

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Габрук Ростислав Анатолійович



УДК656.61.052:007.51]:519.857

**МЕТОДОЛОГІЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ БЕЗПЕКИ
ПОЛІЕРГАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СУДЕН В ГЕТЕРОГЕННИХ УМОВАХ
АКВАТОРІЙ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія»
Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України,
ЦИМБАЛ Микола Миколайович,
Національний університет «Одеська морська академія»,
директор навчально-наукового інституту навігації.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, відмінник освіти, заслужений діяч науки і техніки України,
МАШКОВ Олег Альбертович,
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, проректор з наукової роботи;

доктор технічних наук, професор,
ПИСАРЧУК Олексій Олександрович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського,
професор кафедри обчислювальної техніки факультету інформатики та обчислювальної техніки;

доктор технічних наук, професор,
КРАВЧЕНКО Юрій Васильович,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій.

Захист відбудеться «21» квітня 2021 р. о 15:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.062.03 при Національному авіаційному університеті зв адресою: 03058, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1, корп 1, ауд 1.001.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий «_____» березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Н.С. Кузьменко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна є невід'ємною частиною світової морської спільноти та повністю інтегрована у процес впровадження останніх досягнень стосовно безпеки на флоті. Спостерігається тенденція зростання інтенсивності використання систем динамічного позиціонування (СДП) з метою розширення області їх застосування, збільшення видів технологічних робіт, які виконує рухомий об'єкт водного транспорту (РОВТ) під час динамічного позиціонування (ДП). Це зумовлює факти підвищення імовірності виникнення аварійних подій як від відомих джерел загроз, так і від не достатньо досліджених джерел загроз. Причини сформувалися під впливом суперпозиції оточуючих гетерогенних факторів. Необхідною умовою впровадження на флоті систем управління процесами високоточної навігації, зокрема СДП, є гарантування необхідного рівня безпеки РОВТ в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторій техноприродних комплексів (ТПК).

Складна ієрархічна поліергатична система навігації та управління рухом знаходиться під впливом багатьох чинників навколишнього середовища (НС) та у потоці гетерогенних подій. Суттєва частка ДП реалізується як процес високоточної навігації РОВТ в збуреному локально обмеженому просторі для виконання технологічної роботи. Тому працездатність морських ТПК визначає підвищені вимоги до гарантування безпеки цільового функціонування РОВТ.

Проблематиці руху присвячено труди 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 приєднаних мас 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. Беляєвським 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 (К. Ishikawa).

Розробка аналітичного апарату теорії ігор зумовила формування нового підходу до безпеки РОВТ. Проте існуюча практична реалізація різних моделей не може бути повністю узгоджена з усіма вимогами Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року та місцевим законодавством акваторії ТПК. Існування необхідної умови узгодження для кожної акваторії ТПК протирічить визначеним фіксованим моделям гравців, що можна подолати лише виходом за межі стаціонарних ігрових моделей.

Міжнародна конвенція про підготовку і дипломуванню моряків та несення вахти 1978 року призвана сприяти посиленню охорони людського життя і збереженню майна на морі. Конвенція додатково сприяє забезпеченню захисту морського середовища шляхом впровадження належного рівня кваліфікації кожного

члена вахтового складу професійних осіб РОВТ. Оператор систем динамічного позиціонування (ОСДП) для досягнення відповідного кваліфікаційного рівня щодо здійснення управління процесом ДП проходить додаткові, відповідно сертифіковані згідно з міжнародних стандартів, програми навчання.

Технічні стандарти для РОВТ, СДП висунуто міжнародними конвенціями та відображено у вимогах класифікаційних товариств (КТ), які здійснюють нагляд за РОВТ на протязі усього життєвого циклу, який починається від проектної документації для будівництва і закінчується його утилізацією. Проектування за допомогою систем автоматизованого проектування не вирішує вимог швидкості розробки та впровадження нової техніки. При зростанні загального рівня складності, маленький недолік приводить до аварії в процесі експлуатації.

Незважаючи на чисельні теоретичні та експериментальні дослідження провідних вчених морської галузі, високий рівень нормативно-правової бази щодо безпечного функціонування ТПК, впровадження стандартів та постійний нагляд з боку КТ, проблему підвищення рівня безпеки мореплавства не можна вважати вирішеною, а гарантування безаварійного ДП РОВТ на всьому просторово-часовому проміжку у збуреному локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи залишається актуальним.

Причини зумовлені тим, що до цього часу не було розроблено єдиного методологічного підходу до вирішення комплексної проблеми підвищення рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів з урахуванням поточної взаємодії між складними динамічними системами. Суттєві складові змінюються: системи різних рівнів, що складають РОВТ під управлінням ієрархічної команди професійних осіб; кожний ієрархічний рівень знаходиться у потоці гетерогенних подій; динамічні чинники залежать від локально обмеженого НС акваторії ТПК; функціональна стійкість залежить від характеру виконуваної технологічної роботи ТПК. Також не приділено уваги можливості утримання контролю над ризиками і недопущення розвитку загрозливої тенденції до рівня аварійного випадку, а також до оцінки безпеки при виникненні позаштатних ситуацій.

Актуальність теми дисертаційного дослідження пов'язана з необхідністю розв'язання протиріччя між вимогами зменшення аварійності, та реальними можливостями сучасної науки щодо опису всіх процесів функціонування динамічної складної системи ТПК у багатовимірному просторі експлуатаційних критеріїв в умовах гетерогенних збурень. Незважаючи на традиційні зусилля науковців, ситуація з безаварійністю за даними сучасної статистики реально не змінюється, що свідчить про відсутність принципових рішень.

Це вимагає розробки нових комплексних науково-методологічних основ гарантування безпеки кожного ситуативно керованого процесу ДП. Складна технічна система повинна розглядатися як: відповідні ієрархічно структуровані кваліфіковані персоналізовані РОВТ; технічні засоби, що спрямовані на реалізацію процесу високоточної навігації, яка відбувається в збуреній акваторії ТПК при виконанні технологічної роботи. Полієргатична система управління процесом високоточної навігації має бути досліджена як у штатних, так і у позаштатних режимах гарантування функціональної стійкості ТПК.

Кінцевий ефект безпеки ДП досягається підвищенням рівня знань та своєчасним реагуванням на загрози завдяки аналізу імовірності достовірного безпечного функціонування всіх компонентів поліергатичної системи РОВТ. Функціональна стійкість варіюється у конкретних умовах локально обмеженого простору при виконанні конкретної технологічної роботи. Для практичної реалізації оцінки застосовуються програмно-апаратні комплекси підтримки прийняття рішень, а отримані критерії безпеки ДП мають бути реалізовані шляхом адаптації до класифікованих загроз від різних гетерогенних джерел.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 13074 та її нової редакції, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2020 р. Тема дисертаційної роботи пов'язана з участю автора у наступних держбюджетних науково-дослідних роботах: «Вдосконалення діяльності операторів в судновій ергатичній системі», номер державної реєстрації 0113U000636, 2015 рік (автор був виконавцем роботи); «Розробка систем підтримки прийняття рішень судноводія», номер державної реєстрації 0115U002517, 2015 - 2016 роки (автор був виконавцем роботи); «Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення», номер державної реєстрації 0117U002176, 2017 - 2018 роки (автор був виконавцем роботи); «Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден», номер державної реєстрації 0119U100948, 2019 – 2020 роки (автор був виконавцем роботи).

Мета і задачі дослідження.

Метою є 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**:

1. 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.

2. Обґрунтування науково-методологічного апарату 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.

3. Формалізація архітектури техноприродних комплексів з керованим рівнем безпеки засобів навігації та управління рухом суден.

4. Формування методів синтезу безаварійних структур складних динамічних систем.

5. Математичне моделювання засобів навігації та управління, варіантів організації управління рухомими об'єктами водного транспорту.

6. Оцінювання ефективності запропонованих засобів динамічного програмування безпеки полієргатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів. Визначення перспектив подальших наукових досліджень.

Об'єктом дослідження є процес функціонування ієрархічної складної динамічної системи «людина-технічна система-середовище» при реалізації динамічного позиціонування рухомими об'єктами водного транспорту в локально обмеженому просторі виконання технологічних робіт техноприродних комплексів.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби динамічного програмування безпеки полієргатичного управління рухомих об'єктів водного транспорту у збурених локально обмежених акваторіях техноприродних комплексів.

При здійсненні дисертаційного дослідження були використані наступні **методи**: системного підходу в якості напряму 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.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, сформульованих у дисертації, підтверджується правильною постановкою науково-прикладної проблеми і вірним застосуванням математичного апарату. Допущення, покладені в основу теоретичних досліджень, є коректними. Розв'язання поставленої проблеми виконувалось у відповідності до існуючих методів. Достовірність наукового результату підтверджуються авторським свідоцтвом, патентом на корисну модель, який було зареєстровано в Державному реєстрі патентів України, досвідом практичного застосування результатів дослідження, що підтверджується актами впровадження.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблено та науково обґрунтовано методологію гарантування рівня безпеки полієргатичної 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.

2. Набув подальшого розвитку метод динамічного програмування безпеки, який відрізняється від відомих тим, що в імовірнісному просторі Колмогорова оперативно розв'язується багатокритеріальне завдання ситуативного гарантування безпеки поліергатичного управління рухомими об'єктами водного транспорту в гетерогенній збуреній акваторії.

3. Вперше 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.

4. 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.

5. Вперше 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 поліергатичної системи управління з урахуванням ризиків технологічної роботи.

6. Набув подальшого розвитку 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.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

Розроблено методологію динамічного програмування безпеки 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 судах 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.

Особистий внесок здобувача. Всі результати досліджень, які наведені у авторефераті і дисертації та виносяться на захист, одержані здобувачем самостійно. В усіх наукових працях, які опубліковано у співавторстві, здобувачем сформульовано методологічні аспекти конкретизації розв'язку задач відповідно до постановки завдань. Також у наукових працях, які написано у співавторстві, здобувачем було виконано: в роботі [9] – сформовано умову спостережуваності навігаційних параметрів для супутникових радіонавігаційних систем; [11] – було сформовано алгоритм почергового розв'язання інтегральних рівнянь; [15] - розроблено алгоритм обробки інформації; [16] - розроблено програмне забезпечення в середовищі програмування Matlab та виконано моделювання для сигналів тренажерного забезпечення; [17] - Було проведено аналіз особливостей отримання радіолокаційної інформації для тренажерного забезпечення; [18] - було розроблено програмне забезпечення; [21] - розроблено алгоритм гарантування безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту, який враховує випадкові похибки навігаційного комплексу; [22] - розроблено математичну модель кількісної оцінки безпеки функціонування поліергатичної системи при реалізації керованим рухомих об'єктом водного транспорту динамічного позиціонування; [25] - розроблено методику гарантування навігаційної безпеки під час динамічного позиціонування в умовах збурень факторів навколишнього середовища; [26] – сформована структура тренажера, розроблено програмне забезпечення, проведено імітаційне моделювання; [27] - розроблено концепцію для оцінки безпеки динамічного позиціонування, сформовано рівняння Колмогорова для груп операторів динамічного позиціонування, які знаходяться в умовах впливу потоків подій; [28] - було сформульовано умови перебування

рухомого об'єкту водного транспорту в безпечній області при детермінованих збуреннях чинників локально обмеженого простору акваторії; [30] - розроблено структуру комплексного тренажера, функціональну схему комплексного тренажера, процедуру його використання; [31] - здобувачем визначено необхідність врахування помилок бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання при оцінці безпеки динамічного позиціонування; [37] - проведено визначення складу необхідних інтегрованих інтелектуальних систем для захисту від критичних загроз оточуючого локально обмеженого простору; [38] - сформовано моделі та методи комплексної оцінки безпеки динамічного позиціонування при реалізації гарантованого адаптивного управління в умовах впливу зовнішнього оточуючого навколишнього середовища; [39] - сформовано модель цільової ергатичної інтеграції процесів на модульній основі; [43] - розроблено поетапну методичку обробки даних; [45] - розроблено спосіб покращення ергатичного навчання за рахунок прискорення процесів виявлення та ідентифікації цільових об'єктів; [46] - розроблено функціональний склад програмно-апаратних засобів тренажера та методичку, що враховує реальний розподіл функцій в поліергатичній системі; [50] - формалізовано концепцію комплексної інтеграції інформаційних процесів для якісного гарантування процесів реалізації алгоритмів безпечної навігації в гетерогенному збуреному локально обмеженому просторі; [51] - було розроблено методичку комплексної оцінки безпеки динамічного позиціонування.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися та були схвалені на: третій міжнародній конференції «Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» Національного транспортного університету, м. Київ у 2013 р.; конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» в м. Одеса у 2013 р.; конференціях «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» в м. Одеса у 2014, 2015 роках; п'ятій, шостій, сьомій Міжнародних конференціях студентів та молодих науковців, Одеського національного політехнічного університету в м. Одеса у 2015, 2016, 2017 роках; LXXII, LXXIII наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету, м. Київ у 2016, 2017 роках; науково-технічній конференції «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» Національного університету «Одеська морська академія», м. Одеса у 2017 р.; IX Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)», Херсонської державної морської академії в м. Херсон у 2017 р.; п'ятій міжнародній конференції студентів та молодих науковців «Сучасні інформаційні технології 2015 (MIT-2015)» Одеського національного політехнічного університету в м. Одеса у 2018 р.; дванадцятій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інфокомунікацій» в м. Київ у 2018 р.; науково-практичній конференції «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи» в м. Київ у 2018 р.; науково-технічній конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», 24-25 квітня 2018 р.; міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» м. Черкаси у 2019 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 51 наукову працю. 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.

