрічними суднами і т.д.). У загальній постановці ці завдання сформульовані як приведення конфігурації судно-зона навігаційної безпеки до заданого стану.

На підставі аналізу досліджень з теорії систем до проблем управління кінцевим станом судна можна віднести:

- 1) невизначеність інформації про початкові умови, характеристики об'єкта, зовнішні збурення, позаштатні зміни навігаційної обстановки;
- 2) необхідність прогнозування траєкторії руху судна;
- 3) не лінійність рівнянь руху судна і вимоги їх безперервного диференціювання;
- 4) необхідність знання точного часу закінчення процесів управління, умов існування та єдності розв'язків;
- 5) високі вимоги до суднової обчислювальної техніки для реалізації алгоритмів керування.

В працях М.С. Алексейчука запропоновано основні принципи системи прийняття оптимального рішення при розходженні суден. Алексишин А.В. запропонував метод формування безпечної зони та її застосування в судноводінні. Убезпечення навігаційної безпеки розглянуто в працях Алексишина В.Г. Убезпечення навігаційної безпеки при розбіжності суден в екстремальних умовах розглядали Шараф, Мохамед. Питання обліку стану здатності до оптимізації зв'язків в системах забезпечення безпеки мореплавання розглянуті в роботах Гладишевського М.О. Комбінований метод оцінки навігаційної безпеки плавання внутрішніми водними шляхами в 2012 році запропонував Прохоренков А.А. Організованість соціотехнічних систем судноводіння і методи її підтримки з мінімізацією інформаційної завантаження людського елемента в 2006 році запропонував Пасічників М.О. Методологію обробки навігаційної інформації і синтез адаптивного закону керування морським судном при стабілізації на траєкторії в 2001 році розробив Пелевін О.Е. Проблемні питання супутникової радіонавігації розглянуто в працях В. П. Бабака, В. В. Коніна, В. П. Харченка.

Баранов Г.Л., Тихонов І.В., Банішевський С.А. запропонували аналітичну модель траєкторії електронного курсу транспортного засобу у зонах з підвищеним ризиком плавання, знайшли аналітичний зв'язок навігаційних параметрів стану і сигналів адаптивного управління на програмних траєкторіях руху високошвидкісних транспортних засобів,

отримали аналітичні співвідношення між навігаційними параметрами термінальних умов руху високошвидкісних транспортних суден.

Гарантування безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту з урахуванням випадкових помилок навігаційного комплексу розглянуто в працях Г.Л. Баранова, С.Д. Ставицького, Р.А. Габрука.

Комплексна інтеграція інформаційних процесів інтелектуальних транспортних систем для якісного гарантування безпечного руху у нестационарному середовищі розглянута в працях Г.Л. Баранова, І.В. Тихонова, Р.А. Габрука, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренка.

Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті розглянуто в працях вчених наступних вчених, - Беляєвського Л.С., Ткаченко А.М., Левковець П.Р.

Системи автоматичного керування рухом судна розглянуто в працях Л.Л. Вагущенка, М.М. Цимбала. Методи врахування інженерно-психологічних факторів авіаційних комплексів розглядав В.М. Казак.

Спосіб оцінки безпеки зіткнення в системах керування рухом суден розглядали А.С. Мальцев, А.П. Бень, Нгуен Тхашь Шон. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем розглянуто в працях Машкова О. А., Барабаша О. В. В працях А.Е. Потьомкіна розглядалися питання охорони навколишнього середовища та статистичний аналіз аварійності танкерів.

Пуховим Г.Е. запропоновано диференційні перетворення функцій та рівнянь, диференційні спектри та моделі, наближені методи математичного моделювання, які засновані на застосуванні диференційних Т-перетворень.

Тихоновим І.В. розроблено методологічні основи поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом транспортних засобів (цільова технологія безпеки), розглянуто питання оцінювання функціональної стійкості навігаційного обслуговування рухомих об'єктів в районах плавання з обмеженими габаритами. Нелінійне та багатокритеріальне моделювання

процесів у системах керування рухом розглядали В.П. Харченко, О.О. Писарчук. Розвиток теорії та методів попередження зіткнення суден зроблено Цимбалом М.М.

Питання навігації і синергетичного керування складними динамічними системами розглядали В. Чепиженко, С. Павлова, А. Писарчук, Ф. Захарин, С. Пономаренко. Шмельова Т. Ф. запропонувала науково-методологічні основи моделювання підтримки прийняття рішень в аеронавігаційній системі.

Усі вище визначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими рішеннями.

