

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Габрук Ростислав Анатолійович**

УДК656.61.052:007.51]:519.857

**ДИСЕРТАЦІЯ**

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

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом  
Галузь знань – 27 Транспорт (технічні)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на джерело

Габрук Р.А.

Науковий консультант Цимбал Микола Миколайович, доктор технічних наук, професор.

Київ – 2021

## АНОТАЦІЯ

Габрук Р.А. Методологія динамічного програмування безпеки полієргатичного 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». Підготовлена в Національному університеті «Одеська морська академія», подана до захисту в Національний авіаційний університет, м. Київ, 2021 рік.

Початок ХХІ сторіччя характеризується швидким розвитком технологій та їх практичним впровадженням в морській галузі, а також розширенням сфери застосування відомих технічних досягнень. Зростання інтенсивності використання систем динамічного позиціонування (СДП), розширення області їх застосування, збільшення видів технологічних робіт, які виконує рухомий об'єкт водного транспорту (РОВТ) під час динамічного позиціонування (ДП) - все це підвищує імовірність виникнення аварійних подій, як від відомих джерел загроз, так і від нових джерел, що сформувалися під впливом суперпозиції оточуючих гетерогенних загрозливих факторів.

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

Складна ієрархічна полієргатична система знаходиться під впливом чинників навколишнього середовища та у потоці подій, а ДП реалізується як процес високоточної навігації РОВТ в збуреному локально обмеженому просторі

для цільового виконання технологічної роботи. При настанні аварійної події загроза життю людей, загроза екологічної катастрофи, а також високі економічні ризики визначають підвищені вимоги до гарантування безпеки мореплавання при реалізації процесу високоточної навігації в умовах гетерогенно збуреного локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу. Тому гарантування безаварійного ДП РОВТ у локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи та в цілому безпеки судноплавства на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації являється головним питанням, а дослідження в цьому напрямі актуальними.

Дисертація містить результати проведених автором досліджень, спрямованих на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми підвищення рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів. В роботі проведено аналіз аварійності РОВТ. При проведенні аналізу набув подальшого розвитку метод, який було запропоновано японським вченим Ісікавою. Розвиток полягає у застосуванні ітераційного підходу до проблематики, де на кожному наступному кроці дослідження враховується наявність результатів попереднього кроку, і аналіз подальшого розвинення ситуації та наслідків робиться з урахуванням відомих подій, що відбулися. Виявлено протиріччя, проаналізовано шляхи гарантування безпеки РОВТ в локально обмеженому просторі, визначено вплив технологічної роботи на безпеку.

Розглянуто вплив чинників навколишнього середовища (НС) при ДП і визначено, що під час підготовки операторів систем динамічного позиціонування недостатньо уваги приділяється використанню радіолокатора при ДП, зокрема для спостереження за погодними умовами та виявленню загроз, що може вплинути негативно на безпеку при реальному несенню вахти. Вирішенням цього питання є впровадження в програму підготовки операторів систем динамічного позиціонування сформованого в ході дослідження та запатентованого додаткового тренажерного обладнання з розширеними функціональними можливостями.

Розроблена та науково обґрунтована методологія гарантування функціональної стійкості навігації та управління рухом суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів. При цьому професійна організація 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 динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту, які в локально обмеженому просторі при виконанні технологічної роботи керуються професійним вахтовим складом.

Запропоновані моделі, методи та засоби побудовані в єдиному імовірнісному просторі Колмогорова оцінок безпеки з метою використання принципу стаціонарності щільності розподілу для кожної змінної інформаційних процесів. Це дозволяє у марківських ланцюгових моделях отримувати рекурентні функціональні оцінки безпеки. Базою методології є міжнародні вимоги та вимоги класифікаційних товариств до систем динамічного позиціонування, рухомого об'єкту водного транспорту та вахтового персоналу.

Сформовано багаторівневу наочну структуру ієрархії для проведення декомпозиції і дослідження складних систем. Визначено, що безпека РОВТ, як комплексна проблема має бути досліджена на базі системного підходу, при чому дві основні складові – людська та технічна, які відіграють основну роль, мають бути розглянуто як окремо, так і з урахуванням їх синергетичної взаємодії, що визначає другий рівень декомпозиції складної системи.

Сформовано алгебраїчні моделі функціонування поліергатичної системи при виконанні РОВТ ДП в збуреному локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу. Запропоновані алгебраїчні моделі гарантують безаварійне функціонування в імовірнісному просторі за Колмогоровим, де динамічні стохастичні процеси було стаціонаризовано для вирішення завдання отримання достовірних та адекватних результатів на будь-яких часових

проміжках. Зокрема стаціонаризація пуасонівських потоків збурень різного класу зумовила їх однакову інтенсивність на всьому розглянутому часовому проміжку, що надало можливість в повній мірі реалізувати потенціал використання марківських процесів та на базі марківських ланцюгів побудувати моделі марківських систем з складанням рівнянь Колмогорова-Чепмена для сімейства операторів, які адекватно відтворюють безпечне управління РОВТ в умовах збурень.

Однією з ключових властивостей протікання марківських процесів є те, що при фіксованому сьогодні майбутнє не залежить від минулого, що надало можливість за допомогою динамічного програмування формувати аналітичні моделі поліергатичного управління з дискретними станами марківських систем при безперервному часі з можливістю завдання часового кроку та інтервалу моделювання. Процес контролю рівня безпеки в імовірнісному просторі Колмогорова за допомогою динамічного програмування реалізується з застосуванням ситуативного аналізу поточних або прогнозних імовірнісних оцінок та управління наявними ресурсами.

Визначено критерії оцінки безпеки ДП, які можуть бути використано на практиці. Проведено глибоку декомпозицію РОВТ та сформовано алгебраїчні моделі, що описують інтенсивності потоків відмов технічних систем різного виду.

В дисертаційному дослідженні 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.

Для адекватного моделювання процесів взаємодії РОВТ з чинниками НС, а також для наглядної ідентифікації та аналізу загроз при виконанні конкретних технологічних робіт, зокрема для встановлення площини дотику між двома РОВТ та відповідного аналізу надійного кранцевого захисту, було проведено моделювання об'єктів дослідження в тривимірному просторі, а також моделювання чинників НС.

Розроблена методологія динамічного програмування використовує марківські процеси, які характеризують імовірність рівня безпеки через стани та адекватні розподіли потоків відмов технічних систем, та характеризується підвищеним рівнем гарантування безпеки на поточному часовому проміжку з використанням наявних ресурсів, які визначають та застосовують шляхом динамічного програмування інтелектуальні агенти поліергатичної системи управління навігацією. Це дозволяє контролювати і гарантувати необхідний рівень безпеки на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ.

Програмним чином розроблені алгебраїчні моделі поліергатичного управління у гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі реалізовано у комп'ютерній програмі «Інспектор поліергатичних систем», авторське свідоцтво № 64517 від 14.03.2016. Програму написано у середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink за модульним принципом, що спрощує налаштування та робить її гнучкою для потреб оцінки безпеки, що дозволяє її використання як програмно апаратний комплекс підтримки прийняття рішень на борту, а також як аналітичний комплекс при стратегічному плануванні комерційного використання об'єкту в конкретних умовах майбутніх проектів. Використання модульного принципу також спрощує процес аналізу комплексної системи за допомогою аналізу її складових та шляхом динамічного програмування дозволяє відновлювати рівень безпеки функціонування систем.

Підтверджено практично ефективність запропонованої методології при впровадженні розробленого програмного забезпечення «Інспектор поліергатичних систем» у групі з 3 РОВТ з СДП другого класу при виконанні ДП, де аварійність зменшилася на 14 %.

Результати виконаних дисертаційних досліджень із гарантування безпеки мореплавання впроваджені в Національному університеті «Одеська морська академія», ТОВ «Оверсіз Лоджистік», та на суднах з системами динамічного позиціонування другого класу.

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

Визначені наукові та практичні результати, а також результати імітаційного моделювання, розроблене програмне забезпечення та тренажерний комплекс, результати синтезу моделей та методів, які одержано під час проведення дисертаційного дослідження, дозволяють при практичному застосуванні знаходити рішення для цілого класу задач, що спрямовані на гарантування безпеки поліергатичного управління РОВТ.

В цілому дисертаційне дослідження орієнтовано на підтримку прийняття рішень з використанням чисельних методів і сучасних бортових обчислювальних машин для кількісної оцінки безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту.

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

## **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 полиэргатической системы при динамическом

- позиціонування / 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 третьої міжнародної науково-технічної конференції «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. Оптимізація обробки сигналів при динамічному позиціонуванні / 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 потокових 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.

### ANNOTATION

R.A. Gabruk. 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". Prepared at the National University "Odessa Maritime Academy", submitted to the National Aviation University, Kyiv, 2021.

The beginning of the XXI century is characterized by the fast development of technologies and their practical implementation in the maritime industry, as well as by expansion of the area of known technical achievements application. The increment intensity of dynamic positioning systems (DPS) utilization, expanding the scope of their application, increasing types of technological work, which are performed by the mobile water transport object (MWTO) during dynamic positioning (DP) - all this increases the likelihood of accidents from known sources of threats, and from new sources, that were formed under influence of the superposition of surrounding heterogeneous threatening factors.

Modern trends in the development of control systems are characterized by the widespread use of computing devices, where intelligent agents are operating. This is due to the requirements of intensification and optimization of MWTO operation, which



required a deeper and more comprehensive consideration of dynamic threatening influences from various nature, that are disturbing reliable control of DPS in a locally confined areal of technological work on a determined space-time interval.

A complex hierarchical polyergatic system is functioning under influence of environmental factors and in the flow of events, and the DP is implemented as a process of high-precision navigation of MWTO in perturbed locally confined area for targeted technological work. In the event of an accident, a threat to human life, a threat of environmental catastrophe, as well as high economic risks determine increased requirements for ensuring safety of navigation during high-precision positioning in heterogeneously disturbed locally limited area of the techno-natural complex. Therefore, guarantee of accident-free MWTO's DP in a locally confined area during technological work and general the safety of navigation in space-time period of operation is the main issue, and scientific researches in this area are representing current interest.

The dissertation contains results of researches carried out by the author, which are aiming to solve an actual scientific and applied problem, dedicated to increase safety level of navigation under conditions of heterogeneous disturbances in water areas of techno-natural complexes. The s MWTO accident rate analyses was carried out in the work. During the analysis the method proposed by the Japanese scientist Ishikawa got further development. The development consists in applying an iterative approach to the problem, where at each subsequent step of the study results of previous step were taken into account, and the analysis of further development of the situation and consequences is made by taking into account known events. Contradictions have been identified, ways to ensure MWTO safety in a locally confined area have been analyzed, the influence of technological work on safety has been determined.

The influence of environmental factors (EF) during DP are considered and it is determined that during the training of dynamic positioning system operators insufficient attention was paid to the radar utilization during DP mode, in particular to monitor weather conditions and identification of threats, which may adversely affect safety during actual watch keeping. The solution to this issue is the introduction into the

training program of the dynamic positioning system operators of formed during the scientific research and patented additional training equipment with advanced functionality.

The methodology is developed and scientifically substantiated, which dedicated to functional stability guaranteeing for navigation and control on vessels movement in heterogeneous conditions of water areas 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 is the international requirements and the requirements of classification societies for dynamic positioning systems, mobile water transport objects and watch personnel.

A multilevel visual structure of the hierarchy for decomposition and study of complex systems was formed. It was determined that the safety of MWTO, as a complex problem, should be studied on the basis of a system approach, and the two main components - human and technical, which play a major role, should be considered both separately, as well taking into account their synergistic interaction, which determines the second level decomposition of a complex system.

Algebraic models of the polyergatic system functioning during the DP of MWTO in disturbed locally bounded area were formed. The proposed algebraic models guarantee trouble-free functioning in probabilistic Kolmogorov space, where dynamic

stochastic processes were stationary to solve the problem of obtaining reliable and adequate results on any time intervals. In particular, the stationary and different classes Poisson fluxes of disturbance caused their equal intensity throughout the considered period, which made it possible to fully realize the potential of Markov processes application and on the basis of Markov chains to build Markov models with Kolmogorov-Chapman equations in order to ensure adequate reflection of MWTO's safe management under disturbed conditions.

One of the Markov processes key features is that with a fixed present the future does not depend on the past, which made it possible to use dynamic programming to form analytical models of polyergatic control with discrete states of Markov systems at continuous time with the possibility of setting a time step simulation interval. The process of safety level control in the probabilistic Kolmogorov space by means of dynamic programming is implemented using situational analysis on current conditions basis or on forecast probabilistic estimation basis with involving managed available resources.

The set of criteria for assessing the safety of DP for practical implementation was identified. A deep decomposition of MWTO was carried out and algebraic models, which describe failure flows intensities of different types technical systems were formed.

The dissertation research improves the method of morphological structural analysis and synthesis for dynamic complex systems, which in contrast to the existing, an each dynamic programming stage of the next discrete step during performing the algorithm aimed to guarantee safety, takes into account the priority of improving the situation by additional resource mobilization.

To ensure an adequate modeling of MWTO interaction processes with EF, as well as for visual identification and analysis of threats during specific technological works, in particular, for establishing the plane of contact between two MWTOs and appropriate analysis of reliable fender protection, modeling of research objects in three-dimensional space was performed, as well as modeling of EF.

The developed dynamic programming methodology uses Markov processes that characterize the probability of safety level due to states and adequate distributions of failure rates on technical systems, and are characterized by an increased level of safety assurance at the current time using available resources, which are defined and applied by dynamic programming navigation control intelligent agents. This allows to control and guarantee the required level of safety throughout the MWTO space-time operation.

Programmatically developed algebraic models of polyergatic control in heterogeneously disturbed locally confined area are implemented in the computer program "Inspector of polyergatic systems", author's certificate № 64517 from 14.03.2016. The program is written in the MATLAB programming environment using the Simulink package on a modular basis. This approach allowed to simplify configuration and makes it flexible for safety assessment, which allows it to use as a software and hardware decision support system on board, and as an analytical complex for strategic planning during commercial utilization under the specific conditions of future projects. The utilization of the modular principle also simplifies the analysis process of a complex system by study its components and by dynamic programming, which allows restore the safety level of appropriate systems.

The practical effectiveness of the proposed methodology was proved during implementation of "Inspector of polyeratic systems" software in the group of 3 MWTO with second class DPS on board, which conducted DP. The accident rate in the subject group decreased by 14%.

The results of the dissertation research dedicated tp maritime safety are implemented at the National University "Odessa Maritime Academy", "Overseas Logistics" Ltd., and on board ships with DPS of the second class.

The experience of using the results of the dissertation research has shown that the methodology, models and methods are a reliable means to ensure the safety of navigation in difficult conditions of dynamic positioning and represent practical value to ship owners.

Defined scientific and practical results, as well as results of simulation, developed software and training complex, results of models and methods synthesis, which were

obtained during the dissertation research, allow in practice to find solutions to solve whole class of problems aimed to ensure safety of MWTO polyergatic control.

In general, the dissertation research is focused on decision support using numerical methods and modern on-board computers to quantify the safety of dynamic positioning of moving water transport objects.

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

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	27
ВСТУП.....	31
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РУХОМИХ ОБ’ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ТА МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ.....	42
1.1 Аналіз методів позиціонування технічних засобів освоєння морських ресурсів та визначення статистичних тенденцій.....	42
1.2 Визначення мети та задач дослідження.....	53
1.3 Міжнародні стандарти класифікації систем динамічного позиціонування та основні визначення.....	54
1.4 Класифікація систем динамічного позиціонування відповідно до стандартів Регістра судноплавства України.....	58
1.5 Аналіз аварійності рухомих об’єктів водного транспорту під час виконання динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі техноприродних комплексів та постановка завдання дослідження .....	68
Висновки до першого розділу.....	77
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ БЕЗПЕКИ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ РУХОМИХ ОБ’ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ В ГЕТЕРОГЕННО ЗБУРЕНИХ АКВАТОРІЯХ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	79
2.1 Системний підхід у безпеці полієргатичної системи управління збуреним рухом при динамічному позиціонуванні в локально обмеженому просторі.....	79
2.2 Формалізація задач навігації і керування для методу динамічного програмування безпеки полієргатичного управління .....	88
2.3 Аналітичні моделі гетерогенних факторів збурень в динамічних задачах навігації та управління рухомими об’єктами водного транспорту.....	97

Висновки до другого розділу.....	128
РОЗДІЛ 3 АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ ПОЛІЕРГАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗА КРИТЕРІЯМИ БЕЗПЕКИ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ ВОДНОНОГО ТРАНСПОРТУ.....	129
3.1 Формалізація активних дій людини-оператора в інформаційних потоках відображення збурень середовища.....	129
3.2 Формалізація каналних перетворень багатofакторних динамічних потоків.....	134
3.3 Одноосібна марківська модель оперативного управління в умовах ризиків та невизначеності.....	141
3.4 Функціональний розподіл штатного складу вахтового управління рухомим об'єктом водного транспорту .....	148
3.5 Формування аналітичної моделі операторного управління для підвищення безпеки рухомого об'єкту водного транспорту .....	157
Висновки до третього розділу.....	163
РОЗДІЛ 4 АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ БЕЗПЕКИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	165
4.1 Формалізація активних дій техніко-технічних засобів безпеки за цільовим призначенням.....	165
4.2 Модель зміни рівня безпеки складних технічних об'єктів при множинних ризиках.....	179
4.3 Символьно-аналітичне моделювання імовірності безпечного функціонування складних ланцюгових техніко-технічних засобів .....	186
4.4 Безпечне функціонування комплексів в умовах збігу причин відмов від незалежних факторів середовища.....	190
4.5 Оцінювання ймовірності безпеки функціонування комплексів з засобами керованого резервування.....	192
Висновки до четвертого розділу.....	197

РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ РІВНІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БЕЗПЕКИ БОРТОВОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ.....	198
5.1 Гарантування безпечного динамічного позиціонування засобами бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання...	198
5.2 Обґрунтування застосування супутникової навігаційної апаратури користувача DPS-110 .....	209
5.3 Засоби комплексного динамічного позиціонування для підвищення рівня безпеки в акваторії техноприродного комплексу .....	221
5.4 Радіоелектронні та інформаційно-навігаційні засоби динамічного програмування безпеки поліергатичного управління.....	235
5.5 Обґрунтування додаткового обладнання розподілених навігаційно-інформаційних засобів для динамічного позиціонування .....	250
5.6 Оперативна адаптація засобів управління згідно поточного оцінювання рівня функціональної стійкості .....	255
5.7 Мережі локального зв'язку та засоби телекомунікації рухомих об'єктів водного транспорту в акваторії техноприродних комплексів .....	264
5.8 Динамічне програмування безпеки поліергатичного управління засобами інформаційно-обчислювальних комплексів.....	272
5.9 Безпека технічних систем рухомого об'єкту водного транспорту.....	290
Висновки до п'ятого розділу.....	305
РОЗДІЛ 6 ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАСОБІВ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛІЕРГАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ УМОВАХ АКВАТОРІЙ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	307
6.1 Оцінка безпечного функціонування технічних комплексів за показниками інтенсивності імовірних відмов .....	307



6.2	Оцінка функціональної стійкості технічних засобів при ранжуванні спостережуваних пошкоджень .....	314
6.3	Імовірності оцінки функціональної стійкості багаторівневих комплексів в умовах застосування розподілу Вейбула.....	318
6.4	Достовірність динамічного програмування безпеки за критеріями нормального розподілу потоку інтенсивності незалежних відмов .....	320
6.5	Імовірнісна оцінка техніко-технологічної безпеки рухомого об'єкту водного транспорту за проектом УТ 733-2 .....	324
6.6	Специфіка імовірнісних розрахунків маневру підходу в умовах ручного управління .....	331
6.7	Формалізація оперативного оцінювання безпеки поліергатичного управління засобами динамічного програмування.....	333
6.8	Інтегроване оцінювання варіантів поліергатичного управління адекватного відповідним потокам збурень.....	337
6.9	Динамічне програмування функціональної стійкості за комплексними критеріями безпеки поліергатичного управління .....	342
6.10	Засоби навігації та управління рухом в тренажерному комплексі напрацювання досвіду динамічного програмування безпеки при підготовці операторів систем динамічного позиціонування.....	345
6.11	Оцінювання безпеки застосування засобів управління динамічним позиціонуванням в позаштатних ситуаціях за оцінками безпеки та особливостей технологічної роботи.....	353
6.12	Узагальнення процесів динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в умовах акваторій техноприродних комплексів.....	356
	Висновки до шостого розділу.....	370
	ВИСНОВКИ.....	372
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	375

ДОДАТОК А Список публікації здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію матеріалів дисертації.....	410
ДОДАТОК Б Акти впровадження .....	419
ДОДАТОК В Класифікація СДП міжнародними класифікаційними товариствами .....	425
ДОДАТОК Г Схеми функціональної стійкості рухомого об'єкту водного транспорту.....	428
ДОДАТОК Д Характеристики судна проекту UT 733-2 .....	442
ДОДАТОК Е План навігаційного містка судна проекту UT 733-2 з постами керування збуреним рухом .....	447
ДОДАТОК Ж Авторське свідоцтво та патент .....	448

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ААУ – адаптивне автоматичне управління

АІС – Автоматизована ідентифікаційна система

АР – Авторульовий

АРБ – Аварійний радіобуй

АРМ – Автоматизоване робоче місце

АПС – Аварійно-попереджувальна сигналізація

АТБПА – Автономний телекерований безлюдний підводний апарат

АТС – Автоматична телефонна станція

БКНО – Бортовий багатофункціональний комплекс навігаційного обладнання

ВМ – Визначення місцеположення

ВМО – Всесвітня метеорологічна організація

ВСЛД - Вузкосмугове літеродрукування

ГА – Гідроакустична антена

ГАС – Гідроакустична система

ГК - Гірокомпас

ГЛ – Гідроакустичний лаг

ГМ – Гідроакустичний маяк

ГМЗЛБ - Глобальна морська система зв'язку для забезпечення безпеки мореплавства

ГНСС- Глобальна навігаційна супутникова система

ГФК – Гвинт фіксованого кроку

ГРК – Гвинт регульованого кроку

ДП – Динамічне позиціонування

ДСТУ – Державний стандарт України

ЕКНІС - Електронна картографічна та навігаційно-інформаційна система

ЗАК – Засіб активного керування

ЗАРП - Засіб автоматизованої радіолокаційної прокладки

ІБМ - Інформація з безпеки мореплавства

ІНМАРСАТ - Міжнародна організація морського супутникового зв'язку  
КТ – Класифікаційне товариство  
КХ – Короткі хвилі  
ЛО – Людина-оператор  
МАКТ – Міжнародна асоціація класифікаційних товариств  
МАРПОЛ – Міжнародна конвенція про запобігання забруднення моря з суден  
МГО - Міжнародна гідрографічна організація  
МК – Міжнародна конвенція  
МК ПДМНВ – Міжнародна конвенція по дипломуванню моряків та несенню вахти  
МКУБ – Міжнародний кодекс управління безпекою  
МППЗС-72 – Міжнародні правила попередження зіткнення суден 1972 року  
МСП – Морська стаціонарна платформа  
НПБУ - Напівзанурювальна плавуча бурова установка  
НС – Навколишнє середовище  
НУ «ОМА» - Національний університет «Одеська морська академія»  
ПАК – Програмно-апаратний комплекс  
ООН – Організація Об'єднаних Націй  
ОСДП – Оператор системи динамічного позиціонування  
ПІ - Прийомоіндикатор  
ПБУ - Плавуча бурова установка  
ПЗ – Програмне забезпечення  
ПП – Підрулювальний пристрій  
ППР – Підтримка прийняття рішень  
ПСНЗВ - Плавуча система нафтовидобутку, зберігання і вантаження  
ПТЕ – Правила технічної експлуатації  
ПУВО - Пост управління вантажними операціями  
ПХ – Проміжні хвилі  
РГВ - Розширений груповий виклик  
РДР - Реєстратор даних рейсу

РКЦ - Рятувально-координаційний центр

РЛС - Радіолокаційна станція

РНС – Радіонавігаційна система

РОВТ – Рухомий об'єкт водного транспорту

РУ - Регістр судноплавства України (класифікаційне товариство)

САПСЗР – Система аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації

СДП – Система динамічного позиціонування

СОЛАС – Міжнародна конвенція по охороні людського життя на морі 1974 р.

СОСДП – старший оператор системи динамічного позиціонування

СПБУ - самопідйомна плавуча бурова

СУБ – Система управління безпекою

США – Сполучені Штати Америки

СЯП – Система якірного позиціонування

ТБПА - Телекерований безлюдний підводний апарат

ТБС – Транспортно-буксирне судно

ТПК – техноприродний комплекс

ТС – Технічна система

УКХ – Ультракоротка хвиля

ЦВВ – Цифровий вибірковий виклик

ЦПК – Центральний пост керування

ШСЗ – Штучний супутник Землі

ABS – American Bureau of Shipping (Американське бюро судноплавства)

DGPS – Differential Global Positioning System (диференційна глобальна супутникова система)

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis (Аналіз видів і наслідків відмов)

FPSO - Floating Production Storage and Offloading (Плавуча система нафтовидобутку, зберігання і вантаження)

GLONASS – Global Navigation Satellite System (Глобальна навігаційна супутникова система)

GPS – Global Positioning System (Глобальна система позиціонування)

IMCA – International Marine Contractors Association (Міжнародна асоціація морських підрядників)

IMO – International Maritime Organization (Міжнародна морська організація)

NAVTEX - Navigational Telex

## ВСТУП

### Обґрунтування вибору теми дослідження

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

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

Світове зростання інтенсивності використання СДП виводить проблему підвищення безпеки динамічного позиціонування (ДП) в умовах гетерогенних збурень техноприродних комплексів (ТПК) на перший план. Класифіковані ризики аварійних подій у акваторії техноприродного комплексу несуть пряму загрозу життю людей та екології. Все це, в купі з високими економічними збитками від настання аварійної події, а також несвоєчасного виконання технологічної роботи, визначає підвищені вимоги до гарантування безпеки мореплавання при реалізації процесу високоточної навігації в умовах гетерогенно збуреного локально обмеженого простору акваторії ТПК.

Відсутність єдиного методологічного підходу до оцінки безпеки з метою її гарантування приводить до того, що загрози можуть виникати при впровадженні окремих відомих моделей. Також при несистемній постановці питання та нехтуванні синергетичними принципами вирішення наукових завдань можна наштовхнутися на протиріччя, які можуть тільки погіршити ситуацію. Так поява аналітичного апарату теорії ігор викликала формування нового підходу до безпеки РОВТ, але існуюча практична координація, яка визначається Конвенцією про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року (МППЗС-72) та місцевим законодавством, якому може підпорядковуватися конкретна гетерогенна акваторія техноприродного комплексу, протирічить ігровій постановці завдання, що може бути подолано лише виходом за межі ігрових моделей. Також не слід забувати, що динамічний вплив чинників навколишнього середовища (НС) може перетворити безпечний локально обмежений простір на загрозовий. Це питання також може бути вирішено лише за допомогою виходу за межі ігрових моделей та створення адекватних моделей поведінки РОВТ під впливом чинників НС, з урахуванням гідрології локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу.

Передбачити ймовірні загрози, попередити виникнення потенційно небезпечних ситуацій - ось завдання, яке стоїть перед операторами систем динамічного позиціонування, міжнародними та національними організаціями, суднобудівниками, фахівцями берегових служб управління рухом і викладачами морських вузів, лоцманами, військово-морськими силами і береговою охороною.

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). Вклад в теорію дослідження операцій було внесено Ю.Б. Гермейєром.

Незважаючи на впровадження нових інтелектуальних програмно-апаратних комплексів (ПАК) підтримки прийняття рішень (ППР), удосконалення міжнародних та вітчизняних вимог, стандартів і правил, удосконалення роботи систем управління рухом суден, чисельні досягнення закордонних та вітчизняних вчених, питання вирішення комплексної науково-прикладної проблеми підвищення рівня безпеки мореплавства в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів являється відкритим, а пошук методології гарантування рівня безпеки на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ являється актуальним.

### **Мета і завдання дослідження**

**Метою** є гарантування перспективного рівня безпеки складної динамічної системи техноприродного комплексу шляхом динамічного програмування задач полієргатичного 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, полієргатичних систем навігаційного управління рухомими об'єктами водного транспорту.

2. Обґрунтування науково-методологічного апарату гарантування рівня безпеки шляхом динамічного програмування задач полієргатичного 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.

### **Методи дослідження**

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. Результати не містять принципових помилок, є логічними та відповідають міжнародній практиці застосування систем динамічного позиціонування.

**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 відомого 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.

### **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.

**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 рухомим 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 за рахунок оцінки резерву керуючих впливів рушійного комплексу; [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 методику 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 методику, 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 методику 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.

### **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).

### **Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному**

Розроблено методологію динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден, що дозволяє у складних гетерогенних умовах збурень 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 програмованої імітації гетерогенних обставин тренажерними засобами для адекватного відпрацювання навичку безпомилкової реакції оператора системи динамічного позиціонування на загрозливій обставині акваторії техноприродного комплексу.

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

Досвід використання результатів дисертаційного дослідження показав, що 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 навігаційної безпеки та упередження ризиків при динамічному позиціонуванні рухомих об'єктів водного транспорту в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів.

**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.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ТА МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ КЛАСИФІКАЦІЇ

### 1.1 Аналіз методів безпечного позиціонування технічних засобів освоєння морських ресурсів та визначення статистичних тенденцій

Необхідність подальшого освоєння відомих та нових родовищ вуглеводнів, які знаходяться на континентальному шельфі, головним чином зумовило появу СДП. Історія їх впровадження на світовому флоті починається з середини ХХ сторіччя. Перші СДП використовувались на РОВТ, що виконували технологічну роботу з буріння на глибинах, які не дозволяли використання традиційних методів позиціонування.

Для позиціонування технічних засобів освоєння континентального шельфу на глибинах приблизно до 100 м використовують жорсткий зв'язок з дном, який притаманний самопідйомним плавучим буровим установкам (СПБУ) та морським стаціонарним платформам (МСП). Стійкість при цьому типі позиціонування абсолютна, зміщення під дією чинників навколишнього середовища (НС) відсутні. Саме такий тип позиціонування найбільш ефективний при виконанні таких технологічних робіт в акваторії техноприродного комплексу, які потребують значного часу для їх виконання.

СПБУ за цільовим значенням схожа з напівзанурювальною плавучою буровою установкою (НПБУ) та плавучою буровою установкою (ПБУ). Проте НПБУ та ПБУ не мають жорсткого з'єднання з морським дном та можуть бути об'єктами управління СДП.

Ґрунтуючись на визначеннях International Maritime Organization (ІМО) провідних класифікаційних товариств (КТ) [249], а також Регістра судноплавства України (РУ) [221], можна дати наступні визначення МСП та СПБУ.