Структура та обсяг дисертації. 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** на основі проведених досліджень та аналізу обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано науково-практичну проблему. Сформульовано цілі і завдання, об'єкт і предмет дослідження, відображена наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, а також інформація про їх апробацію. Наведено дані про публікації автора, авторське свідоцтво та патент на корисну модель, зв'язок з галузевими програмами.

У **першому розділі** аналіз застосування СДП та оцінка ризиків стосовно безпеки ДП проводиться як огляд методів безпечного позиціонування. Надано короткий опис СДП, систем позиціонування за допомогою гнучких зв'язків та комбінованого позиціонування за потреб безаварійного функціонування ТПК.

За визначенням Регістра судноплавства України (РУ) динамічне позиціонування – це позиціонування лише за допомогою активної тяги засобів активного керування (ЗАК) рушійного комплексу РОВТ. Важливу роль грає компенсація вектору зовнішніх сил $d_{зб}$, чії нелінійні динамічні збурення приймають участь у формуванні процесу взаємодії між РОВТ та чинниками НС акваторії ТПК і формуванні вектору реакції ЗАК $c_{РОВТ}$.

Перевага використання СДП, при подальшій розробці морських енергетичних ресурсів Україною, в мобільності та можливості контролю руху РОВТ в порівнянні з іншими видами позиціонування. СДП має на меті реалізацію керованого процесу високоточної навігації, при якому точка позиціонування повинна розташовуватися на одній вертикалі з комплексним центром мас РОВТ. Мета СДП полягає в підтриманні заданого людиною-оператором (ЛЮ) вектору стану шляхом реалізації законів термінального управління.

Проведено аналіз міжнародних стандартів безпеки ДП, міжнародних стандартів класифікації СДП, стандартів підготовки ОСДП, проаналізовано вимоги КТ до СДП та присвоєння відповідних знаків до основного символу класу. В першу чергу увагу приділено вимогам РУ та КТ, які входять до Міжнародної асоціації класифікаційних товариств.

Встановлено, що відомі науково-технічні підходи до вирішення проблеми підвищення безпеки ДП мають високу ефективність лише у межах області застосування свого математичного апарату. А використання суперпозиції підходів для розширення меж зводиться до проявів міждисциплінарних розривів, а також до того, що обчислювальна складність моделювання системи «людина-технічна система-середовище» зростає, що приводить до витрат часу не тільки при реалізації методів, але і при їх впровадженні та подальшому вдосконаленні.

В ході дисертаційного дослідження метод Ісікави для аналізу кореневих причин набув подальшого розвитку (рисунок 1), пройшовши через призму системного підходу, набувши динаміки поточкових процесів з приділенням уваги тенденціям змін на часовому проміжку, що дало змогу в дослідженні провести синтез безаварійних структур динамічних складних систем.



Рисунок 1 - Відображення складних динамічних причин аварій рухомих об'єктів водного транспорту з системами динамічного позиціонування у вигляді удосконаленої діаграми Ісікави

Аналіз аварійності світового флоту РОВТ з СДП було вперше проведено з урахуванням того, що поліергатична система знаходиться під впливом складного гетерогенного потоку збурень Λ :

$$\Lambda = \sum_{i=1}^d \Lambda_i, \quad (1)$$

де d – кількість гетерогенних джерел загроз, які збурюють поліергатичну систему.

Динамічна складна система «людина-технічна система-середовище» вперше розглядається як система, що пропускає через себе потоки збурень і реагує на них відповідним чином, включаючи рекурентне реагування. При цьому процес реалізації високоточної навігації може вийти з часового циклу гарантованого безпечного полієргатичного управління і призвести до настання аварії з різних причин, які розривають цей циклічний процес. Такий підхід дозволяє врахувати такі чинники, які ще себе не проявили. Тому виникає необхідність формування моделі досліджуваної системи $S_D(t)$ на просторово-часовому проміжку, яка реалізує процес ДП в умовах гетерогенних збурень ТПК. Для ідентифікації загроз було введено n -вимірний простір з відповідним базисом $\ddot{\Pi} = \eta_{\ddot{\Pi}}^n$. Система $S_D(t)$ функціонує в цьому сенсі в n -вимірному просторі $\ddot{\Pi}$ можливих альтернатив її станів:

$$\{S_D\} \subset \ddot{\Pi}, \quad (2)$$

де $\{S_D\}$ - множина станів досліджуваної системи.

Властивість гетерогенності та динаміки процесів на просторово-часовому інтервалі експлуатації РОВТ в збурених акваторіях ТПК зумовлює перехід від простору множини всіх можливих станів системи $\{U'\}$ до простору множини безпечних станів системи $\{U\}$, який має бути ідентифіковано за характеристикою χ_i . При чому $f: \chi_i \rightarrow \{U'_\chi\}$, а $\{U_\chi\} \subset \{U'_\chi\}$. Що формує множину параметрів безпечного функціонування РОВТ на просторово-часовому проміжку експлуатації і визначає умову безпечного функціонування в загальному виді $S_D(t) \in \{U\}$, як належність станів досліджуваної системи до ідентифікованої множини $\{U\}$ безпечних станів.

У другому розділі обґрунтовано методологічні засади безпеки динамічного позиціонування на основі аналізу аварійності РОВТ з динамічними принципами позиціонування та відомих загальних підходів до безпеки.

В процесі виконання технологічної роботи, що пов'язана з ДП в збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК, контроль процесів термінального управління високоточною навігацією здійснюється полієргатичною системою конкретного РОВТ. Властивість полієргатичності обумовлено тим, що зі складною технічною СДП взаємодіє група ОСДП, яка має ієрархічну структуру. Безпека таких систем залежить від здатності ЛО проводити ефективне управління при гарантовано безвідмовному функціонуванні технічних систем РОВТ.

В роботі введено множину станів досліджуваної системи $S_D(t)$ на просторово-часовому проміжку, що визначаються як безпечні та потенційно небезпечні, а для їх ідентифікації необхідно використовувати критерії за умовами функціональної стійкості для процесів навігації та управління. Процес ідентифікації реалізовано за допомогою індикаторної функції $I_{S_D}: S_D(t) \rightarrow \{0;1\}$, яку детерміновано наступним чином:

$$I_{S_d}(\{S_{Di}\}) = \begin{cases} 1, S_{Di} \in \{U_\chi\}, \\ 0, S_{Di} \notin \{U_\chi\}, \end{cases} \quad (3)$$

де $\{S_{Di}\}$ - множини станів досліджуваної системи; $I_{S_d}(\{S_{Di}\})$ – індикаторна функція множини $\{S_{Di}\}$; $\{U_\chi\}$ - ідентифікована вимірна множина безпечних станів за критерієм χ .

При ДП складна поліергатична система управління і реалізації процесів високоточної навігації має бути досліджена як ієрархічна структура. Ієрархічність будови визначає наявність множини елементів, які розташовано на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня.

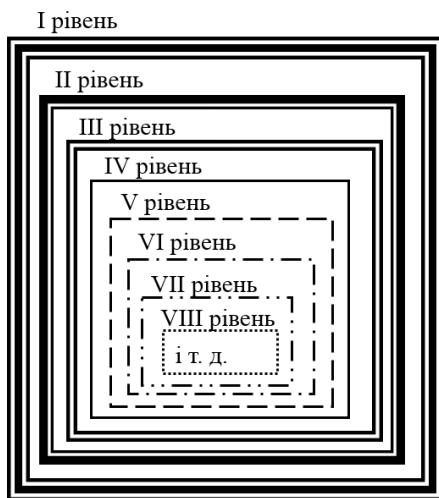


Рисунок 2 - Запропонована наочна форма вкладених структур ієрархії при аналізі складних динамічних систем

В роботі введено наступну класифікацію і наочне позначення рівнів ієрархії при декомпозиції та дослідженні складних систем. I рівень є найвищим рівнем декомпозиції, він відображає систему, як єдине ціле. Інші рівні ієрархії нумеруються відповідно «глибині» декомпозиції вкладених структур ієрархії для аналізу складної динамічної системи.

При розгляді складних ієрархічних систем, що є складовими досліджуваної системи $S_d(t)$ з множиною $\{U_\chi\}$, умова безпечного функціонування має наступний вид:

$$S_d(t) \in \{U_\chi\} \Leftrightarrow \forall(\chi_i) [\{f(\chi_i)\} \subseteq \{U_\chi\}], \quad (4)$$

де χ_i - характерний параметр динамічної складної системи на i -му кроці стаціонарної моделі динамічного програмування; f - функція.

Динаміка впровадженого критерію χ полягає в тому, що він може змінюватися з часом. Саме тому є доцільним використання у динамічному програмуванні множини $\{U_\chi\}$, що надає змогу для практичного пристосування теоретичних моделей функціонування динамічної складної системи в гетерогенних умовах, зокрема, до зміни характеру технологічної роботи, а особливо в ТПК при переході від технологічної роботи з помірними ризиками до роботи з високими ризиками.

При ДП поліергатична система взаємодіє з факторами НС локально обмеженого простору акваторії ТПК (рисунок 3): вітер, морське хвилювання, лід. Також на процес руху впливають батиметричні характеристики гідрології локально обмеженого простору, які зумовлюють специфіку взаємодії динамічних складних систем, яка виражена у приєднаних масах.

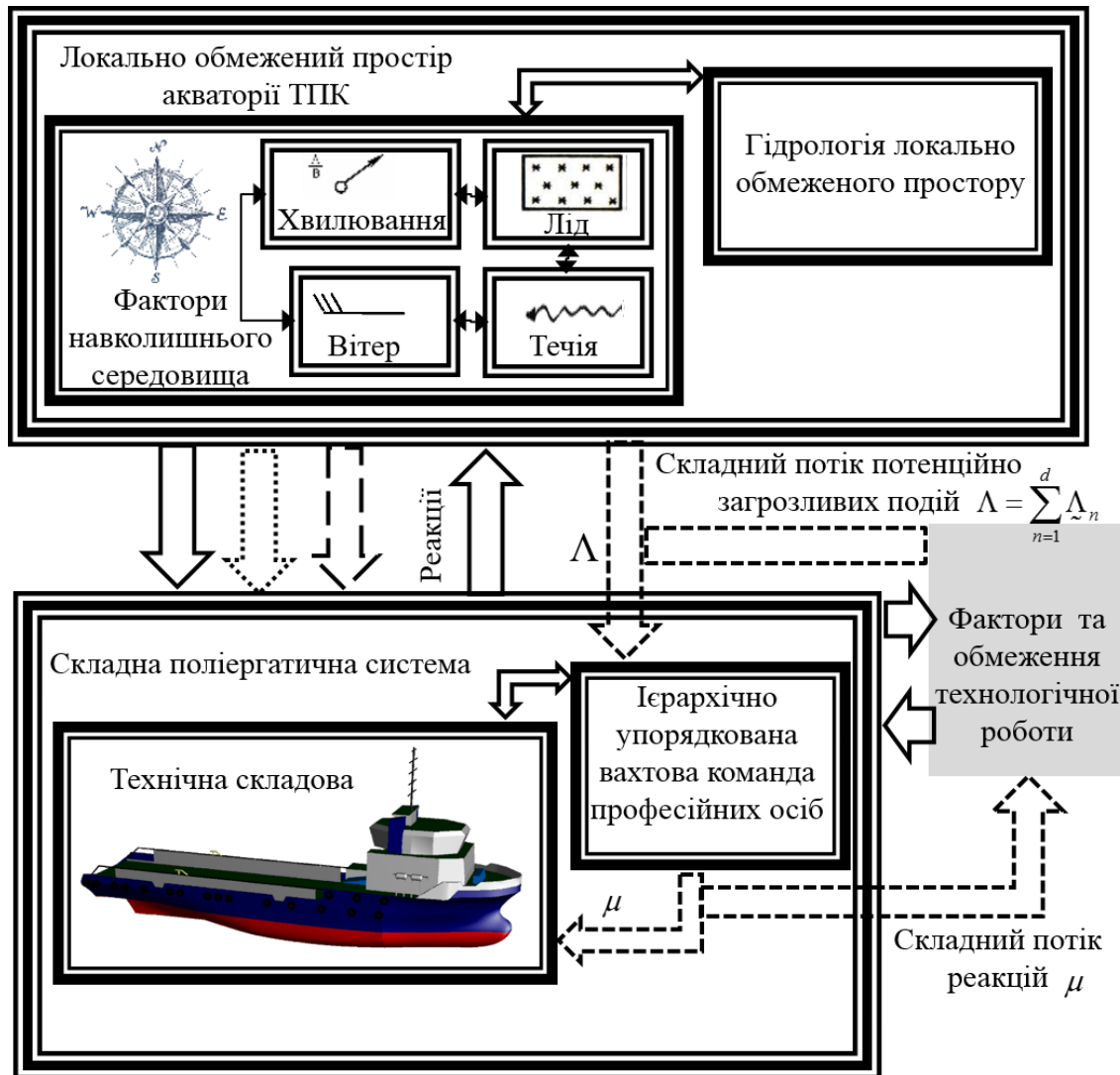


Рисунок 3 - Взаємодія складних систем при динамічному позиціонуванні в локально обмеженому просторі техноприродного комплексу

Хвилювання, течія та вітер представляють собою відомі математичні моделі рідини, що взаємодіють одна з одною та разом взаємодіють з корпусом РОВТ. Поліергатична система виробляє керуючі впливи, які реалізує рушійний комплекс РОВТ під загальним управлінням ієрархічно упорядкованої вахтової команди професійних осіб.