Практична значимість та важливість для галузі полягає в створенні теоретико-прикладних основ поліергатичного управління суден, що дозволяє у складних гетерогенних умовах гарантувати безпеку динамічного позиціонування і відповідний рівень поліергатичної системи із безпеки мореплавання при виконанні міжнародних вимог та норм класифікаційних товариств.

Програмним чином реалізовано розроблені алгебраїчні моделі у комп'ютерній програмі «Інспектор поліергатичних систем», авторське свідоцтво № 64517 від 14.03.2016. Програма може бути використана як частина програмно апаратного комплексу підтримки прийняття рішень на борту, та як аналітичний комплекс при стратегічному плануванні комерційного використання об'єкту в конкретних умовах майбутніх проектів. Практично підтверджено ефективність запропонованої методології при впровадженні програми «Інспектор поліергатичних систем» у групі з 3 суден з системами динамічного позиціонування другого класу, де аварійність зменшилася на 14 %.

Розроблено спосіб комплексної імітації гетерогенних обставин тренажерними засобами для адекватного відпрацювання безпомилкової

реакції оператора системи динамічного позиціонування на загрозливі обставини акваторії техноприродного комплексу.

Результати виконаних досліджень із гарантування безпеки мореплавання впроваджені в ТОВ «Оверсіз Лоджистік» при врахуванні специфіки виконання рейсового завдання (акт впровадження від 17.06.2019 р.), в освітній процес в Національному університеті «Одеська морська академія» (акт впровадження від 04.09.2020 р.), на суднах з системами динамічного позиціонування другого класу (акти впровадження від 09.11.2017 р., 12.08.2018 р. та 22.12.2018 р.).

Досвід використання результатів дисертаційного дослідження показав, що розроблені методологія, моделі та методи є надійним засобом для гарантування безпеки мореплавання у складних умовах динамічного позиціонування і представляють практичну цінність для судновласників.

В цілому дисертаційне дослідження орієнтовано на підтримку прийняття рішень з використанням чисельних методів і сучасних бортових обчислювальних машин для кількісної оцінки безпеки навігації при виконанні динамічного позиціонування рухомими об'єктами водного транспорту в умовах гетерогенних збурень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовано мету та наукову проблему дисертації, показано зв'язок роботи з науковими темами та програмами, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію щодо кількості публікацій, апробацію та впровадження основних результатів дослідження, виділено особистий внесок здобувачки в опублікованих працях зі співавторами.

У *першому розділі* «Аналіз сучасного стану безпеки позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту та міжнародних стандартів класифікації» здійснено аналіз методів позиціонування технічних засобів

освоєння морських ресурсів та визначення статистичних тенденцій. Визначено мету та задачі дослідження. Надано аналіз міжнародних стандартів класифікації систем динамічного позиціонування та основні визначення. Проведено класифікацію систем динамічного позиціонування відповідно до стандартів Регістра судноплавства України. Проведено аналіз аварійності рухомих об'єктів водного транспорту під час виконання динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі техноприродних комплексів та постановка завдання дослідження.

У *другому розділі* «Методологічні засади динамічного програмування безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту в гетерогенно збурених акваторіях техноприродних комплексів» здійснено системний підхід у безпеці полієргатичної системи управління збуреним рухом при динамічному позиціонуванні в локально обмеженому просторі. Формалізовано задачі навігації і керування для методу динамічного програмування безпеки полієргатичного управління. Синтезовано аналітичні моделі гетерогенних факторів збурень в динамічних задачах навігації та управління рухомими об'єктами водного транспорту.

У *розділі 3* «Аналітичні методи полієргатичного управління за критеріями безпеки рухомого об'єкту водного транспорту» здійснено формалізацію активних дій людини-оператора в інформаційних потоках відображення збурень середовища. Формалізовано каналні перетворення багатфакторних динамічних потоків. Сформована одноосібна марківська модель оперативного управління в умовах ризиків та невизначеності. Розглянуто функціональний розподіл штатного складу вахтового управління рухомих об'єктами водного транспорту. Сформовано аналітичні моделі операторного управління для підвищення безпеки рухомого об'єкту водного транспорту.

Четвертий розділ «Аналітичні методи управління засобами безпеки в екстремальних умовах техноприродних комплексів» присвячено формалізації активних дій техніко-технічних засобів безпеки за цільовим

призначенням. Синтезовано модель зміни рівня безпеки складних технічних об'єктів при множинних ризиках. Проведено символічно-аналітичне моделювання імовірності безпечного функціонування складних ланцюгових техніко-технічних засобів. Розглянуто безпечне функціонування комплексів в умовах збігу причин відмов від незалежних факторів середовища. Проведено оцінювання ймовірності безпеки функціонування комплексів з засобами керованого резервування.