Морська стаціонарна платформа (МСП) – морська нафтогазопромислова споруда, що складається з верхньої будови та опорної основи, яка зафіксована на весь час використання на ґрунті та являється об'єктом облаштування морських родовищ нафти або газу. МСП застосовуються при видобутку нафтогазових ресурсів Чорноморсько-Азовського басейну і РУ здійснює технічний нагляд за МСП [221].

Самопідйомна плавуча бурова установка (СПБУ) – об'єкт водного транспорту, який виконує функції буріння в акваторії для чого підіймається над поверхнею акваторії на власних колонах, що спираються на дно [221, 249].

СПБУ та МСП можуть проводити буріння, проте у складному технологічному процесі видобутку газу та нафти приймає участь здебільшого саме МСП. Вона може відділяти воду або попутні гази. Далі ресурси можуть бути спрямовано до плавучої системи нафтовидобутку, зберігання і вантаження (ПСНЗВ) або до іншого технологічного комплексу, який має схожі функції з ПСНЗВ і буде займатися процесом подальшої обробки енергетичних ресурсів. В таких комплексах ключовим об'єктом технологічної роботи є пост управління вантажними операціями (ПУВО). ПУВО виконує весь спектр функцій технологічної роботи, а також він може бути суміщеним з навігаційним містком (в деяких випадках).

Абревіатура ПСНЗВ не набула широкого поширення в професійних колах. В професійних морських колах більш відомий англійський аналог абревіатури ПСНЗВ - абревіатура FPSO (Floating Production Storage and Offloading). ПСНЗВ або FPSO представляє собою РОБТ, що має корпус, який містить цистерни для зберігання видобутої нафти і засіб для викачування нафти з резервуарів. FPSO не проводить буріння та зберігає нафту, що відрізняє його цільове призначення від ПБУ, СПБУ та НПБУ, проте FPSO як і ПБУ та НПБУ не має жорсткого з'єднання з дном та СДП може використовуватись.

Крім можливості зберігати і розвантажувати нафту, FPSO включає також обладнання для отримання сирої нафти з видобувних свердловин і обробки її для експорту, розділяючи воду і газ. ПУВО при цьому набуває додатковий

функціонал технологічної роботи. FPSO надовго пришвартовується в відведеному їй місці і з'єднується із МСП або свердловинами гнучкою колоною і системами трубопроводів. Ці трубопроводи підходять з морського дна до плавучого пристрою на поверхні. Вони повинні бути гнучкими, щоб пристосовуватися до руху РОВТ зверху, і мати хорошу міцність.

Необхідність обслуговування цих технічних комплексів зумовила використання РОВТ з автономними телекерованими безлюдними підводними апаратами (АТБПА). Для надійної роботи АТБПА необхідно, щоб РОВТ використовував СДП для надійного контролю вектору стану. Це необхідно як для безпеки АТБПА, так і для безпеки ТПК.

Далі вуглеводні ресурси передаються на РОВТ, який транспортує їх від місця видобутку до іншого місця зберігання і перевантаження, або до користувача. Підводний контроль стану технічних систем та технологічної роботи може контролюватися за допомогою АТБПА. Більшість РОВТ постачання в даний час обладнані носовою системою наливу, зазвичай з гідравлічним приводом. Носовий налив вперше був представлений в 1975 році, і через кілька років показав себе дуже надійним. Метод добре підходить для суворих умов виконання технологічної роботи в умовах гетерогенних збурень ТПК. Вантаж переміщається гнучким шлангом або шлангами, які з'єднують FPSO з танкером. При цьому визначальним є процес координації не тільки навігації, а і вантажних робіт між двома відповідними ПУВО. Процес вантаження з корми FPSO на ніс танкера постачання відомий як «послідовне вантаження».

Наведений приклад являється одним з найпоширеніших варіантів транспортування, проте існують і інші варіанти перевезення ресурсів, які можуть включати берегові елементи, або інші РОВТ, що можуть відігравати важливі ролі у процесі, а також різні варіанти координації ПУВО відповідної технологічної роботи.

Для більш глибоких акваторій РОВТ позиціонують за допомогою гнучких зв'язків з дном. Найпоширеніший вид такого зв'язку – якірний. При цьому якірна лінія зв'язку може складатися з ланцюга або троса, а може бути комбінованою.

Перевірка стану зв'язків здійснюється за допомогою АТБПА. Гнучкі зв'язки використовуються для позиціонування на невеликих глибинах, вони дуже вигідні з економічної точки зору при позиціонуванні таких типів РОВТ, що не потребують частих переміщень. Такими типами РОВТ, які приймають участь у освоєнні нафтогазових родовищ являються плавучі системи нафтовидобутку, зберігання і вантаження, бурові платформи та ін.

При чому гнучкі зв'язки можуть розташовуватися по одиноко, або групами (переважно 3 – 5 ланцюгів). Частіше групи гнучких якірних зв'язків застосовують при позиціонуванні FPSO, що утримується на позиції сукупністю ліній цих зв'язків, що називається системою розширеного швартування. Система розширеного швартування являється ключовою системою, що забезпечує позиціонування і безпеку FPSO в збуреному локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу. Проте необхідно відмітити, що такий тип РОВТ як FPSO може також бути обладнано комплексом засобів активного керування (ЗАК), компоненти ЗАК (про них мова піде пізніше) також приймають участь у позиціонуванні і їх може бути застосовано для гарантування безпеки в різних загрозливих умовах на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ.

Гнучкі якірні зв'язки системи розширеного швартування ведуть у центральний швартовний пристрій, який розташовано всередині корпусу в «вежі», що дозволяє вільно переміщатися навколо точки позиціонування відповідно до змін НС. Це дозволяє позиціонувати РОВТ так, щоб ніс його корпусу завжди був направлений проти переважного напрямку чинників НС, скорочуючи їх негативний вплив.

По всьому світу нафту і газ знаходять і переробляють на все більших глибинах. У цих місцях глибина, океанські течії і жорсткі погодні умови можуть вплинути на безпеку позиціонування. Для гарантування безпеки мореплавства світова спільнота використовує вагомі юридичні інструменти – міжнародні конвенції (МК). Значення МК дуже важливе для підтримання стандартів в технічній сфері мореплавства. МК встановлюють також правила і процедури. МК

розробляються і приймаються в межах міжнародних організацій. Головною є Організація Об'єднаних Націй (ООН), яка також приймає участь в світових процесах щодо безпеки мореплавства шляхом прийняття МК [150]. ООН вважається унікальною організацією, що є світовою запорукою безпеки у всіх сферах.

Стандарти в сфері океанографії та морської метеорології задає Всесвітня метеорологічна організація (ВМО). Стандарти в сфері процедур гідрографії для покращення навігації РОВТ задає Міжнародна гідрографічна організація (МГО). Саме за цими стандартами будуються сучасні прогнози, друкуються карти, надається метеорологічна інформація, яка є частиною інформації з безпеки мореплавства (ІБМ). Стандарти ВМО, МГО, ІМО впроваджені Україною та використано в роботі. В жорстких умовах ТПК якірних гнучких зав'язків може виявитися недостатньо для надійного утримання FPSO на точці позиціонування. Саме тому часто також використовуються засоби активного керування для контролю і керування збуреного руху.

При розгляді гнучких зав'язків слід відмітити, платформи з натягнутим вертикальним якірним кріпленням, що визначається ABS як *tension leg platform*.

Така платформа з натягнутим вертикальним кріпленням використовує систему вертикальних зв'язків, які згруповано по периметру, для позиціонування над точкою виконання технологічної роботи акваторії ТПК. Натягнуті елементи являються достатньо жорсткими і майже не допускають вертикальні переміщення платформи, проте в горизонтальній площині невеликі переміщення можливі, що надає можливості платформі компенсувати сили впливів чинників НС за допомогою системи тросів.

Стійкість платформи з натягнутим вертикальним кріпленням задовольняє потреби виконання технологічної роботи, проте зміщення під дією чинників НС можуть їй заважати. Не маючи засобів активного керування платформа з натягнутим вертикальним кріпленням може зазнати істотних впливів і відхилитись від точки позиціонування, що зашкодить процесу виконання технологічної роботи, а також може негативно вплинути на безпеку.

Застосовують також системи якірного позиціонування, які керують положенням РОВТ за допомогою гнучких якірних зв'язків. РУ надає наступне визначення системі якірного позиціонування (СЯП).

Система якірного позиціонування - комплекс систем механізмів та пристроїв, призначений для утримання над координатою позиціонування із заданою точністю в умовах впливу зовнішніх сил, які діють на судно, за допомогою установлених якірних натягнутих ліній [226]. СЯП були характерними для застосування ПБУ, НПБУ.

Також при позиціонуванні в умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК в комплексі з якірними лініями СЯП можуть застосовуватись ЗАК. Якірне позиціонування із застосуванням допоміжних рушіїв - означає застосування пропульсивної установки РОВТ і його підрулювальних пристроїв (ПП) спільно із СЯП.

Весь технічний комплекс розташовано в корпусі РОВТ, який позиціонується для виконання технологічної роботи. Основними компонентами, що відповідають за безпечне позиціонування в умовах динамічних впливів чинників НС є енергетична система, комплекс ЗАК, бортовий багатофункціональний комплекс навігаційного обладнання (ББКНО) урахування випадкових помилок якого має вирішальне значення [30].

Кожна якірна лебідка СЯП повинна мати власну незалежну систему керування, що одержує живлення від власного фідера із індивідуальним пристроєм захисту. Кожна якірна лінія має свій стопор. Також кожна якірна лебідка повинна мати пост керування, розташований таким чином, щоб із нього був забезпечений достатній огляд при операціях із якорем, із урахуванням його завезення РОВТ-завізником. При цьому мають бути виконані вимоги правил технічної експлуатації (ПТЕ), що затверджує КТ. На кожному посту керування якірною лебідкою СЯП мають бути прилади щодо контролю натягу якірного ланцюга або троса, навантаження (струму) лебідки і довжину якірного ланцюга або троса, швидкість вибирання ланцюга або троса.

Центральний піст керування СЯП, у якому перебуває обслуговуючий персонал, повинний бути обладнаний приладами, які показують величину натягу якірних ланцюгів, величину швидкості і напрямок вітру. Там же повинні бути передбачені засоби зв'язку із усіма постами керування, зв'язаними із забезпеченням якірних операцій. Також в центральному посту розташовано комп'ютерні обчислювальні системи, ББКНО, систему керування, що забезпечує інтерфейс між кваліфікованим персоналом та машинною складовою.

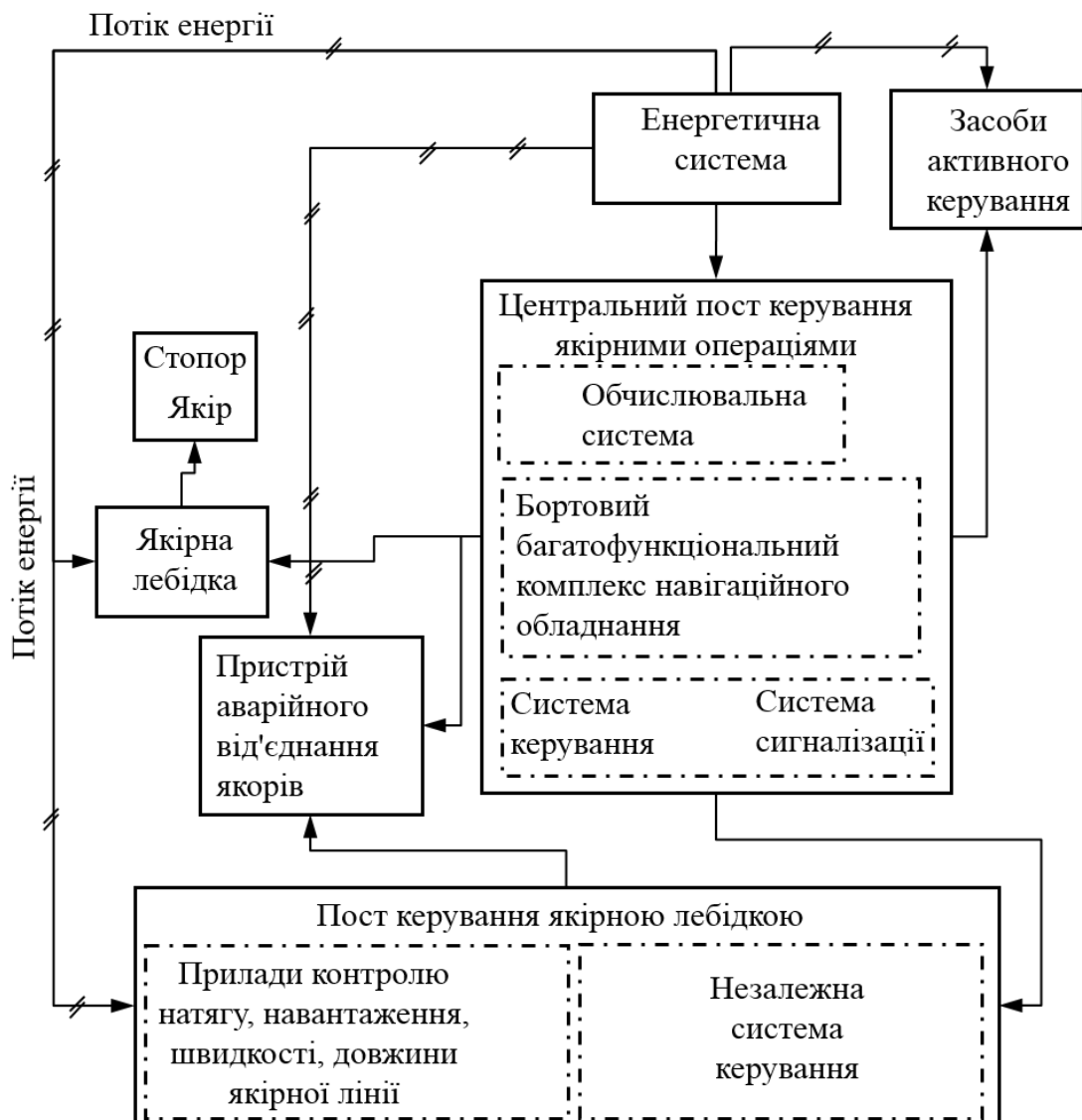


Рисунок 1.1 - Система якірного позиціонування рухомого об'єкта водного транспорту



На місцевих і дистанційних постах керування повинні бути передбачені пристрої аварійного від'єднання якорів від РОВТ, які зберігають свою працездатність також у випадку втрати живлення від основного джерела електричної енергії шляхом автоматичного переключення їх на резервне джерело. При цьому не вимагається, щоб зазначені кола керування отримували живлення від незалежного джерела.

Пристрої аварійного від'єднання повинні надійно спрацьовувати при навантаженні не менше мінімального розрахункового розривного навантаження якорного ланцюга/троса, а також при максимально можливому, стосовно аварійної остійності та умов затоплення, куті крену і диференту.

У центральному посту керування якорними операціями і на постах керування якорними лебідками повинні бути виведені наступні сигнали аварійно-попереджувальної сигналізації: перевищення допустимого натягу якорної лінії та зниження натягу якорної лінії нижче допустимого.

У центральному посту керування якорними операціями розташовується сигналізація, яка попереджує про вихід РОВТ за межі встановленої зони позиціонування, а також про відхилення курсу від заданого.

Таким чином у позиціонуванні приймають участь не тільки гнучкі якорні зв'язки, а й комплекс ЗАК. Такий тип позиціонування можна визначити як комбіноване. РУ присвоює до основного символу класу наступні символи для систем якорного позиціонування. POSMOOR – за умови відповідності встановленої системи якорного позиціонування вимогам 9.1-9.3 частини XV правил [226]. РУ надає до основного символу POSMOOR-ТА за умови відповідності вимогам 9.1-9.4 частини XV, з додатковим устаткуванням ПП, які відповідають вимогам, що викладено у розділі 8 частини XV [226].

Практично позиціонування лише за допомогою гнучких зав'язків використовується приблизно до глибин у 600 м. При проведенні технологічних робіт на глибинах більше 600 м все більше і більше використовується допоміжні ЗАК. При цьому типі позиціонування РОВТ використовує власний рушійний комплекс, що має перевагу. Головним недоліком позиціонування за допомогою

гнучких зв'язків є втрата мобільності об'єктом позиціонування і неможливість надійно контролювати переміщення і курс. Що, наприклад, унеможлиблює виконання деяких функціональних операцій ПБУ та НПБУ без застосування буксирів. Контроль переміщень і курсу можливо здійснювати при комбінованому позиціонуванні за допомогою ЗАК, але в детермінованих межах.

**Динамічне позиціонування** – це позиціонування лише за допомогою активної тяги ЗАК рушійного комплексу РОВТ [319]. Його перевага в мобільності та можливості контролю вектору стану РОВТ при порівнянні з наведеними вище видами позиціонування.

СДП призначена для автоматичного утримання позиції РОВТ виключно за допомогою рушійного комплексу. Відповідно, точка позиціонування повинна розташовуватися на одній вертикалі з комплексним центром мас РОВТ. В результаті загрозливих збурень чинників НС РОВТ зміщується відносно точки позиціонування на величину, що оцінюється миттєвим значенням радіус-вектору  $R_{\text{ДП}}$ . Максимально можлива величина зміщення РОВТ визначається залежно від характеру технологічних робіт або операцій, що здійснює РОВТ. Мета СДП полягає в мінімізації відстані радіусу  $R_{\text{ДП}}$ , тобто  $R_{\text{ДП}} \longrightarrow \min$ .

Коли значення сил збурень чинників НС більші, ніж сили, якими СДП може компенсувати збурення, відбувається втрата позиції ДП РОВТ. Саме таке визначення приводить до розуміння ключової ролі вектору стану РОВТ при реалізації законів термінального управління. В класичній постановці цього питання вектор стану об'єкту управління на  $i$ -му кроці стаціонарної моделі в базовій системі координат, яка зв'язана з координатою позиціонування, має в загальному випадку 18 змінних:

$$v_{\text{POBT}i} = [x_{ig}, y_{ig}, z_{ig}, V_{ix}, V_{iy}, V_{iz}, a_{ix}, a_{iy}, a_{iz}, \theta_i, \varphi_i, \psi_i, \omega_{ix}, \omega_{iy}, \omega_{iz}, \varepsilon_{ix}, \varepsilon_{iy}, \varepsilon_{iz}], \quad (1.1)$$

де  $x_{ig}, y_{ig}, z_{ig}$  - координати центрів мас по відповідних вісях, м;

$V_{ix}, V_{iy}, V_{iz}$  - швидкості по відповідних вісях, м/с;

$a_{ix}, a_{iy}, a_{iz}$  - прискорення по відповідних вісях, м/с<sup>2</sup>;

$\theta_i, \varphi_i, \psi_i$  - відповідні кути, рад;

$\omega_{ix}, \omega_{iy}, \omega_{iz}$  - кутові швидкості навколо відповідних вісей, рад/с;

$\varepsilon_{ix}, \varepsilon_{iy}, \varepsilon_{iz}$  - кутові прискорення навколо відповідних вісей, рад/с<sup>2</sup>.

Властивість стаціонарності при моделюванні гетерогенних процесів в локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу, яку в цій роботі буде використано, сформовано видатним вченим А.Я. Хінчиним [266], і вона застосовується насамперед до вектору збурень  $d_{зб}$ .

РУ вводить наступне визначення СДП [226] у четвертому томі правил класифікації та побудови суден: «Система динамічного позиціонування - комплекс, призначений для автоматичного і дистанційного автоматизованого керування пропульсивними механізмами судна з метою динамічного утримання його над координатою позиціонування із заданою точністю в умовах впливу зовнішніх сил, які діють на судно».

Аналогічні РУ визначення СДП надають Російський реєстр судноплавства у другому томі правил класифікації та побудови суден [207] і ряд інших КТ, які є членами Міжнародної асоціації класифікаційних товариств (МАКТ) [177]. Таке визначення застаріле і відображає стан питання на середину минулого століття, коли СДП використовували для позиціонування відносно «реперної точки». Подальший розвиток СДП, що здійснювався швидкими темпами на догоду все зростаючому попиту значно розширив можливості СДП і сферу застосування, яка нині вирішує широке коло завдань. І зараз СДП вирішують не тільки завдання утримання РОВТ на точці, а і завдання руху РОВТ з заданими показниками.

Циркуляр Комітету з Безпеки Мореплавання Міжнародної Морської Організації № 645 від 1994 р (MSC/CIRC 645 June 1994) визначає РОВТ, що виконує ДП, як об'єкт, який підтримує своє положення (фіксоване місце або шлях) винятково за допомогою активної тяги [319].

American Bureau of Shipping (ABS) наводить визначення у [283] згідно з Циркуляру № 645. Таким чином, в поняття заданого положення входить не лише фіксоване місце позиціонування, але і шлях РОВТ, або управління положенням з програмним рухом базисної точки. Визначення, що надано РУ і зміст поняття «утримання над координатою позиціонування» не відображає весь потенціал процесу сучасного динамічного позиціонування (ДП) і відображення процесу здійснення високоточної навігації.

Поняття самої СДП надається ABS також згідно з Циркуляру № 645 і визначається як комплекс встановленого обладнання, яке необхідне для динамічного позиціонування РОВТ та складається з наступних підсистем: енергетичної системи, системи рушіїв, системи керування ДП.

По суті визначення являється коротким і достатньо влучним для того, щоб охопити великий обсяг інформації, що стоїть за ним. Проте вбачається протиріччя в застосованому категоріальному апараті між системою та підсистемою.

Більшість світових КТ, особливо КТ, що являються членами МАКТ, які в межах своїх обов'язків та повноважень проводять класифікацію РОВТ, що обладнані СДП, надають схожі визначення СДП.

РУ надає також схоже визначення [226]. РУ визначає суть СДП як комплекс обладнання необхідний для ДП, що складається з наступних систем: електроенергетичної, яка забезпечує живлення комплексу; пропульсивних механізмів комплексу ЗАК, які забезпечують необхідні вектор і величину упору, що компенсують зовнішні впливи чинників НС; керування вектором стану РОВТ, що складається із комп'ютерної обчислювальної системи із відповідним програмним забезпеченням, інформаційними моніторами, комплексом датчиків зовнішніх впливів і датчиків положення РОВТ, а також органів керування.

Таке визначення, на відміну від визначення ABS, не містить категоріальних протиріч, є більш об'ємним і функціональним. Визначення також містить посилання на компенсацію зовнішніх сил, чий нелінійні динамічні збурення відіграють ключову роль в процесі взаємодії між РОВТ та НС при здійсненні ДП.

Також це визначення підводить до поняття вектору керованих впливів РОВТ  $c_{РОВТ}$ , який спрямований на компенсацію дії вектору збурення  $d_{зб}$ .

ДП є на даний час найбільш перспективним, технологічно розвинутим і економічно обґрунтованим ефективним напрямом позиціонування при організації та реалізації процесу видобутку корисних ресурсів і транспортування.

## 1.2 Визначення мети та задач дослідження

Як було визначено, саме ДП є перспективним методом позиціонування для подальшого освоєння енергетичних ресурсів світового океану та Чорноморсько-Азовського басейну. При чому СДП є складовою та невід'ємною частиною РОВТ. Поліергатичне управління РОВТ здійснює безпечну реалізацію просторово-часового процесу високоточної навігації в гетерогенно збуреному локально обмеженому середовищі акваторії техноприродного комплексу для виконання технологічної роботи.

**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.

**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 поліергатичного управління рухомих об'єктів водного транспорту у збурених локально обмежених акваторіях техноприродних комплексів.

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, полієргатичних систем навігаційного управління рухомими об'єктами водного транспорту.

2. Обґрунтування науково-методологічного апарату гарантування рівня безпеки шляхом динамічного програмування задач полієргатичного 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.

### **1.3 Міжнародні стандарти класифікації систем динамічного позиціонування та основні визначення**

Класифікація РОВТ з СДП здійснюється КТ на основі міжнародних вимог ІМО. Всі існуючі КТ додають до основного символу класу відповідний знак, що підтверджує наявність на борту СДП [177, 283]. Клас Регістра - це підтверджена

класифікаційним свідоцтвом Регістра відповідність РОВТ визначеним вимогам правил класифікації [223, 284]. Клас РОВТ позначається в його офіційному класифікаційному свідоцтві спеціалізованою сукупністю умовних символів відповідного КТ, а також словесних характеристик (за наявності в правилах) з метою надання повної характеристики РОВТ. А також з метою відображення конструктивних особливостей РОВТ, ідентифікації призначення й умов експлуатації (визначення характеристик НС) згідно з правил [223].

Процес нагляду за РОВТ починається РУ з моменту подання креслень для погодження та продовжується під час будування згідно з [222]. Вітчизняні вимоги щодо обладнання морських РОВТ визначено в [230], також в процесі будівництва РОВТ РУ перевіряє товщини металу згідно з методики, яку викладено в інструкції [215] і здійснює нагляд та перевірки. На заключних етапах будівництва проходить обмір РОВТ згідно з вимогами [228] та РУ визначає вантажну марку [229]. Процес класифікації та побудови РОВТ та СДП, як системи, проходить відповідно до [223-226]. Подальший процес нагляду проходить згідно з [217 - 219], процес огляду КТ РОВТ при експлуатації регламентовано [220].

Аналогічно РУ інші КТ проводять нагляд та класифікацію згідно своїх вимог, наприклад вимог [206 - 208]. Зокрема ABS проводить класифікацію РОВТ та СДП згідно з своїми правилами [284 - 286], проте СДП присвячено окремий документ [283], а процес нагляду за РОВТ після побудови проходить згідно з [287]. Класифікація СДП являється невід'ємною частиною процесу життєвого циклу РОВТ в цілому.

СДП складається з активних і статичних компонентів [319]. До активних компонентів відносять генератори, рушії або ЗАК, автоматично керовані клапани і т. д. Статичні компоненти складаються з елементів, які виконують допоміжні функції - це кабельні траси, трубопроводи, що з'єднують різні компоненти СДП.

Взаємодією цих компонентів досягається можливість утримання РОВТ на точці ДП. Системи діляться Міжнародною Морською Організацією на три класи

[319]. Три класи визначаються згідно з принципу ваги наслідків найгіршого випадку відмови.

Для обладнання СДП 1 класу втрата позиції РОВТ може настати внаслідок несправності одного з компонентів. Обладнання СДП 2 класу забезпечує утримання позиції при виході з ладу одного з активних компонентів або системи. При забезпеченні належного захисту, який схвалено Адміністрацією держави, а також за умови дотримання правил та норм технічної експлуатації РОВТ вважається, що статичні компоненти СДП не можуть відмовити. **Одинична відмова СДП** визначається як відмова, що відбулась у одному з активних компонентів СДП, або у одному з статичних компонентів, при цьому статичний компонент в якому відбулася відмова не був задокументований відповідно до вимог КТ.

Для обладнання СДП 3 класу одиничною відмовою вважається:

- усе перераховане для СДП 2 класу, а також вважається можливим вихід з ладу будь-якого статичного компонента;
- вихід з ладу усіх компонентів одного з водонепроникних приміщень унаслідок затоплення або пожежі;
- вихід з ладу усіх компонентів однієї з протипожежних зон унаслідок затоплення або пожежі.

Визначаються наступні способи управління СДП: автоматичне позиціонування і управління утриманням курсу, а також автоматизоване управління – дистанційне управління рушіями за допомогою одного органу керування (джойстика) і вибіркоче управління курсом РОВТ.

Для кожного РОВТ має бути передбачено ручне управління – індивідуальне керування: крок/швидкість, пуск/стоп кожного рушія окремо. Ґрунтуючись на визначеннях, викладених у вищезгаданому циркулярі, морські КТ визначають клас СДП. Порівняльна характеристика класифікації СДП провідними КТ, а також РУ наведена у Додатку В.

Основним фактором, що виступає резервом безпеки при ДП, являється резервування статичних і динамічних компонентів СДП. І хоча деякі КТ (Lloyd's



Register of Shipping, Registro Italiano Navale) і вводять додаткові символи, проте саме резервування, а не можливості системи, точність обладнання, або інші чинники зумовлюють клас СДП.

РУ вводить поняття резервування, а його синонімом вважає надмірність: «Резервування (надмірність) системи динамічного позиціонування – дублювання чи багаторазове резервування її елементів, при якому комплекс, що складається із електроенергетичної системи живлення і пропульсивних механізмів із їх індивідуальними системами керування, працює під керуванням комп'ютерної системи таким чином, що вихід з ладу окремих систем керування, окремих пропульсивних механізмів чи елементів електроенергетичної системи живлення не впливає на виконання завдання утримання судна над координатою позиціонування».

Під «нульовим» класом деякі КТ (ABS, Bureau Veritas, Registro Italiano Navale, Indian Register of Shipping, Korean Register of Shipping, Lloyd's Register of Shipping) позначають установку на РОВТ такого обладнання, яке дозволяє може за наявності здійснювати автоматичний контроль курсу (режим автоматичного утримання курсу) і ручний контроль позиції оператором СДП, що є управлінням за допомогою джойстика.

Джойстик може бути незалежною системою керування, яка функціонує окремо від СДП. При цьому до складу органів керування самої СДП джойстик входить обов'язково.

Динамічне позиціонування – позиціонування винятково за допомогою активної тяги, що створюють ЗАК. Під ЗАК РОВТ розуміють компоненти рушійного комплексу РОВТ, в якості яких можуть бути використані головні рушії, висувні рушії, ПП з гвинтами фіксованого кроку (ГФК) або гвинтами регульованого кроку (ГРК), азимутальні рушії, водометні рушії, крильчаті рушії та ін.

#### 1.4 Класифікація систем динамічного позиціонування відповідно до стандартів Регістра судноплавства України

Класифікаційне товариство Регістр судноплавства України являється державним підприємством, що веде свою діяльність в галузі морського і річкового транспорту, з базою стандартів ІМО. Основним напрямком діяльності є забезпечення безпеки мореплавства шляхом гарантування виконання вимог вітчизняних та міжнародних стандартів ІМО. Для цього РУ постійно удосконалює власну нормативно-технічну базу та внутрішню систему управління якістю, підвищує кваліфікаційний рівень персоналу, розвиває співробітництво і підтримує професійні зв'язки з усіма КТ та МАКТ, ООН, ІМО, ВМО, МГО, організаціями України і міжнародного морського співтовариства.

РУ проводить класифікацію СДП, спираючись на міжнародні нормативні документи і вводячи, як було показано раніше, свої власні визначення. РУ додає клас СДП до основного символу. Поряд з цим може бути надано і інші додаткові символи, які характеризують можливість функціонувати в певних умовах акваторії ТПК, зокрема льодових умовах [78]. Для класифікації СДП РУ дає визначення **одиночної відмови у системі динамічного позиціонування** - відмова або одного активного елемента (ПП, його локальної системи керування, генератора системи живлення, автоматизованого клапана), або одного пасивного елемента (трубопроводу, кабелю живлення чи керування, керованого вручну клапана тощо).