В сформованому просторі безпеки РОВТ ключовими являються потоки загрозованих подій Λ , які збурюють поліергатичну систему. Ці потоки формуються не тільки локально обмеженим простором, а й характером технологічної роботи, яку виконує РОВТ. Також джерелом потоку загрозованих подій може бути і сама технічна система, і тоді роль ОСДП являється ключовою. В процесі обробки подій всіма складовими поліергатичної системи саме ієрархічно упорядкована вахтова команда професійних осіб приймає та реалізує необхідні рішення, формуючи тим самим потік реакцій μ . Завдяки чому не отримують подальшого розвитку загрозовані події, які можуть призвести до аварії. Реалізація такого принципу є базою для гарантування безпечного управління для будь-якого типу РОВТ, де кожна ергатична система є взаємодією двох підсистем: керуючої й керованої.

При реалізації ДП РОВТ ієрархічно упорядкована вахтова команда професійних осіб взаємодіє з комплексом технічних систем. Як видно на II рівні декомпозиції наведеного рисунку, технічна і людська складові знаходяться на одному рівні. Таке положення суперечить класичній парадигмі, проте аналіз прогресу штучного інтелекту вказує на подальший розвиток СДП у повністю автономні системи управління РОВТ, а практично вже зараз деякі інтелектуальні функції прийняття рішень (наприклад, при відмові одного компонента системи ЗАК) СДП реалізує без втручання ОСДП. З методологічної точки зору така декомпозиція є вирішальною, бо дозволяє проводити дослідження синергетичної взаємодії двох систем, що є важливим не тільки для адекватної структуризації ієрархічної моделі, а й для формування самої моделі взаємодії, де інтелектуальні людська та технічна складові спільно взаємодіють для гарантування безпеки РОВТ при ДП в гетерогенно збуреній акваторії ТПК, зберігаючи вирішальну головну роль ЛО в процесі прийняття остаточних рішень.

Сформований підхід декомпозиції динамічної складної системи дозволяє аналізувати складові елементи і їх взаємозв'язок в рамках конкретної організаційної структури, де процес функціонування системи обумовлений не стільки властивостями її окремих елементів, скільки властивостями самої структури.

Гарантування безпеки РОВТ на просторово-часовому проміжку виконання рейсового завдання можливо лише при одночасному збігу наступних факторів: високої професійної підготовки ОСДП; гарантування безвідмовної роботи технічної складової полієргатичної системи, обладнаної відповідними технічними засобами для безпечної реалізації процесів високоточної навігації; виконання технологічної роботи згідно з міжнародними стандартами.

Це дозволяє сформулювати умову безпечного функціонування полієргатичної системи, метою якої є реалізація процесів навігації і виконання технологічної роботи в гетерогенно збуреній акваторії ТПК, що буде виконано при збереженні функціональної стійкості всіх технічних систем РОВТ, а також при гарантуванні надійного і безпечного управління і контролю кваліфікованим екіпажем РОВТ на всьому проміжку виконання рейсового завдання:

$$S_D(t) \in \{U_\chi\} = (S_{C1}(t) \in \{U_{\chi_1}\}) \wedge (S_{C2}(t) \in \{U_{\chi_2}\}) \wedge \dots$$

$$\dots \wedge (S_{Cm}(t) \in \{U_{\chi_m}\}) \Leftrightarrow \begin{cases} f: \chi_{1i} \rightarrow \{U_{\chi_1}\}, \\ f: \chi_{2i} \rightarrow \{U_{\chi_2}\}, \\ \dots \\ f: \chi_{mi} \rightarrow \{U_{\chi_m}\}, \end{cases} \quad (5)$$

де $S_{C1}, S_{C2} \dots S_{Cm}$ складові досліджуваної системи S_D ; $\chi_{1i}, \chi_{2i} \dots \chi_{mi}$ - відповідний до кожної складової динамічної складної системи характерний параметр; t - час, год.

Час t має бути узгодженою величиною з кроком моделювання i , що залежить від середовища програмної реалізації алгебраїчних моделей та стратегії методології динамічного програмування.

Порогові значення чинників НС акваторії ТПК, які не викликають катастрофічних наслідків формують значення $\inf \{U'_\chi\}$. Умова безпеки виглядає наступним чином:

$$I_{S_D}(\{S_{Di}\}) = 1 \Rightarrow S_D(t) \in \{U_\chi\} \Leftrightarrow \begin{cases} \forall(\chi_{1i}) [f(\chi_{1i}) \leq \inf \{U'_{\chi_1}\}], \\ \forall(\chi_{2i}) [f(\chi_{2i}) \leq \inf \{U'_{\chi_2}\}], \\ \dots \\ \forall(\chi_{mi}) [f(\chi_{mi}) \leq \inf \{U'_{\chi_m}\}]. \end{cases} \quad (6)$$

За сформованим виразом на базі множини $\{U'_\chi\}$ здійснюється ідентифікація множини безпечних станів $\{U_\chi\}$ на базі критеріїв. Запропонований підхід до оцінки безпеки роботи поліергатичної системи, яка включає СДП і групу ОСДП на просторово-часовому інтервалі функціонування РОВТ необхідно проводити у двох напрямках.

Перший напрямок полягає в оцінці можливості вахтового складу ОСДП здійснювати безпечно і ефективно управління СДП і виконання конкретної технологічної роботи в конкретних умовах збурень акваторії ТПК. У зв'язку зі значними сумами збитків і катастрофічними наслідками від можливих допущених помилок в поліергатичній системі, особливе значення набуває роль ОСДП в потоці подій Λ , що збурює систему, і може призвести до розвитку потенційно небезпечних сценаріїв.

Група ОСДП обробляє ці події, виробляє рішення відносно недопущення розвитку потенційно небезпечних сценаріїв і реалізує вироблені рішення, контролюючи процес їх виконання. Ймовірність надійної обробки потоків подій, що збурюють складну систему, прийняття і реалізація прийнятих рішень у безперервному однорідному часовому потоці групою ОСДП є чисельним показником безпеки людської складової поліергатичної системи управління. Ресурсом безпеки є можливість залучення додаткових ЛО для обробки потоку подій, що особливо важливо при ДП, яке проходить при відмовах компонентів СДП, в особливих умовах здійснення високоточної навігації або виконання технологічної роботи.

Другий напрямок полягає в оцінці функціональної стійкості технічних компонентів СДП. До використаного категоріального апарату також відноситься поняття безвідмовності функціонування об'єкта, яке розглядається в дисертаційній роботі у класичній постановці згідно з ДСТУ 2860-94 та полягає у виконанні потрібної функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу, при цьому людський чинник не розглядається. Утворена таким підходом множинність

дозволяє використовувати велику кількість математичних моделей для опису окремих елементів і системи в цілому за допомогою потоків відмов λ за відомими розподілами.

Складна досліджувана система може бути розділена на підсистеми різної міри складності і вивчатися з різних кутів, що залежать від специфіки системи і від можливостей технічних засобів. При формуванні моделі системи визначаються структура і зв'язки системи на основі механізму внутрішньої взаємодії елементів системи і зовнішнього її функціонування в заданих умовах життєвого циклу для конкретного РОВТ.

Встановлено, що для безпечного функціонування динамічної складної системи необхідно, щоб множина її гетерогенних складових мала необхідний рівень безпеки в імовірнісному просторі \ddot{K} за Колмогоровим:

$$\ddot{K} = (\tilde{\Omega}, \tilde{F}, \tilde{P}), \quad (7)$$

де $\tilde{\Omega}$ - довільна множина елементарних подій простору, які відбуваються в досліджуваній акваторії ТПК; \tilde{F} - сукупність підмножин $\tilde{\Omega}$, що утворюють σ -алгебру простору; \tilde{P} - імовірнісна міра простору.

Встановлено в ході дисертаційного дослідження, що вирішальною ознакою безпечного функціонування динамічної складної системи є необхідність виконання необхідних умов для реалізації процесів високоточної навігації РОВТ в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК. Переходячи до імовірності безпеки \tilde{P}_B в імовірнісному просторі Колмогорова в загальному вигляді визначено наступне:

$$\begin{aligned} & \left(\tilde{P}_{BC1i} \in \left\{ U_{\Phi(\tilde{\chi}_1)} \right\} \right) \wedge \left(\tilde{P}_{BC2i} \in \left\{ U_{\Phi(\tilde{\chi}_2)} \right\} \right) \wedge \dots \\ & \dots \wedge \left(\tilde{P}_{BCmi} \in \left\{ U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)} \right\} \right) \Rightarrow \begin{cases} \forall \left\{ U_{\Phi(\tilde{\chi}_1)} \right\} \in [\Phi(\tilde{\chi}_1); 1], \\ \forall \left\{ U_{\Phi(\tilde{\chi}_2)} \right\} \in [\Phi(\tilde{\chi}_2); 1], \\ \dots \\ \forall \left\{ U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)} \right\} \in [\Phi(\tilde{\chi}_m); 1], \end{cases} \quad (8) \end{aligned}$$

де $\tilde{P}_{BC1i}, \tilde{P}_{BC2i}, \dots, \tilde{P}_{BCmi}$ - імовірність безпечного функціонування 1, 2, ..., m - і складової динамічної складної системи; $\Phi(\tilde{\chi})$ - функція Лапласа від імовірнісного критерію $\tilde{\chi}$.

При дослідженні безпеки ДП РОВТ в імовірнісному просторі Колмогорова необхідно керуватись тим, що існує гранична імовірність, яка визначається на основі оцінки ризиків. Сенс цієї імовірності визначається як $\sup \{ U'_{\tilde{\chi}} \}$.

$$I_{\tilde{P}_B}(\tilde{P}_{BCmi}) = 1, \Rightarrow \left(\tilde{P}_{BC1}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{\lambda}_1)}\} \right) \wedge \left(\tilde{P}_{BC2}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{\lambda}_2)}\} \right) \wedge \dots$$

$$\dots \wedge \left(\tilde{P}_{BCm}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{\lambda}_m)}\} \right) \Leftrightarrow \begin{cases} \forall \left(\tilde{P}_{BC1i} \in \{U_{\Phi(\tilde{\lambda}_1)}\} \right) \left[\tilde{P}_{BC1i} \geq \sup\{U'_{\tilde{\lambda}_1}\} \right], \\ \forall \left(\tilde{P}_{BC2i} \in \{U_{\Phi(\tilde{\lambda}_2)}\} \right) \left[\tilde{P}_{BC2i} \geq \sup\{U'_{\tilde{\lambda}_2}\} \right], \\ \dots \\ \forall \left(\tilde{P}_{BCmi} \in \{U_{\Phi(\tilde{\lambda}_m)}\} \right) \left[\tilde{P}_{BCmi} \geq \sup\{U'_{\tilde{\lambda}_m}\} \right]. \end{cases} \quad (9)$$

Якщо в процесі обробки результатів моделювання індикаторна функція виду (3) обертається в нуль – це означає, що не вся множина станів систем є в безпечній зоні:

$$I_{\tilde{P}_B}(\tilde{P}_{BCmi}) = 0 : \Leftrightarrow \tilde{P}_{BCmi} \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\} \Rightarrow \left\{ S_{D\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\}i} \right\} \neq \emptyset. \quad (10)$$

Множина станів невиконання умови ідентифікується, як частина системи S_D , $\Rightarrow \left\{ S_{D\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\}i} \right\} \subset \{S_D\}$. Це означає, що система S_D має бути комплексно досліджена. Має бути встановлено уразливі з точки зору безпеки ланки, визначено наявність та можливість залучення резервів, встановлено часові обмеження, а також за результатами оновлена база даних рішень динамічного програмування. Практично в процесі реалізації методології покрокового динамічного програмування ідентифікується величина h , яка має сенс кількості складових досліджуваної системи S_D на i -му кроці моделювання, що переходить у небезпечний стан. Для гарантування безпеки систему S_D необхідно завчасно перевести систему у стан з підвищеним рівнем безпеки $^*S_{Di}$ за рахунок залучення наявних резервів:

$$S_{D(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)h} ^*S_{Di} \Rightarrow \left\{ S_{Ch\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\}(i-\kappa)} \right\} \xrightarrow{*(+1p)h} \{^*S_{Chi}\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} S_{C1\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\}(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)} ^*S_{C1i}, \\ S_{C2\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\}(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)} ^*S_{C2i}, \\ \dots \\ S_{Ch\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\lambda})}\}(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)} ^*S_{Chi}, \end{cases} \quad (11)$$

де $^*S_{Di}$ - стан системи, в якій відбулося залучення резервів; κ – кількість кроків в середовищі моделювання, які необхідно для входу нових компонентів у режим нормального функціонування.

Кількість кроків в сенсі практичного застосування методології динамічного програмування має сенс часу. В використаному у дисертаційній роботі середовищі програмування Matlab з інтегрованим пакетом Simulink час може бути промодельовано безпосередньо. Далі має бути проведено подальше дослідження системи $*S_d$ і при отриманні знов небезпечних станів – необхідно залучити резерви з підвищенням рівня безпеки.

В **третьому розділі** детально досліджується архітектура ТПК та людська складова поліергатичної системи, що знаходиться в стаціонарному пуасонівському потоці подій Λ . Способом уникнення аварійного розвитку потенційно небезпечних сценаріїв є обробка ОСДП загрозливих потоків подій. При первинній обробці в загальному потоці подій ОСДП виділяє важливі події, які викликають необхідність подальших дій. Під час вторинної обробки події діляться на категорії. Події I категорії важливості є початком ланцюга причинно-взаємопов'язаних подій, які можуть призвести до аварії. Реакція на ці події є першочерговою. Потік збурень I категорії Λ_1 складається з базового потоку збурень, що формується на основі статистичних даних про ТПК, об'єкт ДП, характер технологічної роботи. Перевищення заданих значень критеріїв збурень локально обмеженого простору формують додаткові складові:

$$\Lambda_1 = \sum_{i=1}^4 \Lambda_{1i} \Leftrightarrow \Lambda_1 = \Lambda_{1\sigma} + \Lambda_{1W} + \Lambda_{1h} + \Lambda_{1T}, \quad (12)$$

де $\Lambda_{1\sigma}$ - базова складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, 1/год; Λ_{1W} - складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, що сформована перевищенням заданих значень критерію швидкості вітру, 1/год; Λ_{1h} - складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, що сформована перевищенням заданих значень критерію висоти хвиль, 1/год; Λ_{1T} - складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, що сформована перевищенням заданих значень критерію швидкості течії, 1/год.