У *п'ятому розділі* «Обґрунтування рівнів технологічної функціональної стійкості навігаційного обладнання для безпеки бортового багатофункціонального комплексу управління» запропоновано методику гарантування безпечного динамічного позиціонування засобами бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання. Обґрунтовано застосування супутникової навігаційної апаратури користувача DPS-110. Розглянуто засоби комплексного динамічного позиціонування для підвищення рівня безпеки в акваторії техноприродного комплексу. Проведено аналіз радіоелектронних та інформаційно-навігаційних засобів динамічного програмування безпеки полієргатичного управління. Обґрунтовано застосування додаткового обладнання розподілених навігаційно-інформаційних засобів для динамічного позиціонування. Розглянута оперативна адаптація засобів управління згідно поточного оцінювання рівня функціональної стійкості. Сформовано мережі локального зв'язку та засоби телекомунікації рухомих об'єктів водного транспорту в акваторії техноприродних комплексів. Застосовано динамічне програмування безпеки полієргатичного управління засобами інформаційно-обчислювальних комплексів. Розглянуто безпеку технічних систем рухомого об'єкту водного транспорту.

У *шостому розділі* «Оцінювання ефективності запропонованих засобів динамічного програмування безпеки полієргатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів» оцінено безпечне функціонування технічних комплексів за показниками

інтенсивності імовірних відмов. Оцінено функціональну стійкість технічних засобів при ранжуванні спостережуваних пошкоджень. Розглянуто імовірності оцінки функціональної стійкості багаторівневих комплексів в умовах застосування розподілу Вейбула. Визначено достовірність динамічного програмування безпеки за критеріями нормального розподілу потоку інтенсивності незалежних відмов. Розглянуто імовірнісну оцінку техніко-технологічної безпеки рухомого об'єкту водного транспорту за проектом УТ 733-2. Визначено специфіку імовірнісних розрахунків маневру підходу в умовах ручного управління. Надано формалізацію оперативного оцінювання безпеки полієргатичного управління засобами динамічного програмування. Проведено інтегроване оцінювання варіантів полієргатичного управління адекватного відповідним потокам збурень. Застосовано динамічне програмування функціональної стійкості за комплексними критеріями безпеки полієргатичного управління. Обґрунтовано засоби навігації та управління рухом в тренажерному комплексі напрацювання досвіду динамічного програмування безпеки при підготовці операторів систем динамічного позиціонування. Оцінено безпеку застосування засобів управління динамічним позиціонуванням в позаштатних ситуаціях за оцінками безпеки та особливостей технологічної роботи. Проведено узагальнення процесів динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в умовах акваторій техноприродних комплексів.

У **висновках** відтворено основні результати дисертаційного дослідження, що відображають методологію динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів.

У **додатках** наведено: список публікації здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію матеріалів дисертації; акти впровадження; класифікація СДП міжнародними класифікаційними товариствами; схеми функціональної стійкості рухомого об'єкту водного

транспорту; характеристики судна проекту UT 733-2; план навігаційного містка судна проекту UT 733-2 з постами керування збуреним рухом; авторське свідоцтво та патент.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із Робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи складає 450 сторінок, у тому числі: 344 сторінки основного тексту, 62 рисунки, список використаних джерел на 34 сторінках (333 найменування) і 41 сторінка додатків.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та, у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як кваліфікаційна закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації у 51 науковій праці. У тому числі 24 публікації у фахових виданнях України, з яких 20 публікацій опубліковано у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 4

публікації опубліковано у закордонних виданнях країн, що входять до складу ЄС, з яких 2 публікації включено до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, 2 статті в інших виданнях, а також 19 тез доповідей наукових конференцій. Автору належить одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір та один патент на корисну модель.

Інформація про отримані результати у кандидатській дисертації здобувача не використовувалась при підготовці докторської дисертації.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає самій роботі, яка відповідає паспорту спеціальності 05.22.13 – навігація та управління рухом.

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступне.

1. При визначенні мети та задач дослідження (підрозділ 1.2, стор. 53) формалізація завдань не в повній мірі проведена на рівні множин та кортежей з погляду саме навігації та керування рухом: за рахунок яких управлінських впливів, з урахування яких факторів та обмежень та яким чином здійснюється гарантування безпеки динамічного позиціонування рухомого об'єкту водного транспорту (обмеження, досягнення екстремальних значень) в локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу в умовах гетерогенних збурень.