РУ вводить наступну класифікацію СДП і додає до основного символу класу відповідний знак, що підтверджує наявність на борту СДП:

СДП класу 1, що відповідає по своїм характеристикам знаку DP1 у символі класу ROBT, є системою із мінімальним резервуванням. При цьому втрата положення ROBT над координатою позиціонування може відбутися при одиночній відмові, визначення якої дано вище.

СДП класу 1 повинна мати резервування наступних елементів: виконавчих ПП із їх локальними системами керування; системи керування комплексом

(однієї ручної системи керування, другої - комп'ютеризованої); системи датчиків положення.

СДП класу 2, що відповідає по своїм характеристикам знаку DP2 у символі класу ROBT, повинна конструктивно резервувати, яке забезпечує утримання ROBT над заданою відповідною координатою позиціонування в умовах одиничної відмови у будь-якому активному елементі СДП.

ІМО, РУ, а також інші КТ вважають, що відмова у комплексі пасивних елементів СДП не може статися за рахунок впровадження відповідного захисту від механічних пошкоджень і властивостей самого пасивного елемента, якість яких підтверджено відповідними сертифікатами.

СДП класу 2 повинна мати резервування наступних елементів: електроенергетичної системи живлення; виконавчих ПП із їх локальними системами керування; комп'ютеризованої системи керування комплексом; системи датчиків положення.

СДП класу 3, що відповідає по своїм характеристикам знаку DP3 у символі класу ROBT, повинна мати резервування, що забезпечує утримання ROBT над координатою позиціонування при одиничній відмові елементів у наступних варіантах. Відмова у будь-якому одному активному і пасивному структурному елементі СДП, які знаходяться в різних водонепроникних відсіках ROBT. Або комплексна відмова активних і пасивних елементів, які всі знаходяться в будь-якому одному із водонепроникних відсіків ROBT, який зазнав затоплення або пожежу.

СДП класу 3 повинна мати резервування елементів, як для класу 2, але додатково усі резервовані елементи повинні бути розділені водонепроникними чи протипожежними переборками класу А-60.

Резервні елементи, що забезпечують необхідну надійність системи, повинні або постійно функціонувати, або включатися в роботу, при необхідності, негайно. Переключення на резервний елемент повинне бути або автоматичним, або за допомогою простих операцій ОСДП. Переключення не повинне викликати надмірних коливальних процесів режиму позиціонування.

Для СДП класів 2 і 3 помилка оператора системи динамічного позиціонування (ОСДП) чи його некомпетентність повинні розглядатися як одинична відмова, і ця відмова не повинна приводити до втрати стабілізації положення РОВТ над координатою позиціонування.

СДП визначається як комплекс обладнання необхідний для ДП, яке складається з наступних систем: електроенергетичної, яка забезпечує живлення комплексу; пропульсивних механізмів, які забезпечують необхідні вектор і величину упору, що компенсують зовнішні впливи; керування, що складається із комп'ютерної обчислювальної системи із відповідним програмним забезпеченням, інформаційними моніторами, комплексом датчиків зовнішніх впливів і датчиків положення РОВТ, а також органів керування.

Енергетична система – це система, що призначена для живлення електроенергією комплексу обладнання РОВТ в усіх умовах функціонування, включаючи аварійні. Енергетична система складається з: первинних двигунів генераторів з допоміжними механізмами, пристроями та трубопроводами; генераторів; розподільних щитів; кабельної мережі.

Енергетична система може бути як спеціалізованою, так і єдиною енергетичною системою РОВТ. Енергетична система являється одним з вагомих резервів функціональної стійкості та безпеки при проведенні ДП.

Система живлення для пропульсивних агрегатів повинна мати достатню потужність і вчасно реагувати на зміни, що викликані необхідними у даний період режимами роботи або впливами чинників НС на які реагує система.

Для СДП класу 1 система живлення може бути без резервування. Для СДП класу 2 система живлення повинна мати можливість поділу, як мінімум, на дві незалежні системи, кожна з яких повинна мати потужність, достатню для забезпечення усіх режимів роботи пропульсивних механізмів рушійного комплексу РОВТ. В процесі експлуатації система живлення повинна мати можливість функціонувати як єдина система енергопостачання. Для систем динамічного позиціонування класу 3 система живлення повинна мати характеристики для СДП 2, але на додаток до них повинна бути фізично розділена

вогнестійкою конструкцією (переборкою) класу А-60 на дві незалежні системи. Якщо електроенергетичні системи живлення розташовуються нижче експлуатаційної ватерлінії, вони повинні бути розділені водонепроникними переборками. У процесі експлуатації РОВТ такі системи живлення повинні функціонувати роздільно, за винятком випадків, що є предметом спеціального розгляду РУ.

Якщо передбачається автоматизована система керування електроенергетичною системою живлення, вона повинна бути резервована. Живлення для систем керування повинне бути виконане як від основного, так і від аварійного джерел електричної енергії. У випадку втрати живлення від одного із джерел енергії, на постах керування повинна передбачатися аварійно-попереджувальна сигналізація.

Живлення для програмувальних електронних систем СДП РОВТ (комп'ютерних чи мікропроцесорних систем) повинне бути виконане таким чином, щоб були зведені до мінімуму сплески напруги, гармонійні перешкоди і був забезпечений захист від помилкового (проти полярного) підключення

Для СДП, що мають залежно від класу відповідне резервування (надмірність), має бути передбачене наступне. Система живлення повинна бути обладнана пристроєм автоматичного переключення на резервне джерело, що має відповідні характеристики якості, в тому числі і у відношенні стабілізації. Операції по переключенню на резервне джерело енергії не повинні переривати чи порушувати процедури, що зв'язані із забезпеченням безпеки установки. Повинна бути звернена особлива увага на достатність ємності акумуляторної батареї, відповідність обладнання зарядних пристроїв відповідним акумуляторам, обладнання інверторів, системи контролю навантаження, системи захисту, пристрої заземлення, розподільні пристрої, пристрої синхронізації, що забезпечують переключення на резервні джерела енергії чи на резервні системи живлення.

**Система керування ДП** – це електрична і електронна програмована система, призначена для керування рушійним комплексом РОВТ, яка складається з:

- системи комп'ютерів, їх програмного забезпечення та інтерфейсів;
- системи автоматизованого управління рушійними механізмами із застосуванням одного органу керування (джойстика) або декількох органів керування;
- системи датчиків положення РОВТ і зовнішніх сил, що впливають на нього, і датчиків зворотних зв'язків;
- системи операторських пультів з органами керування і інформаційними моніторами;
- системи обчислення параметрів керуючих впливів рушійних механізмів і контролю заданого положення;
- кабельної силової та інформаційної мереж.

Для комп'ютерних систем, що застосовують у системах керування ДП класу 1, вимоги до резервування не пред'являються. Проте, комп'ютерні системи, що застосовують у системах керування ДП класу 2, повинні бути дубльовані і незалежні одна від одної. Несправності загальних пристроїв таких як пристрої сполучення, передачі даних, інформаційні шини, програмне забезпечення (ПЗ), у тому числі самоконтролю, не повинні виводити із ладу обидві системи.

Комп'ютерні системи, що застосовують у системах керування ДП класу 3, повинні бути дубльовані, як класу 2. Крім того, повинна бути передбачена одна незалежна резервна система керування ДП, яка розташована в особливому приміщенні, відділеному від головного поста керування вогнестійкою конструкцією класу А-60.

У ході процесу нормального керування ДП резервна система повинна знаходитися у режимі постійної готовності у включеному стані і у режимі автоматичного введення даних від датчиків системи контролю координат положення РОВТ, датчиків зворотного зв'язку рушіїв та ПП, тощо.

Переключення на резервну систему повинне бути можливим у будь-який момент і повинне виконуватися вручну із резервного поста керування.

Для комп'ютерних систем керування СДП 2 і 3 повинна бути передбачена програма аналізу наслідків відмов, яка здійснює перевірку можливості збереження положення РОВТ при відмовах агрегатів і пристроїв СДП, що здатні призвести РОВТ в найбільш важкі аварійні умови. Програма аналізу повинна підтвердити, що ПП або інші компоненти рушійного комплексу, які залишилися у роботі після типової відмови, можуть забезпечити ті ж результуючі гідродинамічні сили ЗАК, що були потрібні до виникнення відмови при наявних параметрах впливів чинників НС. Якщо програма аналізу наслідків підтверджує неможливість збереження заданого положення РОВТ, то у цьому випадку повинна включатися аварійно-попереджувальна сигналізація.

При проведенні операцій, для безпечного закінчення яких потрібний тривалий час, програма аналізу наслідків повинна мати функцію моделювання величин упору і необхідної потужності, що будуть забезпечені після відмови, здатної призвести установку в найбільш важкі аварійні умови, при уведенні даних про чинники НС вручну.

У резервованих комп'ютерних системах повинне бути передбачене автоматичне переключення функцій керування при виході із ладу в одній із комп'ютерних систем.

Перехід керування із однієї системи на іншу повинний бути без особливих впливів, що збурюють, ЗАК і компоненти рушійного комплексу, які знаходяться у режимі позиціонування.

Для кожної комп'ютерної системи керування ДП повинна бути передбачена система незалежного безперервного живлення, що забезпечує живлення комп'ютерів протягом не менше 30 хвилин у випадку втрати живлення від суднової мережі.

Прикладні програми і база даних повинні бути захищені від пошкоджень чи втрати даних унаслідок відмов у системі живлення, тобто повинні зберігатися в постійній пам'яті чи у пам'яті із безперервним незалежним живленням.

**Системи визначення місцеположення (координат) позиціонування** для СДП класу 1 повинні проектуватися виходячи із вимог експлуатації та виконуваної технологічної роботи із урахуванням необхідних прийнятних робочих характеристик.

Для СДП класів 2 і 3 повинні бути передбачені, принаймні, три незалежні системи визначення місця розташування, що працюють на різних принципах, які повинні одночасно та погоджено функціонувати у діючій системі керування ДП.

Системи визначення місцеположення (ВМ) повинні забезпечувати достатню точність даних для ДП. Також має бути передбачено аварійно-попереджувальну сигналізацію (АПС) оповіщення про відхилення даних від достовірних (стрибок чи поступове відхилення) чи надмірному ослабленні сигналів відповідних систем.

Для СДП класу 3 одна із систем ВМ повинна бути з'єднана із резервною системою керування і розташована в особливому приміщенні, яке відділено від приміщень інших систем ВМ вогнестійкою конструкцією класу А-60.

**Датчики параметрів впливу на РОВТ зовнішніх сил.** Для СДП повинні бути передбачені, як мінімум, наступні датчики, що вимірюють складові вектору стану РОВТ, вплив сил діючих на РОВТ, чи самі сили, що впливають на РОВТ. А саме: курс, величина хитавиці, швидкість вітру, напрямок вітру. При їх відмові ОСДП повинен отримувати сигнал АПС.

Для систем динамічного позиціонування класів 2 і 3 сигнали від датчиків зовнішніх сил повинні бути передбачені, як мінімум, від трьох незалежних систем по кожному параметру (за курсом, наприклад, повинні бути передбачені три гірокомпаси).

Для СДП класу 3 одна група датчиків кожного типу повинна задовольняти вимоги по відмежуванню їх від інших датчиків протипожежною конструкцією класу А-60.

**Система пропульсивних пристроїв (механізмів)** - система, що призначена для створення підтримки у кожний момент часу відповідних гідродинамічних вектору та упору, здатних компенсувати зовнішні впливи на



РОВТ. Система складається із електромашинних ПП, із їх приводами і допоміжними пристроями, включаючи трубопроводи і цистерни систем гідравліки (при наявності); головної пропульсивної установки РОВТ і рушіїв, якщо вони керуються СДП; електричного і електронного обладнання індивідуального керування пропульсивними механізмами; органів ручного та автоматизованого керування усіма пропульсивними пристроями спільно і кабельної мережі, зв'язаної із усіма механізмами і системами.

Кожний електричний привод ПП повинний одержувати живлення по індивідуальному ланцюгу живлення без використання загальних фідерів чи загальних пристроїв захисту і мати незалежний пристрій аварійної зупинки електродвигуна, що приводиться в дію із поста керування. Кожний електричний привод повинний мати власну систему керування, що одержує живлення по індивідуальному ланцюгу без використання загальних фідерів живлення чи загальних пристроїв захисту. Положення лопаті ГРК та азимут (напрямок) упору поворотних ПП, при виході із ладу електроприводу повинні залишатися попередніми, без значних відхилень. Відновлення керування ПП повинне виконуватися вручну.

Має бути виключено взаємний електромагнітний впливу між командними сигналами, сигналами зворотних зв'язків локальних систем керування та електронної (комп'ютерної) системи керування ДП.

Кожна електрична і гідравлічна система керування повинна бути забезпечена дубльованим живленням за допомогою індивідуальних кіл без використання загальних фідерів живлення чи загальних пристроїв захисту.

Повинні бути передбачені ланцюги резервного живлення із автоматичним переключенням на них при виході з ладу основного живлення не тільки для системи керування, але і для силового живлення ПП. Операції по переключенню живлення систем керування із основних фідерів на резервні не повинні приводити до втрати живлення обладнання і пристроїв.

Для локальної системи керування ПП і для комп'ютерної системи керування повинні бути передбачені роздільні датчики зворотних зв'язків. Канали зворотних

зв'язків не повинні мати загальних елементів, вихід із ладу яких приведе до втрати керування як від однієї, так і від іншої систем керування. Наприклад, два канали зворотних зв'язків повинні мати два незалежних датчики, що приводяться у дію роздільними механічними зв'язками, а кабельні лінії цих датчиків повинні проходити на максимальному віддаленні один від одного.

Сигнали зворотних зв'язків різних параметрів, які характеризують стан РОВТ, інформацію про енергію, що споживається для утримання РОВТ над координатою позиціонування і інші параметри вектору стану є найважливішими. СДП повинна бути здатна порівнювати ці сигнали, ініціювати систему АПС при їх відмовах і продовжувати утримувати РОВТ над координатою позиціонування, використовуючи сигнали зворотних зв'язків від інших датчиків.

**Пости керування.** Головний пост керування СДП на більшості типів РОВТ суміщений із головним постом керування на ходовому містку, звідки є достатній огляд країв РОВТ і навколишнього простору. На лицьові панелі пультів керування ДП повинна виводитися постійна світлова сигналізація та індикація нормального функціонування наступних елементів: електроенергетичної системи живлення (число працюючих генераторів і перетворювачів, їх навантаження, готовність резервних агрегатів); системи силових ПП та компонентів рушійного комплексу РОВТ, (число пристроїв, режим роботи системи, навантаження, стан локальних систем керування); системи керування ДП (стан основного і резервного живлення, величини і напрямки упорів ПП та рушіїв відносно осей РОВТ, індикація його позиції над координатою позиціонування; стан обчислювальної комп'ютерної системи; стан системи датчиків, що надають інформацію щодо положення РОВТ. Інформація по інших параметрах окремих пристроїв і механізмів повинна надаватися ОСДП за його викликом.

Система переключення моніторів і органи керування повинні бути виконані із урахуванням вимог стандартів ергономіки. Вибір режимів управління ЗАК повинний здійснюватися простими діями ОСДП, при цьому обраний режим керування повинний бути чітко відмінним від інших наступних режимів. А саме: ручного дистанційного управління ЗАК із локальних постів; управління

системою джойстиків із головного поста керування (в разі встановлення окремого незалежного від СДП джойстика, або в ручному режимі за допомогою джойстика, який є частиною СДП); автоматичного управління, яке здійснює СДП.

Для СДП класів 2 і 3 конструкція органів керування і електронна логіка керування повинні бути такими, щоб несанкціоновані чи некомпетентні дії оператора не могли стати причиною порушення нормального режиму ДП.

**Система аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації (САПСЗР) СДП** повинна відповідати загальним вимогам для цього типу систем. САПСЗР СДП, крім звукових і світлових сигналів, що відносяться до механізмів і пристроїв СДП, повинна містити текстову і графічну інформацію про типові виходи із ладу елементів системи і рекомендації ОСДП щодо необхідних заходів для утримання РОВТ над координатою позиціонування.

Контрольовані параметри САПСЗР повинні бути структурно розділені на параметри, що у визначеній мірі є інформаційними, і на параметри, за якими при спрацьовуванні АПС потрібно прийняття вахтовим персоналом негайних дій.

**Система керування ДП** повинна мати логіку, що при належній АПС забезпечує неможливість розвитку відмов і їх переходу із однієї системи на іншу. Резервовані елементи СДП повинні взаємодіяти таким чином, щоб у випадку виходу із ладу одного із них, він був ізольований (відключений), а інший вступив у дію. При цьому на моніторах повинна бути представлена достатня як візуальна, так і звукова сигналізація про процес переходу на резервний елемент СДП. Система керування СДП включає в себе відповідну **комп'ютерну систему керування**, яка є важливим компонентом і до якої пред'являються відповідні вимоги РУ [223 - 226].

Система керування повинна передбачати можливість швидкого переходу із автоматичного керування на дистанційне ручне керування ПП або рушія, як за допомогою декількох джойстиків (по числу ПП), так і за допомогою одного загального джойстика. Таким же швидким повинний бути і перехід із ручного керування на автоматичне (комп'ютерне). Необхідно відмітити, що процес

керування одним або декількома ПП чи рушіями проводиться практично шляхом виведення їх з ДП, коли можна керувати ними в ручному режимі.

### **Система кабельних трас, трубопроводи механізмів і пристроїв СДП.**

Для СДП класів 1 і 2 кабельні траси електричного обладнання і систем керування, а також трубопроводи гідравліки, палива, мастила тощо, повинні прокладатися із урахуванням загальних вимог і практики.

Для СДП класу 3 кабельні траси резервного електричного і електронного обладнання і трубопроводи резервних обслуговуючих систем і систем керування не повинні проходити разом із кабельними трасами і системами основного обладнання через ті самі приміщення (відсіки).

Таке прокладання допустиме тільки у випадку, якщо кабельні траси резервного обладнання будуть прокладені у вогнезахисних кабельних каналах класу А-60.

## **1.5 Аналіз аварійності рухомих об'єктів водного транспорту під час виконання динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі техноприродних комплексів та постановка завдання дослідження**

Для аналізу сучасного стану проблематики безпеки ДП необхідно враховувати стан аварійності на флоті в цілому. Так поняття безпеки ДП оперують базовим категоріальним апаратом, який спирається на визначення міжнародних та національних стандартів [101]. Терміну «аварійна подія» можна дати визначення, спираючись на Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних подій із суднами флоту рибної промисловості. Це положення було затверджено 8 вересня 2017 року наказом № 500 «Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних подій із суднами флоту рибної промисловості». Наказ набрав чинності з 5 грудня 2017 року.

Згідно з положенням, аварійна подія визначається як подія або як послідовність певної кількості подій або як випадок, що мають причинно-наслідковий зв'язок з експлуатацією РОВТ. Та в результаті цього мало місце або могло мати місце загибель хоча б однієї людини, заподіяння тяжких тілесних ушкоджень людині. Або зникнення людини з РОВТ чи залишення РОВТ екіпажом. Поняття настання аварійної події поширюється на: загибель або зникнення РОВТ, зіткнення з іншим РОВТ з різними наслідками, отримання конструктивного пошкодження РОВТ, яке призвело до втрати морехідного стану, посадки РОВТ на мілину, пошкодження або втрата функціональної стійкості компонентів комплексу технічного обладнання РОВТ, позбавлення РОВТ можливості контролювати хоча б один компонент вектору стану, забруднення РОВТ навколишнього природного середовища.

Поняття забруднення навколишнього природного середовища включає в себе потрапляння у акваторію шкідливих речовин, об'єктів, матеріалів, відходів у результаті аварійної події, пошкодження або експлуатації РОВТ. Це поняття ширше розкрито у Міжнародній конвенції про запобігання забруднення моря з суден (МАРПОЛ). МАРПОЛ встановлює норми, процедури, стандарти щодо безпечної експлуатації РОВТ.

Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами також є нормативним документом законодавства України в сфері морського транспорту. Це положення 29 травня 2006 року було затверджено наказом № 516 «Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами». Це положення визначає аварійну морську подію як подію, що відбулась в результаті або у зв'язку з експлуатацією РОВТ. При цьому ця подія спричинила, або могла спричинити смерть людини чи нанести шкоду здоров'ю людині, привела до загибелі РОВТ або привела до втрати морехідного стану РОВТ, а також зумовила забруднення акваторії.

При виконанні робіт, що пов'язані з ДП, аварійним випадком вважається втрата РОВТ позиції. Залежно від наслідків, можна розділити аварійні випадки на

два класи - на втрату позиції РОВТ без серйозних наслідків. І втрату позиції РОВТ, що спричинила серйозні наслідки.

Вбачається неясність чи є забруднення навколишнього середовища аварійною подією і чи варто розрізняти ці речі. Це протиріччя виходить головним чином від несистемної постановки питання. Звісно, що забруднення акваторії ТПК буде вважатися аварійною подією. Визначальними при цьому будуть формулювання МАРПОЛ.

Проведений автором збір статистики аварійності базується на інформації, яка представляє собою статистику аварійності з 1994 року по 2019 роки, що також виконано у роботі [324]. А також на фундаментальній праці [281]. Системний аналіз проблем навігаційної безпеки проведено у [168].

Результати аналізу аварійності РОВТ з динамічними принципами позиціонування представимо за допомогою метода, який було розроблено відомим японським вченим Ісікавою [133], який використовується для виявлення фактичних проблем.

З практичної точки зору аналізу аварійності на флоті можна відмітити той факт, що незважаючи на зусилля в різних напрямках щодо зменшення аварійності, аварійність з роками не зменшується істотно і залишається в межах однієї полоси.

Наочним представленням результатів аналізу за методом є діаграма Ісікави. В ході дисертаційного дослідження метод Ісікави набув подальшого розвитку. Основним недоліком методу Ісікави є те, що неможливо у відсотковому відношенні прослідкувати, які ж фактори є найвпливовішими. Також метод Ісікави не відображає «кільце причин» - тобто аварійні випадки, що тягнуть за собою інші аварійні випадки. Саме така послідовність може призвести до ескалації ситуації і збільшення наслідків [235]. Це допоможе зосередитись в першу чергу на головних причинах. А ієрархічно побудована структура факторів небезпеки надає змогу формування адекватної методології гарантування безпеки.

Як видно з модернізованої діаграми Ісікави, перше місце з причин аварійності РОВТ посідає людський фактор. У безпеці мореплавання під

поняттям людського чинника необхідно розуміти всю сукупність можливості і здатності ЛО по прийому інформації від різних джерел під час виконання функціональних обов'язків, аналізу потоків інформації, прийняттю відповідних ситуаційних рішень з або без застосування ПАК ППР або інших інструментів, що передбачено системою управління безпекою (СУБ). Ергатичній інтеграції поточкових процесів присвячено [88].

Процес реалізації високоточної навігації може вийти з часового циклу гарантованого безпечного поліергатичного управління і призвести до настання аварії з різних причин, які розривають цей циклічний процес.



Рисунок 1.2 - Удосконалена діаграма Ісикави для відображення складних динамічних причин аварій рухомих об'єктів водного транспорту з системами динамічного позиціонування

Основними причинами являються недостатній рівень знань, а також недостатня кваліфікація ЛО. Питання кваліфікації персоналу, який зайнятий у

операціях, які пов'язано з ДП, є неоднозначним. Неоднозначність впливає з того, що персонал має бути кваліфікованим не тільки відповідно до вимог Міжнародної конвенції по дипломуванню моряків та несенню вахти (МК ПДМНВ) [178, 164] з відповідними доповненнями [45], а й відповідно вимогам щодо кваліфікації ОСДП [315]. Кваліфікаційну підготовку ОСДП проходять за різними програмами. Так програма Морського інституту (Великобританія) завдає стандарти [304, 297]. В результаті проведеного аналізу вимог, можна зробити висновок про те, що на перетині критеріїв вимог є недоліки, які можуть призвести до настання аварії.

Основним недоліком є те, що ОСДП недостатньо обучений використовувати радіолокатор під час ДП для своєчасного виявлення шквалу і відповідно реагувати при виявленні. Це зумовлено тим, що радіолокатор використовується головним чином для попередження зіткнень РОВТ при здійсненні загальної навігації.

В цьому напрямку класичні дослідження були проведені в авіаційній галузі, що відзначилось у патентах відомих тренажерів [193, 195]. Також був розроблений кардинально новий тренажер [194], який комплексує необхідні ТС для відтворення навичок, проте питання впровадження рішень для СДП залишається відкритим. Також постає питання впровадження нових ефективних ПАК ППР, які можуть забезпечити додаткову необхідну підтримку кваліфікованому вахтовому складу відповідно до МК ПДМНВ. Основні принципи створення ПЗ для ефективних ПАК ППР визначено в [99].

Санітарно-гігієнічні причини - перевищення значень шкідливих для ОСДП речовин у повітрі навігаційного містка, недостатнє чи нераціональне освітлення автоматизованого робочого місця (АРМ), що заважає виконанню функцій управління ДП. В умовах технологічної роботи може відбуватись зростання рівня шуму та вібрацій, а також мати місце наявність різноманітних випромінювань, що негативно впливають на ОСДП. Норми праці встановлено Міжнародною конвенцією 2006 року про працю в морському судноплаванні і їх дотримання повністю може нейтралізувати аварійність з гілки цих причин.



Порушення стану здоров'я ЛО під час ДП може вплинути як на процес прийняття інформації, так і на процес її обробки, прийняття рішення, та реалізації і контролю прийнятого рішення. ОСДП має бути медично придатним для несення навігаційної вахти. Якщо стан здоров'я погіршився під час несення вахти – ЛО має сповістити старшого оператора системи динамічного позиціонування (СОСДП) або капітана/СОСДП.

Психофізіологічні причини в умовах виконання рейсового завдання РОВТ характеризуються насамперед перевантаженнями ЛО. Перевантаження можуть мати фізичний чи нервово-психічний характер, або бути комбінацією обох. Практично ОСДП при несенні вахти може допускати помилки через втрату уваги та концентрації при управлінні, яке викликано фізичним перевантаженням за статичними або динамічними характеристиками, або розумовим перевантаженням. Також сюди слід віднести перенапругу зорового та слухового аналізаторів, втому від монотонної праці, тощо. До аварій може призвести невідповідність фізіологічних і психічних особливостей організму людини, а також характеру виконуваної роботи, тобто порушення основних ергономічних вимог. Виконання вимог, які пред'являються до стану здоров'я, згідно з міжнародними вимогами (МК ПДМНВ, International Labor Organization) націлено на недопущення аварій та розвитку потенційно небезпечних сценаріїв по причині стану здоров'я або перевтоми ОСДП.

Важко змінити своєрідну психологію певної частини моряків, що виражається в легковажному відношенні до роботи, у зневазі до своїх обов'язків додержуватися правил безпеки та процедур. Дотримання вимог Міжнародного кодексу управління безпекою (МКУБ) має на меті впровадження процедур щодо запобігання аваріям. Згідно з МКУБ кожна компанія має розробити свою власну СУБ для конкретного типу РОВТ та напрямку їх експлуатації. Саме тому увага провідних вчених Національного університету «Одеська морська академія» (НУ «ОМА»), зокрема В.Г. Торського, В.П. Топалова спрямована на впровадження МКУБ на борту РОВТ та на організацію безаварійної роботи [254, 255]

Таким чином, основним джерелом небезпеки є перевантаження ЛО. Тобто потоки збурень, які впливають на групу кваліфікованих ОСДП. Група ОСДП реагує на потоки збурень потоками реакцій. Але тоді, коли потоки гетерогенних збурень ТПК перевищують потоки реакцій ОСДП – то може мати місце аварійна ситуація.

Процес управління розглядається як взаємодія компонентів поліергатичної системи, а ОСДП являється її функціональним компонентом. Вченим НУ «ОМА» А.С. Мальцевим розглядається проблематика навігаційної безпеки ДП в умовах відхилення параметрів термінального управління, з величиною, що досягає значень похибок ВМ РОВТ [169]. Коло питань гарантування навігаційної безпеки та супутні ергономічні впливи на безпеку в процесі реалізації законів термінального управління ДП РОВТ докладно розглянуто в [170 - 174].

Технічні причини представлені відмовами від різних джерел. До цієї ланки ми віднесемо тільки «чисті» технічні відмови компонентів РОВТ, до яких ЛО не є причетним. Основним способом ліквідації загроз є виконання технічних вимог МК та ПТЕ. Проте, як показує практичний аналіз, і цього не достатньо. Таким чином, необхідним є подальший аналіз для виявлення імовірності відмови критичних компонентів з метою впровадження коректувальних технічних рішень.

Вплив чинників НС на безпеку ДП є істотним. РОВТ реалізує процес високоточної керованої навігації на межі двох середовищ – повітря і води, які взаємодіють між собою. У режимі ДП РОВТ намагається реалізувати заданий ОСДП закон термінального управління. Вплив вітру (шквалу), течії і хвилювання збурюють РОВТ, яке СДП компенсує комплексом ЗАК [69, 82]. Коли сили акваторії техноприродного комплексу, що збурюють РОВТ, більше ніж сили, якими СДП може компенсувати збурення, відбувається втрата позиції, що може бути причиною аварії. Умова безпечної реалізації процесу ДП РОВТ під впливом нелінійних гетерогенних збурень чинників локально обмеженого простору техноприродного комплексу може бути записана наступним чином:

$$c_{POBT} \geq d_{зб} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_{кер} \geq F_{зб}, \\ M_{кер} \geq M_{зб}. \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_{r=1}^n F_{Xкерr} \geq \sum_{f=1}^4 F_{Xзбf}, \\ \sum_{r=1}^n F_{Yкерr} \geq \sum_{f=1}^4 F_{Yзбf}, \\ \sum_{r=1}^n M_{XOYкерr} \geq \sum_{f=1}^4 M_{XOYзбf}, \end{array} \right. \quad (1.2)$$

де  $F_{кер}$  - сила керованої реакції ЗАК РОВТ, кгс;

$M_{кер}$  - момент керованої реакції ЗАК РОВТ, кгс•м;

$F_{зб}$  - сила нелінійного впливу, що збурює РОВТ, кгс;

$M_{зб}$  - момент нелінійного впливу, що збурює РОВТ, кгс•м;

$F_{Xкер}, F_{Yкер}, F_{Xзб}, F_{Yзб}$  - проекції сил керованих реакцій РОВТ та зовнішніх сил

на відповідні вісі зв'язаної системи координат;

$n$  - кількість компонентів ЗАК РОВТ, що приймають участь в створенні сил.

Найбільшу реальну загрозу під час проведення технологічних робіт становить різкий скачок сил збурень. Для уникнення аварійних випадків пропонується прогнозування навантажень на комплекс ЗАК [288, 308, 309, 314, 316]. Прогнозування полягає у використанні математичного моделювання для прогнозування поведінки РОВТ, що здійснює ДП у локально обмеженому просторі акваторії ТПК при виконанні технологічної роботи [105].