Події II категорії важливості не є початком ланцюга причинно-взаємопов'язаних подій, які можуть призвести до настання аварії в складній динамічній системі. Тому такі події можуть не вимагати першочергової реакції при реалізації поліергатичного управління. До таких подій можна віднести відповіді на інформаційні запити щодо проведення технологічних робіт, координацію виконання технологічних робіт, інші події, що вимагають реакції ОСДП, але не здатні призвести до аварії. При оцінці подій за методологією динамічного програмування в фокусі є безпека, тому події I категорії важливості мають пріоритет в обробці перед подіями II категорії важливості. Визначений підхід до класифікації потоків подій без післядії, які також характеризуються властивостями стаціонарності і ординарності є вирішальним для задач оцінки і корегування рівня безпеки в умовах гетерогенних збурень акваторії ТПК під час виконання ДП та здійсненні технологічної роботи РОВТ.

Марківські процеси з марківськими ланцюгами характеризують імовірність рівня безпеки через стани. Стани безпечного і ефективного функціонування поліергатичної системи під час проведення технологічних робіт, пов'язаних з ДП, можна охарактеризувати наступним чином: Υ_{00} - важливі події не відбулися; Υ_{10} - відбулася одна подія I категорії важливості і не відбулося жодної події II категорії важливості; Υ_{11} - відбулася одна подія I категорії важливості і одна подія II категорії важливості; Υ_{01} - не відбулося жодної події I категорії важливості, але відбулася одна подія II категорії важливості; Υ_{20} - відбулися дві події I категорії важливості і не відбулося жодної події II категорії важливості; Υ_{02} - не відбулося жодної події I категорії важливості, але відбулись дві події II категорії важливості; Υ_{03} - не відбулося жодної події I категорії важливості, але відбулися три події II категорії важливості; Υ_{12} - відбулася одна подія I категорії важливості і дві події II категорії важливості; Υ_{21} - відбулися дві події I категорії важливості і одна подія II категорії важливості; Υ_{30} - відбулися три події I категорії важливості і не відбулося жодної події II категорії важливості.

Перехідні стани марківських процесів, що характеризують функціонування поліергатичної системи з управління рухом РОВТ, яка знаходиться під керуванням групи кваліфікованих ОСДП, запропоновано описувати з використанням відповідного розміченого графу станів.

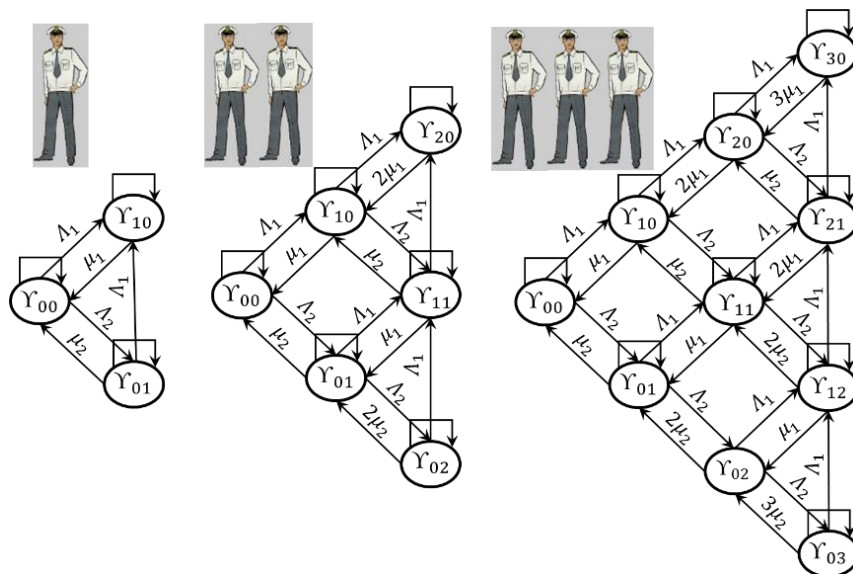


Рисунок 4 - Розмічений граф станів марківських процесів програмування діяльності робіт за напрямом навігації та управління рухом РОВТ для одного, двох та трьох ОСДП

Динамічне програмування безпеки навігації та ефективності управління в визначених умовах збуреного локально обмеженого простору здійснюється за допомогою формування рівнянь Колмогорова-Чепмена для однопараметричного сімейства безперервних лінійних операторів:

$$\frac{d\tilde{P}_{ij}}{dt} = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \Lambda_{ij} \tilde{P}_j - \sum_{j=1}^{\tilde{n}} \Lambda_{ij} \tilde{P}_i. \quad (13)$$

Рівняння Колмогорова-Чепмена можна формувати, користуючись розміченим графом станів системи. Для одного ОСДП отримано наступну систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\tilde{P}_{00}}{dt} = \mu_1 \tilde{P}_{10} + \mu_2 \tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + \Lambda_2) \tilde{P}_{00}, \\ \frac{d\tilde{P}_{10}}{dt} = \Lambda_1 \tilde{P}_{00} + \Lambda_1 \tilde{P}_{01} - \mu_1 \tilde{P}_{10}, \\ \frac{d\tilde{P}_{01}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{00} - (\Lambda_1 + \mu_2) \tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} = 1, \end{array} \right. \quad (14)$$

Виходячи з усіх можливих детермінованих станів ергатичної системи, ймовірності її перебування в безпечних та потенційно аварійних станах виражаються наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{P}_{BI} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{BII} = \tilde{P}_{00}, \\ \tilde{P}_{AI} = \tilde{P}_{10}, \\ \tilde{P}_{AII} = \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01}, \end{array} \right. \quad (15)$$

де $\tilde{P}_{BI}, \tilde{P}_{BII}$ - ймовірності безпечного функціонування системи з 1 ОСДП по відношенню до подій I або II категорії важливості відповідно; $\tilde{P}_{AI}, \tilde{P}_{AII}$ - ймовірності виникнення небезпеки відповідно до категорій. Для групи з двох ОСДП отримано:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\tilde{P}_{00}}{dt} = \mu_1 \tilde{P}_{10} + \mu_2 \tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + \Lambda_2) \tilde{P}_{00}, \\ \frac{d\tilde{P}_{10}}{dt} = \Lambda_1 \tilde{P}_{00} + 2\mu_1 \tilde{P}_{20} + \mu_2 \tilde{P}_{11} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1) \tilde{P}_{10}, \\ \frac{d\tilde{P}_{20}}{dt} = \Lambda_1 \tilde{P}_{10} + \Lambda_1 \tilde{P}_{11} - 2\mu_1 \tilde{P}_{20}, \\ \frac{d\tilde{P}_{01}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{00} + \mu_1 \tilde{P}_{11} + 2\mu_2 \tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_2) \tilde{P}_{01}, \\ \frac{d\tilde{P}_{11}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{10} + \Lambda_1 \tilde{P}_{01} + \Lambda_1 \tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + \mu_1 + \mu_2) \tilde{P}_{11}, \\ \frac{d\tilde{P}_{02}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + 2\mu_2) \tilde{P}_{02}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{11} = 1, \end{array} \right. \quad (16)$$

Імовірнісна оцінка безпечних та небезпечних станів поліергатичного управління базується на виразі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{P}_{\frac{BI}{2}} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02}, \\ \tilde{P}_{\frac{BII}{2}} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{\frac{AI}{2}} = \tilde{P}_{20}, \\ \tilde{P}_{\frac{AII}{2}} = \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02}. \end{array} \right. \quad (17)$$

А для групи з трьох ОСДП система прийме наступний вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\tilde{P}_{00}}{dt} = \mu_1 \tilde{P}_{10} + \mu_2 \tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + \Lambda_2) \tilde{P}_{00}, \\ \frac{d\tilde{P}_{10}}{dt} = \Lambda_1 \tilde{P}_{00} + 2\mu_1 \tilde{P}_{20} + \mu_2 \tilde{P}_{11} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1) \tilde{P}_{10}, \\ \frac{d\tilde{P}_{20}}{dt} = \Lambda_1 \tilde{P}_{10} + 3\mu_1 \tilde{P}_{30} + \mu_2 \tilde{P}_{21} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + 2\mu_1) \tilde{P}_{20}, \\ \frac{d\tilde{P}_{01}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{00} + \mu_2 \tilde{P}_{11} + 2\mu_2 \tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_2) \tilde{P}_{01}, \\ \frac{d\tilde{P}_{11}}{dt} = \Lambda_1 \tilde{P}_{01} + \Lambda_2 \tilde{P}_{10} + 2\mu_1 \tilde{P}_{21} + 2\mu_2 \tilde{P}_{12} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \tilde{P}_{11}, \\ \frac{d\tilde{P}_{21}}{dt} = \Lambda_1 (\tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{12}) + \Lambda_2 \tilde{P}_{20} - (\Lambda_1 + \mu_2 + 2\mu_1) \tilde{P}_{21}, \\ \frac{d\tilde{P}_{02}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{01} + \mu_1 \tilde{P}_{12} + 3\mu_2 \tilde{P}_{03} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + 2\mu_2) \tilde{P}_{02}, \\ \frac{d\tilde{P}_{12}}{dt} = \Lambda_1 (\tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{03}) + \Lambda_2 \tilde{P}_{11} - (\Lambda_1 + \mu_1 + 2\mu_2) \tilde{P}_{12}, \\ \frac{d\tilde{P}_{03}}{dt} = \Lambda_2 \tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + 3\mu_2) \tilde{P}_{03}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{30} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{03} = 1. \end{array} \right. \quad (18)$$

Оцінка безпечних та небезпечних станів виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} \tilde{P}_{BI} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{03}, \\ \tilde{P}_{BII} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{20}, \\ \tilde{P}_{AI} = \tilde{P}_{30}, \\ \tilde{P}_{AII} = \tilde{P}_{30} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{03}, \end{cases} \quad (19)$$

Остаточна оціночна ймовірність стану безпечного функціонування поліергатичної системи в умовах збурень потоків загрозливих подій:

$$\begin{cases} \tilde{P}_B = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{BI} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{BII}, \\ \tilde{P}_A = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{AI} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{AII}, \\ \tilde{P}_B + \tilde{P}_A = 1. \end{cases} \quad (20)$$

Відповідно до міжнародних вимог мінімальний вахтовий склад при здійсненні ДП РОВТ складає 2 ОСДП, тому аналіз роботи 1 ОСДП може бути корисний у випадках дослідження реалізації управління у позаштатних ситуаціях і за обставин, коли 1 ОСДП приймає повністю управління на себе. Подальшим розвитком дослідження такого вахтового складу є розгляд управління РОВТ при виконанні переходу між точками виконання ДП.

У **четвертому розділі** формування методів синтезу проведено для технічної складової поліергатичної системи як ієрархічно структурованої сукупності систем, що можуть мати різні відмови. У вирішенні задачі безвідмовності функціонування СДП РОВТ найважливішими є забезпечення необхідного імовірнісного рівня безвідмовної роботи протягом виконання необхідної технологічної роботи, а також прогнозування працездатності вирішальних технічних систем з точки зору допустимих меж зміни характеристик і обмежень критеріїв, що мають гетерогенний характер, з урахуванням самовідновлювання за допомогою залучення резервів.

Продовжуючи дослідження простору Колмогорова з точки зору безвідмовності технічних систем встановлено, що час безвідмовної роботи є випадковою величиною, що підпорядковується відповідному розподілу, де елементарні події - це результати моделювання випадкового експерименту. Вимога, що \tilde{F} є σ -алгеброю підмножин $\tilde{\Omega}$, дозволяє визначати ймовірність шуканих подій, ймовірність об'єднання зліченної кількості необхідних для безпеки ТПК подій, а також ймовірність доповнення цих подій для повноти дослідження.

Для вирішення практичних задач щодо безвідмовної роботи технічних складових РОВТ у імовірнісному просторі за Колмогоровим необхідно визначити випадкову величину часу T з розподілом \tilde{P} . В дослідженні функція розподілу

шуканої випадкової величини $F(T)$ було задано формулою з урахуванням часу безвідмовної роботи τ :

$$F(T) = \tilde{P}(T \leq \tau) \equiv \tilde{P}([0, \tau]). \quad (21)$$

Під час ДП РОВТ технічні системи взаємодіють та виконують функціональні призначення, і саме безвідмовність роботи у період реалізації процесу високоточної навігації гарантує технічну складову безпеки. Для цього необхідно вирішити питання визначення імовірності безвідмовного функціонування системи в необхідний для виконання технологічної роботи проміжок часу. При цьому додатковою умовою є факт безвідмовної роботи системи на попередньому інтервалі.

Таке завдання вирішено застосуванням класичного методу, в основі якого є розподілення часу безвідмовної роботи $F(T) = 1 - e^{-\int_0^T \lambda(t) dt}$ та інтенсивність відмов $\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$. Інтенсивність відмов являється важливим при практичних розрахунках імовірності безпечного функціонування поліергатичної системи.

Імовірність $\tilde{P}(\tau > T | t_{II})$ обчислюється як відношення $\tilde{P}(\tau > T + t_{II})$ до $\tilde{P}(\tau > t_{II})$. Тобто імовірності того, що відмов не було за час $T + t_{II}$ до того, що відмов не було за час t_{II} .

$$\tilde{P}(\tau > T | t_{II}) = \frac{\tilde{P}(\tau > T + t_{II})}{\tilde{P}(\tau > t_{II})} = \frac{e^{-\int_0^{t_{II}+T} \lambda(t) dt}}{e^{-\int_0^{t_{II}} \lambda(t) dt}} = e^{-\int_{t_{II}}^{t_{II}+T} \lambda(t) dt}, \quad (22)$$

де t_{II} - час, протягом якого технічна система функціонувала без відмов, год.