2. В розділі 2 «Методологічні засади динамічного програмування безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту в гетерогенно збурених акваторіях техноприродних комплексів» при розгляді взаємодії складних систем при динамічному позиціонуванні в локально обмеженому просторі (стор.82), складна поліергатична система розглядається

у вигляді ієрархічно упорядкованої вахтової команди професійних осіб. Але сама «ієрархічність упорядкування» може мати різні системні реалізації внаслідок різноманітності (кваліфікаційності) складових елементів. Ці питання розглянуто спрощено.

3. В розділ 3 «Аналітичні методи полієргатичного управління за критеріями безпеки рухомого об'єкту водного транспорту» (стор.151) стверджується, що «для подальшого формування математичного апарату методології динамічного програмування безпеки полієргатичного управління необхідно перейти від диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена до алгебраїчних рівнянь». Цей висновок є не переконливим. Так, це дійсно варіант спрощення. Но виникає питання, - чому не застосувати при цьому методи інтегрування диференціальних рівнянь, наприклад з використанням пакетів Matlab.

4. В розділі 4 «Аналітичні методи управління засобами безпеки в екстремальних умовах техноприродних комплексів» визначається, що питання безпеки динамічного позиціонування полягає в підтримці складових систем, які входять до складу складної технічної системи рухомого об'єкта водного транспорту, в робочому стані в цілому. Системи на різних рівнях ієрархії складаються з інших систем відповідних рівнів ієрархії. Імовірність надійного технічного функціонування системи динамічного позиціонування і її складових буде кількісною оцінкою безпеки технічної складової полієргатичної системи рухомого об'єкта водного транспорту (стор.194). Виникає питання, чому автор не застосовує підхід до реалізації функціональної стійкості, який передбачає не резервування елементів ієрархічної системи, а перерозподіл інформаційних, обчислювальних ресурсів системи в цілому?

5. У розділі 5 «Обґрунтування рівнів технологічної функціональної стійкості навігаційного обладнання для безпеки бортового багатофункціонального комплексу управління» автором запропоновано загальне рівняння функціональної стійкості для навігаційно-інформаційної

системи (вираз 5.14, стор. 248; аналогічно вираз 5.15, стор.249). При цьому функціональна стійкість визначається як добуток відповідних імовірностей. Однак такий підхід не передбачає ризико-орієнтованого підходу усунення надзвичайних ситуацій та управління ризиками при динамічному програмуванні безпеки полієргатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів.

6. Поняття безвідмовності функціонування об'єкта автор розглядає (стор.295) в класичній постановці згідно з ДСТУ 2860-94, а саме, - «виконання потрібної функції системою в певних умовах збурень протягом заданого інтервалу часу». При цьому людський чинник не розглядає, хоча мова йде про полієргатичне управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів. Тому людський фактор важливий.

7. У розділі 6 «Оцінювання ефективності запропонованих засобів динамічного програмування безпеки полієргатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів», при оцінці функціональної стійкості технічних засобів при ранжуванні спостережуваних пошкоджень (стор.314) автор стверджує, що «складні технічні засоби (рухомий об'єкт водного транспорту), які продовжують працювати при отриманні пошкодження, описуються гамма розподілом. При цьому, на стор.320 автор стверджує, що «розподіл Вейбула може характеризувати будь-який випадок інтенсивності відмов і для практичної реалізації необхідно обчислити коефіцієнти, які є відображенням статистичних даних». Хто і як це буде робити? Але існують й інші опису поведінки систем в умовах нештатних аварійних та катастрофічних ситуацій (теорія ризиків, теорія біфуркацій, катастроф тощо). Такого аналізу в роботі немає.

8. При оцінюванні безпеки застосування засобів управління динамічним позиціонуванням в позаштатних ситуаціях за оцінками безпеки та особливостей технологічної роботи (стор.3.53) стверджує, що «При настанні нештатної ситуації управління переводиться у ручний режим». Виникає

питання чому так, сучасні системи передбачають й автоматичне парировання надзвичайних ситуацій. Це питання потребує подальших досліджень. Крім того, бажано було надати пояснення інформаційних та управлінських потоків в запропонованій інфологічній моделі динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів (рис.6.28, стор.367).