Інші причини займають останнє місце і включають в себе загрози від різних джерел, включаючи нові загрози від тероризму і інших протиправних дій. Виконання міжнародних вимог Конвенції ООН по морському праву [150], а також вимог International Ship and Port Facility Security Code [322].

Таким чином можна ввести досліджувану систему  $S_d(t)$  на просторово-часовому проміжку, яка реалізує процес ДП в умовах гетерогенних збурень ТПК. Збурення можуть бути первинними причинами катастрофічних наслідків. Для ідентифікації введемо  $n$ -вимірний простір  $\Pi$ :

$$\ddot{\Pi} = \eta_{\ddot{\Pi}}^n, \quad (1.3)$$

Система  $S_D(t)$  функціонує в цьому сенсі в  $n$ -вимірному просторі  $\Pi$  можливих альтернатив її станів:

$$\{S_D\} \subset \ddot{\Pi}, \quad (1.4)$$

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

Множина можливих станів  $S_D$  може бути описана через параметри компонентів складної динамічної системи. На етапі загальної постановки завдання позначимо загально параметр через  $\chi$  (в розділі 2 проведемо конкретизацію цього параметру). Властивість гетерогенності та динаміки процесів на просторово-часовому інтервалі експлуатації РОВТ в акваторіях ТПК зумовлює перехід до множини безпечних станів системи  $\{U\}$ .

В процесі функціонування  $S_D$  безпечне функціонування в цьому сенсі відбувається за відсутності технічних відмов. А також при умові відсутності таких гетерогенних збурень, які перевищують можливості системи до адаптації до них і вірного реагування. В сенсі технічних показників характерною ознакою відмови є відхилення параметрів роботи компонентів СДП РОВТ від встановлених значень. В сенсі збурень спостерігається така ж сама картина – існує певний поріг, який є вирішальним.

Надійність функціонування компонента СДП характеризується потраплянням поточного значення характерного параметра  $U$  в робочу область, яка характеризується максимальними і мінімальними значеннями  $U \in [U_{\min}, U_{\max}]$ . Що зумовлює виконання наступної умови на всьому часовому відрізку здійснення ДП:

$$U_{1\min} \leq U_1 \leq U_{1\max}; U_{2\min} \leq U_2 \leq U_{2\max}; \dots U_{n\min} \leq U_n \leq U_{n\max} \quad (1.5)$$

Проте контроль таких параметрів СДП як геометричний фактор глобальної супутникової навігаційної системи (ГНСС) або сили відповідних сигналів гідроакустичної, радіо, лазерної або інших систем ВМ РОВТ повністю лягає на вахтовий персонал. При погіршенні таких сигналів не відбувається відповідної додаткової звукової сигналізації поки система не вийде за межі нормального функціонування. Все це зумовлює інший вид загроз – загрозові події, які мають суть потоків збурень, які потребують реагування ОСДП. В цьому випадку реакції ОСДП формують також відповідні потоки. Таким чином гарантування безпеки процесу ДП РОВТ забезпечується цільовою поліергатичною системою управління в якій ключове місце займає ОСДП.

Показники чинників НС впливають на РОВТ і мають також свої граничні значення. Все це загалом формує множину параметрів безпечного функціонування системи  $S_d(t)$  на просторово-часовому проміжку і визначає умову безпечного функціонування в загальному виді  $S_d(t) \in \{U\}$ , як належність станів досліджуваної системи до ідентифікованої множини  $\{U\}$  безпечних параметрів.

Завданням є гарантування безпеки ДП РОВТ в локально обмеженому просторі акваторії ТПК в умовах гетерогенних збурень. Для цього необхідно дослідити та провести детальний опис всіх вирішальних складових складної динамічної системи. Сформувані критерії для гарантування безпеки та визначити гарантовані безпечні результати, що формують умови безпечної реалізації високоточної навігації.

### **Висновки до першого розділу**

1. Аналіз вітчизняної, міжнародної статистики та нормативної документації свідчить про подальший розвиток широкомасштабного впровадження новітніх засобів високоточної навігації та управління руху з метою підвищення

безпеки, що стає актуальним для України при подальшій розробці нафтогазових ресурсів шельфу.

2. Визначено тенденцію стабілізації відносної кількості аварій на техноприродних комплексах, що впливає на зростання збитків за фактом експлуатації та потребує проведення наукових досліджень по підвищенню рівня безпеки.
3. Аналіз аварійності РОВТ під час ДП при виконанні технологічної роботи в гетерогенно збурених умовах локально обмеженого простору техноприродного комплексу та неотримання гарантованого рівня безпеки дозволяють стверджувати, що існує багатофакторність взаємовпливів між джерелами загрозливих збурень та станом в той самий час засобів навігації, ресурсів реалізації управління в поточних умовах, що варіюються та змінюються.
4. Відомі науково-технічні підходи до вирішення завдання гарантування безпеки ДП мають високу ефективність лише у межах області застосування свого математичного апарату. Використання суперпозиції підходів для розширення меж зводиться до проявів міждисциплінарних розривів, а також до того, що обчислювальна складність моделювання системи «РОВТ -техноприродний комплекс» зростає, що приводить до витрат часу на їх впровадження, подальше вдосконалення.

Матеріали розділу 1 висвітлені у працях автора [73, 78, 88, 99, 101] та у Додатку В.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ БЕЗПЕКИ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ В ГЕТЕРОГЕННО ЗБУРЕНИХ АКВАТОРІЯХ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ

#### 2.1 Системний підхід у безпеці поліергатичної системи управління збуреним рухом при динамічному позиціонуванні в локально обмеженому просторі

В процесі виконання технологічної роботи, що пов'язана з ДП в збуреному локально обмеженому просторі, що є частиною акваторії розташування ТПК, контроль процесів термінального управління високоточною навігацією здійснюється поліергатичною системою конкретного РОВТ. Зазначена властивість поліергатичності зумовлена тим фактом, що зі складною технічною СДП взаємодіє група змінного вахтового персоналу - ОСДП, яка має ієрархічну структуру. Безпека таких систем залежить від здатності ЛО проводити ефективне управління при гарантовано безвідмовному функціонуванні технічних систем РОВТ.

Для гарантування безпеки РОВТ, яке проводить ДП в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи, необхідно не допускати настання аварійних подій. Гарантуванню безпеки процесу ДП, а також систем РОВТ в динамічних умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК присвячено [20, 90]. Системний підхід в дисертаційному дослідженні застосовується при дослідженні об'єкту як системи, в якій визначено елементи та внутрішні й зовнішні зв'язки між складовими на кожному ієрархічному рівні, які мають вирішальне значення щодо функціональної стійкості.

Фундаментальними працями по теорії систем, які надають базис для подальшого дослідження є праця Ван Гіга [50], а також [260]. Синергетичний

характер взаємодії досліджено та розкрито в [275]. Визначними працями по застосуванні системного підходу в науці є [41, 213, 248, 191].

Відомо ряд наукових робіт, які застосовують системний підхід для вирішення класичних питань безпеки морської галузі. Вчений НУ «ОМА» М.С. Алексейчук розглядає весь процес судноводіння за допомогою системного підходу [3], а також процес прийняття рішення для гарантування навігаційної безпеки [4]. Також проблематика навігаційної безпеки досліджена на основі системного аналізу іншим відомим вченим [168]. В.П. Топалов, В.Г. Торський, В.В. Торський (НУ «ОМА») пропонують використовувати системний підхід для підвищення безпеки мореплавання [255]. Проблематиці сучасного стану безпеки ДП в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору присвячено роботу [73].

Математичному моделюванню систем присвячено роботу [197]. Моделюванню систем в середовищі MATLAB, яке використано в ході дисертаційного дослідження, присвячено [53, 125, 163].

Системний підхід в дисертаційній роботі застосовується як напрямок методології наукового пізнання, що відповідає класичній парадигмі в гносеології. Основою системного підходу є дослідження об'єкта як цілісної складної динамічної системи, яка складається з взаємопов'язаних елементів з ієрархічною структурою, а також в системі присутні сукупності сутностей і відносин. Системний аналіз використовується в даному дослідженні в наступних іпостасях.

Системний аналіз із практичного боку є системою методів дослідження полієргатичної системи, пошуку, планування і реалізації змін, призначених для гарантування безпечного ДП конкретного РОВТ в локально обмеженому просторі акваторії ТПК.

З методологічного боку системний аналіз реалізує практично ідеї матеріалістичної діалектики при вирішенні конкретних задач. Вирішення таких задач полягає також в необхідності ієрархічної ідентифікації складних систем, з'ясування причин складності розв'язків, усунення таких причин.



Системний аналіз володіє міждисциплінарними та наддисциплінарними властивостями, які виникають завдяки системі застосовуваних неформальних методів експертних оцінок методів, емпіричних, експериментальних методів дослідження з одного боку, а з іншого боку чітких формальних математичних методів.

При ДП складна полієргатична система керування і реалізації процесів високоточної навігації має бути досліджена як ієрархічна структура. Ієрархічність будови зумовлює наявність множин підсистем, які мають бути відповідно ідентифіковані на ієрархічній основі. В роботі введемо наступну класифікацію і позначення рівнів ієрархії, які будемо використовувати при декомпозиції та дослідженні складних систем.

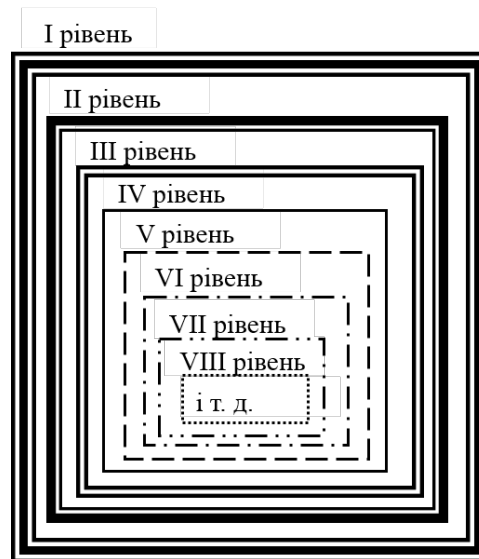


Рисунок 2.1 - Запропонована структура ієрархії

I рівень є найвищим рівнем декомпозиції РОВТ і він відображає систему, як єдине ціле і на схемах елементи цього рівня зображено як одна щільна товста лінія з однією лілією вверху та внизу. Інші рівні ієрархії нумеруються відповідно «глибині» декомпозиції, а позначаються менш щільними лініями.

Структура системного об'єкта ТПК розглядається як єдність двох протилежних понять - розчленованість та цілісність. Для кожної складної динамічної системи існує декілька способів розділення на підсистеми. У

системному підході передбачається, що взаємозв'язок і взаємодія елементів зумовлюють нові системні властивості досліджуваного об'єкта, які не притаманні його окремим структурним частинам або їх сукупності без умови системного об'єднання.

При ДП полієргатична система взаємодіє з факторами НС локально обмеженого простору: вітер, морське хвилювання, лід. Також на процес руху впливають батиметричні характеристики гідрології локально обмеженого простору, яка зумовлює специфіку взаємодії з корпусом РОВТ.

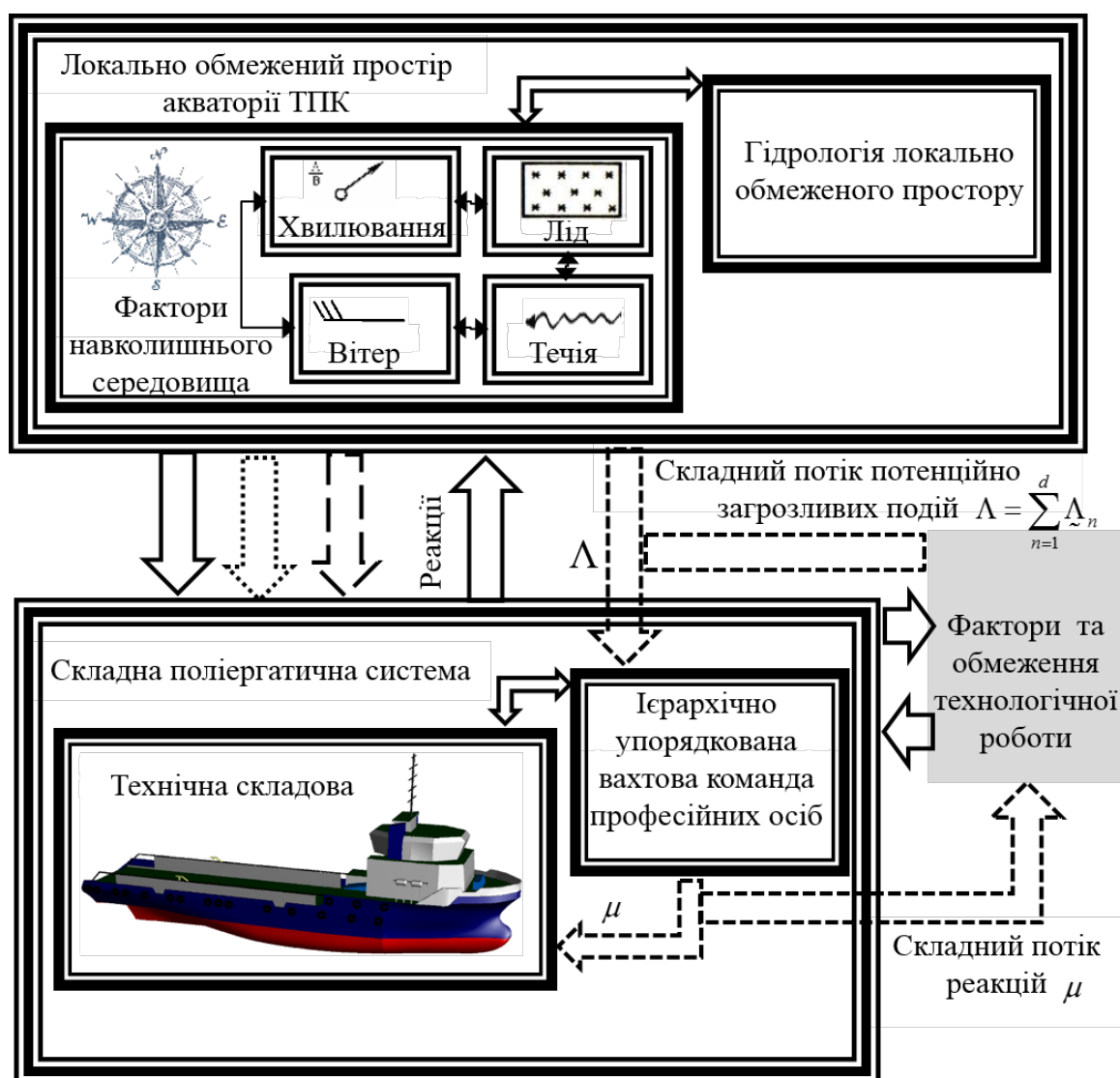


Рисунок 2.2 - Взаємодія складних системи при динамічному позиціонуванні в локально обмеженому просторі

Хвилювання, течія та вітер представляють собою відомі математичні моделі рідини, які взаємодіють одна з одною, а також впливають на систему лід, які разом взаємодіють з корпусом РОВТ.

Полієргатична система виробляє керуючі впливи, які реалізує рушійний комплекс РОВТ під загальним управлінням ієрархічно упорядкованої вахтової команди професійних осіб.

Математичні моделі взаємодіючих систем ТПК при ДП представляються відомими рівняннями руху корпусу РОВТ в рідині, рівняннями гідродинаміки та аеродинаміки, рівняннями електродинаміки електроприводів, рівняннями механіки рушіїв, рівняннями, що описують процеси управління СДП.

В ергатичному полі безпеки РОВТ ключовими являються потоки загрозливих подій  $\Lambda$ , які збурюють полієргатичну систему. Ці потоки формуються не тільки локально обмеженим простором виконуваного ДП, а й характером технологічної роботи, яку виконує РОВТ. Також джерелом потоку загрозливих подій може бути і сама технічна система і тоді роль ОСДП являється ключовою.

В процесі обробки цих подій всіма складовими полієргатичної системи (наприклад, характерні параметри збурень системи НС фіксуються датчиками, які входять до складу ББКНО РОВТ) ієрархічно упорядкована вахтова команда професійних осіб приймає необхідні рішення (реакції) на збурення, формуючи тим самим потік реакцій  $\mu$ . Таким чином не отримують подальшого розвитку загрозливі для РОВТ події, які можуть призвести до аварії в акваторії ТПК.

Реалізація такого принципу декомпозиції добре помітна на прикладі будь-якої складної системи управління з ЛО. Як відомо, функціонування полієргатичної системи в класичному виді є процес класичної взаємодії керуючої і керованої систем з відповідним підпорядкуванням.

Проте як видно на II рівні декомпозиції технічна складова (РОВТ) і людська складова (ієрархічно упорядкована вахтова команда професійних осіб) знаходяться на одному рівні. Слід відмітити, що при реалізації ДП РОВТ система

набуває властивості полієргатичності тому, що декілька ОСДП взаємодіють з декількома ТС.

Таке положення не значить, що в сучасному флоті технічна складова набула однозначно такого статусу. Проте розвиток штучного інтелекту вже зараз може вказувати на подальший розвиток СДП у повністю автономні системи управління РОВТ без втручання ЛО. Практично вже зараз деякі інтелектуальні функції прийняття рішень (наприклад при виходу з ладу одного компоненту системи ВМ або всієї системи ВМ) СДП реалізує без втручання ЛО.

З методологічного боку така декомпозиція є вирішальною тому, що вона дозволяє розділити дослідження як взаємодію двох інтелектуальних систем, що є важливим не з ієрархічного боку, а з боку структуризації взаємодії, де інтелектуальні людська та технічна складові спільно взаємодіють для гарантування безпеки РОВТ при ДП, зберігаючи вирішальну головну роль ЛО в процесі прийняття остаточних рішень.

Саме така декомпозиція і структуризація процесу здійснення високоточної навігації в збуреному локально обмеженому просторі дозволяє проводити глибокий всебічний аналіз елементів складної динамічної системи, встановлювати взаємозв'язок між ними в межах конкретного ієрархічно упорядкованого структурного модуля.

Гарантування безпеки РОВТ на всьому просторово-часовому проміжку виконання рейсового завдання в умовах гетерогенних збурень ТПК можливо за умов одночасного збігу наступних вирішальних факторів: високої професійної підготовки операторів системи динамічного позиціонування відповідно до міжнародних стандартів, гарантування функціональної стійкості технічної складової полієргатичної системи, обладнання РОВТ відповідними сертифікованими КТ технічними засобами, які експлуатуються в межах ПТЕ для безпечної реалізації процесів високоточної навігації і виконання технологічної роботи відповідно до вимог локально обмеженого простору.

Таким чином, безпечне функціонування полієргатичної системи, метою якої є забезпечення процесів ефективною безпечною навігації і виконання

технологічної роботи в збуреному чинниками НС локально обмеженому просторі буде гарантовано при надійному безаварійному функціонуванні всіх технічних систем РОВТ, які формують технічну складову, а також при гарантуванні надійного і безпечного управління і контролю роботи технічної складової кваліфікованим відповідно до вимог МК ПДМНВ екіпажем РОВТ на всьому проміжку виконання рейсового завдання.

Пропонований підхід до оцінки та гарантування безпеки функціонування поліергатичної системи, яка включає СДП, а також групу ОСДП в просторово - часовому інтервалі функціонування РОВТ пропонується проводити у двох напрямках.

Перший напрямок полягає в оцінці можливості ОСДП здійснювати безпечно і ефективно управління СДП і виконання конкретної технологічної роботи. У зв'язку зі значними сумами збитків і катастрофічними наслідками від можливих допущених помилок в процесі управління в самій системі, де особливе значення набуває роль ОСДП в потоці подій, що збурюють систему, і які можуть 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. Таким чином формуються потоки відповідних реакцій.

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 системи управління процесом навігації. 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 поточному контролі ТС 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 технічних ресурсів, які визначають

шляхом динамічного програмування інтелектуальні агенти управління навігацією. При цьому вважається, що вимоги ПТЕ виконуються належним чином кваліфікованим персоналом.

Утворена таким методологічним підходом множинність дозволяє використовувати велику кількість відомих математичних моделей або синтезувати нові моделі для опису відповідних структурних елементів складної динамічної системи в різних умовах гетерогенних збурень ТПК.

Використовуваний системний підхід дозволяє отримати нову інформацію про характер функціонування складної динамічної системи, яка є недоступною при несистемній постановці завдання і вибору несистемних методів рішення проблеми. Це дозволить забезпечити повною інформацією для підтримки прийняття рішення на борту РОВТ, в компанії при стратегічному плануванні комерційної експлуатації в умовах ризиків та невизначеності. Необхідною інформацією також будуть забезпечені зацікавлені проектні організації, освітні організації, тощо.

Складна динамічна досліджувана система може бути розділена на підсистеми різної міри складності і вивчатися з різних кутів, залежних від специфіки системи і від можливостей технічних засобів. При формуванні моделі складної динамічної системи організуються структура і зв'язки системи на основі методів морфологічного аналізу та механізму «внутрішньої» взаємодії елементів системи. А також «зовнішнього» функціонування складної динамічної системи в заданих умовах життєвого циклу РОВТ.

При побудові моделей безпечного функціонування складних динамічних систем ТПК необхідно враховувати наступне:

1. Покрокове та послідовне просування по всіх відповідних визначених етапах дискретного динамічного програмування.
2. Структуризацію та узгодження всіх інформаційних, ресурсних та інших характеристик елементів складних динамічних систем.
3. Вірне співвідношення окремих рівнів ієрархії при моделюванні та ідентифікації синергетичної взаємодії.

#### 4. Цілісність ієрархічної структури.

5. Можливість відокремлення відособлених відповідних стадій методології формалізації моделі складної динамічної системи. Це поняття уособлює модульний принцип, що є необхідним для проведення досліджень складних динамічних систем, що надає властивість «гнучкості» при дослідженні окремих складових. Властивість гнучкості яскраво виражено застосуванням модульного принципу при формуванні ПЗ у MATLAB з застосуванням пакету Simulink. Бібліотеки якого надають можливість формувати модулі, які легко приєднати.

Якісна визначеність систем обумовлена їх структурою, під якою розуміється сукупність стійких зв'язків між частинами цілісного об'єкта ТПК та процесу ДП. Розчленованість характеризується якісною специфікою частин складної динамічної системи і їх числом, рівнями ієрархії. Цілісність системного об'єкта РОВТ характеризує переважну силу і істотність внутрішніх зв'язків в порівнянні з зовнішніми зв'язками системи з НС, де визначальну роль грає результат взаємодії. Саме така побудова моделей гарантує синтез нових інтелектуальних ПАК ППР, які матимуть властивість гнучкої адаптації на флоті. При цьому необхідно враховувати відношення як між частинами моделі ТПК, так і між структурними частинами нижчих ієрархічних рівнів, які слід розуміти як взаємозалежність або взаємовплив двох і більше об'єктів системи. Якщо певні «виходи» якого-небудь елемента складної динамічної системи одночасно є «входами» іншого елемента - то такого роду відносини називають зв'язком. Неминучими є побічні «входи» і «виходи». Враховувати побічні «входи» і «виходи» необхідно. Іноді при дослідженні побічні зв'язки обумовлюють несподівані властивості складної динамічної системи.

Системи і процеси при проведенні дослідження будемо класифікувати за характером функціонування наступним чином:

- детерміновані (в залежності від стану можна однозначно судити про їх функціонування систем і протікання процесів);
- стохастичні (можна висловити тільки припущення щодо різних можливих варіантів їх функціонування систем і протікання процесів).

Необхідно відзначити, що система може містити детерміновані і стохастичні підсистеми.

## **2.2 Формалізація задач навігації і керування для методу динамічного програмування безпеки поліергатичного управління**

На базі системного підходу, який в дисертаційному дослідженні використано 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, проведемо постановку завдання динамічного програмування безпеки поліергатичної системи. При цьому, будемо керуватися викладеною вище декомпозицією на технічну та людську складові, а також іншими викладеними вище висновками.

У різноманітних сферах практичного застосування СДП часто виявляється необхідність приймати рішення щодо поточного гарантування безпеки не відразу, а поступово, крок за кроком. Ухвалення рішення, таким чином, має сенс не одиничного акту, а комплексного процесу, який складається з кількох етапів.

Такий підхід не є новим і використовувався вже досить давно в техніці при дослідженні широкого кола питань. Найбільш повно ця ідея була втілена та описана А. Вальдом [330, 331] в його теорії секвенційного статистичного аналізу, а також Р. Беллманом [293].

Проведена систематизація прикладів практичних проблем гарантування безпеки поліергатичної системи у гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі, показує, що вони не можуть бути обслужені деяким однаковим математичним апаратом. Це зумовлено різноманітністю типів РОВТ і видами технологічних робіт. Класичні методи знаходження екстремумів функцій багатьох змінних тут часто виявляються непридатними зважаючи на велике число критеріїв, від яких залежить вирішення проблеми гарантування безпеки ДП в конкретних умовах гетерогенних збурень акваторії ТПК. Пошуком виходу є



подальше розвинення методології вирішення цієї проблеми Р. Беллманом шляхом застосування апарату динамічного програмування [36, 291, 292].

Динамічне програмування представляє собою, згідно з класичним визначенням, метод розв'язання складного завдання шляхом розбиття його на менші та простіші складові, які вирішуються [36]. Класично метод динамічного програмування застосовується до задач з системною ієрархічною структурою, що виглядає як набір підзадач або система підзадач, що мають зв'язки. Предметом динамічного програмування є вивчення багатокрокових рішень [293]. Саме такі ознаки надають можливість динамічному програмуванню бути легко сумісним з системним підходом. А також з модульним принципом побудови моделей. Принцип оптимальності, що лежить в основі класичного динамічного програмування, часто може бути реалізований у вигляді функціонального рівняння, рішення якого доступніше методам сучасної математики, ніж рішення відповідних рівнянь в умовах класичної постановки задачі. Динамічне програмування користується такими властивостями завдання:

- підзадачі перекриваються, що дозволяє створювати системні зв'язки в моделях;
- наявність чіткої ієрархічної структури;
- наявність елементів рекурсії;
- можливість запам'ятовування рішення відомих підзадач та формування баз рішень, бібліотек моделей.

Саме це відрізняє метод динамічного програмування від методу декомпозиції та інших схожих методів. Динамічне програмування може бути однопараметричним і багатопараметричним.

Класичним завданням двовимірного динамічного програмування є задача о «маршрутах на прямокутному полі», що має на меті у різних формулюваннях необхідність порахувати число маршрутів або знайти маршрут, який є кращим в деякому сенсі.

Типова задача динамічного програмування Беллмана в класичній постановці завдання полягає в знаходженні деякого компонента  $Q_{\text{БШ}}$  при

вихідних даних  $Q_{БШ1}, Q_{БШ2}, Q_{БШ3}, Q_{БШ4}, \dots, Q_{БШn}$ . При динамічних процесах, що характерні для досліджуваних технічних систем РОВТ, ми можемо перейти до динамічної в часі функції [36]:

$$Q_{БШ} = f(Q_{БШ1}, Q_{БШ2}, Q_{БШ3}, Q_{БШ4}, \dots, Q_{БШn}). \quad (2.1)$$

При цьому необхідно вирішити завдання знаходження екстремуму загального виду  $g(Q) = \max(f)$  з додатковими умовами, які може накладати кількість кроків, та ін. Основним недоліком динамічного програмування в класичній постановці Беллманом цього питання є те, що гарантований безпечний стан складної динамічної системи не є екстремумом функції, також в такій постановці завдання неможливо реалізувати рекурентне моделювання з залученням резервів, важко впровадити стратегічний підхід, неможливо враховувати динаміку процесів, які впливають на систему. Також не можна вважати задачу вирішеною і в математичному, і в практичному сенсі, доки не сформовано структуру достовірно гарантованої безпеки ДП. Саме тому пропонується наступний підхід до динамічного програмування безпеки поліергатичного управління в умовах гетерогенних збурень акваторій техноприродних комплексів.

В випадку реалізації процесу високоточної навігації ми маємо с праву з множинами станів різних складових досліджуваної системи  $S_D(t)$  на просторово-часовому проміжку дослідження. Цільова функція - це функція, яка відповідає на те питання, яке необхідне для вирішення завдання. Система знаходиться в безпечному стані, коли її параметри не виходять за допустимі межі. Сам процес знаходження значення цільової функції може бути реалізовано за допомогою індикаторної функції  $I_{S_D} : S_D(t) \rightarrow \{0;1\}$ , яка може бути детермінована наступним чином:

$$I_{S_{Di}}(\{S_{Di}\}) = \begin{cases} 1, S_{Di} \in \{U_{\chi}\}, \\ 0, S_{Di} \notin \{U_{\chi}\}, \end{cases} \quad (2.2)$$

де  $\{S_{Di}\}$  - множини станів досліджуваної системи на  $i$ -му кроці;

$I_{S_{Di}}(\{S_{Di}\})$  – індикаторна функція множини  $\{S_{Di}\}$ ;

$\{U_{\chi}\}$  - ідентифікована вимірنا множина характеристик  $\chi$ .

Якщо перейти від загального алгоритму до цілей дисертаційного завдання – то необхідно перейти до розгляду досліджуваної системи  $S_D(t)$  з множиною характеристик  $\{U_{\chi}\}$ . Умова безпечного функціонування при цьому прийме наступний вид:

$$(S_D(t) \in \{U_{\chi}\}) \Leftrightarrow (\forall \{U_{\chi}\} \in \{f(\chi_i)\}), \quad (2.3)$$

де  $\chi_i$  - характерний параметр безпеки на  $i$ -му кроці стаціонарної моделі динамічного програмування;

$f$  - функція.

Динаміка критерію  $\chi$  полягає в тому, що він може змінюватися з часом саме тому вбачається доцільним використання у динамічному програмуванні перехідної множини  $\{U_{\chi}\}$ . Такий підхід відображає практичне гарантування безпеки ДП при зміні характеру технологічної роботи, а особливо при переході від технологічної роботи з помірними ризиками до роботи з високими ризиками.

Також використання  $\{U_{\chi}\}$  викликано властивістю гетерогенності, що означає можливість існування багатьох різних характерних критеріїв. Це насамперед обмеження з боку технологічної роботи. Ці обмеження можуть поширюватися як безпосередньо на характеристики вектору стану РОВТ, так і на характеристики локально обмеженого простору техноприродного комплексу.

Тобто, наприклад, критерієм  $\chi_{1i}$  може бути обмеження щодо значної висоти хвиль (або висоти хвиль з певною ідентифікованою забезпеченістю), а критерієм  $\chi_{2i}$  може бути обмеження щодо швидкості вітру. Це обмеження практично накладає здатність опрацьовувати вантажі в морі кранами МСП, СПБУ, НПБУ, ПБУ, FPSO або кранами інших компонентів ТПК.