Завдяки проведеному аналізу вимог РУ та провідних КТ, які входять до Міжнародної асоціації класифікаційних товариств встановлено, що специфіка функціонування системи корпусу РОВТ полягає в тому, що при належному догляді з боку КТ функціональна стійкість на всьому протязі життєвого циклу РОВТ не виходить за безпечні межі.

Загроза безпеці РОВТ може надходити з боку характеру операцій, які РОВТ виконує. Визначено ризики при здійсненні маневрування у відкритому морі, у портових водах, а також при виконанні інших задач, які вимагають дотику між двома РОВТ. Одним з вагомих джерел небезпеки для системи корпусу РОВТ є неконтрольовані навантаження, які перевищують визначені КТ максимально допустимі навантаження на корпус. Вирішальною при цьому є площина дотику для вірного встановлення якої було побудовано тривимірну модель корпусу РОВТ ТБС проекту УТ 733-2.

Іншим джерелом небезпеки, незважаючи на високий рівень професійної підготовки командного складу, як показує практика, є виконання небезпечного маневру. Визначено, що рівень кваліфікації вахтового персоналу не змінюється досить швидко, тому в межах одного рейсу його можна вважати постійним:

$$\gamma_{\tilde{p}_i} := \gamma_{\tilde{p}}, i \in [1; K], \quad (23)$$

де $\gamma_{\tilde{p}_i}$ - імовірність небезпечного управління РОВТ на i -му виконанні маневрування; $\gamma_{\tilde{p}}$ - імовірність виконання небезпечного маневрування РОВТ; K - кількість маневрувань.

Практичний інтерес експлуатації РОВТ представляє собою імовірність того, що на протязі перших K маневрів не буде здійснено грубих помилок.

$$\tilde{P}(\varepsilon \succ K) = (1 - \gamma_{\tilde{p}})^{K+1}, \quad (24)$$

де ε - кількість нормально завершених маневрів РОВТ професійним фахівцем; K - число маневрів, які представляють практичний інтерес.

При експлуатації РОВТ виникає необхідність поточної оцінки безпечного функціонування складних технічних систем, які складаються з багатьох компонентів. Сформована схема функціональної стійкості РОВТ як технічної системи показує наявність основних відношень на III рівні ієрархії, який представляє собою систему ланцюгового типу.

В сучасних РОВТ системи функціонують як цілісна група з багатьох складових компонентів, між якими існують зв'язки, що забезпечують одночасну роботу усіх елементів, блоків, модулів єдиного системного комплексу для вирішення синергетичних задач, які не можуть бути розв'язані окремими складовими.

В **п'ятому розділі** за допомогою засобів математичного моделювання визначено умови досягнення заданого рівня безпеки систем бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання і управління збуреним рухом в локально обмеженому просторі динамічного позиціонування. Системи, які входять до складу бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання, що використовуються при ДП РОВТ, а також для здійснення загальної навігації, складаються з навігаційного обладнання, яке необхідне для виміру параметрів вектору стану РОВТ при здійсненні процесу високоточної навігації, і проводить вимірювання наступних величин: лінійних координат; лінійних швидкостей (лінійних прискорень); кутових координат; кутових швидкостей (кутових прискорень); швидкості та напрямку вітру; швидкості та напрямку течії; осадки РОВТ; крену РОВТ; диференту РОВТ.

Навігаційні системи для оцінки лінійних координат та швидкостей РОВТ: глобальні супутникові навігаційні системи; гідроакустичні системи; інклінометричні системи; системи інерціальної навігації; радіолокаційні системи; лазерні системи. Системи для оцінки курсу РОВТ: магнітні компаси; гірокомпаси. Системи для оцінки кутової швидкості: гіроскопи, які входять до складу систем інерціальної навігації. Анемометри для оцінки швидкості вітру і флюгера для оцінки напрямку вітру. Системи для оцінки крену і диференту: кренометри та датчики вертикальної орієнтації. Оцінка параметрів хитавиці здійснюється за допомогою акселерометрів та гіроскопів. РЛС застосовують для спостереження за оточуючим середовищем.

Подальшим розвитком науково-методологічного апарату з гарантування функціональної стійкості технічних систем є запропонована методологія динамічного програмування шляхом оперативного аналізу і синтезу з залученням резервів в складних автоматичних комплексах. Дослідження проводилось з урахуванням резервування, а також функціонального місця кожної системи в процесі реалізації керованої навігації для чого було проведено детальний опис систем та визначено розподіл функцій для реалізації безпечної навігації.

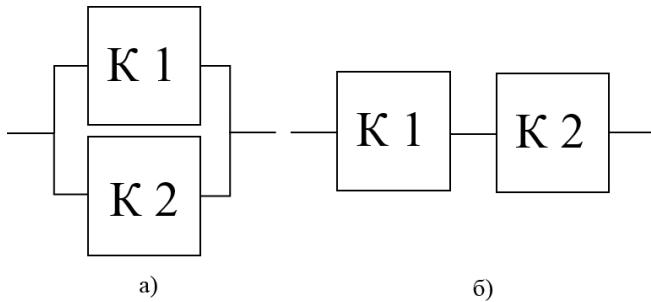


Рисунок 5 - Наочний спосіб представлення структури резервування

а) - компоненти паралельно резервують один одного; б) - компоненти, без яких робота системи неможлива

Резервування технічних систем є ключовою вимогою КТ для безпеки ДП. Тому при дослідженні і синтезі схем функціональної стійкості необхідно враховувати ступінь резервування елементів для визначеного РОВТ з СДП конкретного класу. Для цього на базі системного підходу було розроблено практичний наочний спосіб представлення інформації про надійність технічних систем, як компонентів єдиної цілісної системи, що синергетично взаємодіють для досягнення цілей безпеки поліергатичного управління.

Наочний спосіб подання інформації значно спрощує формування аналітичних рівнянь для визначення функціональної стійкості технічних систем. Відображено структури резервування компонентів для різних класів СДП на основі вимог РУ та міжнародних нормативних документів. Пропонована методологія передбачає випадки, коли резерви вводяться заздалегідь для надійної роботи згідно з (8), що відкриває нові можливості для убезпечення безпеки на тривалих часових проміжках життєвого циклу РОВТ.

В шостому розділі проведено оцінювання ефективності запропонованих засобів динамічного програмування безпеки поліергатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів на базі визначених марківських графів та схем надійності складових систем РОВТ, з урахуванням резервування для СДП відповідного класу.

В якості об'єкту моделювання було обрано судно проекту УТ 733-2, яке відноситься до визначеного перспективного типу транспортно-буксирних суден при подальшій розробці ресурсів Чорноморського та Азовського морів.

Імовірність безвідмовного функціонування технічної складової поліергатичної системи для ТБС проекту УТ 733-2 було сформовано наступним чином:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{БТС} = & \tilde{P}_К \cdot \tilde{P}_{АПС} \cdot \tilde{P}_{СО} \cdot \tilde{P}_{ПС} \cdot \tilde{P}_{ОсС} \cdot \tilde{P}_{СВМ} \cdot \tilde{P}_{СВД} \cdot \tilde{P}_{ПЖ} \cdot \tilde{P}_{БалС} \cdot \tilde{P}_{ДонС} \cdot \tilde{P}_{ББКНО} \times \\ & \times \tilde{P}_{ЗАК} \cdot \tilde{P}_{РЗ} \cdot \tilde{P}_{СС} \cdot \tilde{P}_{Енс} \cdot \tilde{P}_{СПБС}, \end{aligned} \quad (25)$$

де \tilde{P}_K - імовірність безвідмовного функціонування системи корпусу, надбудов та рубок; $\tilde{P}_{АПС}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації; $\tilde{P}_{СО}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи освітлення; $\tilde{P}_{ПС}$ - імовірність безвідмовного функціонування паливної системи; $\tilde{P}_{ОС}$ - імовірність безвідмовного функціонування осушної системи; $\tilde{P}_{СВМ}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи вентиляції та мікроклімату; $\tilde{P}_{СВД}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи водонепроникних дверей; $\tilde{P}_{ПЖ}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи пожежогасіння; $\tilde{P}_{БалС}$ - імовірність безвідмовного функціонування баластної системи; $\tilde{P}_{ДопС}$ - імовірність безвідмовного функціонування допоміжних систем; $\tilde{P}_{ББКНО}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи бортового багатofункціонального комплексу навігаційного обладнання і управління збуреним рухом в локально обмеженому просторі; $\tilde{P}_{ЗАК}$ - імовірність безвідмовного функціонування системи рушіїв та засобів активного керування рухом РОВТ; $\tilde{P}_{РЗ}$ - імовірність безвідмовного функціонування комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв; $\tilde{P}_{СС}$ - імовірність безвідмовного функціонування спеціалізованих систем рухомого об'єкту водного транспорту; $\tilde{P}_{ЕнС}$ - імовірність безвідмовного функціонування енергетичної системи; $\tilde{P}_{СПБС}$ - імовірність безвідмовного функціонування санітарно-побутової системи.

Досліджено імовірність безпечного функціонування всієї технічної системи РОВТ проекту УТ 733-2 на проміжку роботи в 40000 годин. При чому було введено додаткову умову, яка полягала у тому, що комплекс технічних систем пропрацював безвідмовно на протязі 3000 годин (рисунок 6).

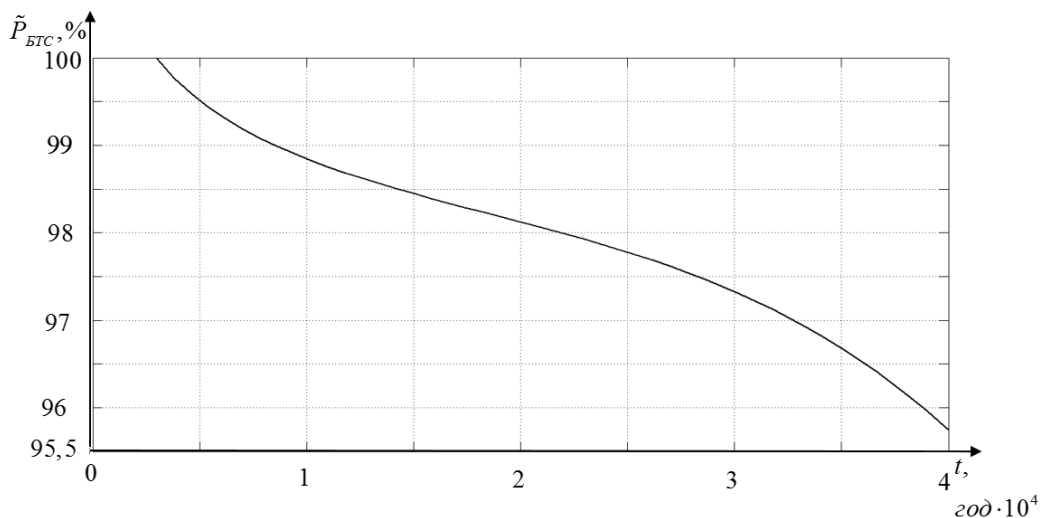


Рисунок 6 - Імовірність безпечного функціонування технічної складової поліергатичної системи РОВТ проекту УТ 733-2 з СДП другого класу

Значення фінальної імовірності знаходяться в обраному довірчому інтервалі $1,64\sigma$ на всьому протязі моделювання. Аналізуючи компоненти (25) видно що характер технологічної роботи ТПК впливає на значення \tilde{P}_{BTC} . При виконанні роботи постачання деякі складові можна виключити з розгляду - такі як спеціалізовані буксирні системи і системи для заведення якорів, що не використовуються.

Результати проведеного за сформованими алгебраїчними моделями моделювання здійснення маневру підходу визначають безпечний проміжок управління, де імовірність безпечного виконання підходу близька до одиниці при керуванні РОВТ висококваліфікованим капітаном/ОСДП, що зумовлює необхідність застосування розробленого методу та запатентованого тренажерного комплексу для підвищення рівня кваліфікації.

Вперше автором сформовано методологію динамічного програмування безпеки поліергатичного управління, яка має кількісні оцінки в якості динамічних критеріїв, що визначаються в вигляді $\sup\{U'_{\tilde{\chi}_m}\}$ та $\inf\{U'_{\chi_m}\}$ для моделі порогового типу, яка реалізує стратегію гарантування безпеки поліергатичного управління на всьому часовому проміжку шляхом залучення додаткових ресурсів. Також в розділі було сформовано інфологічну модель динамічного програмування безпеки поліергатичного управління в екстремальних гетерогенних умовах збурень ТПК.

Сформовано технологію упереджених прогнозних розрахунків із застосуванням розробленого автором програмного забезпечення «Інспектор поліергатичних систем» (Авторське свідоцтво № 64517) при проведенні попередньої оцінки ризиків при плануванні ДП в акваторії можливої експлуатації РОВТ. Що дозволяє оптимальним чином підібрати структуру і склад професійних осіб, які виконують управління процесом високоточної навігації, а також визначити структуру і рівень резервування технічної складової.