9. В роботі присутні окремі стилістичні помилки, наприклад:

- *статистичних тенденцій*, стор.42;
- системний підхід у безпеці, стор.79;
- *Динаміка критерію*, стор. 91;
- *стріла часу*, стор.96;
- *детальна ідентифікація*, стор. 97;
- *правильне* визначення вектору стану, стор. 101;
- поліергатична система з управління процесами, стор. 129;
- *фінальна ймовірність*, стор.139;
- *вирішальним* аспектом, стор.141;
- *нормальних виконань* маневрів, стор.159;
- *надійне* визначення імовірності, стор.159;
- *Побудуємо схему функціональної стійкості* на прикладі DPS-110 , стор.220;.
- *хороший геометричний фактор*, стор.221;
- має місце необґрунтований висновок (стор.134), що «слід зазначити, що кількість потоків реакцій поліергатичної системи *буде рівною* кількості потоків важливих подій»;
- відсутні пояснення до деяких параметрів в математичних виразах, наприклад: (1.2 , стор. 75); (2.7 , стор. 95);
- в роботі має місце велика кількість скорочень (86), що ускладнює усвідомлення самої роботи;
- в роботі мають місце посилання на не досить сучасні наукові джерела, наприклад:

10. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. – Л. : Судостроение, 1985. – 320 с.

13. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах / Бабич О.А. – М.: Наука, 1991. – 512 с.

41. Блауберг И. В. Системный подход в современной науке / И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин // Проблемы методологии системных исследований. — М.: Мысль, 1970. — С. 7-48.

43. Бронников А. В. Проектирование судов / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1991. – 320 с.

49. Вайнберг М.М. Теория ветвления решений нелинейных уравнений / Вайнберг М.М., Треногий В.А. – М: Наука, 1969. – 24 с.

50. Ван Гиг Дж. Прикладная общая теория систем.- М.: Мир, 1981.- 732с.

52. Васильев А.В. Управляемость судов. / А.В. Васильев- Л.: Судостроение, 1989.- 328 с.

54. Вашедченко А.Н. Автоматизированное проектирование судов. / А.Н. Вашедченко - Л.: Судостроение, 1985.-164 с.

66. К вопросу о навигационных запасах глубины под килем судна при плавании в каналах и на мелководье / Ю.Л. Воробьев, В.Т. Соколов, Г.Д., Журавицкий, Э.В. Коханов, Н.А. Кубачев, А.И. Лабин // Мор. трансп. Сер.: Судовождение и связь.- Экспресс-информация В/О "Мортехинформреклама", 1986.- Вып. 9(194).- С. 1-18.

67. Воробьев Ю.Л. Экспериментальное определение безопасных расстояний при расхождении судов / Ю.Л. Воробьев, В.Н. Кирилов // Теория корабля и гидромеханика: Сб. научн. тр. / НКИ, Николаев. – 1973. - №74. – С. 61-65.

68. Воробьев Ю.Л. Экспериментальные исследования изменений посадки моделей морских судов при движении на мелководье и в канале/ Ю.Л. Воробьев, Ю.М. Гулиев, В.К. Лабазников, Я.М. Элис // Судостроение и судоремонт/ ОИИМФ, 1967.- Вып. I.- С. 45 - 61

120. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. / Г.В. Дружинин // М.: Энергоатомиздат, 1989. — 458 с.

213. Ракитов А. И. Философские проблемы науки: Системный подход. // А. И. Ракитов — М.: Мысль, 1977. — 270 с.

233. Ремез Ю.В. О криволинейном движении корабля по взволнованной поверхности моря. / Сборник научных трудов Ленинградского кораблестроительного института.- Л.: ЛКП, 1984.- С. 67-73.

243. Соболев Г. В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. / Г.В. Соболев // Л.: Судостроение, 1980.- 477с.

258. Трунин В.К. Силы волнового дрейфа, действующие на неподвижные преграды, пересекающие свободную поверхность. / Труды ЛКИ "Гидродинамика технических средств освоения океана".- Л.,1981.-С. 115-120.

260. Фролов И. Т. Общая теория систем // Философский словарь / И. Т. Фролов. — 4-е изд. — М.: Политиздат, 1981. — 445 с.

268. Хинчин А. Я. Краткий курс математического анализа. / А. Я. Хинчин // М.: Транспорт, 1953. — 624 с.

Вказані недоліки не знижують науковий рівень дисертації “Методологія динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів” та не впливають на позитивне враження від дисертації, як кваліфікаційної роботи, в цілому, завершеність якої не викликає сумніву. Робота містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, особистий внесок здобувача в науку.

Висновок.

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічне завершене наукове

дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які в сукупності є вирішенням сформульованої вище наукової-технічної проблеми, та відповідає вимогам п. 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів» до щодо докторських дисертацій, а здобувач *Габрук Ростислав Анатолійович* заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом

Офіційний опонент -

проректор з наукової роботи

доктор технічних наук, професор,

Заслужений діяч науки і техніки України,

Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки


26 грудня 2021 р.

О.А.Машков