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

$$\dots \wedge (S_{Cm}(t) \in \{U_{\chi_m}\}) \Leftrightarrow \begin{cases} f: \chi_{1i} \rightarrow \{U_{\chi_1}\}, \\ f: \chi_{2i} \rightarrow \{U_{\chi_2}\}, \\ \dots \\ f: \chi_{mi} \rightarrow \{U_{\chi_m}\}, \end{cases} \quad (2.4)$$

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 і.

При обранні критерія імовірності безпечного функціонування РОВТ при здійсненні ДП в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи необхідно приймати до уваги, що РОВТ знаходиться з одного боку в потоці подій, які збурюють та загрожують безпеці і на них реагує група кваліфікованих ОСДП. А з іншого боку РОВТ, як складна технічна система, має імовірність безпечного функціонування всіх складових. Імовірність функціонування технічних систем РОВТ різного рівня ієрархії описується відповідними законами розподілу.

Функціональна стійкість складної полієргатичної системи поєднує в собі багато властивостей. Основні з них - це властивості надійності та відмовостійкості. Необхідно відмітити, що за державним стандартом України (ДСТУ) [121] відмовостійкість може розглядатися як частина надійності, проте

виділення цих двох понять в окремі групи допомагає сформулювати методологічний підхід для розв'язання проблеми гарантування рівня надійності технічної складової поліергатичної системи. Поняття живучості з точки зору функціональної стійкості зумовлює здатність технічної системи до відновлення свого працездатного функціонального стану за рахунок залучення ресурсів надмірності [176], що не протирічить ДСТУ [121].

Критерій імовірності безпечного функціонування компонентів поліергатичної системи буде характеризувати властивість функціональної стійкості, а резервування компонентів СДП за правилами КТ (зокрема РУ) або залучення до вахтового складу додаткових професійних осіб формує здатність до відновлення необхідного безпечного рівня.

Для формалізації імовірнісних критеріїв безпеки скористаємось функцією Лапласа і розглянемо значення Функції Лапласа для трьох  $x$ : 1,64, 1,96 і 3.

$\Phi(1,64) = 0,899$ . Таким чином, 89,9% всіх нормально розподілених значень потрапляє в інтервал  $\pm 1,64\sigma$  від оцінки математичного очікування. Така характеристика іноді використовується для перевірки статистичних гіпотез і розрахунку довірчих інтервалів. Якщо значення не влучає у позначену область, то імовірність влучання мала.

$\Phi(1,96) = 0,95$ . Для цієї ймовірності, тобто в межах майже  $\pm 1,96\sigma$  від оцінки математичного очікування знаходиться 95% значень. Такий рівень визначимо для використання на практиці в ситуаціях з помірними ризиками технологічної роботи та навігації.

$\Phi(3) = 0,9973$ . Тобто в межах  $\pm 3\sigma$  від середньої арифметичної укладено майже всі (99,73%) значень нормально розподіленої величини. Той факт, що майже всі значення перебувають у межах  $\pm 3\sigma$  називають правилом трьох сигм. Це правило часто використовується для вирішення різних завдань, тому що з його допомогою можна заздалегідь окреслити коло можливих значень, за межі якого випадкові величини майже ніколи не потрапляють. І якщо таке значення виявлено, то швидше за все, воно відноситься до іншої сукупності даних або є

аномальним відхиленням. Цей критерій зручно використовувати в умовах підвищених ризиків. Зокрема там, де існує загроза людському життю.

Для безпечного функціонування складної динамічної системи необхідно, щоб множина її гетерогенних складових мала необхідний рівень безпеки в імовірнісному просторі за Колмогоровим і виконувались необхідні умови для реалізації ДП РОВТ в ТПК. Переходячи до імовірності безпеки  $\tilde{P}_B$  в імовірнісному просторі Колмогорова з критерієм  $\tilde{\chi}$  можна записати наступне:

$$I_{\tilde{P}_B}(\tilde{P}_{BCmi}) = 0 : \Leftrightarrow \tilde{P}_{BCmi} \notin \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)}\} \Rightarrow \left\{ S_{\substack{\tilde{P}_{BCmi} \\ \notin \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)}\}_i}} \right\} \neq \emptyset, \quad (2.6)$$

де  $\left\{ S_{\substack{\tilde{P}_{BCmi} \\ \notin \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)}\}_i}} \right\}$  - множина станів досліджуваної системи, де виконується

умова  $\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{\chi})}\}$ .

Множина станів  $\left\{ S_{\substack{\tilde{P}_B \\ \notin \{U_{\Phi(\tilde{\chi})}\}_i}} \right\}$  має бути ідентифікована, як частина системи

$S_D$ ,  $\Rightarrow \left\{ S_{\substack{\tilde{P}_B \\ \notin \{U_{\Phi(\tilde{\chi})}\}_i}} \right\} \subset \{S_D\}$ , а система  $S_D$  має бути приведена у стан з підвищеним

на один крок рівнем безпеки  $*S_D$  шляхом залучення резервів безпеки для відповідних компонентів. Припустимо, що в досліджуваній системі  $S_D$  з  $m$  систем нижчого рівня ієрархії після моделювання виявилось, що  $h$  з них виходять за межі безпечної зони і для них всіх є можливість задіяти резерв безпеки. Приведення  $S_D$  у новий стан  $*S_D$  шляхом залучення  $h$  резервних компонентів має здійснюватися за крок до виходу системи з зони безпечного функціонування з урахуванням кроків моделювання (що відповідають реальному часу) необхідних для нормального входу нових компонентів у режим нормального функціонування.

$$\begin{aligned}
& S_{D(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)h} {}^*S_{Di} \Rightarrow \left\{ S_{Ch\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{z})}\}(i-\kappa)} \right\} \xrightarrow{*(+1p)h} \{ {}^*S_{Chi} \} \Leftrightarrow \\
& \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_{C1\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{z})}\}(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)} {}^*S_{C1i}, \\ S_{C2\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{z})}\}(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)} {}^*S_{C2i}, \\ \dots \\ S_{Ch\tilde{P}_B \notin \{U_{\Phi(\tilde{z})}\}(i-\kappa)} \xrightarrow{*(+1p)} {}^*S_{Chi}, \end{array} \right. \quad (2.7)
\end{aligned}$$

де  ${}^*S_{Di}$  - стан системи, в якій відбулося залучення резервів;

$\kappa$  – кількість кроків в середовищі моделювання, які необхідно для входу нових компонентів у режим нормального функціонування.

Кількість кроків має сенс часу. В середовищі Matlab з використанням пакету Simulink час може бути промодельовано безпосередньо. Далі має бути проведено подальше дослідження системи  ${}^*S_D$  і при отриманні знов небезпечних станів – необхідно залучити резерви с підвищенням рівня. Якщо резерви відсутні – то виходом є припинення технологічної роботи та ДП локально обмеженому просторі техноприродного комплексу.

Як було показано параметр  $\chi$  є в неявному виді критерієм функціональної стійкості за властивостями властивості надійності, відмовостійкості, живучості, як характеристика можливості системи надійно функціонувати в умовах збурень. В явному виді таким параметром виступає  $f(\chi)$  на яку може бути накладено додаткові умови. В деяких випадках  $\chi$  або  $f(\chi)$  може мати сенс границі.  $\{U_\chi\}$  має сенс динамічних характеристик безпеки в яких може знаходитися досліджувана система.

Введемо фазовий простір  $\ddot{F}$ , в якому базисом буде  $\eta_{\ddot{F}}^{(n+1)}$ , що має сенс  $n$ -вимірного векторного простору з одиничними векторами  $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \dots, \vec{e}_n$  та часом, що має сенс об'єднаного простору-часу аналогічного простору Мінковського [236]. В введеному просторі вектори є лінійно незалежними. Для кожної досліджуваної

складної системи вимірність простору буде формувати кількість  $\chi$ , що формують критерії безпеки гетерогенних джерел загроз.

Вираз  $S_D(t) \in \{U_{\chi_n}\}$  визначає суть функціонально стійкого безпечного фазового простору  $\ddot{F}$ . Присутній в аналітичних моделях фактор часу визначає, що  $\dim(\ddot{F}) = \dim(\ddot{\Pi}) + 1$ , звідки можливо провести ідентифікацію базису  $\eta_{\ddot{F}}^{(n+1)}$  для фазового простору  $\ddot{F}$ , в якому за винятком складової, що характеризує стрілу часу, межі простору визначається як:

$$\ddot{F} = \{U_{\chi_1}\} \cup \{U_{\chi_2}\} \cup \dots \cup \{U_{\chi_n}\}. \quad (2.8)$$

Врахування фактору часу, що присутнє в усіх моделях навігації і відображає динаміку полієргатичного управління в гетерогенних умовах акваторії ТПК, необхідно для реалізації методології покрокового динамічного програмування і дослідження відповідної фазової траєкторії складної динамічної системи.

Введений фазовий простір  $\ddot{F}$  відображає суть безпечного функціонування досліджуваної системи в гетерогенних полях безпеки. А конкретизоване завдання динамічного програмування зводиться до невиходу системи за межі безпечного фазового простору.

Для практичної реалізації розробленої моделі динамічного програмування безпеки полієргатичного управління необхідно провести подальші дослідження РОВТ, НС в якості складних систем, з урахуванням особливостей полієргатичного управління процесом ДП в акваторії техноприродного комплексу та технологічної роботи.



### **2.3 Аналітичні моделі гетерогенних факторів збурень в динамічних задачах навігації та управління рухомими об'єктами водного транспорту**

Процес ДП являється специфічним режимом ААУ для здійснення навігації, і специфіка його реалізації проявляється в різних іпостасях, зокрема і в тому, що ДП реалізовується на невеликих швидкостях РОВТ, що потребує правильного підбору адекватних методик побудови моделей взаємодії складних систем при реалізації алгоритмів динамічного програмування, а також визначення параметрів вектору стану РОВТ і збурень ТПК.

Для створення адекватних аналітичних моделей взаємодії РОВТ з чинниками НС локально обмеженого простору акваторії ТПК необхідно перш за все провести детальний опис самого РОВТ. Як буде показано далі, ключовими вхідними даними в аналітичні моделі є параметри корпусу РОВТ. Детальна ідентифікація геометричних характеристик його підводної та надводної частин підвищують точність розрахунків та адекватність моделі в цілому, що є логічним продовженням розробок, які було почато в [105].

Найбільш перспективним типом РОВТ з СДП при здійсненні Україною подальшої розробки власних енергетичних ресурсів Чорного та Азовського морів є транспортно-буксирне судно (ТБС). Саме сучасні вимоги комерційної експлуатації РОВТ викликають необхідність виконання наряду з роботою постачання, яка являється основною, інших видів технологічних робіт. Такими роботами найчастіше можуть виступати роботи з буксирування, завезення якорів, забезпечення пожежної безпеки, боротьби з забрудненням та ін. Ці вимоги привели до появи ТБС, які мають багато призначень, багато різних ТС, наявність яких відображено в додаткових характеристиках до основних символів КТ. В якості об'єкту моделювання оберемо ТБС проекту УТ 733-2. Характеристики ТБС проекту УТ 733-2 наведено в Додатку Д. Для створення об'ємної моделі було використано теоретичні креслення. В результаті було розроблено тривимірну модель ТБС проекту УТ 733-2.

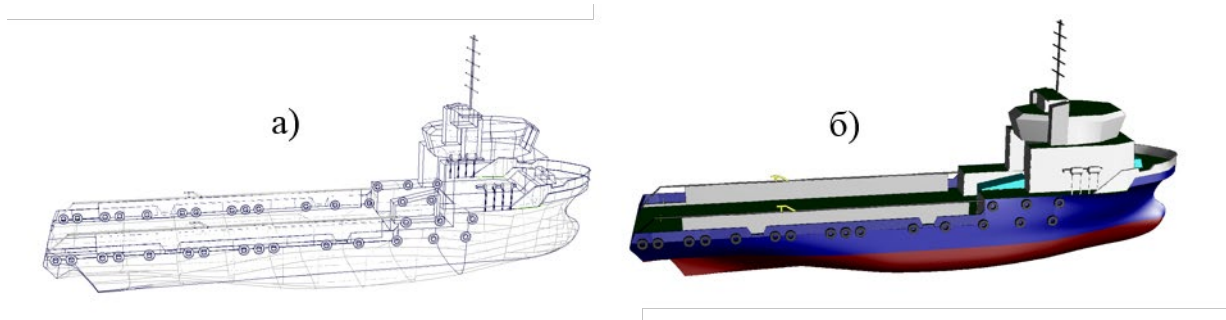


Рисунок 2.3 - Розроблена 3D модель ТБС проекту UT 733-2 з кранцевим захистом:

а) – просторове розташування елементів; б) – загальна просторова модель.

ТБС проекту UT 733-2 є багатофункціональним проектом. Необхідність використання РОВТ при гасінні пожеж та проведення рятувальних та евакуаційних робіт на МСП, ПБУ або інших РОВТ, берегових об'єктах зумовлюють наявність на борту комплексу спеціального обладнання. На UT 733-2 встановлено насоси, які подають воду в стаціонарні лафетні стволи та в рукавні лінії. Насоси мають привід від ходових двигунів. По периметру прокладено трубопроводи зрошувальної системи, завдяки чому РОВТ може близько підходити до палаючих об'єктів. Такі РОВТ мають відповідний пожежний клас. РУ призначає наступні класи залежно від ступеня оснащення судна засобами боротьби з пожежами: FF1WS, FF1, FF2WS, FF2, або FF3WS.

Для забезпечення проведення евакуаційних робіт на UT 733-2 встановлено рятувальні зони. Конструкція рятувальних зон та оснащення сітками полегшують процес прийняття на борт людей з води, з рятувальних шлюпок або з інших РОВТ за допомогою сіток.

Для перевезення сипучих матеріалів на РОВТ встановлено спеціальні танки для зберігання сипучих матеріалів, які є частиною суднової вантажної системи сипучих матеріалів. Сипучими вантажами, що перевозяться таким чином в основному виступають цемент, барит, бентоніт.

Рідкі вантажі перевозяться в інших танках. Основними рідкими вантажами можна назвати паливо, прісну воду, бурильну воду, різноманітні бурильні або

сольові розчини. При перевезенні бурильних розчинів особливу увагу треба приділяти їх циркуляції, що має проводитися згідно з відповідними вимогами.

Для перевезення вантажів також використовується палуба, що має дерев'яний настил. На УТ 733-2 кормова частина палуби залізна для виконання завезення якорів.

РОВТ, що мають проводити роботи з буксирування і завезення якорів обладнано буксирними лебідками, допоміжними лебідками, кормовим роликом, який є необхідним для спуску або підйому якоря на палубу, палубні пристрої для фіксації троса або якірного ланцюга. Найбільш розповсюдженими є двобарабанні буксирні лебідки. Один барабан використовують для буксирування, другий для завезення якорів. В конкретній розробленій моделі буксирна лебідка враховується (це можна визначити з рисунка), що позитивно впливає на результати моделювання.

Буксирні арки з труб або круглої кованої сталі розташовують для захисту встановленого на палубі обладнання і людей від пошкодження тросом. Крім того, буксирні арки забезпечують можливість плавного переходу буксирного троса з борту на борт. Обмежує рух тросу по буксирній арці встановлений на ній обмежувач, який можна визначити на рисунку.

Перераховані ознаки роблять ТБС проекту УТ 733-2 універсальним і поширює його можливості і перспективи використання в ТПК, зокрема при розробці ресурсів Чорного та Азовського морів. А додаткова деталізація конструктивних елементів покращує точність моделі. При розробці моделі необхідно проводити її перевірку на правильність моделювання і відображення поверхонь корпусу РОВТ. Серед відомих методів найкраще підходять аналіз гаусівської кривизни моделі та зафарбування зеброю.

Режим фарбування має бути використано для поточного контролю при формуванні моделі та просуванні по етапах її будови. Цей режим зручний для швидкого візуального контролю стану поверхонь, що дозволяє швидко виявити та виправити помилки в побудові поверхонь. Сенс такого візуального контролю

полягає в тому, що при відображенні рівні поверхні мають гладкі кромки, а в місцях зламу вони міняються місцями.

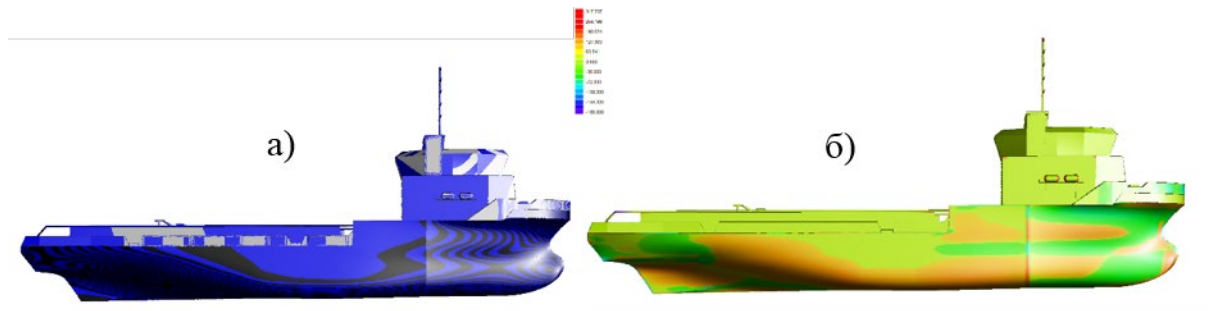


Рисунок 2.4 - Дослідження цілісності та адекватності розробленої 3D моделі корпусу ТБС проекту UT 733-2:

- а) – модель в режимі зафарбування поверхонь для перевірки їх взаємного розташування та цілісності; б) – гаусівська кривизна корпусу.

Гаусівська кривизна дозволяє більш ретельно дослідити стан поверхні моделі на основі значення дискретного гаусівського викривлення в кожній просторовій точці. Розроблену модель зафарбовано в кольори відповідно до значень кривизни. Просторові значення негативної гаусівської кривизни відображаються синім кольором. Нульові значення гаусівської кривизни відображаються зеленим кольором і визначають, що принаймні одне з двох головних викривлень дорівнює нулю. Це означає, що поверхня є площиною або вигнута лише в одному напрямі. Додатне значення гаусівської кривизни відображено на просторовій моделі червоним кольором.

Таким чином використовуючи обидва підходи можна проводити швидкий поточний контроль за станом моделі в процесі її створення. А також перевіряти модель для відтворення вірної форми корпусу для отримання адекватних даних щодо характеристик РОВТ, які використовуються в аналітичних моделях методології. Подальшим розвитком є застосування дослідження гаусівської кривизни моделі для покращення гідродинамічних та аеродинамічних

властивостей РОВТ, а також перевірку корпусу, перерахунок характеристик корпусу після встановлення додаткового обладнання за методологією.

Основою для правильного визначення вектору стану РОВТ є вибір системи координат. При аналізі і синтезі моделі ААУ рухом РОВТ можна розглядати переміщення РОВТ відносно площини, що повністю відповідає сенсу локально обмеженого простору, як акваторії радіусом 500 м з центром в точці позиціонування РОВТ. Тому ми перетворюємо класичну геоцентричну систему, яка використовується при вирішенні навігаційних задач в прямокутні координатні системи. Для адекватного вибору систем координат РОВТ скористаємось фундаментальними працями відомих вчених Г. В. Соболева та Ю.А. Лукомського, норвезького вченого Т. Fossen та інших [243, 167, 306, 312, 327].

В дослідженні введемо нерухому базову систему координат OXYZ. Ця система орієнтована по основних напрямках на поверхні Землі, а початок координат пов'язаний з точкою динамічного позиціонування РОВТ в локально обмеженому просторі акваторії ТПК.

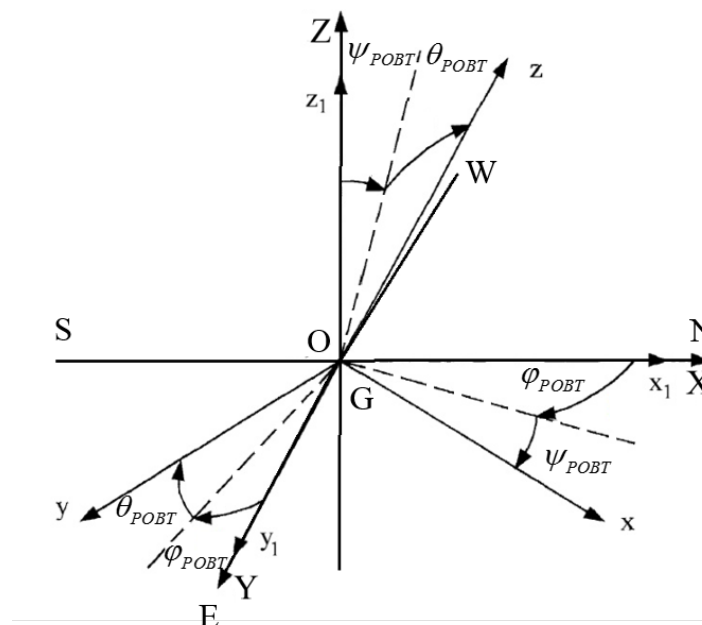


Рисунок 2.5 - Просторова система координат

Введемо напівзв'язану систему координат  $Gx_1y_1z_1$ , яка матиме початок координат  $G$ , що завжди пов'язан з комплексним центром мас РОВТ і при ДП переміщується разом з РОВТ в локально обмеженому просторі ТПК. Координатні вісі системи координат  $Gx_1y_1z_1$  постійно повернені в горизонтальній площині відносно координатних вісей базової системи координат  $OXYZ$  на кут заданого курсу ДП РОВТ. Вісі напівзв'язаної системи координат при довільному русі РОВТ під час ДП в локально обмеженому просторі ТПК завжди залишаються паралельними самі собі.

Зв'язана система координат  $Gxyz$ : повністю пов'язана з корпусом РОВТ, при ДП вона переміщується і обертається разом з ним.  $G$  – також з'єднана з комплексним центром мас РОВТ.

Математична модель динаміки руху РОВТ при ДП у формі Коші має вигляд одного нелінійного диференціального рівняння загального вигляду:

$$\frac{dv_{POBT}}{dt} = f(d_{z\sigma}, c_{POBT}, t), \quad (2.9)$$

де  $v_{POBT}$  - вектор змінних стану;

$d_{z\sigma}$  - вектор впливів, що збурюють РОВТ;

$c_{POBT}$  - вектор керованих реакцій;

$f$  - нелінійна функція;

$t$  – часовий інтервал реалізації навігації.

Вектор стану РОВТ, як об'єкта управління при моделюванні в дискретному часі становить 12 змінних:

$$v_{POBTi} = [x_{POBTig}, y_{POBTig}, z_{POBTig}, V_{POBTix}, V_{POBTiy}, V_{POBTiz}, \theta_{POBTi}, \varphi_{POBTi}, \psi_{POBTi}, \omega_{POBTix}, \omega_{POBTiy}, \omega_{POBTiz}], \quad (2.10)$$

де  $x_{POBTig}, y_{POBTig}, z_{POBTig}$  - координати центрів мас по відповідних вісях, м;

$V_{POBTix}, V_{POBTiy}, V_{POBTiz}$  - швидкості по відповідних вісях, м/с;

$\theta_{POBTi}, \varphi_{POBTi}, \psi_{POBTi}$  - відповідні кути, що характеризують крен, диферент, курс РОВТ, рад;

$\omega_{POBTix}, \omega_{POBTiy}, \omega_{POBTiz}$  - кутові швидкості навколо відповідних вісей, рад/с.

При ДП РОВТ ключовим є рух в плоскій площині, тому при розгляді плоского руху комплексного центру мас РОВТ можна виключити з розгляду ряд змінних стану, які не контролює СДП. А саме: переміщення центру мас уздовж вертикальної вісі базової системи координат, проекції лінійної швидкості переміщення на вертикальну вісь зв'язаної системи координат, кутових переміщень навколо поздовжньої та поперечної вісей базової системи координат відповідно, та кутових швидкостей навколо поздовжньої та поперечної вісей зв'язаної системи координат. Таким чином, вектор стану РОВТ, який є об'єктом управління СДП, можна записати наступним чином:

$$v_{POBTi} = [x_{POBTig}, y_{POBTig}, V_{POBTix}, V_{POBTiy}, \varphi_{POBTi}, \omega_{POBTiz}]. \quad (2.11)$$

Напишемо у зв'язаній системі координат рівняння руху РОВТ у векторному вигляді:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{Q}}{dt} + (\vec{Q} \times \vec{\omega}_{POBT}) = \vec{F}, \\ \frac{d\vec{K}}{dt} + (\vec{K} \times \vec{\omega}_{POBT}) + (\vec{V} \times \vec{Q}) = \vec{M}, \end{cases} \quad (2.12)$$

де:  $\vec{Q}$  - вектор кількості руху;

$\vec{\omega}_{POBT}$  - вектор кутової швидкості обертання РОВТ;

$\vec{K}$  - момент кількості руху;

$\vec{V}(V_x, V_y, V_z)$  - вектор швидкості початку зв'язаної системи координат;  
 $\vec{F}(F_x, F_y, F_z)$  - головний вектор силового впливу;  
 $\vec{M}(M_x, M_y, M_z)$  - головний момент силового впливу.

Складові векторів (2.12) виражаються через кінетичну енергію  $E_{\text{кін}}$ . Потім отриманий вираз необхідно представити в системі координат:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_x} + \omega_y \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_z} - \omega_z \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_y} = F_x, \\ \frac{d}{dt} \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_y} + \omega_z \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_x} - \omega_x \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_z} = F_y, \\ \frac{d}{dt} \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_z} + \omega_x \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_y} - \omega_y \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_x} = F_z, \\ \frac{d}{dt} \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_x} + \omega_y \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_z} - \omega_z \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_y} + V_y \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_z} - V_z \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_y} = M_x, \\ \frac{d}{dt} \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_y} + \omega_z \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_x} - \omega_x \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_z} + V_z \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_x} - V_x \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_z} = M_y, \\ \frac{d}{dt} \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_z} + \omega_x \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_y} - \omega_y \frac{dE_{\text{кін}}}{d\omega_x} + V_x \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_y} - V_y \frac{dE_{\text{кін}}}{dV_x} = M_z. \end{array} \right. \quad (2.13)$$

Більшість існуючих типів РОВТ мають діаметральну площину симетрії, що надає спрощення виразу  $E_{\text{кін}}$ :

$$E_{\text{кін}} = \frac{m(V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) + J_x \omega_x^2 + J_y \omega_y^2 + J_z \omega_z^2 - 2J_{xz} \omega_x \omega_z}{2}. \quad (2.14)$$

Кінетична енергія рідини  $E_{\text{кін}}$  також може бути виражена за допомогою кортежу приєднаних мас РОВТ  $\lambda_{\text{РОВТ}ik}$ :



$$E_{\text{кінр}} = \frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^6 \lambda_{\text{РОВТ}ik} V_i V_k}{2}, \quad (2.15)$$

де  $\lambda_{\text{РОВТ}ik}$  - приєднані маси води корпусу РОВТ;

$V_i, V_k$  - швидкості.

Для більш зручного та компактного запису швидкості, що фігурують позначимо так:  $V_x = V_1; V_y = V_2; V_z = V_3; \omega_x = V_4; \omega_y = V_5; \omega_z = V_6$ .

Приєднані маси води відіграють ключове значення при ДП і можуть бути джерелом небезпеки при взаємодії систем РОВТ та НС, а саме ключову роль відіграє гідрологія локально обмеженого простору ТПК. Вирішальну роль грає багато факторів конкретної ситуації та наявність навігаційних загроз в акваторії. Адже малий запас під килем зумовлює небезпеку посадки на міліну. Проте, з іншого боку, процес адаптивного автоматичного управління (ААУ) на мілководді може не бути реалізовано по причині неможливості контролю вектору стану, що зумовлено втратою керованості РОВТ за певних умов мілководдя [83, 93].

Формалізована модель реалізації динамічного позиціонування з урахуванням гідрологічного впливу локально обмеженого простору ТПК з безпечними та небезпечними станами визначає, що межа втрати надійного контролю СДП залежить від алгоритмів ААУ, характеристик комплексу ЗАК та характеристик корпусу РОВТ, але вона міститься в межах збільшення приєднаних мас на 30 %. Під втратою надійного контролю можна вважати перехід системи у знижений робочий стан. Приведена формалізована модель реалізації динамічного позиціонування з урахуванням гідрологічного впливу локально обмеженого простору з безпечними та небезпечними станами дозволяє шляхом динамічного програмування, з урахуванням критерію втрати надійного контролю, вирішувати питання гарантування безпеки ДП РОВТ в умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК.