Однією з особливостей є дослідження локально обмеженого простору на першому етапі для недопущення розвитку потенційно небезпечних сценаріїв з урахуванням стандартів Міжнародного кодексу управління безпекою. Система локально обмеженого простору $S_{ЛОП}$ взаємодіє зі складною поліергатичною системою $S_{СПС}$, при цьому $c_{РОВТ} \propto d_{зб}$. Індикаторна функція для запасу керованих реакцій елементів рушійного комплексу має вид:

$$I_{\Delta F_{кер}}(\{\{\Delta F_{кер}\}\}) = \begin{cases} 1, \Delta F_{кер}(t) \in \{U_{кер}\}, \\ 0, \Delta F_{кер}(t) \notin \{U_{кер}\}, \end{cases} \quad (26)$$

де $\Delta F_{кер}$ - запас керуючих впливів, %, $\{U_{кер}\}$ - множина допустимих запасів керованих реакцій, %.

На базі проведених досліджень сформовано в аналітичному вигляді вираз для проведення аналізу впливу критеріїв для чинників НС локально обмеженого простору акваторії ТПК на безпеку мореплавання (4):

$$\begin{aligned}
 S_{\text{ЛОП}}(t) \in \{U_{\chi_{\text{ЛОП}}}\} &= (S_w(t) \in \{U_{\chi_{\bar{w}}}\}) \wedge (S_h(t) \in \{U_{\chi_{h_s}}\}) \wedge \\
 &\wedge (S_T(t) \in \{U_{\chi_{V_T}}\}) \wedge (S_l(t) \in \{U_{\chi_l}\}) \wedge \\
 &\wedge (S_{\lambda_{\text{РОВТ}}}(t) \in \{U_{\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}}}}\}) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
 f(\chi_{\bar{w}}) = \inf \{U'_{\chi_{\bar{w}}}\}, \\
 f(\chi_{h_s}) = \inf \{U'_{\chi_{h_s}}\}, \\
 f(\chi_{V_T}) = \inf \{U'_{\chi_{V_T}}\}, \\
 f(\chi_{h_l}) = \inf \{U'_{\chi_{h_l}}\}, \\
 f(\chi_{C_l}) = \inf \{U'_{\chi_{C_l}}\}, \\
 f(\chi_{T_l}) = \inf \{U'_{\chi_{T_l}}\}, \\
 f(\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}11}}) = \inf \{U'_{\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}11}}}\}, \\
 f(\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}22}}) = \inf \{U'_{\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}22}}}\}, \\
 f(\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}33}}) = \inf \{U'_{\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}33}}}\},
 \end{array} \right. \quad (27)
 \end{aligned}$$

де $S_{\text{ЛОП}}$ - система локально обмеженого простору акваторії ТПК; S_w, S_h, S_T, S_l - складові системи локально обмеженого простору: система поривчастого вітру, система хвилювання, система течії, система льодових формувань відповідно; $\chi_{\bar{w}}$ - критерій по середній швидкості вітру, м/с; χ_{h_s} - критерій по значній висоті хвиль, м; χ_{V_T} - критерій по швидкості течії, м/с; χ_{h_l} критерій по товщині льоду, м; χ_{C_l} - критерій по згуртованості льоду, вимірюється від одного до десяти; χ_{T_l} - критерій по віку льоду, вказується вік та стадія розвитку; $\chi_{\lambda_{\text{РОВТ}}}$ - критерій по приєднаним масам РОВТ з відповідними вісями; t – час, год.

На рисунку 7 наведено інфологічну модель динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій ТПК, яка відображає сутність розробленої методології, її основні зв'язки та динаміку.

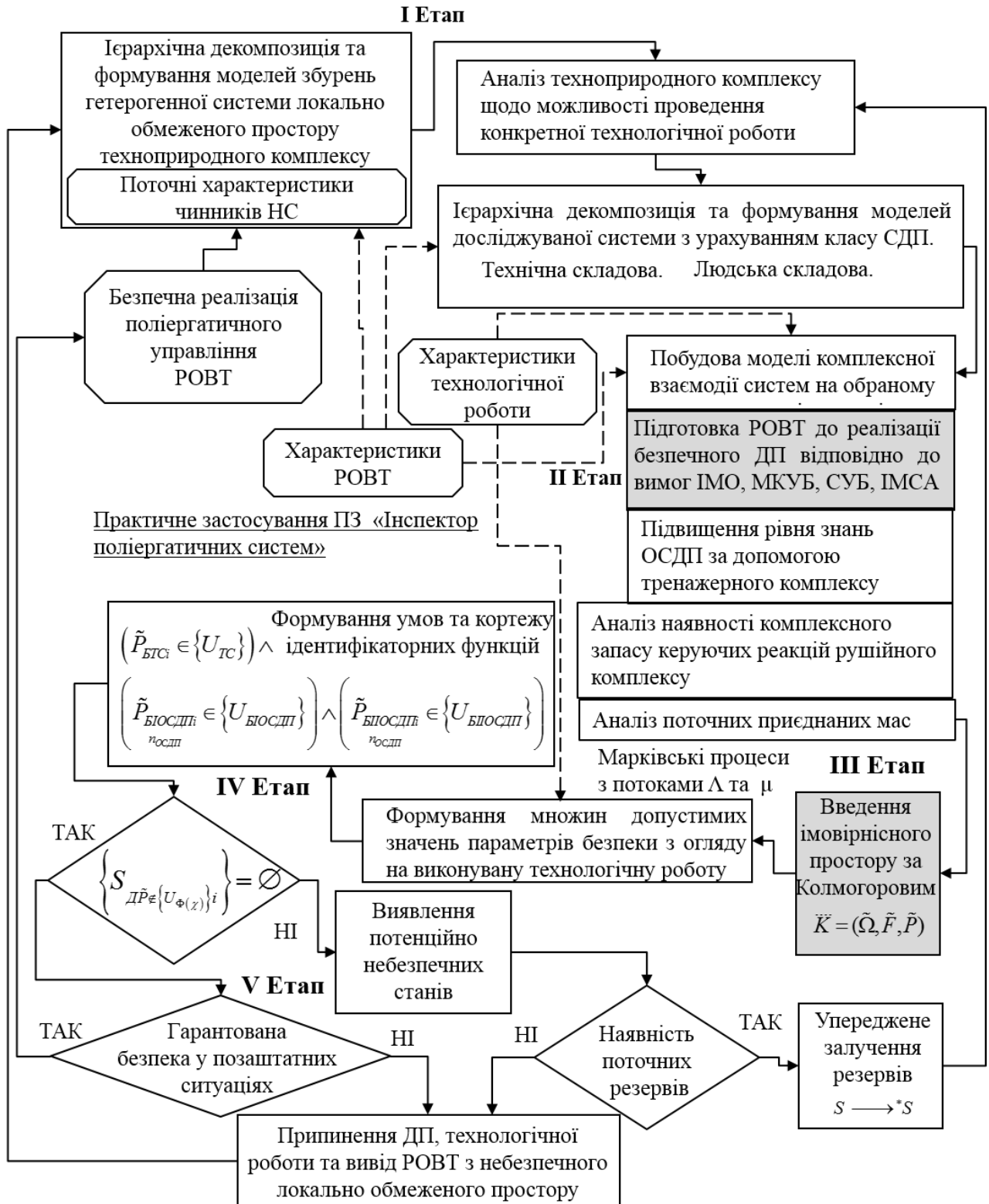


Рисунок 7 - Інфологічна модель динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів

Практична реалізація виразу (27) здійснюється за допомогою індикаторної функції. Одним з результатів взаємодії РОВТ та НС являються приєднані маси та момент інерції РОВТ, що мають характерний параметр та його критерій, які виглядають наступним чином:

$$\chi_{\lambda_{POBT}} = \begin{cases} \chi_{\lambda_{POBT11}} = \frac{\lambda_{POBT11H}}{\lambda_{POBT11}}, \\ \chi_{\lambda_{POBT22}} = \frac{\lambda_{POBT22H}}{\lambda_{POBT22}}, \\ \chi_{\lambda_{POBT66}} = \frac{\lambda_{POBT66H}}{\lambda_{POBT66}}; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\lambda_{POBT11H}}{\lambda_{POBT11}} \in [1;1,3], \\ \frac{\lambda_{POBT22H}}{\lambda_{POBT22}} \in [1;1,3], \\ \frac{\lambda_{POBT66H}}{\lambda_{POBT66}} \in [1;1,3], \end{cases} \quad (28)$$

де $\chi_{\lambda_{POBT}}$ - характерний критерій по приєднаним масам РОВТ; $\lambda_{POBT11}, \lambda_{POBT22}$ - приєднані маси РОВТ по вісям X та Y, кг; λ_{POBT66} - момент інерції навколо вісі Z в зв'язаній системі координат на глибокій воді, кг·м²; $\lambda_{POBT11H}, \lambda_{POBT22H}$ - приєднані маси РОВТ по вісям X та Y, кг; $\lambda_{POBT66H}$ - момент інерції навколо вісі Z в зв'язаній системі координат на мілководді, кг·м².

Результати проведеного моделювання поліергатичного управління ТБС проекту UT 733-2 надали змогу провести оцінку ризиків функціонування різного складу вахти в екстремальних умовах ТПК (рисунок 8).

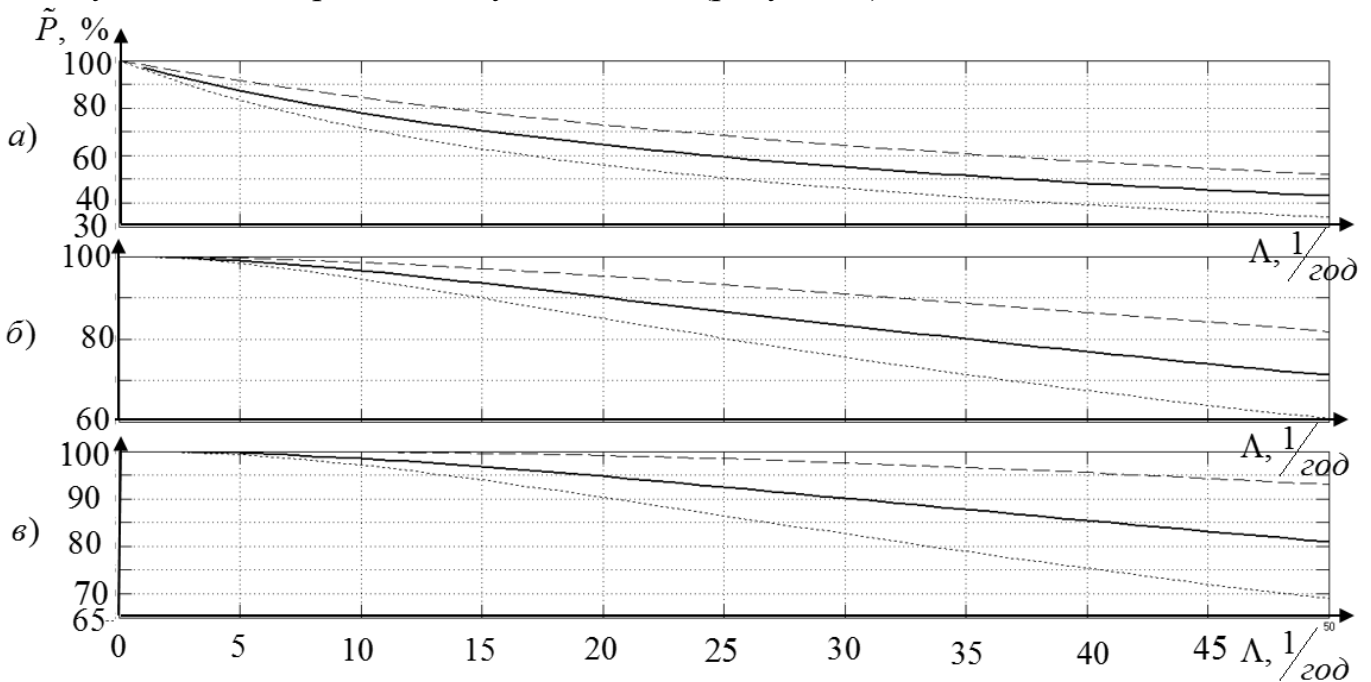


Рисунок 8 - Імовірнісні характеристики безпеки поліергатичного управління під впливом потоків збурень ТПК

а) для одного ОСДП; б) для двох ОСДП; в) для трьох ОСДП;

- \tilde{P}_B ; --- \tilde{P}_{BI} ; \tilde{P}_{BII}

Проведено моделювання і корегування поліергатичної системи при виході її у потенційно небезпечну зону. При моделюванні в фокусі було поставлено імовірність \tilde{P}_{BI} , а також досліджено імовірність \tilde{P}_B , яка виступала в ролі контролю.