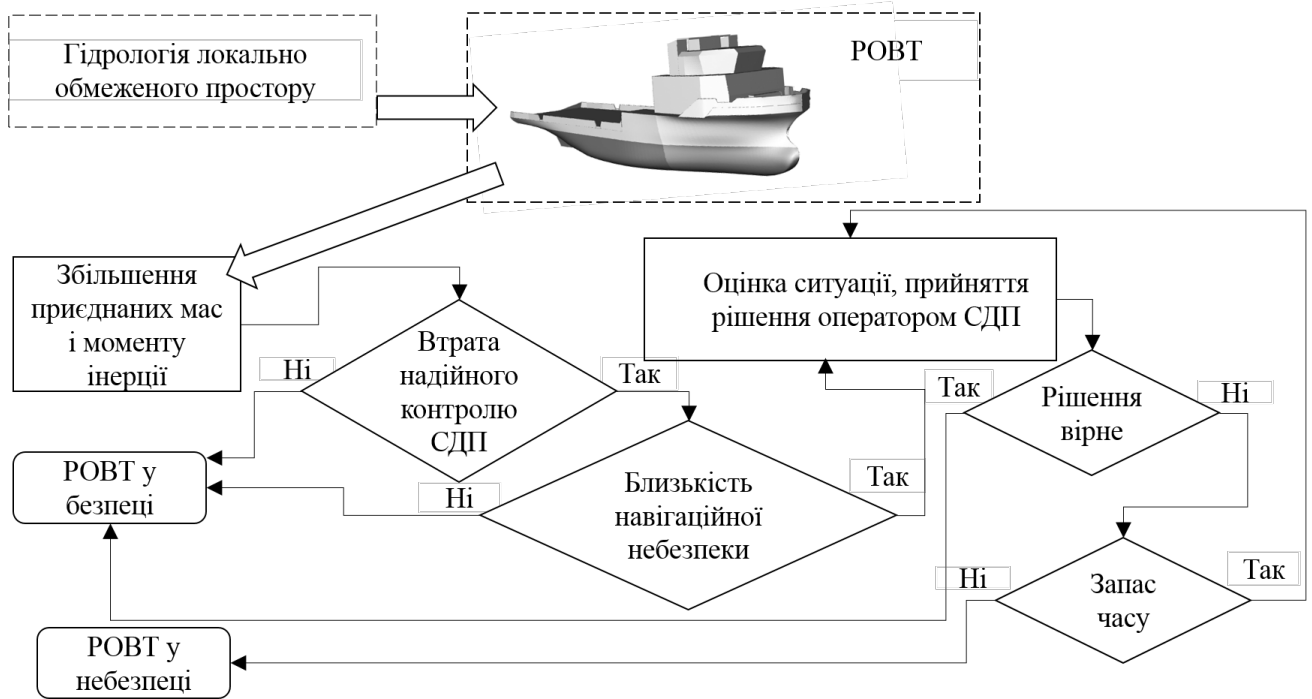


Рисунок 2.6 - Формалізована модель реалізації динамічного позиціонування з урахуванням гідрологічного впливу локально обмеженого простору з безпечними та небезпечними станами

Приєднані маси води РОБТ виражаються через наступну матрицю. При обчисленні інерційного впливу під час ДП, яке характеризується незначними швидкостями, можна знехтувати впливом вільної поверхні. Таким чином, значення  $\lambda_{РОБТik}$  залежать виключно від форми підводної частини корпусу РОБТ.

$$\begin{vmatrix}
 \lambda_{РОБТ11} & \lambda_{РОБТ12} & \lambda_{РОБТ13} & \lambda_{РОБТ14} & \lambda_{РОБТ15} & \lambda_{РОБТ16} \\
 \lambda_{РОБТ21} & \lambda_{РОБТ22} & \lambda_{РОБТ23} & \lambda_{РОБТ24} & \lambda_{РОБТ25} & \lambda_{РОБТ26} \\
 \lambda_{РОБТ31} & \lambda_{РОБТ32} & \lambda_{РОБТ33} & \lambda_{РОБТ34} & \lambda_{РОБТ35} & \lambda_{РОБТ36} \\
 \lambda_{РОБТ41} & \lambda_{РОБТ42} & \lambda_{РОБТ43} & \lambda_{РОБТ44} & \lambda_{РОБТ45} & \lambda_{РОБТ46} \\
 \lambda_{РОБТ51} & \lambda_{РОБТ52} & \lambda_{РОБТ53} & \lambda_{РОБТ54} & \lambda_{РОБТ55} & \lambda_{РОБТ56} \\
 \lambda_{РОБТ61} & \lambda_{РОБТ62} & \lambda_{РОБТ63} & \lambda_{РОБТ64} & \lambda_{РОБТ65} & \lambda_{РОБТ66}
 \end{vmatrix} \quad (2.16)$$

Матриця є симетричною відносно головної діагоналі. У завданнях управління вплив вільної поверхні виключається. Тому матриця (2.16) набуде наступного вигляду:

$$\begin{pmatrix} \lambda_{POBT11} & 0 & \lambda_{POBT13} & 0 & \lambda_{POBT15} & 0 \\ 0 & \lambda_{POBT22} & 0 & \lambda_{POBT24} & 0 & \lambda_{POBT26} \\ \lambda_{POBT31} & 0 & \lambda_{POBT33} & 0 & \lambda_{POBT35} & 0 \\ 0 & \lambda_{POBT42} & 0 & \lambda_{POBT44} & 0 & \lambda_{POBT46} \\ \lambda_{POBT51} & 0 & \lambda_{POBT53} & 0 & \lambda_{POBT55} & 0 \\ 0 & \lambda_{POBT62} & 0 & \lambda_{POBT64} & 0 & \lambda_{POBT66} \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Отримана матриця (2.17) також є симетричною, тобто  $\lambda_{POBTik} = \lambda_{POBTki}$ . З урахуванням отриманих даних кінетичну енергію системи Корпус РОБТ – В'язка нестискувана рідина напишемо наступним чином:

$$\begin{aligned} 2E_{кинр} = & (m + \lambda_{POBT11})V_x^2 + (m + \lambda_{POBT22})V_y^2 + (m + \lambda_{POBT33})V_z^2 + \\ & + (J_x + \lambda_{POBT44})\omega_x^2 + (J_y + \lambda_{POBT55})\omega_y^2 + (J_z + \lambda_{POBT66})\omega_z^2 + \\ & + 2\lambda_{POBT13}V_xV_z + 2\lambda_{POBT15}V_x\omega_y + 2\lambda_{POBT35}V_z\omega_y + 2\lambda_{POBT24}V_y\omega_x + \\ & + 2\lambda_{POBT26}V_y\omega_z + 2(\lambda_{POBT46} - J_{xz})\omega_x\omega_z. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Останній член виразу (2.18) обумовлений відмінністю напрямів вісі x та вісі z і головних вісей інерції. Тому можна вважати  $\lambda_{POBT46} - J_{xz} = 0$ . Розглядаючи рух РОБТ винятково в горизонтальній площині, скористаємось наступним припущенням:

$$V_i = \begin{cases} \neq 0 & \text{при } i = 1, 2, 6, \\ = 0 & \text{при } i = 3, 4, 5. \end{cases} \quad (2.19)$$

Використовуючи вираження і виключаючи з розгляду параметри хитавиці отримуємо вираження для кінетичної енергії РОВТ:

$$E_{\text{кінр}} = \frac{(m + \lambda_{\text{РОВТ}11})V_x^2 + (m + \lambda_{\text{РОВТ}22})V_y^2 + (J_z + \lambda_{\text{РОВТ}66})\omega_z^2}{2}. \quad (2.20)$$

Загальна форма рівнянь динаміки РОВТ матиме вид.

$$\begin{cases} (m + \lambda_{\text{РОВТ}11})\frac{dV_x}{dt} + (m + \lambda_{\text{РОВТ}22})\omega_z V_y = F_x, \\ (m + \lambda_{\text{РОВТ}22})\frac{dV_y}{dt} - (m + \lambda_{\text{РОВТ}11})\omega_z V_x = F_y, \\ (J_z + \lambda_{\text{РОВТ}66})\frac{d\omega_z}{dt} - (\lambda_{\text{РОВТ}22} - \lambda_{\text{РОВТ}11})V_x V_y = M_{x_0y}, \end{cases} \quad (2.21)$$

де  $m$  - маса РОВТ, кг;

$\omega_z$  - кутова швидкість РОВТ відносно вісі  $z$  зв'язаної системи координат, рад/с;

$V_x, V_y$  - лінійна швидкість РОВТ навколо відповідної вісі зв'язаної системи координат, м/с;

$J_z$  - момент інерції відносно вісі  $z$  зв'язаної системи координат, кг · м<sup>2</sup>;

$M_{x_0y}$  - моменти зовнішніх впливів, кгс · м;

$F_x, F_y$  - проекції сил зовнішніх впливів на відповідні вісі зв'язаної системи координат, кгс;

$\lambda_{\text{РОВТ}11}, \lambda_{\text{РОВТ}22}$  - приєднані маси води по вісях  $x$  і  $y$  відповідно, кг;

$\lambda_{\text{РОВТ}66}$  - приєднаний момент інерції відносно вісі  $z$  зв'язаної системи координат, кг · м<sup>2</sup>.

Матриця Ейлера  $|E|$  переходу координат з зв'язаної у базову систему через кути Ейлера містить тригонометричні функції і виражається наступним чином:

$$\begin{vmatrix} \cos \psi \cos \varphi & -\cos \theta \sin \varphi + \sin \theta \cos \varphi \sin \psi & \cos \theta \cos \varphi \sin \psi + \sin \theta \sin \varphi \\ \cos \psi \sin \varphi & \sin \theta \sin \varphi \sin \psi + \cos \theta \cos \varphi & -\sin \theta \cos \varphi + \cos \theta \sin \varphi \sin \psi \\ -\sin \psi & \sin \theta \cos \psi & \cos \theta \cos \psi \end{vmatrix} \quad (2.22)$$

Тоді рівняння зв'язку керованого поступального руху РОВТ при ДП матимуть вигляд:

$$\begin{vmatrix} \frac{dx_g}{dt} \\ \frac{dy_g}{dt} \\ \frac{dz_g}{dt} \end{vmatrix} = |E| \cdot \begin{vmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{vmatrix} \quad (2.23)$$

У лівій частині матричного рівняння (2.23) містяться миттєві значення координат комплексного центру мас відносно базової системи. Рівняння зв'язку обертального руху комплексного центру мас має вигляд:

$$\begin{cases} \omega_x = \frac{d\theta}{dt} - \frac{d\varphi}{dt} \sin \psi, \\ \omega_y = \frac{d\psi}{dt} \cos \theta + \frac{d\varphi}{dt} \cos \psi \sin \theta, \\ \omega_z = \frac{d\varphi}{dt} \cos \psi \cos \varphi - \frac{d\theta}{dt} \sin \theta. \end{cases} \quad (2.24)$$

Зміни кінематичних параметрів руху РОВТ в режимі ДП в результаті впливів чинників НС та реакцій ЗАК РОВТ відбувається відповідно до рівнянь зв'язку, які дозволяють перейти від зв'язаної системи координат до базової з урахуванням лівих трійок векторів:

$$\begin{cases} \frac{dx_{ig}}{dt} = V_{ix} \cos \varphi_i + V_{iy} \sin \varphi_i, \\ \frac{dy_{ig}}{dt} = -V_{ix} \sin \varphi_i + V_{iy} \cos \varphi_i, \\ \frac{d\varphi_i}{dt} = \omega_{iz}, \end{cases} \quad (2.25)$$

де  $x_{ig}, y_{ig}$  - координати комплексного центру мас на  $i$ -му кроці стаціонарності, м;

$\varphi_i$  - курс РОВТ на  $i$ -му кроці стаціонарності, рад.

Врахування приєднаних мас і моментів інерції води необхідно проводити для детермінування вектору стану РОВТ при ДП. При обчисленні приєднаних мас треба враховувати умови акваторії техноприродного комплексу. Одним з чинників, що характеризує складні процеси взаємодії корпусу РОВТ з акваторією є коефіцієнт Фруда по глибині  $Fr_H$ .

$$Fr_H = \frac{V_{POBT}}{\sqrt{gH_a}}, \quad (2.26)$$

де  $V_{POBT}$  - значення швидкості РОВТ, м/с;

$H_a$  - глибина акваторії техноприродного комплексу, м;

$g$  - значення прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \frac{м}{с^2}$ .

Вплив акваторії відсутній при  $Fr_H \leq 0,6$ . Процес ДП реалізується на невеликих швидкостях. Це до 0,5 вузла у зоні 50 метрів локально обмеженого простору МСП або іншого об'єкта. Приблизно до 1- 2 вузлів у зоні 100 метрів локально обмеженого простору ТПК. У 500 метровій зоні ТПК швидкість не

більше 3 вузлів, але практично при русі в режимі, коли ДП контролює повністю вектор стану РОВТ, ОСДП не задає швидкість більше 2 вузлів.

При динамічному позиціонуванні, коли переміщення РОВТ незначні, а процес відбувається за умови  $Fr_H \ll 0,6$ , найбільш підходить наступний спосіб знаходження приєднаних мас і моментів інерції води [63, 64, 154, 155, 158].

$$\lambda_{POBT11} = k_{11} \rho V, \quad (2.27)$$

де  $k_{11}$  - безрозмірний коефіцієнт форми корпусу;

$\rho$  - масова щільність води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$V$  - водотоннажність РОВТ,  $\text{м}^3$ .

Коефіцієнт форми корпусу РОВТ можна визначити по діаграмах з довідників [63, 64, 154, 155] для тривісного еліпсоїда з параметрами, що відповідають головним розмірам РОВТ. Особливо необхідно відмітити фундаментальний вклад А.І. Короткіна та М.Д. Хаскінда в розвинення теорії визначення параметрів приєднаних мас [154, 155].

Об'ємна водотоннажність визначається так:

$$V = \delta L B T, \quad (2.28)$$

де  $\delta$  - коефіцієнт загальної повноти корпусу;

$L$  - довжина РОВТ по ватерлінії, м;

$B$  – ширина РОВТ, м;

$T$  - середня осадка РОВТ, м.

Приєднані маси і моменти інерції води  $\lambda_{POBT22}, \lambda_{POBT66}$  корпусу РОВТ визначаються по наближених формулах Хаскінда [155]:

$$\lambda_{POBT22} = \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 \rho L B^2 \frac{\alpha}{1 + \alpha}; \quad (2.29)$$

$$\lambda_{\text{РОВТ66}} = \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 \frac{\pi}{48} \rho L^3 B^2 \frac{2}{(3-2\alpha)(3-\alpha)}, \quad (2.30)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії;

$\zeta_1 \zeta_2 \zeta_3$  - коефіцієнти, що враховують вплив тривимірності розтікання рідини.

Коефіцієнти  $\zeta_1 \zeta_2 \zeta_3$  визначаються за формулами Пабста [155]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \zeta_1 = \frac{\frac{L}{B}}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2}} \left( 1 - 0.425 \frac{\frac{L}{B}}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2}} \right), \\ \zeta_2 = 1 + 0.6 \frac{T}{B}, \\ \zeta_3 = 1 - \left( \frac{\beta}{180} \right), \end{array} \right. \quad (2.31)$$

де  $\beta$  - кут кілеватості, град.

Застосування формул для практичного визначення приєднаних мас визначається наступними умовами:  $\frac{T}{B} \leq 1$ ;  $\beta \leq 45^\circ$ . Ці обмеження повністю прийнятні для моделювання процесу ДП в локально обмеженому просторі.

Процес гарантування в умовах мілководдя запропоновано у [83]. Критерієм у цьому випадку пропонується коефіцієнт  $K$  для приєднаних мас за кожною із осей. На першому етапі визначається поточна глибина локально обмеженого простору ТПК для виконання ДП РОВТ. Для проведення прогностичного оцінювання безпеки ДП вибирається глибина відповідно часу прогнозування виконання відповідної технологічної роботи. При цьому необхідно ураховувати коливання глибин на всьому часовому проміжку запланованого ДП.



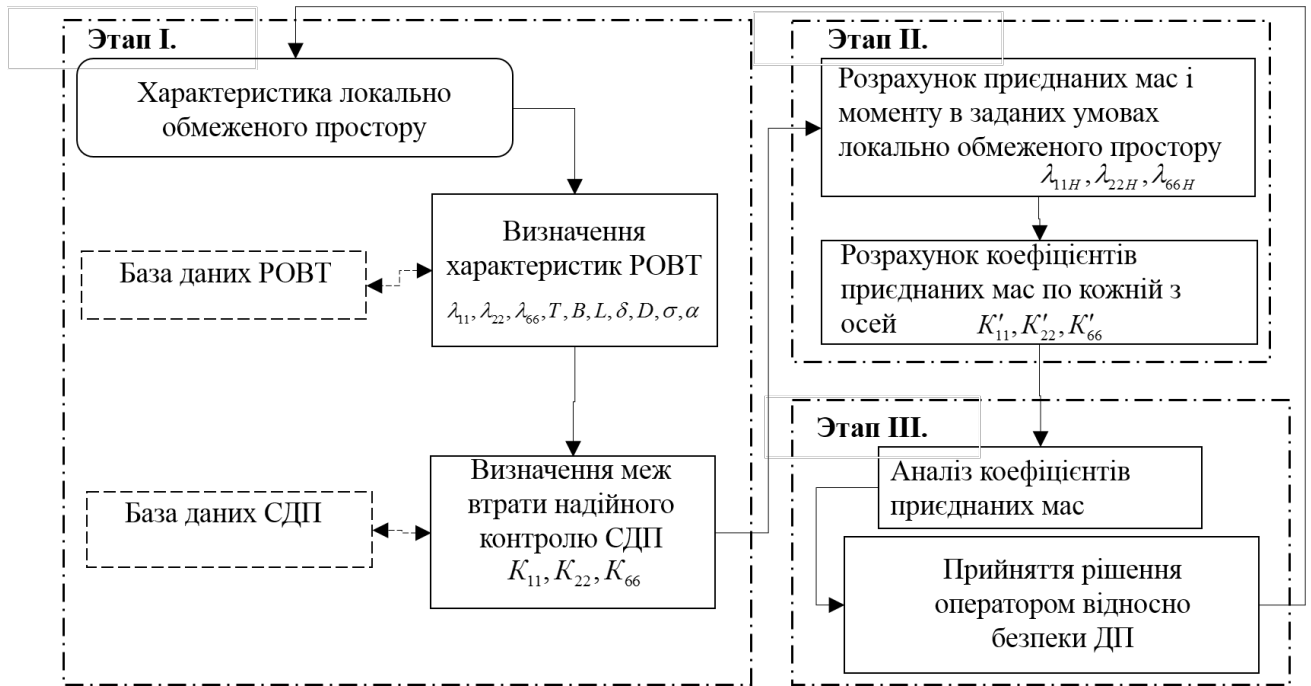


Рисунок 2.7 - Розроблена поетапна методика гарантування безпеки в умовах мілководдя

На цьому етапі відбувається математичне описання необхідних для вирішення завдання характеристик корпусу РОВТ: приєднаних мас на глибокій воді за вісями  $x$  і  $y$  у зв'язаній системі координат, приєданого моменту інерції. На другому етапі проводять математичні розрахунки. На третьому етапі аналізують коефіцієнти приєднаних мас на глибокій воді й за умов локально обмеженого простору на детермінованому часовому проміжку. Доцільно проводити аналіз і приймати відповідні рішення до початку ДП або виходу РОВТ у рейс. Такий аналіз дозволить не лише гарантувати безпеку РОВТ, але і підвищить комерційну ефективність його експлуатації.

Вітер, який розглядається як збурюючий чинник при ДП, що діє на РОВТ нелінійно, і сили впливу вітрового збурення нерівномірні в просторі і часі, а його швидкість і напрям завжди коливаються. Сила вітру оцінюється за допомогою шкали Бофорта, яка також ухвалена ВМО і використовується для вирішення практичних завдань судноводіння [245, 126 - 128, 209] та може бути включена до ІБМ.

З точки зору системного підходу можна виділити два типи зміни швидкості вітру в часі під час ДП - це стійкий поривчастий вітер і шквал.

Найпоширенішим є поривчастий вітер, його оцінка здійснюється за допомогою коефіцієнта поривчастості.

$$k_{не} = \frac{W_{\max}}{\bar{W}}, \quad (2.32)$$

де  $k_{не}$  - коефіцієнт поривчастості;

$W_{\max}$  - максимальна швидкість вітру, м/с;

$\bar{W}$  - середня швидкість вітру, м/с.

Дослідження впливу вітру на РОВТ під час ДП викликає необхідність визначення динамічної моделі поривчастого вітру в локально обмеженому просторі ДП:

$$W(t) = \tilde{W} + \Delta W(t), \quad (2.33)$$

де  $\tilde{W}$  - базова швидкість вітру, м/с;

$\Delta W(t)$  - нелінійна складова швидкості вітру, м/с.

Нелінійну складову швидкості вітру можна представити у вигляді:

$$W(t) = \tilde{W} + \sum_{k=1}^6 a_k \cos(\omega_k t). \quad (2.34)$$

В наведеній моделі  $\tilde{W}$  - швидкість вітру, що задається, а значення  $a_k, \omega_k$  визначаються наступними поліномами, отриманими апроксимацією спостережень [105]:

$$\begin{aligned} a_k &= [1,01;0,24;0,12;0,37;0,53;0,05]; \\ \omega_k &= [1;2,12;4,45;0,76;2,57;0,23]. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Враховуючи симетрію корпусу РОВТ і характер процесів управління СДП, можна записати наступну систему рівнянь для знаходження сил впливу:

$$\begin{cases} F_{AX} = C_x^a \frac{\rho_{II}}{2} S_{IIx} V_b^2, \\ F_{AY} = C_y^a \frac{\rho_{II}}{2} S_{IIy} V_b^2, \\ M_{AXOY} = C_{MXOY}^a \frac{\rho_{II}}{2} S_{IIy} L_{IIy} V_b^2, \end{cases} \quad (2.36)$$

де  $C_x^a, C_y^a, C_{MXOY}^a$  - аеродинамічні коефіцієнти РОВТ, що залежать від кута між діаметральною площиною корпусу і напрямом головного вектору швидкості вітру;

$\rho_{II}$  - масова щільність повітря,  $\text{кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ ;

$S_{IIx}$  - площа проекції надводної частини РОВТ на площину мідель-шпангоута,  $\text{м}^2$ ;

$S_{IIy}$  - площа проекції надводної частини корпусу РОВТ на діаметральну площину,  $\text{м}^2$ ;

$L_{IIy}$  - відстань центру парусності від центру тяжіння, м;

$V_b$  - відносна швидкість вітру, що отримується шляхом геометричного додавання векторів швидкості істинного вітру і швидкості руху РОВТ,  $\text{м}/\text{с}$ .

Для розрахунку аеродинамічних коефіцієнтів і сил для РОВТ з симетрією корпусу відносно діаметральної площини можна прийняти наступне [63]:

$$\begin{aligned}
C_x^a &= 0,85 \cos \xi_b; \\
C_y^a &= 1,05 \sin \xi_b; \\
C_{MHOY}^a &= 1,05 \left( 0,25 + \bar{b} \frac{\xi_b}{2\pi} \right) \sin \xi_b,
\end{aligned}
\tag{2.37}$$

де  $\xi_b$  - кут відносного вітру, рад;

$\bar{b} = \frac{L_{\Pi y}}{L}$  - безрозмірна величина, що характеризує плече дії сили.

У зв'язаній системі координат РОВТ гідродинамічні сили і момент, які викликані дією течії при ДП в локально обмеженому просторі, визначаються схожими з аеродинамічними залежностями [62, 63]:

$$\begin{cases}
F_{ГХ} = C_x^2 \frac{\rho_B}{2} S_{\sigma x} V_T^2, \\
F_{ГУ} = C_y^2 \frac{\rho_B}{2} S_{\sigma y} V_T^2, \\
M_{ГХОУ} = C_{MHOY}^2 \frac{\rho_B}{2} S_{\sigma y} L_{Ty} V_T^2,
\end{cases}
\tag{2.38}$$

де  $C_x^2, C_y^2, C_{MHOY}^2$  - безрозмірні гідродинамічні коефіцієнти;

$\rho_B$  - масова щільність води,  $\text{кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ ;

$S_{\sigma x}, S_{\sigma y}$  - приведені площі зануреної частини РОВТ,  $\text{м}^2$ ;

$V_T$  - відносна швидкість течії, що отримується шляхом геометричного складання векторів швидкості істинної течії і руху корпусу РОВТ,  $\text{м/с}$ .

Ключовим завданням для визначення сил гідродинамічного впливу є розрахунок гідродинамічних коефіцієнтів для РОВТ за адекватними моделями. Гідродинамічні коефіцієнти можуть бути визначені при випробуваннях моделей корпусів РОВТ в аеродинамічних трубах, басейнах, що імітують локально обмежений простір акваторії ТПК. Проводити випробування усіх типів корпусів РОВТ неможливо. Єдиний практичний вірний шлях оцінки цих параметрів

полягає в розрахунку останніх на базі апроксимації результатів випробувань серії моделей РОВТ. Так для практичних розрахунків при ДП РОВТ, де кути дрейфу можуть приймати будь-які значення рекомендовано застосовувати метод Н.І. Анісімової [8, 64].

При дослідженні впливу хвилювання необхідно детально визначити особливості локально обмеженого простору акваторії ТПК, а також чинники НС, що сприяють розвиненню хвилювання [75]. Значення цих чинників практично відомі на борту РОВТ з ІБМ або прогнозів, що надаються за стандартами ВМО. До ІБМ відноситься сила вітру, тривалість його впливу. Мають значення віддаленість від берегів конкретного локально обмеженого простору ДП та глибина акваторії ТПК, а також характер хвилювання в сусідніх районах.

Однозначною характеристикою для практичного використання моделі морського хвилювання має бути властивість стаціонарності. Випадковий процес називається стаціонарним на досліджуваному часовому проміжку за умови, що його математичне очікування і дисперсія є константами на цьому часовому проміжку. Тобто випадковий процес буде стаціонарним, якщо всі застосовані закони розподілу залежать тільки від взаємного розташування часових проміжків, і не залежать від значень цих величин. Що зумовлює властивість незмінності імовірнісних закономірностей в часі. Якщо зазначена умова не відбувається - випадковий процес є нестаціонарним. Визначення стаціонарності було сформульовано видатним математиком А.Я. Хінчином [266]. Він є одним з найбільш значущих вчених в школі теорії ймовірностей, а його визначні праці [266 - 268] і тепер становлять фундамент вітчизняної і світової теорії ймовірності.

Також дамо визначення, що випадковий процес на досліджуваному часовому проміжку називається процесом із стаціонарними приростами певного порядку, якщо ідентифіковані імовірнісні закономірності такого приросту є незмінними в часі. Означені визначення Хінчина становлять основу даної праці і зумовлюють застосування математичного апарату з стаціонаризованими імовірнісними характеристиками.

Згідно з сучасною науковою парадигмою вважається, що закони плоских прогресивних хвиль можуть бути застосовані для опису розвиненого хвильового процесу [63, 64, 139, 231 - 233, 238].

Для практичного розрахунку сил хвилювання, що діють на РОВТ при реалізації ДП в локально обмеженому просторі акваторії ТПК, необхідно сформулювати детерміновану в часі адекватну модель хвилювання. На підставі викладеного вище матеріалу можна запропонувати наступну формулу [306]:

$$h = \sum_{\varepsilon=1}^{K_{\varepsilon}} \left( r_{h\varepsilon} \cos(\omega t + \delta_{h\varepsilon} - k_{h\varepsilon} (x_h \cos(\chi_{h\varepsilon}) + y_h \sin(\chi_{h\varepsilon})) \right), \quad (2.39)$$

де  $K_{\varepsilon}$  - число хвильових компонентів;

$r_{h\varepsilon}$  - спектральна амплітуда, м;

$\omega$  - частота хвилювання, рад/с;

$\delta_{h\varepsilon}$  - початкова фаза, рад;

$k_{h\varepsilon}$  - хвильове число,  $k_h = \frac{2\pi}{\lambda_B}$ ;

$\chi_{h\varepsilon}$  - напрям поширення хвиль, рад;

t - час, с.

Частота форми залежить від довжини хвилі, а частота хвилі - від періоду хвилювання. Досліджуваний процес розвиненого хвилювання в акваторії ТПК є стаціонарним. Щільність вірогідності хвильових ординат на і-му кроці стаціонарності математичної моделі має вигляд:

$$f_i(h) = \frac{1}{2\pi\sigma_h} e^{\frac{-h^2}{2\sigma_h^2}}, \quad (2.40)$$

де  $\sigma_h$  - дисперсія хвильових ординат.

Для двовимірного хвилювання дисперсія має вигляд:

$$\sigma_h = \int_0^{\infty} \tilde{S}_h(\omega) d\omega. \quad (2.41)$$

Для тривимірного хвилювання:

$$\sigma_h = \int_0^{\infty} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \tilde{S}_h(\omega, \varepsilon) d\omega d\varepsilon, \quad (2.42)$$

де  $\tilde{S}_h(\omega)$ ,  $\tilde{S}_h(\omega, \varepsilon)$  - відповідно одновимірні і двовимірні спектральні щільності хвильових ординат.

Крім того, широко поширені характеристики хвиль заданої забезпеченості. Загальна формула для визначення висоти хвиль забезпеченістю  $p\%$  має такий вигляд:

$$h_{p/0} = 2p_h \sqrt{\sigma_h}, \quad (2.43)$$

де  $p_h$  – коефіцієнт.

У вітчизняній практиці користуються висотами хвиль 3% забезпеченості, і це є надійним і перевіреним методом відповідних розрахунків і впровадження практичних рішень. Для таких висот хвиль значення  $2p_\zeta$  дорівнює 5,29 згідно з [306]. У зарубіжній практиці широко поширена значна висота хвиль  $h_s$  (або significant wave height). Їй відповідає забезпеченість 13,5% і коефіцієнт  $2p$  рівний 4,0. Практично це означає, що  $h_s$  є середньою від однієї третини найбільш високих хвиль з серії спостережуваних. Зв'язок між висотою хвилі 3% забезпеченості, значною висотою хвилі і середньою висотою хвилі  $\bar{h}$  виглядає так:

$$h_{3\%} = 1,33h_s = 2,11\bar{h}. \quad (2.44)$$

Для практичних розрахунків необхідно проводити підбір типового спектру згідно до законів хвилеутворення в різних акваторіях техноприродних комплексів. Одним з універсальних є модель однопараметричного спектра Ньюмана, який було представлено у 1952 році [166]:

$$S_h(\omega) = C\omega^{-6}e^{(-2g\omega^{-2}V^{-2})}, \quad (2.45)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння,  $9,8 \text{ М/с}^2$ ;

$\omega$  - частота хвиль,  $\text{рад/с}$ ;

$V$  – швидкість розповсюдження хвиль,  $\text{М/с}$ .

Для акваторії Північної Атлантики Бретшнайдером була представлена наступна спектральна щільність [306]:

$$S_h(\omega) = 1,25 \frac{\omega_0^4 h_s^2}{4} \omega^{-5} e^{(-1,25(\frac{\omega_0}{\omega})^4)}, \quad (2.46)$$

де  $h_s$  - значна висота хвиль, м;

$\omega_0$  - частота максимуму,  $\text{рад/с}$ .

PM- спектр або спектр Пітерсона-Московіца також представлений для району акваторії Північної Атлантики [306] і може бути використаний для практичних розрахунків при оцінці ДП РОВТ в цій акваторії:

$$S_h(\omega) = A\omega^{-5}e^{(-B\omega^4)}, \quad (2.47)$$

де  $A = 8,1 \cdot 10^{-3} g^2$  - константа;



$$B = 0,74 \left( \frac{g}{V_{19,4}} \right)^4 = \frac{3,11}{h_s^2} \quad - \text{ коефіцієнт, що залежить від швидкості вітру на}$$

висоті 19,4 м.

Звідси легко можна зрозуміти співвідношення в акваторії ТПК між швидкістю вітру і значною висотою хвилі:

$$h_s = \frac{2,06}{g^2} V_{19,4}^2. \quad (2.48)$$

Для моделювання польових хвильових процесів у закритих акваторіях рекомендовано спектр JONSWAP [306].

$$S_h(\omega) = 155 \frac{h_s^2}{T_1^4} \omega^{-5} e^{\frac{-944}{T_1^4} \omega^{-4}} \cdot 3,3 e^{-\left(\frac{0,191 \omega T_1 - 1}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2}, \quad (2.49)$$

$$\text{де період } T_1 = 0,834 T_0, \text{ а } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{5}{4B}}.$$

Саме до закритих акваторій відноситься Чорноморсько-Азовський басейн, тому використання спектру JONSWAP є оправданим.

Для визначення сил реакції конкретного РОБТ при ДП в збуреному локально обмеженому просторі конкретної акваторії техноприродного комплексу необхідно проведення математичного моделювання РОБТ, який є об'єктом ДП.

Основним джерелом фізичної реакції на збурення є ЗАК РОБТ, а одним з основних елементів ЗАК є головний рушійний комплекс. Для ТБС, що обладнано азимутальними рушіями, сили керування азимутальних рушіїв можна розрахувати наступним чином [306]:

$$F_{azi} = (T_{nn} n^2 + T_{Vn} V_{POBT} n + T_{VV} V_{POBT}^2), \quad (2.50)$$

де  $T_{mn}, T_{Vn}, T_{VV}$  - безрозмірні коефіцієнти;

$V_{POBT}$  - швидкість РОБТ, М/с;

$n$  - частота обертання гвинта, об/с.