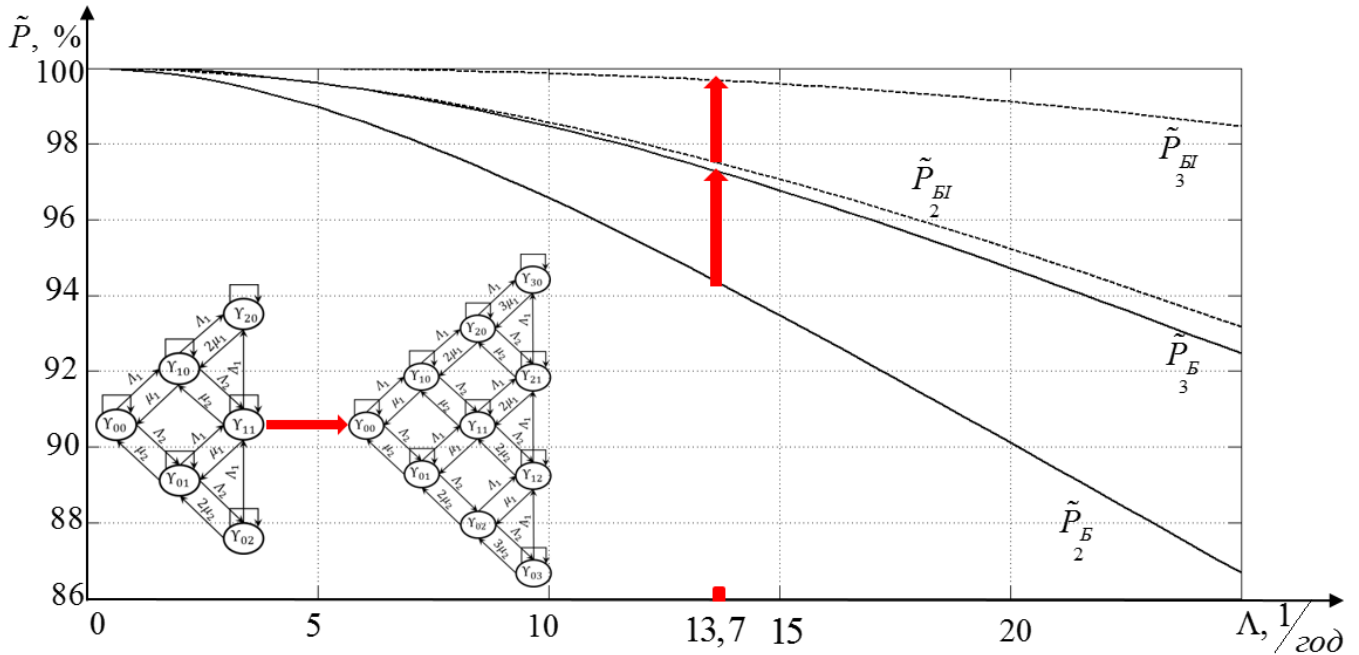


Рисунок 9 - Принциповий інфографік функціонування поліергатичної системи на прикладі ТБС проекту UT 733-2 з поверненням з потенційно небезпечної зони у безпечну зону шляхом коректування складу професійних вахтових осіб

При використанні резерву для корегування потенційно небезпечної ситуації в просторі $\ddot{\Pi}$ відбувається перехід складної динамічної системи на безпечний рівень. Тоді марківські процеси протікатимуть згідно з нового алгоритму, де перехід позначено стрілками для розмічених графів марківських процесів та імовірнісних характеристик.

Вираз (4) зумовлює введення функціонально стійкого безпечного фазового простору $\ddot{\ddot{F}}$. Присутній в аналітичних моделях фактор часу визначає, що $\dim(\ddot{\ddot{F}}) = \dim(\ddot{\Pi}) + 1$, звідки можливо провести ідентифікацію базису $\eta_{\ddot{\ddot{F}}}^{(n+1)}$ для $\ddot{\ddot{F}}$, де за винятком складової, що характеризує стрілу часу межі простору визначається як $\{U_{z_1}\} \cup \{U_{z_2}\} \cup \dots \cup \{U_{z_n}\}$. Врахування фактору часу відображає динаміку поліергатичного управління в гетерогенних умовах акваторії ТПК, що необхідно для реалізації методології покрокового динамічного програмування з метою аналізу відповідної фазової траєкторії складної динамічної системи. Як приклад, за виділеними з фазового простору $\ddot{\ddot{F}}$ показниками безпеки для людської складової, що складається з 2 ОСДП \tilde{P}_B та технічної складової безпеки функціонування \tilde{P}_{BTC} для ТБС проекту UT 733-2, зобразимо наочну фазову траєкторію функціонування поліергатичної системи.

На рисунку 10 відмічено простір для безпечного поліергатичного управління ДП РОВТ при виконанні технологічної роботи постачання в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК.

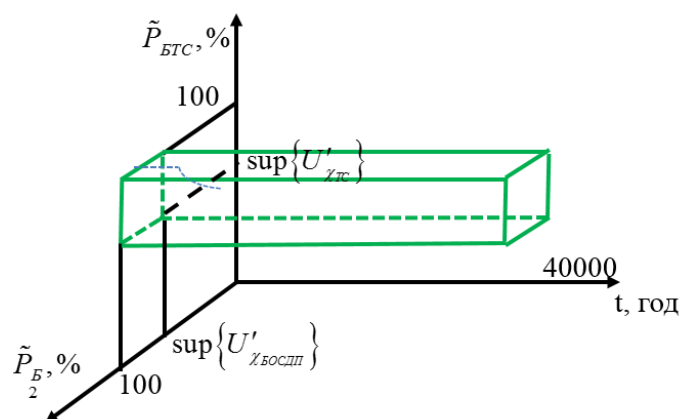


Рисунок 10 - Фазова траєкторія безпечного функціонування складної поліергатичної системи в умовах гетерогенних збурень ТПК

При дослідженні комплексної взаємодії систем та їх характеристик стосовно безпеки в \ddot{F} ми маємо динамічний склад базису $\eta_{\ddot{F}}^{(n+1)}$, який залежить від характеру технологічної роботи і може бути змінним на просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ за потреб безпеки конкретного РОВТ. Конкретизоване завдання динамічного програмування зводиться до недопущення виходу системи за межі безпечного фазового простору \ddot{F} .

Процес гарантування безпеки має здійснюватися на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ. Цей процес може бути реалізовано в прогностному варіанті як на рівні компанії, так і на борту РОВТ.

ВИСНОВКИ

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею, яка містить наукові положення та науково обґрунтовані результати в галузі технічних наук, що розв'язують важливу актуальну науково-прикладну проблему підвищення рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів. В результаті дисертаційного дослідження були отримані такі наукові та практичні результати:

1. В результаті всебічного аналізу проблематики безпеки мореплавства та за допомогою запропонованих методів поставлено та вирішено науково-прикладну технічну проблему по підвищенню рівня безпеки функціонування поліергатичної системи, яка здійснює управління динамічним позиціонуванням рухомого об'єкту водного транспорту в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу.

2. Вперше розроблено методологію забезпечення необхідного заданого рівня безпеки, яка від відомих відрізняється проведенням поточного оцінювання рівня безпеки на детермінованому часовому проміжку з використанням наявних ресурсів, які визначаються шляхом динамічного програмування інтелектуальними агентами поліергатичної системи управління навігацією.

3. Набув подальшого розвитку метод дискретного динамічного програмування керованих процесів поточної реалізації поліергатичного управління суден, який відрізняється від відомого тим, що в імовірнісному просторі Колмогорова за кроками розв'язується багатокритеріальне завдання забезпечення рівня функціональної стійкості для безпеки навігації в гетерогенних умовах збуреного локально обмеженого простору.

4. Вперше розроблена комплексна модель програмованих процесів у техноприродному комплексі, яка відрізняється від відомих тим, що пріоритетна

адекватність покрокових процесів опису взаємодій у межах гетерогенної ситуації забезпечується відповідним розподілом визначальних для рівня безпеки функцій складових поліергатичної системи управління суден в умовах ризиків акваторії здійснення навігації.

5. Удосконалено метод структурного морфологічного аналізу і синтезу, який на кожному етапі алгоритму дискретного динамічного програмування, для гарантування безпечного поліергатичного управління в умовах ризиків техноприродного комплексу, заздалегідь враховує необхідність покращення ситуації шляхом залучення ідентифікованих резервів поліергатичної системи.

6. 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 РОВТ з СДП другого класу при виконанні ДП, де за 3 роки впровадження аварійність зменшилася на 14 %.

7. 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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, а також включених до міжнародних наукометричних баз:

1. Габрук Р. А. Формалізація комплексної методики гарантування безпеки динамічного позиціонування / Р.А. Габрук //Водний транспорт. Збірник

- наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.- К.: КДАВТ, 2013. –№2(17). – С. 202-207.
2. Габрук Р.А. Принципи створення програмного забезпечення програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень щодо безпеки динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.- К.: КДАВТ, 2013. –№3(18). – С. 35-37.
 3. Габрук Р.А. Повышение безопасности и эффективности эксплуатации подвижных объектов водного транспорта / Р.А. Габрук // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного. – К: КДАВТ, 2014. - № 1 (19). – С. 27-29.
 4. Габрук Р.А. Сучасний стан проблематики безпеки динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.- К.: КДАВТ, 2014. –№3(21). – С. 15-19.
 5. Габрук Р.А. Безпека ергатичної системи / Р.А. Габрук / Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2016. – № 2 (15). – С. 4-9.
 6. Габрук Р.А. Безпека при виконанні динамічного позиціонування / Р.А. Габрук / Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2017. – № 2 (17). – С. 21-26.
 7. Габрук Р.А. Гарантування безпеки динамічного позиціонування за умов мілководдя локально обмеженого простору / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2016 – Випуск №1 (57). - С. 54-58.
 8. Габрук Р.А. Імовірнісна оцінка параметрів безпеки динамічного позиціонування судна забезпечення / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2016 – Випуск №3 (59). - С. 58-61.
 9. Габрук Р.А. Убезпечення мореплавства шляхом контролю спостережуваності навігаційних параметрів / Р.А. Габрук, І.Я. Горішна/ Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2016 – Випуск №4 (60). - С. 62-64.
 10. Габрук Р.А. Гарантування безпеки функціонування поліергатичної системи при виконанні динамічного позиціонування / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2016 – Випуск №5 (61). - С. 52-58.
 11. Габрук Р.А. Розроблення ітераційного методу для оптимізації пари «сигнал-фільтр» / Р.А. Габрук, І.Я. Горішна/ Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2016 – Випуск №6 (62). - С. 39-43.
 12. Габрук Р.А. Вплив течії на безпеку судна забезпечення за здійснення динамічного позиціонування / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2017 – Випуск №2 (64). - С. 58-61.
 13. Габрук Р.А. Гарантування безпеки експлуатації рухомих об'єктів водного транспорту шляхом забезпечення надійності функціонування сертифікованих

- систем / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2017 – Випуск №3 (65). - С. 64-66.
14. Габрук Р.А. Аналіз міжнародних та вітчизняних стандартів льодових категорій для здійснення безпечної навігації в акваторії шельфу України / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2017 – Випуск №5 (67). - С. 69-72.
 15. Габрук Р.А. Визначення оптимального фільтра за допомогою спеціальної вагової обробки для покращення виділення радіолокаційної інформації / Р.А. Габрук, І.Я. Горішна / Збірник наукових праць «Новітні технології», випуск 2(6), Київ, 2018. – С.16-23.
 16. Баранов Г.Л. Тренажерне забезпечення моделювання процесів радіолокаційного зондування за виявлення цільових об'єктів за умов просторових шумів / Г.Л. Баранов, Р.А. Габрук, І.Я. Горішна / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2018 – Випуск №4 (72). - С. 51-56.
 17. Баранов Г.Л. Визначення особливостей радіолокації за тренажерного зондування простору радіоімпульсами малої тривалості/ Г.Л. Баранов, Р.А. Габрук, І.Я. Горішна / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2019 – Випуск №1 (75). - С. 42-46.
 18. Баранов Г.Л. Особливості використання імпульсно-доплерівських радарів для визначення маловисотних цілей / Г.Л. Баранов, Р.А. Габрук, І.Я. Горішна / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2019 – Випуск №2 (76). - С. 62-66.
 19. Габрук Р.А. Безпека динамічного позиціонування в умовах погіршеної роботи супутникової радіонавігаційної системи / Р.А. Габрук / Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 2 (21). – С. 4-9.
 20. Габрук Р.А. Кількісна імовірнісна оцінка надійності функціонування комплексу зв'язку рухомого об'єкта водного транспорту / Р.А. Габрук / Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ХНУРЕ, 2020 – Випуск №4 (84). - С. 68-72.

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

21. Баранов Г.Л. Гарантирование безопасности динамического позиционирования подвижных объектов водного транспорта с учетом случайных ошибок навигационного комплекса / Г.Л. Баранов, С.Д. Ставицкий, Р.А. Габрук / Проблемы транспорта: Збірник наукових праць- К: НТУ, 2013-14.- Випуск 10. – С. 34-39.
22. Габрук Р.А. Математическая модель количественной оценки безопасности функционирования полиэнергетической системы при динамическом позиционировании / Р.А. Габрук, Н.Н. Цимбал // Судовождение: Сб. научн. трудов/ НУ «ОМА». – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. - Вып. 26. - С. 65-71.
23. Габрук Р.А. Гарантування ефективності боротьби з пожежею за допомогою комплексу стаціонарних систем пожежогасіння / Р.А. Габрук / Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. – Харків, 2016 – Випуск №3 (100). - С. 62-66.

24. Габрук Р.А. Тренажерна сумісна оптимізація сигналів і фільтрів з урахуванням додаткових обмежень / Р.А. Габрук, І.Я. Горішна // Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. - Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2018 - Випуск №2 (109). - С. 81-88.

Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав із напрямку, з якого підготовлено дисертацію:

25. Gabruk R. Safety of Navigation During Dynamic Positioning on Mobile Water Transport Objects / R. Gabruk, M. Tsymbal / TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2016 - Vol. 10, No. 1, pp. 59-67.
26. Baranov G. Determination of radars features human training for sounding of space by nano-second pulses (NSP) / G. Baranov, I. Gorishna, R. Gabruk // LAMBERT Academic Publishing, Mauritius: LAP, 2020. – 55 p.

Публікації у наукових виданнях інших держав із напрямку, з якого підготовлено дисертацію, а також включено до наукометричної бази Scopus:

27. Gabruk R. Innovation Methodology for Safety of Dynamic Positioning under Man-machine System Control / R. Gabruk, M. Tsymbal / Marine Navigation. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation – Taylor & Francis Group, London, UK, 2017. - P. 213-220.
28. Gabruk R. Safety of Dynamic Positioning / R. Gabruk, M. Tsymbal / Activities in Navigation. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – Taylor & Francis Group, London, UK, 2015. - P. 25-31.