Якщо значення виразу в дужках менше нуля, то силу гвинта необхідно вважати рівною нулю. Коефіцієнти  $T_{mn}, T_{Vn}, T_{VV}$  розраховуються згідно з наступною системою:

$$\begin{cases} T_{mn} = K_{tp}(3)\rho_B D_{zp}^4, \\ T_{Vn} = K_{tp}(2)\rho_B D_{zp}^3, \\ T_{VV} = K_{tp}(1)\rho_B D_{zp}^3, \end{cases} \quad (2.51)$$

де  $\rho_B$  - масова щільність води,  $\text{кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{М}^4$ ;

$D_{zp}$  - діаметр гвинта головного рушія, м;

$K_{tp}$  - коефіцієнт.

Коефіцієнт  $K_{tp}$  виражається наступним поліномом:

$$K_{tp} = (-0,1060; -0,3246; 0,4594) \quad (2.52)$$

Система, що визначає сили і момент, який створюється головним рушійним комплексом при ДП має наступний вид [105]:

$$\begin{cases} F_{Xazi} = F_{lazi} \cos \alpha_l + F_{razi} \cos \alpha_r, \\ F_{Yazi} = F_{lazi} \sin \alpha_l - F_{razi} \sin \alpha_r, \\ M_{XOYazi} = F_{lazi} a \cos \alpha_l - F_{razi} a \cos \alpha_r - F_{lazi} l_k \sin \alpha_l + F_{razi} l_k \sin \alpha_r, \end{cases} \quad (2.53)$$

де  $F_{razi}, F_{lazi}$  - сили тяги правого і лівого азимутальних рушіїв відповідно, кгс;

$a$  - відстань гвинта азимутального рушія від діаметральної площини, м;

$l_k$  - відстань гвинта азимутального рушія від центру мас РОВТ, м;

$\alpha_r, \alpha_l$  - кути розвороту правого і лівого азимутальних рушіїв відповідно,

рад.

Іншими компонентами ЗАК є ПП. Сила ПП розраховується наступним чином [64]:

$$F_n = 0,105 \rho_B F_p \lambda_s^2 n^2 D_n^2, \quad (2.54)$$

де  $F_p$  - площа поперечного перерізу каналу ПП, м<sup>2</sup> ;

$\rho_B$  - масова щільність води, кгс · с<sup>2</sup> / м<sup>4</sup> ;

$n$  - частота обертання гвинта ПП, об/хв ;

$\lambda_s$  - поступ гвинта ПП;

$D_n$  - діаметр гвинта ПП, м.

Проекції сили і момент ПП в зв'язаній системі координат матиме вигляд:

$$\begin{cases} F_{Xn} = k_c \rho_B \frac{\pi d_n^4}{4} V_n V_{xPOBT}, \\ F_{Yn} = F_n \bar{P}_{yn}, \\ M_{XOYn} = F_n \bar{P}_{mn} l_n, \end{cases} \quad (2.55)$$

де  $F_{Xn}$  - сила додаткового опору, яка обумовлена взаємодією ПП з корпусом РОВТ, кгс;

$k_c$  - коефіцієнт, що враховує число ПП в групі, для одного ПП  $k_c = 1$ , для двох або трьох  $k_c = 0,825$ ;

$d_n$  - діаметр вихідного перерізу труби ПП, м;

$V_n$  - швидкість потоку води на виході ПП, М/с ;

$V_{xPOBT}$  - проекція швидкості РОВТ на поздовжню вісь, М/с ;

$R_{yn}$  - сила ПП з урахуванням взаємодії його з корпусом РОВТ, кгс;

$\bar{P}_{yn}$  - безрозмірний коефіцієнт впливу руху РОВТ;

$M_{xOyn}$  - момент навколо вертикальної вісі, що створюється ПП, кгс · м;

$l_n$  - відстань ПП від комплексного центру мас РОВТ, м;

$\bar{P}_{mn}$  - безрозмірний коефіцієнт впливу руху РОВТ на момент  $M_{xOyn}$ .

Швидкість потоку води від роботи ПП в режимі ДП може бути розрахована по формулі [64]:

$$V_n = 0,34 \left( \frac{\sqrt{P_D}}{D_n} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.56)$$

де  $D_n$  - діаметр гвинта ПП, м;

$P_D$  - потужність приводного двигуна, кВт.

Коефіцієнти впливу в аналітичній формі можна представити [63]:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{yn} &= 1 - \bar{P}_{ys} f_y; \\ \bar{P}_{mn} &= 1 - \bar{P}_{ms} f_m. \end{aligned} \quad (2.57)$$

Коефіцієнти  $\bar{P}_{ys}, \bar{P}_{ms}$  характеризують вплив швидкості РОВТ і швидкості потоку води на виході ПП:

$$\begin{cases} \bar{P}_{ys} = 0,135 \frac{V_{POBT}}{V_n} + 1,865 \left( \frac{V_{POBT}}{V_n} \right)^2, \\ P_{ms} = 0,125 \frac{V_{POBT}}{V_n} + 0,655 \left( \frac{V_{POBT}}{V_n} \right)^2. \end{cases} \quad (2.58)$$

Зазначені коефіцієнти  $f_y, f_m$ . представляють собою вплив кута дрейфу  $\beta$  РОВТ в локально обмеженому просторі ТПК.

$$\begin{cases} f_y = 1 - 1,3 \sin |1,2\beta|, \\ f_m = 1 - 1,2 \sin |1,2\beta|, \end{cases} \quad (2.59)$$

де  $\beta$  - кут дрейфу, рад.

Тоді фінальна система, яка виражає комплекс сил, що утворює ЗАК, який складається з 2 азимутальних рушіїв та 2 ПП тунельного типу (ТБС УТ 733-2) матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} F_{XH} = F_{lazi} \cos \alpha_l + F_{razi} \cos \alpha_r, \\ F_{YH} = F_{lazi} \sin \alpha_l - F_{razi} \sin \alpha_r + F_{1nn} + F_{2nn}, \\ M_{XOYH} = F_{lazi} a \cos \alpha_l - F_{razi} a \cos \alpha_r - F_{lazi} l_k \sin \alpha_l + F_{razi} l_k \sin \alpha_r + \\ + F_{1nn} l_{1nn} + F_{2nn} l_{2nn}. \end{cases} \quad (2.60)$$

Таким чином сформована математична модель, що включає алгебраїчні вирази, які відображають характеристики процесів чинників НС, процеси впливу (взаємодії) чинників НС локально обмеженого простору акваторії ТПК на РОВТ під час ДП, а також процеси адекватної реакції РОВТ на отримані збурення для реалізації безпечного позиціонування.

Завдяки проведеному дослідженню гетерогенних процесів НС при функціонуванні складної динамічної системи можна стверджувати, що ідентифікований простір  $\{U_x\}$  множини безпечних станів системи  $S_d$  по

характеристиці  $\chi$  є складовою частиною простору  $\{U'_\chi\}$  всіх можливих станів системи  $S_D$  по характеристиці  $\chi$ . Що означає наступне:

$$\begin{cases} f: \chi_i \rightarrow \{U'_\chi\}, \\ \{U_\chi\} \subset \{U'_\chi\}. \end{cases} \quad (2.61)$$

Поняття найкращого гарантованого результату вводиться Ю.Б. Гермеєром в [107]. При цьому в цій роботі автор відходить від пошуків мінімуму або максимуму функцій або множин. Ефективність такого підходу є високою, адже суттєво розширює можливості практичного застосування.

Чинники НС, такі як вітер, течія, хвилювання або лід мають динамічні характерні показники. Значення цих показників можна виміряти засобами на борту РОВТ безпосередньо. Або якісно змоделювати за відповідними синтезованими вище моделями. Властивість стаціонарності забезпечує якісне та адекватне відображення реальних гетерогенних процесів локально обмеженого простору акваторії ТПК. Схожа ситуація і з приєднаними масами. Значення яких є безпечним лише до конкретного порога. Тоді рівняння (2.4) можна переписати для чинників НС наступним чином:

$$I_{S_D}(\{S_{Di}\}) = 1 \Rightarrow S_D(t) \in \{U_\chi\} \Leftrightarrow \begin{cases} \forall(\chi_{1i}) [f(\chi_{1i}) \leq \inf \{U'_{\chi_1}\}], \\ \forall(\chi_{2i}) [f(\chi_{2i}) \leq \inf \{U'_{\chi_2}\}], \\ \dots \\ \forall(\chi_{mi}) [f(\chi_{mi}) \leq \inf \{U'_{\chi_m}\}]. \end{cases} \quad (2.62)$$

Таким чином саме максимально можливі значення чинників НС локально обмеженого простору акваторії ТПК, які не викликають катастрофічних наслідків

формують значення  $\inf\{U'_x\}$ . А множина значень, що менше  $\inf\{U'_x\}$  формує множину  $\{U_x\}$  згідно з умови (2.61).

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

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

$$\dots \wedge \left( \tilde{P}_{BCm}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{x}_m)}\} \right) \Leftrightarrow \begin{cases} \forall \tilde{P}_{BC1i} \in \{U_{\Phi(\tilde{x}_1)}\}, \tilde{P}_{BC1i} \geq \sup\{U'_{\tilde{x}_1}\}, \\ \forall \tilde{P}_{BC2i} \in \{U_{\Phi(\tilde{x}_2)}\}, \tilde{P}_{BC2i} \geq \sup\{U'_{\tilde{x}_2}\}, \\ \dots \\ \forall \tilde{P}_{BCmi} \in \{U_{\Phi(\tilde{x}_m)}\}, \tilde{P}_{BCmi} \geq \sup\{U'_{\tilde{x}_m}\}. \end{cases} \quad (2.63)$$

В сенсі виразу (2.63)  $\Phi(\tilde{x}_i) = \sup\{U'_{\tilde{x}_i}\}$ . Слід зазначити, що за Гермейєром величина  $W(M) = \sup W(x), x \in M$  називається найкращим гарантованим в множині М результатом [107]. Проте при практичній реалізації сформованих моделей необхідно чітко дослідити і визначити імовірнісні критерії безпеки на основі статистичних виразів, що дозволить гарантувати рівень безпеки РОВТ в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору ТПК.

На основі проведених вище досліджень проведено синтез моделей, які можна застосовувати в перспективних ПАК ППР для гарантування необхідного рівня безпеки. Модульний принцип системного підходу в майбутніх ПАК ППР зумовить властивість гнучкості при налаштуванні для конкретного РОВТ.

## Висновки до другого розділу

1. Доведено необхідність застосування системного підходу в якості напряму досліджень об'єкта як цілісної ієрархічної множини упорядкованих складних елементів, а актуальність наукового завдання полягає в необхідності визначення рівня безпеки РОВТ, який обладнано СДП будь-якого класу, під час ДП в умовах впливу усіх наявних гетерогенних джерел поточних загроз локально обмеженого простору акваторії техноприродного комплексу.
2. За допомогою загальної теорії систем та системного аналізу, які являються конкретизацією принципів та методів системного підходу, автором вперше сформульовано постановку задачі динамічного програмування безпеки полієргатичного управління РОВТ шляхом розв'язання багатокритеріального завдання гарантування прогнозного (або поточного) імовірнісного рівня безпечної реалізації процесу високоточної навігації в збуреному середовищі.
3. Запропоновано класифікацію і позначення рівнів ієрархії, що дозволило провести декомпозицію об'єкту досліджень для формалізації задач навігації і управління для динамічного програмування безпеки полієргатичного управління, а також провести синтез аналітичних моделей гетерогенних факторів збурень.
4. Сформовано критерії, які рекомендовано використовувати при оцінюванні безпеки РОВТ і визначено вигляд індикаторної функції та її множини допустимих значень, яка визначається за допомогою оцінки ризиків та наявності засобів їх контролю.

Матеріали розділу 2 висвітлені у працях автора [20, 30, 69, 75, 82, 83, 90, 93 ] та у Додатку Д.



## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ ПОЛІЕРГАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗА КРИТЕРІЯМИ БЕЗПЕКИ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ ВОДНОНОГО ТРАНСПОРТУ

#### **3.1 Формалізація активних дій людини-оператора в інформаційних потоках відображення збурень середовища**

Надійність і безпека ДП при виконанні технологічних робіт в локально обмеженому просторі акваторії ТПК забезпечується застосуванням людино - машинних систем управління РОВТ [308]. Ефективне функціонування такої системи може бути розглянуто в двох іпостасях: адекватне надійне і точне функціонування технічної складової при здійсненні грамотного і належного управління та контролю ОСДП [79, 80].

При цьому проблема функціональної стійкості ДП РОВТ пов'язана не тільки з техніко-економічним аспектом, а й, в набагато більшій мірі - із забезпеченням безпеки життя людей і недопущення забруднення навколишнього середовища (відповідно до вимог МАРПОЛ).

Поліергатична система з управління процесами високоточної навігації та здійснення технологічних робіт при виконанні РОВТ ДП в локально обмеженому просторі складається з декількох ОСДП і відповідних цільових ТС. Кількість ТС визначається класом СДП і її компонентами, а також характером виконуваної РОВТ технологічної роботи і ступенем залучення ОСДП в ній (системи управління вантажними операціями при видачі рідких або сипучих вантажів, системи забезпечення водолазних робіт та ін.). Безпека всього процесу залежить від безвідмовної роботи ТС і від кваліфікованого управління ОСДП, а також від його реакції на події, які мають безпосередній вплив на безпеку або ефективність контрольованих процесів.

У цьому контексті можна розглядати групу ОСДП, що знаходяться в потоці, який визначається як послідовність однорідних подій, що з'являються одна за

іншою в випадкові моменти часу [92, 97, 307, 309]. Такий потік подій називається стаціонарним, так як на його ймовірнісні характеристики не впливає вибір початку відліку. Що зумовлює ймовірність попадання того чи іншого числа подій гетерогенного потоку на довільному проміжку дискретного часу залежить лише від розміру часового інтервалу і не має значення де саме на часовій осі континууму він розташований.

Потік подій в якому знаходиться досліджувана поліергатична система РОВТ при виконанні технологічних робіт, які пов'язані з ДП, є ординарним. Властивість ординарності необхідно розуміти як таку, що ймовірність потрапити на досліджуваній дискретний інтервал часу двох або більше подій є дуже малою, якщо порівнювати з імовірністю попадання однієї такої події. З практичного боку властивість ординарності потоку зумовлює появу подій поодинокі, а не групами по дві, три, або більше. Хоча точний збіг моментів появи двох і більше подій теоретично можливий, але він має нульову розрахункову ймовірність. Ординарний потік подій можна інтерпретувати як випадковий процес.

Розглянутий в дослідженні потік подій є потоком без післядії. Умовою потоку без післядії є те, що число ідентифікованих подій, які потрапляють на будь-який дискретний часовий інтервал не залежать від кількості подій, які потрапили на будь-який інший дискретний часовий інтервал. За умови, що ці два інтервали не перетинається. З практичного боку дослідження відсутність післядії в потоках гетерогенних збурень означає, що гетерогенні події потоку з'являються в довільні інтервали дискретного часу, а також мають властивість незалежності. Тобто розглянутий потік подій стаціонарний, ординарний і не має післядії [58].

Ординарний потік подій без післядії називається пуасонівським [58]. Таким чином розглянутий потік подій є стаціонарним пуасонівським потоком. Стаціонарність розглянутого потоку обумовлює його однакову інтенсивність на всьому розглянутому часовому проміжку.

Інтервал часу  $t_{\Lambda}$  між двома сусідніми подіями стаціонарного пуасонівського потоку має показовий розподіл:

$$\tilde{f}(t_{\Lambda}) = \Lambda e^{-\Lambda t_{\Lambda}}, \quad (3.1)$$

де  $e$  - число Ейлера;

$\Lambda$  - інтенсивність потоку подій,  $1/\text{год}$ ;

$t_{\Lambda}$  - інтервал часу час між двома сусідніми подіями стаціонарного пуассонівського потоку, год.

Сенс інтенсивності розглянутого потоку подій  $\Lambda$  в класичній постановці питання полягає в тому, що він являє собою математичне очікування числа подій, що припадає на одиницю часу. Математичне очікування є середнє значення випадкової величини при прагненні кількості вибірок або кількості її вимірів до нескінченності.

Нехай в імовірнісному просторі Колмогорова  $(\tilde{\Omega}, \tilde{F}, \tilde{P})$  визначена випадкова величина  $U$ . Тобто, за визначенням,  $U: \tilde{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$  - вимірна функція. Якщо існує інтеграл Лебега від  $U$  по простору  $\tilde{\Omega}$ , то він називається математичним очікуванням. Також він може мати назву середнього (очікуваного) значення.

$$\tilde{M}(U) = \int_{\tilde{\Omega}} U(\tilde{\Omega}) \tilde{P}(d\tilde{\Omega}), \quad (3.2)$$

де  $\tilde{\Omega}$  - простір елементарних подій за Колмогоровим;

$\tilde{P}$  - ймовірнісна міра простору елементарних подій.

Якщо  $F(U)$  - функція розподілу випадкової величини, то її математичне очікування задається відомим інтегралом Лебега-Стільт'еса:

$$\tilde{M}(U) = \int_{-\infty}^{\infty} u dF(u). \quad (3.3)$$

Зрозуміло, що необхідною умовою для обчислення даного інтегралу є  $u \in \mathbb{R}$ . Це справедливо і при розрахунках математичного очікування безперервних випадкових величин.

При практичній реалізації обчислення математичного очікування використовують його оцінку  $M$ . Оцінка математичного очікування при виконанні практичних обчислень являє собою середнє арифметичне одновимірної випадкової величини кінцевого числа випробувань. Даний сенс не зміниться, якщо потік подій представити таким чином:

$$\Lambda = \frac{1}{M(t_\Lambda)}, \quad (3.4)$$

де  $M(t_\Lambda)$  - оцінка математичного очікування інтервалу між подіями стаціонарного пуасонівського потоку, год.

Перебуваючи в потоці подій ОСДП аналізують його і реагують відповідним чином на події. Реакції операторів на події являється потік реакцій  $\mu$ . Під потоком реакцій розуміється потік дій у відповідь, які йдуть послідовно одна за іншою і виробляються одним безперервно зайнятим ОСДП. Цей потік реакцій буде стаціонарним, ординарним і не мати післядії (тобто, є стаціонарним пуасонівським), тільки якщо час самої реакції є випадковою величиною, що має показовий розподіл. Параметр цього розподілу є величина, зворотна середньому часу реакції:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_\mu}, \quad (3.5)$$

де  $\bar{t}_\mu$  - середній час реакції поліергатичної системи, год;

$\mu$  - інтенсивність потоку реакцій,  $1/\text{год}$ .

Середній час реакції полієргатичної системи може бути виражено через математичне очікування наступним чином:

$$\bar{t}_\mu = M(t_\mu), \quad (3.6)$$

де  $M(t_\mu)$  - оцінка математичного очікування інтервалу реакції стаціонарного пуасонівського потоку, год.

Аналітичне дослідження моделей функціонування полієргатичних систем при управлінні ДП і технологічними роботами є найбільш ефективним з точки зору обробки результатів за умови, що гетерогенні потоки подій ТПК, що впливають на систему і зумовлюють її подальші переходи з одного стану в інший стан, являються стаціонарними пуасонівськими потоками. Такий підхід зумовлює наявність в процесі показового розподілу для інтервалів дискретного часу з параметром, який дорівнює інтенсивності відповідного потоку.

Виходячи з вище сказаного, функціонування полієргатичної системи з управління ДП і виконанні технологічної роботи в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК можна представити таким чином.

Полієргатична система знаходиться під впливом  $n$  стаціонарних пуасонівських потоків подій  $\Lambda_n$ . Сам процес гарантування безпеки і ефективності ДП РОВТ і виконання технологічних робіт в акваторії ТПК розглянемо з позиції сценарного опису станів полієргатичної систем, яка утворена групою ОСДП і електронними системами управління (СДП, системами управління технологічними роботами).

Найважливішим аспектом розглянутих операцій виконання технологічних робіт в локально обмеженому просторі ДП РОВТ є забезпечення безпеки - запобігання розвитку потенційно небезпечних сценаріїв в умовах гетерогенних збурень ТПК. Способом уникнення аварійного виходу розвитку потенційно небезпечних сценаріїв є обробка потоку подій ОСДП. Під час первинної обробки

подій в загальному потоці подій ОСДП виділяє важливі події, які викликають необхідність його подальших дій.

Важливими подіями є ті події, які можуть бути початком ланцюга причинно-взаємопов'язаних подій, що ведуть до аварії або зниження ефективності як самого процесу високоточної навігації, так і технологічної роботи.

Важливі події піддаються вторинній обробці. Під час вторинної обробки подій формується реакція на подію. Процес реакції включає в себе процес аналізу джерела небезпеки або аналізу вимоги, прийняття рішень і реалізації прийнятих рішень, а також контроль за реалізацією прийнятих рішень на всьому часовому протягу його виконання, якщо цього вимагає ситуативна обстановка.

Таким чином, поліергатична система формує стаціонарні пуасонівські потоки реакцій  $\mu$ , які не дають розвинути потенційно небезпечним сценаріям і гарантують безпеку здійснення процесів ДП і виконання технологічної роботи в локально обмеженому просторі. Слід зазначити, що кількість потоків реакцій поліергатичної системи буде рівною кількості потоків важливих подій.

### **3.2 Формалізація каналних перетворень багатofакторних динамічних потоків**

Випадковий процес, що протікає в ідентифікованій фізичній системі, називається процесом без післядії або марківським за умови, що у дискретному часі для будь-якого моменту часу  $t_0$  вірогідність будь-якого стану системи в майбутньому (при  $t > 0$ ) залежить тільки від характеристик стану системи зараз і не має значення, на якому часовому проміжку, а також яким чином досліджувана система  $S_d$  прийшла в цей стан. Тобто при ідентифікованому сьогоднішньому майбутньому стану системи не залежить від минулого.

Ця унікальна властивість марківських процесів надає можливість формування моделей з дискретними станами при безперервному часі з можливістю завдання часового кроку і інтервалу. Для формування адекватної моделі поліергатичної системи потрібно провести повний опис характеристик її компонентів і усіх можливих станів системи. Стани поліергатичної системи управління ДП і технологічної роботи в загальному вигляді описуються таким чином:

$$Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 \dots Y_i \dots Y_{\tilde{n}}, \quad (3.7)$$

де  $Y_i$  - стан поліергатичної системи з  $i$ -м номером,  $i \in \tilde{n}$  ;

$\tilde{n}$  - множина станів поліергатичної системи.

Обов'язковою умовою є те, що безліч станів повинно бути рахунковим. Умова рахункового числа станів системи при протіканні марківських процесів важлива при ієрархічному розділенні поліергатичної системи на відповідні підсистеми. Кількість виділених підсистем може варіюватися залежно від цілей дослідження. Бієкцію станів поліергатичної системи в загальному вигляді зручно записати наступним чином:

$$\tilde{n} \leftrightarrow \mathbb{N}, \quad (3.8)$$

де  $\tilde{n}$  - множина станів поліергатичної системи;

$\mathbb{N}$  - множина всіх натуральних чисел.

Марківські процеси зручно ілюструвати за допомогою графа станів.

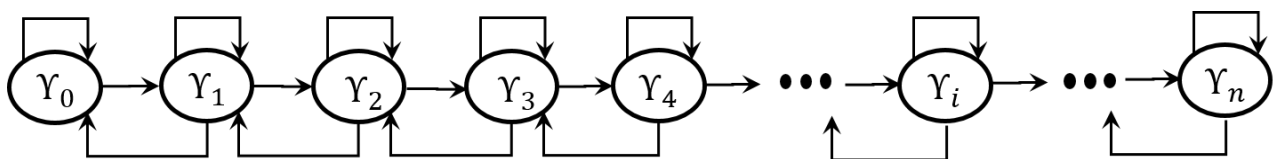


Рисунок 3.1 - Приклад графа станів системи при протіканні марківських процесів

На графі стрілками показані ймовірнісні переходи досліджуваної системи з одного ідентифікованого стану в інший стан марківського процесу. В наведеному графі відображаються тільки можливі безпосередні переходи з одного детермінованого стану в інший. Якщо перехід не відбувся, то система залишається в колишньому стані, що позначається так званою «петлею» (стрілкою, спрямованою з даного стану в нього ж). Марківський випадковий процес, який характеризується дискретними ідентифікованими станами, що пов'язані між собою, з можливістю переходів між ними, а також реалізується в умовах дискретного часу - називається марківським ланцюгом. Для такого процесу моменти часу  $t_1, t_2$ , коли система  $\gamma$  може змінювати свій стан, можна розглядати як кроки процесу. Початковий стан системи може як задаватися, так і бути випадковим. Розподіл ймовірностей станів на початку процесу описуються наступним чином:

$$\tilde{P}_0(0), \tilde{P}_1(0), \tilde{P}_2(0), \tilde{P}_3(0), \tilde{P}_4(0) \dots \tilde{P}_i(0) \dots \tilde{P}_n(0), \quad (3.9)$$

Розподіл ймовірностей (3.9) називається початковим розподілом ймовірностей марківського ланцюга. Якщо початковий стан поліергатичної системи в точності відомо, то його початкова ймовірність дорівнює одиниці, а всі інші дорівнюють нулю. Сума всіх початкових ймовірностей також дорівнює одиниці.

При розгляді випадкових процесів з дискретними станами поліергатичної системи, що функціонує в безперервному часу зручно представляти переходи системи  $\gamma$  зі стану в стан, які проходять завдяки впливам ідентифікованих потоків подій. Щільності ймовірностей переходів таких динамічних процесів мають сенс інтенсивностей  $\Lambda$  відповідних потоків подій. Якщо всі ці потоки є



пуассонівськими, то процес, що має місце в досліджуваній системі  $\Upsilon$ , буде марківським і мати всі відповідні властивості.

При дослідженні марківських випадкових процесів з дискретними станами і безперервним часом необхідно побудувати графи станів і переходів досліджуваної системи. На графі має бути навпроти кожної стрілки, що веде з одного ідентифікованого стану в інший, відображено значення інтенсивності відповідних потоків подій, що переводять систему по відповідній стрілці у відповідний стан. Такий граф називається розміченим.

Ймовірність того, що система  $\Upsilon$ , яка знаходиться в стані  $Y_i$  за стандартний проміжок часу  $dt$  перейде в стан  $Y_j$  (елемент ймовірності переходу з  $Y_i$  в  $Y_j$ ) є ймовірність того, що за час  $dt$  відбудеться хоча б одна подія відповідного потоку, яка змусить складну систему  $\Upsilon$  перейти з стану  $Y_i$  в стан  $Y_j$  марківського процесу. З точністю до нескінченно малих вищих порядків за часом ця ймовірність дорівнює  $\Lambda_{ij} dt$ .

Потоком ймовірності переходу зі стану  $Y_i$  в стан  $Y_j$  є величина, яка дорівнює  $\Lambda_{ij} \tilde{P}_i(t)$ . Розглянемо випадок, коли поліергатична система  $\Upsilon$  має рахункове число станів, що виражаються за формулою (3.7). Тоді для ідентифікації випадкового марківського процесу, що протікає в досліджуваній поліергатичній системі, застосовуються такі ймовірності її станів:

$$\tilde{P}_0(t), \tilde{P}_1(t), \tilde{P}_2(t), \tilde{P}_3(t), \tilde{P}_4(t) \dots \tilde{P}_i(t) \dots \tilde{P}_n(t), \quad (3.10)$$

де  $\tilde{P}_i(t)$  - ймовірність того, що поліергатична система  $\Upsilon$  в момент часу  $t$  знаходиться в стані  $Y_i$ .

Для будь-якого моменту часу  $t$  протікання марківського процесу функціонування поліергатичної системи справедливим буде наступне співвідношення:

$$\sum_{i=1}^{\tilde{n}} \tilde{P}_i(t) = 1 \quad (3.11)$$

Для знаходження ймовірностей (3.11) складемо і вирішимо рівняння Колмогорова-Чепмена для однопараметричного сімейства безперервних лінійних операторів:

$$\frac{d\tilde{P}_i(t)}{dt} = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \Lambda_{ij} \tilde{P}_j(t) - \tilde{P}_i(t) \sum_{j=1}^{\tilde{n}} \Lambda_{ij}. \quad (3.12)$$

Для зручності позначення можна опустити аргумент  $t$  у змінних  $\tilde{P}_i$ , тоді (3.12) можна переписати таким чином:

$$\frac{d\tilde{P}_i}{dt} = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \Lambda_{ij} \tilde{P}_j - \tilde{P}_i \sum_{j=1}^{\tilde{n}} \Lambda_{ij}. \quad (3.13)$$

Рівняння виду (3.13) можна також формувати за допомогою графу станів марківського процесу системи і правилом того, що похідна ймовірності для кожного марківського стану дорівнює сумі всіх потоків ймовірності, що йдуть з інших марківських станів в даний, мінус сума всіх потоків ймовірності, що йдуть з даного стану в інші ідентифіковані на графі стани.

За умови, що для будь-якого значення  $t$  виконується умова (3.11), можна будь-яку з ймовірностей (3.13) виразити через інші складові і зменшити число рівнянь системи для спрощення. Необхідним для рішення є визначення умов розподілу початкових ймовірностей станів (3.9).

При здійсненні ДП функціонування поліергатичної системи можна вважати функціонуючою на досить довгих часових проміжках. Тому для кількісної ймовірнісної оцінки станів поліергатичної системи при реалізації процесів високоточної навігації в умовах потоків збурень ТПК необхідно провести

розрахунки граничних ймовірностей станів марківського процесу. Використовувати в дослідженні такий підхід дозволяє проведена оцінка характеру виконуваної технологічної роботи, навігації в умовах акваторії ТПК та особливостей процесу управління ДП РОВТ, що дозволяє стверджувати існування стаціонарного пуасонівського потоку гетерогенних подій  $\Lambda$ . Тобто стаціонарного ординарного потоку без післядії на всьому проміжку процесу поліергатичного управління навігацією та технологічною роботою. В такому випадку існує гранична ймовірність для ідентифікованих на марківських графах станів поліергатичної системи, які виражаються в такий спосіб:

$$\tilde{P}_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{P}_i(t). \quad (3.14)$$

Спираючись на вираз (3.14) можна стверджувати, що на достатньому часовому інтервалі функціонування РОВТ під впливом потоків подій поліергатична система  $\Upsilon$  переходить у граничний стаціонарний режим. Властивість стаціонарності зумовлює імовірнісні процеси переходу системи зі стану в стан під впливом потоків збурень і можливості відповідної реакції ААУ, проте ймовірності станів системи не змінюються. За таких умов граничного стаціонарного режиму кожна фінальна ймовірність знаходження поліергатичної системи має сенс середнього відносного часу перебування системи в даному стані марківського процесу.