Авторські свідоцтва та патенти:

29. Комп'ютерна програма «Інспектор поліергатичних систем». / Р.А. Габрук // А.С. № 64517 від 14.03.2016; опубл. 29.04.2016, Бюл. № 40/2016.-С. 439.
30. Свідоцтво про реєстрацію патенту на корисну модель. Патент UA 127695 U; G 09 B 9/00; Комплексний тренажер оператора повітряного судна / Г.Л. Баранов, І.Я. Горішна, Р.А. Габрук // заяв. u2018 07004, 22.06.2018. – опубл. 10.08.2018, бюл. № 15/2018.

Апробація результатів дисертації на наукових конференціях:

31. Баранов Г.Л. Технологія урахування випадкових помилок навігаційного комплексу для гарантування безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту / Г.Л. Баранов, С.Д. Ставицький, Р.А. Габрук / Матеріали третьей международной научно-технической конференции «Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления», 11 – 12 апреля 2013 г.- Киев: НТУ, 2013. - С. 60.
32. Габрук Р. А. Сучасний стан проблематики безпеки динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Матеріали конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека», 19-20 листопада 2013 р. – Одеса: ОНМА, 2014. - С. 112-114.
33. Габрук Р. А. Формування стаціонарної моделі морського хвилювання, яке збудує об'єкт динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Матеріали науково-

- методичної конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» 18-19 листопада 2014 р. – Одеса: ОНМА, 2014. - С. 28-30.
34. Габрук Р.А. Оптимизация обработки сигналов при динамическом позиционировании / Р.А. Габрук // Сучасні інформаційні технології 2015 (МІТ-2015) / Матеріали п'ятої Міжнародної конференції студентів та молодих науковців, 21-22 квітня 2015 р. / Міністерство освіти і науки України, ВНЗ «Одеський національний політехнічний університет». – Одеса, ВМВ, 2015. - С. 123-124.
 35. Габрук Р. А. Врахування впливу течії на об'єкт управління системою динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Матеріали науково-методичної конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» 19-20 листопада 2015 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2015. - С. 14-16.
 36. Габрук Р.А. Оптимизация процесса обработки полученных радиолокационных сигналов при динамическом позиционировании / Р.А. Габрук // Сучасні інформаційні технології 2016 (МІТ-2016) / Матеріали шостої Міжнародної конференції студентів та молодих науковців, 25-27 квітня 2016 р. / Міністерство освіти і науки України, ВНЗ «Одеський національний політехнічний університет». – Одеса, ВМВ, 2016. - С. 86-87.
 37. Баранов Г.Л. Інтеграція технологій навігації, спостереження, телекомунікації для захисту від критичних загроз оточуючого середовища // Г.Л. Баранов, В.Л. Міронова, Р.А. Габрук, В.В. Плотнікова / LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2016 -С. 369.
 38. Габрук Р.А. Гарантування безпеки динамічного позиціонування об'єктів водного транспорту в акваторії проведення технологічної роботи // Р.А. Габрук, Г.Л. Баранов, О.М. Прохоренко / LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2017 -С. 419.
 39. Габрук Р.А. Ергатична інтеграція поточкових процесів обліку ефективності функціонування технічного підприємства // Р.А. Габрук, Г.Л. Баранов, О.І. Шановський / LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2017 -С. 421.
 40. Габрук Р.А. Оценка безопасного функционирования полиэргатической системы по управлению динамическим позиционированием // Р.А. Габрук / Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека», 16-17 листопада 2016 р. - – Одеса: НУ «ОМА», 2017. - С. 61-63.
 41. Габрук Р.А. Использование совместной оптимизации сигнала и фильтра в морских радарх на судах с системами динамического позиционирования // Р.А. Габрук / Сучасні інформаційні технології 2017 (МІТ-2017) / Матеріали сьомої Міжнародної конференції студентів та молодих науковців, 22-24 травня 2017 р. / Міністерство освіти і науки України, ВНЗ «Одеський національний політехнічний університет». – Одеса, ВМВ, 2017. - С. 186-187.
 42. Габрук Р.А. Навігаційна безпека динамічного позиціонування в умовах мілководдя // ІХ Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні

інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)», 23-25 травня 2017 р / Херсонська державна морська академія. – Херсон, 2017. - С. 101-103.

43. Горишная И.Я. Использование сверхкороткоимпульсной РЛС для выявления целевых объектов на фоне подстилающей поверхности / И.Я. Горишная, Р.А. Габрук // Современные информационные технологии 2018 (МИТ-2018) / Материалы пятой Международной конференции студентов и молодых ученых, 23-25 мая 2018.– Одесса: ОНПУ, 2018. - С. 132-133.
44. Габрук Р.А. Исследование влияния динамически сложных условий влияния моря на работу морской РЛС / Р.А. Габрук // Современные информационные технологии 2015 (МИТ-2015) / Материалы восьмой Международной конференции студентов и молодых ученых, 23-25 мая 2018.– Одесса: ОНПУ, 2018. - С. 130-131.
45. Баранов Г.Л. Спеціальні засоби моделювання процесів адаптивного радіолокаційного зондування цілей в умовах тренажерних перешкод / Г.Л. Баранов, І.Я. Горішна, Р.А. Габрук // Проблеми інформатизації / Тези доповідей дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції, 12 - 13 грудня 2018. – Київ, 2018. – С.17.
46. Баранов Г.Л. Спеціальні тренажерні засоби моделювання адаптивного радіолокаційного зондування цілей в умовах перешкод/ Г.Л. Баранов, Р.А. Габрук, І.Я. Горішна // Проблеми інфокомунікацій // Матеріали другої всеукраїнської науково-технічної конференції, 5 грудня 2018. - Київ, 2018. – С.48-49.
47. Габрук Р.А. Особливості функціонування бортової рлс в складі інтегрованого авіаційного тренажерного комплексу //Р.А. Габрук / II Науково-практична конференція. Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи // Державне космічне агентство України. Національний центр управління та випробування космічних засобів. Київ, 2018. – С. 51.
48. Габрук Р. А. Гарантування безпеки процесу динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» 16-17 листопада 2017 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2017. - С. 29-30.
49. Габрук Р.А. Анализ экспериментальных данных по отражениям сигналов от подстилающих поверхностей при моделировании аппаратуры РЛС. / Р.А. Габрук // Матеріали науково-технічної конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», 24-25 квітня 2018 р. - Київ: ДЕА, 2018. - С. 28-29.

Статті, які додатково відображають наукові результати дисертації:

50. Баранов Г.Л. Комплексна інтеграція інформаційних процесів інтелектуальних транспортних систем для якісного гарантування безпечного руху у нестационарному середовищі / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, Р.А. Габрук, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренко / Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Науково-технічний журнал. - К.: НТУ, 2015. - Випуск 3. – С. 85-95.
51. Baranov G.L. Complex assessment of safety during dynamic positioning in locally confined area of technological work / G.L. Baranov, R.A. Gabruk, O.M. Prokhorenko,

I.Y. Gorishna // Information processes, technologies and systems on the transport. Scientific and Technical Collection. - Kyiv: 2016 – Issue № 4 (60). - P. 64-70.

АНОТАЦІЯ

Габрук Р.А. Методологія динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13. - навігація та управління рухом, Національний авіаційний університет, м Київ, 2021.

Розроблена та науково обґрунтована методологія гарантування функціональної стійкості навігації та управління рухом суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів. При цьому професійна організація управління та технічна складова знаходяться на одному ергатичному рівні в ієрархічній структурі раціонального змінного розподілу між ними функцій реалізації динамічного програмування безпеки поліергатично керованих об'єктів водного транспорту.

У дисертаційній роботі розроблені методи гарантування безпеки рухомих об'єктів водного транспорту, які в локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи за допомогою засобів навігації та управління керуються професійним вахтовим складом.

Запропоновані моделі, методи та засоби побудовані в єдиному імовірнісному просторі Колмогорова оцінок безпеки з використанням властивості стаціонарності щільності розподілу для кожної змінної процесів, що мають місце в динамічній складній системі. Це дозволяє у марківських ланцюгових моделях отримувати рекурентні функціональні оцінки безпеки. Базою методології є міжнародні вимоги та вимоги класифікаційних товариств до систем динамічного позиціонування, рухомих об'єктів водного транспорту та вахтового персоналу.

Ключові слова: навігація, безпека управління рухом, техноприродний комплекс, динамічне програмування і позиціонування, локально обмежений простір, алгебраїчні моделі.

АННОТАЦИЯ

Габрук Р.А. Методология динамического программирования безопасности полиэргатического управления судов в гетерогенных условиях акваторий техноприродных комплексов. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.13. – «Навигация и управление движением», Национальный авиационный университет, г. Киев, 2021.

Диссертация решает актуальную научно-прикладную проблему повышения безопасности мореплавания путем развития научно-методологического аппарата гарантирования безопасности полиэргатического управления судов в условиях гетерогенных возмущений акваторий техноприродных комплексов. Рост интенсивности использования систем динамического позиционирования,

расширение области их применения, увеличение видов технологических работ, которые выполняет подвижный объект водного транспорта, повышают вероятность возникновения аварийных событий, как от известных источников угроз, так и от новых источников, которые сформировались под влиянием суперпозиции окружающих угрожающих факторов.

Разработана и научно обоснована методология гарантирования функциональной устойчивости навигации и управления движением судов в гетерогенных условиях акваторий техноприродных комплексов. При этом профессиональная организация и техническая составляющая находятся на одном эргатическом уровне в иерархической структуре рационального переменного распределения между ними функций реализации динамического программирования безопасности объектов водного транспорта.

В диссертационной работе разработаны методы повышения безопасности динамического позиционирования подвижных объектов водного транспорта, которые в гетерогенно возмущенном локально ограниченном пространстве акватории техноприродного комплекса, при расширенных функциях навигации и управления, для выполнения технологической работы, находятся под управлением переменного по численности вахтенного состава квалифицированных операторов.

Предложенные модели, методы и средства построены в едином вероятностном пространстве Колмогорова оценок безопасности с использованием свойства стационарности плотности распределения для каждой переменной процессов, которые протекают в сложной динамической системе. Способ позволяет в моделях марковских цепей получать рекуррентные функциональные оценки безопасности. Базой методологии являются международные требования и требования классификационных обществ к системам динамического позиционирования, подвижному объекту водного транспорта и персоналу.

На базе технической документации классификационного общества разработан цепной последовательный метод декомпозиции подвижного объекта водного транспорта на подсистемы различного уровня иерархии, который имеет в своем фокусе исследование целевых функций резервированных элементов для формирования последовательных и параллельных соотношений. Такие соотношения наглядно реализуются в виде схем функциональной устойчивости, с целью формирования математических моделей вероятностной оценки безопасного функционирования сложной системы в штатном и нештатных режимах навигации и управления. В работе исследуется полиэргатическая система, функционирующая в стационарном пуассоновском потоке событий, при этом сам процесс функционирования рассматривается как марковский вероятностный процесс.

Разработан способ комплексной имитации гетерогенных обстоятельств тренажерными средствами для адекватной отработки безошибочной реакции оператора системы динамического позиционирования на угрожающие обстоятельства акватории техноприродного комплекса. Структура обусловила дальнейшее развитие метода повышения квалификационной способности оператора управления подвижным объектом водного транспорта в условиях рисков и неопределенности, генерируемых процессами гетерогенных возмущений локально ограниченного пространства техноприродного комплекса. Получивший дальнейшее

развитие метод повышения квалификации судоводителя позволяет определять закономерности эффективных решений, гарантирующих переходы из потенциально опасных состояний в безопасное пространство функциональной устойчивости, благодаря визуализации размеченных графов марковских процессов.

Методология позволяет делать прогноз и принимать решения по обеспечению функциональной устойчивости в условиях роста рисков и неопределенности. Практическое значение полученных результатов заключается в снятии риска убытков аварий и возможных катастроф путем оценки безопасности динамического позиционирования, а также обеспечения своевременной реакции и действий по корректировке при входе подвижных объектов водного транспорта в потенциально опасную акваторию.

Ключевые слова: навигация, безопасность управления движением, техноприродный комплекс, динамическое программирование и позиционирование, локально ограниченное пространство, алгебраические модели.

ABSTRACT

The dynamic programming methodology of polyergatic control safety on vessels under heterogeneous conditions of water areas of techno-natural complexes. – Qualification scientific work under manuscript copyright.

Dissertation for the doctor of technical sciences degree, specialty 05.22.13. - "Navigation and traffic control", National Aviation University, Kyiv, 2021.

The innovation methodology is developed and scientifically substantiated, which dedicated to functional stability guaranteeing for navigation and control of vessel movement under heterogeneous conditions water area of techno-natural complexes. During research it was considered that professional organization and technical component are at the same ergatic level in the hierarchical structure of the rational variable functions distribution between them during dynamic programming implementation on polyergatically controlled mobile water transport objects.

In the dissertation work the methods of guaranteeing the safety of dynamic positioning on mobile water transport objects were developed. Developed methods are the subject of performance by a professional watch authorized personnel during the technological work in a locally confined area.

Proposed models, methods and tools were built in a single probabilistic Kolmogorov space of safety assessments in order to use the stationary distribution principle of density for each variable of information processes. This allows recurrent functional safety assessments to be obtained in Markov chain models. The basis of the methodology consists of international requirements and requirements of classification societies for dynamic positioning systems, mobile water transport objects and watch personnel.

Keywords: navigation, traffic control safety, techno-natural complex, dynamic programming and positioning, locally confined area, algebraic models.

Підписано до друку 16.03.2021 р.
Формат 90×60/16. Папір офсетний
Об'єм 2,5 ум. друк. арк.
Замовлення №1603/01.
Тираж 100 прим.

Надруковано з готового оригінал-макету
ФОП Побута М.І.
65044, м. Одеса, пр-т Шевченка, 1а