Система, для якої існують значення фінальних ймовірностей, називається ергодичною і відповідний випадковий процес називається в теорії ймовірності ергодичним процесом. Для існування фінальних ймовірностей станів необхідно виконання наступних умов.

Потік подій, який впливає на поліергатичну систему є стаціонарним, що визначає наступне:

$$\Lambda = \text{const.} \quad (3.15)$$

При ідентифікованій кінцевій рахунковій множині  $\tilde{N}$  для існування фінальних ймовірностей сформованої марківської моделі необхідно і достатньо, щоб з кожного істотного стану поліергатичної системи можна було за будь-яку кількість кроків перейти в кожний інший істотний стан моделі. Стан  $Y_i$  називається суттєвим, якщо немає іншого стану  $Y_j$  такого, що, перейшовши одного разу якимось способом зі стану  $Y_i$  до стану  $Y_j$ , система вже не може повернутися в  $Y_i$ . Всі стани, що не володіють такою властивістю, називаються несуттєвими.

Несуттєві стани при розгляді функціонування поліергатичної системи на достатньо великих часових інтервалах моделювання не являються вирішальними. Таке твердження зумовлено тим, що з кожного такого стану в якому досліджувана поліергатична система буде знаходитись на якому-небудь з часових проміжків досліджуваного часового інтервалу – система все одно потрапить в будь-який суттєвий стан марківського процесу і з нього ніколи в несуттєвий стан не перейде. Завдяки цій властивості при моделюванні та практичному застосуванні сформованих марківських моделей можна враховувати, що дорівнює нулю гранична вірогідність впливу на безпеку несуттєвих станів, які можуть виникнути в реальному процесі.

Для розрахунку ймовірностей для марківських станів, що відображають поліергатичну систему при протіканні випадкового ергодичного марківського процесу необхідно побудувати вірну алгебраїчну модель, яка включає систему диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена (3.13), а також нормувальні умови (3.11).

При практичному моделюванні динамічної складної системи ми зустрічаємось з тим, що система знаходиться під впливом потоків загрозливих подій від різних гетерогенних джерел. Таким чином потік подій буде складатися з різних потоків загрозливих збурень:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^d \tilde{\Lambda}_i, \quad (3.16)$$

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

Далі необхідно перетворити диференціальні алгебраїчні рівняння Колмогорова-Чепмена виду (3.13) в лінійні алгебраїчні рівняння, шляхом прирівнювання похідних лівих частин до нуля. Ці рівняння можна також складати за сформованим графом станів. Для цього необхідно вірно ідентифікувати потоки марківських процесів в сенсі того, що сума вхідних потоків дорівнює сумі вихідних.

### **3.3 Одноосібна марківська модель оперативного управління в умовах ризиків та невизначеності**

Процес ДП і можливі аварійні ситуації, які можуть виникнути на борту РОВТ в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК, розглядаються в роботі з позицій сценарного опису станів поліергатичної системи, яку утворено групою кваліфікованих осіб вахтового складу (ОСДП, СОСДП) і електронними засобами управління РОВТ і відповідної технологічної роботи. Вирішальним для безпеки РОВТ аспектом досліджуваних операцій реалізації ААУ та виконання технологічних робіт в локально обмеженому просторі акваторії ТПК, де РОВТ здійснює ДП є запобігання розвитку потенційно небезпечних сценаріїв. В першу чергу, запропонована модель містить основну, головну подію, яку можна називати фокусом, яка інтерпретується як безаварійна ситуація в локально обмеженому і гетерогенно збуреному просторі ТПК.

Способом уникнення аварійного розвитку потенційно небезпечних сценаріїв є обробка потоку подій ОСДП. Під час первинної обробки загального

поток гетерогенних подій збурень ТПК ОСДП проводить ідентифікацію важливих подій, які мають значення для РОВТ і вимагають необхідність подальшої обробки.

Ці події піддаються вторинній обробці. Під час вторинної обробки події діляться на категорії. Події I категорії важливості є початком ланцюга причинно-взаємопов'язаних подій, які можуть призвести до аварії. До таких подій належать значні нелінійні впливи чинників НС, відмови і збої технічних засобів, помилки ОСДП або СОСДП, інші дестабілізуючі події, які можуть призвести до аварії. Реакція на ці події вахтовим складом професійних осіб повинна бути першочерговою. Так як саме такі події ведуть до розвитку потенційно небезпечних сценаріїв, які можуть призвести до аварії.

Події II категорії важливості не є початком ланцюга причинно-взаємопов'язаних подій, які можуть призвести до аварії. Такі події можуть не вимагати першочергової реакції ОСДП. До таких подій в першу чергу можна віднести відповіді на інформаційні запити щодо проведення технологічних робіт, координацію виконання технологічних робіт, інші події, що вимагають дії ОСДП, але не здатні призвести до аварії.

Така класифікація є найбільш прийнятною для задач безпечного виконання ДП при здійсненні технологічної роботи РОВТ. Однак безліч можливих видів сценаріїв і варіантів їх розвитку в часі (сценарна модель в своєму складі має містити логічні зв'язки між подіями-передумовами, які ведуть до певних наслідків) унеможлиблює розробку строгих алгоритмів передбачуваного розвитку потенційно небезпечних сценаріїв і конкретизації ступеня наслідків. Що також не дає можливість проводити розробку строгих алгоритмів дій ОСДП в таких ситуаціях, які мають міститися в інструкціях та інших керівних документах.

Єдино вірним виходом для забезпечення безпеки ДП є оцінка ОСДП конкретної ситуації в конкретному просторово-часовому інтервалі, прийняття адекватного рішення і його своєчасне виконання. Відповідні рішення приймаються згідно з стандартами МК, ПТЕ, сертифікованих КТ стандартів СУБ конкретної компанії-оператора або судновласника, згідно хорошої морської

практики та власного досвіду, що мають гуртуватися виключно на базі вимог МКУБ. При аналізі чинників і подій ОСДП враховує унікальність кожної події, динаміку розвитку ситуації і т.д.

Модель функціонування поліергатичної системи в часі і локально обмеженому просторі ДП, що складається з СОСДП, ОСДП і РОВТ (складовою якого є ББКНО), представляє собою функціонування математичної моделі з алгоритмами відмов і пріоритетів, які пов'язані з потоком подій.

Оцінка подій відбувається таким чином, що події I категорії важливості мають пріоритет в обробці перед подіями II категорії важливості. Це означає, що якщо подія I категорії відбувається в момент, коли всі ЛО зайняті, але хоча б один зайнятий обробкою події II категорії, то він відразу ж переходить на обробку події I категорії. Будемо вважати, що подія II категорії не отримує подальшого уваги і сценарій розвитку має найгірше закінчення. Для подій II категорії важливості найгіршим сценарієм можуть бути збої й затримки при проведенні технологічної роботи, втрата часу, а також інші небажані, але не аварійні наслідки.

Якщо подія I категорії важливості відбувається в ТПК в той час, коли всі ЛО зайняті обробкою подій I категорії, то подія не отримує подальшої уваги ЛО і сценарій розвитку має найгірше закінчення, тобто наступ аварійної ситуації.

Якщо подія II категорії важливості відбувається в той час, коли всі ОСДП зайняті обробкою подій, причому не важливо які категорії подій обробляються, то подія не отримує подальшого уваги і сценарій розвитку має найгірше закінчення.

Формула (3.16) відображує структуру гетерогенних потоків подій. Формування потоків збурень має свої особливості. Потік збурень першої категорії  $\Lambda_1$  складається з базового потоку збурень, який формується на основі статистичних даних про ТПК та об'єкт динамічного позиціонування, характер технологічної роботи. Також перевищення заданих значень критерію швидкості вітру, критерію висоти хвиль формують додаткові потоки подій першої категорії. Приєднані маси не змінюються з часом так динамічно щоб їх коливання мали сенс потоків подій в ТПК. До того ж вони характеризують стан об'єкту і практично не

можна маневрами чи діями впливати на них. Теоретично можуть існувати умови швидкої зміни течії, проте критерій течії необхідно розглядати для кожного конкретного локально обмеженого простору акваторії ТПК окремо. Формула (3.16) для  $\Lambda_1$  прийме наступний вигляд:

$$\Lambda_1 = \sum_{i=1}^4 \Lambda_{1i} \Leftrightarrow \Lambda_1 = \Lambda_{1\sigma} + \Lambda_{1W} + \Lambda_{1h} + \Lambda_{1T}, \quad (3.17)$$

де  $\Lambda_{1\sigma}$  - базова складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії,  $1/\text{год}$ ;

$\Lambda_{1W}$  - складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, що сформована перевищенням заданих значень критерію швидкості вітру,  $1/\text{год}$ ;

$\Lambda_{1h}$  - складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, що сформована перевищенням заданих значень критерію висоти хвиль,  $1/\text{год}$ ;

$\Lambda_{1T}$  - складова стаціонарного пуасонівського потоку збурень першої категорії, що сформована перевищенням заданих значень критерію швидкості течії,  $1/\text{год}$ .

Необхідно відмітити, що перевищення поточних значень над відповідними критеріями вітру, хвилювання та течії враховується в запропонованій моделі по швидкостям для вітру і течії та по висоті хвиль для хвилювання. Це пояснюється динамікою зміни процесів акваторії ТПК, де зміна напрямку не відбувається різко або швидко з одного боку. А з іншого не виконання прогнозу по напрямку більш ніж на 45 градусів означає, що прогноз є невірним.

Розглянемо спочатку типову ергатичну систему функціональною метою якої є безаварійне управління рухом РОВТ в умовах збурень від різних джерел. Класична ергатична система РОВТ складається з групи кваліфікованих вахтових



осіб - ЛО та ТС. Така ергатична взаємодія типова при управлінні рухом на переході до місця виконання технологічної роботи, яка пов'язана з ДП в локально обмеженому просторі ТПК.

Для знаходження фінальних ймовірностей станів описаної вище ергатичної системи при протіканні випадкового ергодичного марківського процесу необхідно скласти адекватну систему рівнянь, яка складається з диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена.

Перехідні стани марківських процесів, що характеризують функціонування ергатичної системи з управління рухом РОВТ, яка знаходиться під керуванням однієї ЛО, зручно описувати використовуючи розмічений граф станів. Сформуємо розмічений граф станів для ергатичної системи, до складу якої входить одна ЛО.

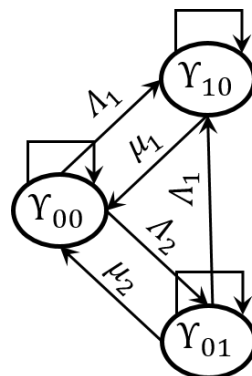


Рисунок 3.2 - Розмічений граф станів при протіканні марківських процесів для ергатичної системи під управлінням ЛО

На графі відображені наступні стани ергатичної системи:

$Y_{00}$ - важливі події не відбулися;

$Y_{10}$ - відбулася одна подія I категорії важливості і не відбулося жодної події II категорії важливості;

$Y_{01}$ - не відбулося жодної події I категорії важливості, але відбулася одна подія II категорії важливості.

Відповідно до розміченого графа станів ергатичної системи керування ДП складемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, враховуючи, що  $\sum_{i=1}^n \tilde{P}_i(t) = 1$ .

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{P}_{00}}{dt} = \mu_1\tilde{P}_{10} + \mu_2\tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + \Lambda_2)\tilde{P}_{00}, \\ \frac{d\tilde{P}_{10}}{dt} = \Lambda_1\tilde{P}_{00} + \Lambda_1\tilde{P}_{01} - \mu_1\tilde{P}_{10}, \\ \frac{d\tilde{P}_{01}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{00} - (\Lambda_1 + \mu_2)\tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} = 1, \end{cases} \quad (3.18)$$

де  $\Lambda_1, \Lambda_2$  - інтенсивності стаціонарних пуассонівських потоків подій I і II категорії важливості відповідно, 1/год;

$\mu_1, \mu_2$  - інтенсивності потоків реакції одного ОСДП на події I і II категорії важливості відповідно, 1/год;

$\tilde{P}_{00}, \tilde{P}_{10}, \tilde{P}_{01}$  - ймовірності, що відповідають станам  $\Upsilon_{00}, \Upsilon_{10}, \Upsilon_{01}$ .

Фінальні ймовірності знаходяться шляхом перетворення системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена в наступну систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} (\Lambda_1 + \Lambda_2)\tilde{P}_{00} = \mu_1\tilde{P}_{10} + \mu_2\tilde{P}_{01}, \\ \mu_1\tilde{P}_{10} = \Lambda_1\tilde{P}_{00} + \Lambda_1\tilde{P}_{01}, \\ (\Lambda_1 + \mu_2)\tilde{P}_{01} = \Lambda_2\tilde{P}_{00}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} = 1, \end{cases} \quad (3.19)$$

Шляхом аналізу протікання марківських процесів поліергатичного управління процесами високоточної навігації для безпечного ДП з урахуванням

обмежень та ризиків технологічної роботи, яка виконується РОВТ в гетерогенно збудованій акваторії ТПК РОВТ необхідно провести ідентифікацію станів системи. В результаті можна перейти до відповідних імовірностей та сформуванню алгебраїчних для розрахунку перебування досліджуваної системи в станах. Стани системи поділяються на безпечні  $\tilde{P}_B$  та потенційно аварійні  $\tilde{P}_A$ . По відношенню до подій I категорії важливості вони будуть позначатися  $\tilde{P}_{BI}$  та  $\tilde{P}_{AI}$ . По відношенню до подій II категорії важливості вони будуть позначатися  $\tilde{P}_{BII}$  та  $\tilde{P}_{AII}$  відповідно.

Для вахтового складу системи управління, в якій керування РОВТ здійснюється однією ЛО, виходячи з усіх можливих детермінованих станів ергатичної системи, ймовірності її перебування в безпечних та потенційно аварійних станах виражаються за допомогою наступної системи:

$$\begin{cases} \tilde{P}_{BI} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{BII} = \tilde{P}_{00}, \\ \tilde{P}_{AI} = \tilde{P}_{10}, \\ \tilde{P}_{AII} = \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01}, \end{cases} \quad (3.20)$$

де  $\tilde{P}_{BI}, \tilde{P}_{BII}$  - ймовірності знаходження системи з 1 ОСДП у безпечному стані по відношенню до подій I або II категорії важливості відповідно;

$\tilde{P}_{AI}, \tilde{P}_{AII}$  - ймовірності знаходження системи з 1 ОСДП в потенційно аварійному стані по відношенню до подій I або II категорії важливості відповідно.

Остаточна шукана ймовірність безпеки  $\tilde{P}_B$  виражається наступним чином і вона є вірною для будь-якої кількості ОСДП:

$$\tilde{P}_B = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{BI} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{BII}. \quad (3.21)$$

Система (3.19) має наступне рішення:

$$\begin{cases} \tilde{P}_{00} = \frac{\mu_1(\Lambda_1 + \mu_2)}{\Lambda_1(\mu_1 + \mu_2 + \Lambda_1 + \Lambda_2) + \mu_1(\mu_2 + \Lambda_2)}, \\ \tilde{P}_{10} = \frac{\Lambda_1(\Lambda_1 + \mu_2 + \Lambda_2)}{\Lambda_1(\mu_1 + \mu_2 + \Lambda_1 + \Lambda_2) + \mu_1(\mu_2 + \Lambda_2)}, \\ \tilde{P}_{01} = \frac{\Lambda_2\mu_1}{\Lambda_1(\mu_1 + \mu_2 + \Lambda_1 + \Lambda_2) + \mu_1(\mu_2 + \Lambda_2)}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} = 1. \end{cases} \quad (3.22)$$

За сформованими алгебраїчними виразами обчислюється імовірність безпечного функціонування поліергатичної системи під управлінням однієї ЛО в умовах гетерогенних подій локально обмеженого простору акваторії ТПК.

### **3.4 Функціональний розподіл штатного складу вахтового управління рухомим об'єктом водного транспорту**

При виконанні ДП в локально обмеженому гетерогенно збуреному просторі навігації і просторі подій, управління реалізується вахтовим складом професійних осіб, які кваліфіковані відповідно до міжнародних стандартів. Базові вимоги до кваліфікації вахтового персоналу РОВТ зазначено у МК ПДМНВ. Також ОСДП має додаткову кваліфікацію, що додатково дозволяє управління СДП та РОВТ в режимі ДП. Мінімальний встановлений склад вахти ДП РОВТ дорівнює двом особам – один ОСДП та один СОСДП. Максимальний вахтовий склад

професійних осіб дорівнює трьом особам для РОВТ класу ТБС з СДП першого, другого або третього класів.

Стани безпечного і ефективного функціонування поліергатичної системи під час проведення технологічних робіт, пов'язаних з ДП, можна охарактеризувати наступним чином:

$Y_{00}$  - важливі події не відбулися в системі;

$Y_{10}$  - відбулася в системі одна подія за I категорією важливості і не відбулося жодної події за II категорією важливості;

$Y_{11}$  - відбулася в системі одна подія I категорії важливості і одна подія II категорії важливості;

$Y_{01}$  - відбулася в системі одна подія за II категорією важливості, проте не відбулося жодної події за I категорією важливості;

$Y_{20}$  - відбулися в системі дві події за I категорією важливості, проте не відбулося жодної події за II категорією важливості;

$Y_{02}$  - не відбулося в системі жодної події за I категорією важливості, проте відбулись дві події за II категорією важливості.

Сформована вище множина детерменірованих станів поліергатичної системи виду  $Y_{ij}$  в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПКє кінцевою і рахунковою і становить безперервний марківський ланцюг:

$$i, j \in \tilde{n}, \quad (3.23)$$

де  $\tilde{n}$  - множина станів поліергатичної системи.

Множина  $\tilde{n}$  задовольняє умові бієкції, яку визначено алгебраїчним виразом (3.8). Детермінував можливі стани поліергатичної системи і маючи безперервний марківський ланцюг побудуємо розмічений граф станів на підставі цього ланцюга.

При побудові розміченого графа функціонування поліергатичної системи пропонується стрілку переходу зі стану в стан розташовувати по ліву сторону. В такому випадку формується чітка «маршрутна» картина переходів з одного стану в інший. Що полегшує можливість складання системи рівнянь, в якій ключовими будуть рівняння Колмогорова - Чепмена виду (3.13) при дотриманні нормувальної умови (3.11). Стационарні пуассонівські потоки подій I і II категорій важливості мають відповідно інтенсивності  $\Lambda_1$  та  $\Lambda_2$ . Стационарні пуассонівські потоки реакцій мають інтенсивності  $\mu_1$  та  $\mu_2$  на події I і II категорій важливості відповідно.

Відповідаючий розмічений граф станів поліергатичної системи контролю ДП і виконуваних технологічних робіт, що складається з двох ОСДП, реалізований у вигляді марковського ланцюга наведено нижче.

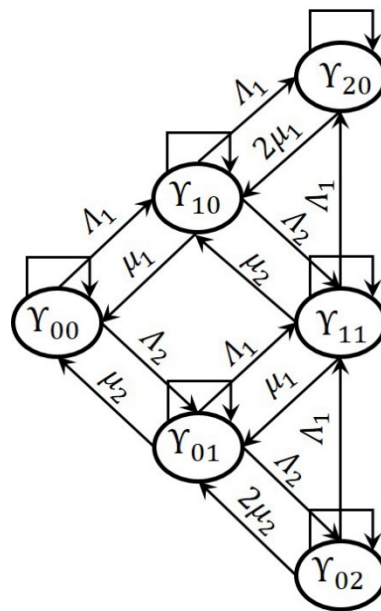


Рисунок 3.3 - Розмічений граф станів при протіканні марківських процесів функціонуючої поліерготичної системи до складу якої входить 2 ОСДП

Сформовані в дослідженні диференціальні рівняння Колмогорова-Чепмена виду (3.13), які описують протікання марківських процесів функціонуючої

полієргатичної системи управління РОВТ в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК, до складу якої входить 2 ОСДП з введенням нормувальної умови (3.11) матимуть наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\tilde{P}_{00}}{dt} = \mu_1\tilde{P}_{10} + \mu_2\tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + \Lambda_2)\tilde{P}_{00}, \\ \frac{d\tilde{P}_{10}}{dt} = \Lambda_1\tilde{P}_{00} + 2\mu_1\tilde{P}_{20} + \mu_2\tilde{P}_{11} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1)\tilde{P}_{10}, \\ \frac{d\tilde{P}_{20}}{dt} = \Lambda_1\tilde{P}_{10} + \Lambda_1\tilde{P}_{11} - 2\mu_1\tilde{P}_{20}, \\ \frac{d\tilde{P}_{01}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{00} + \mu_1\tilde{P}_{11} + 2\mu_2\tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_2)\tilde{P}_{01}, \\ \frac{d\tilde{P}_{11}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{10} + \Lambda_1\tilde{P}_{01} + \Lambda_1\tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + \mu_1 + \mu_2)\tilde{P}_{11}, \\ \frac{d\tilde{P}_{02}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + 2\mu_2)\tilde{P}_{02}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{11} = 1, \end{array} \right. \quad (3.24)$$

де  $\Lambda_1, \Lambda_2$  - відповідні інтенсивності стаціонарних пуасонівських потоків подій I і II категорії важливості,  $1/\text{год}$ ;

$\mu_1, \mu_2$  - відповідні інтенсивності потоків реакції на події за I та II категоріями важливості,  $1/\text{год}$ .

$\tilde{P}_{00}, \tilde{P}_{10}, \tilde{P}_{20}, \tilde{P}_{01}, \tilde{P}_{02}, \tilde{P}_{11}$  - ймовірність того, що полієргатична система  $Y$  в момент часу  $t$  знаходиться відповідно в стані  $Y_{00}, Y_{10}, Y_{20}, Y_{01}, Y_{02}, Y_{11}$ .

Для подальшого формування математичного апарату методології динамічного програмування безпеки полієргатичного управління необхідно перейти від диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена до алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\Lambda_1 + \Lambda_2) \tilde{P}_{00} = \mu_1 \tilde{P}_{10} + \mu_2 \tilde{P}_{01}, \\ (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1) \tilde{P}_{10} = \Lambda_1 \tilde{P}_{00} + 2\mu_1 \tilde{P}_{20} + \mu_2 \tilde{P}_{11}, \\ 2\mu_1 \tilde{P}_{20} = \Lambda_1 \tilde{P}_{10} + \Lambda_1 \tilde{P}_{11}, \\ (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_2) \tilde{P}_{01} = \Lambda_2 \tilde{P}_{00} + \mu_1 \tilde{P}_{11} + 2\mu_2 \tilde{P}_{02}, \\ (\Lambda_1 + \mu_1 + \mu_2) \tilde{P}_{11} = \Lambda_2 \tilde{P}_{10} + \Lambda_1 \tilde{P}_{01} + \Lambda_1 \tilde{P}_{02}, \\ (\Lambda_1 + 2\mu_2) \tilde{P}_{02} = \Lambda_2 \tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{11} = 1. \end{array} \right. \quad (3.25)$$

Виходячи з усіх можливих детермінованих станів функціонування людської складової поліергатичної системи в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК, ймовірність її перебування в аварійно небезпечних і безпечних станах по відношенню до можливих подій I або II категорій виражаються наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{P}_{BI} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02}, \\ \tilde{P}_{BII} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01}, \\ \tilde{P}_{AI} = \tilde{P}_{20}, \\ \tilde{P}_{AII} = \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02}. \end{array} \right. \quad (3.26)$$

де  $\tilde{P}_{BI}, \tilde{P}_{BII}$  - ймовірності безпечного функціонування поліергатичної системи з 2 ОСДП по відношенню до визначених подій I або II категорії важливості відповідно;

$\tilde{P}_{AI}, \tilde{P}_{AII}$  - ймовірності виникнення небезпеки при функціонуванні поліергатичної системи з 2 ОСДП по відношенню до визначених подій I або II категорії важливості відповідно.



Остаточна оціночна ймовірність стану безпечного функціонування людської складової поліергатичної системи без прив'язки до категорій подій виразимо в вигляді наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \tilde{P}_B = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{BI} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{BII}, \\ \tilde{P}_A = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{AI} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2} \tilde{P}_{AII}, \\ \tilde{P}_B + \tilde{P}_A = 1. \end{cases} \quad (3.27)$$

де  $\tilde{P}_B$  - ймовірність безпечного функціонування поліергатичної системи;

$\tilde{P}_A$  - ймовірність виникнення небезпеки при функціонуванні поліергатичної системи.

Таким чином, розраховується безпека функціонування людської складової поліергатичної системи, що складається з 2 ОСДП. Необхідно відзначити, що в системах (3.26) та (3.27) також присутня і ймовірність виникнення небезпеки, яка може бути використана для дослідження роботи поліергатичної системи в умовах близьких до аварійних. Якщо ж ймовірність безпечного функціонування системи не є достовірною, то ОСДП приймає коригувальні дії, викликаючи капітана/СОСДП, який також виконує функції ОСДП і приймає на себе командування РОВТ.

Розглянемо оновлену поліергатичну систему щодо забезпечення безпечного управління процесом ДП РОВТ і виконання технологічної роботи, яка складається з 3 ОСДП. Будемо вважати, що додатковий ОСДП виконує весь спектр можливих завдань. При розгляді функціонування поліергатичної системи з трьома ОСДП вводяться додатково наступні можливі стани поліергатичної системи:

$\Upsilon_{03}$  - не відбулося жодної події I категорії важливості, але відбулися три події II категорії важливості;

$Y_{12}$  - відбулася одна подія I категорії важливості і дві події II категорії важливості;

$Y_{21}$  - відбулися дві події I категорії важливості і одна подія II категорії важливості;

$Y_{30}$  - відбулися три події I категорії важливості та не відбулося жодної події за II категорією важливості.

Розмічений граф станів матиме такий вигляд.

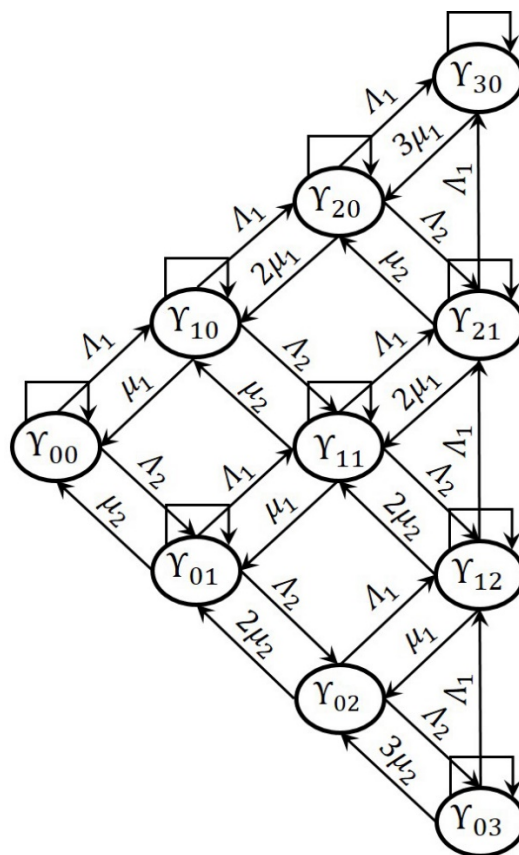


Рисунок 3.4 - Розмічений граф станів при протіканні марківських процесів функціонуючої поліерготичної системи до складу якої входить 3 ОСДП

На базі сформованого розміченого графу станів протікання марківських процесів для людської складової функціонуючої поліерготичної системи управління навігацією РОВТ в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК, яка складається 3 ОСДП необхідно скласти

диференціальні рівняння Колмогорова-Чепмена з урахуванням нормувальної умови. Сформована система рівнянь за допомогою  $\sigma$ -алгебри підмножин  $\tilde{\Omega}$ , дозволяє визначати імовірності перебування системи у різних ідентифікованих станах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\tilde{P}_{00}}{dt} = \mu_1\tilde{P}_{10} + \mu_2\tilde{P}_{01} - (\Lambda_1 + \Lambda_2)\tilde{P}_{00}, \\ \frac{d\tilde{P}_{10}}{dt} = \Lambda_1\tilde{P}_{00} + 2\mu_1\tilde{P}_{20} + \mu_2\tilde{P}_{11} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1)\tilde{P}_{10}, \\ \frac{d\tilde{P}_{20}}{dt} = \Lambda_1\tilde{P}_{10} + 3\mu_1\tilde{P}_{30} + \mu_2\tilde{P}_{21} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + 2\mu_1)\tilde{P}_{20}, \\ \frac{d\tilde{P}_{01}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{00} + \mu_2\tilde{P}_{11} + 2\mu_2\tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_2)\tilde{P}_{01}, \\ \frac{d\tilde{P}_{11}}{dt} = \Lambda_1\tilde{P}_{01} + \Lambda_2\tilde{P}_{10} + 2\mu_1\tilde{P}_{21} + 2\mu_2\tilde{P}_{12} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)\tilde{P}_{11}, \\ \frac{d\tilde{P}_{21}}{dt} = \Lambda_1(\tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{12}) + \Lambda_2\tilde{P}_{20} - (\Lambda_1 + \mu_2 + 2\mu_1)\tilde{P}_{21}, \\ \frac{d\tilde{P}_{02}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{01} + \mu_1\tilde{P}_{12} + 3\mu_2\tilde{P}_{03} - (\Lambda_1 + \Lambda_2 + 2\mu_2)\tilde{P}_{02}, \\ \frac{d\tilde{P}_{12}}{dt} = \Lambda_1(\tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{03}) + \Lambda_2\tilde{P}_{11} - (\Lambda_1 + \mu_1 + 2\mu_2)\tilde{P}_{12}, \\ \frac{d\tilde{P}_{03}}{dt} = \Lambda_2\tilde{P}_{02} - (\Lambda_1 + 3\mu_2)\tilde{P}_{03}, \\ \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{30} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{03} = 1. \end{array} \right. \quad (3.28)$$

Провівши відповідні перетворення системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена шляхом введення початкових умов отримаємо наступну систему:

$$\left\{ \begin{array}{l}
(\Lambda_1 + \Lambda_2) \tilde{P}_{00} = \mu_1 \tilde{P}_{10} + \mu_2 \tilde{P}_{01}, \\
(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1) \tilde{P}_{10} = \Lambda_1 \tilde{P}_{00} + 2\mu_1 \tilde{P}_{20} + \mu_2 \tilde{P}_{11}, \\
(\Lambda_1 + \Lambda_2 + 2\mu_1) \tilde{P}_{20} = \Lambda_1 \tilde{P}_{10} + 3\mu_1 \tilde{P}_{30} + \mu_2 \tilde{P}_{21}, \\
(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_2) \tilde{P}_{01} = \Lambda_2 \tilde{P}_{00} + \mu_2 \tilde{P}_{11} + 2\mu_2 \tilde{P}_{02}, \\
(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \tilde{P}_{11} = \Lambda_1 \tilde{P}_{01} + \Lambda_2 \tilde{P}_{10} + 2\mu_1 \tilde{P}_{21} + 2\mu_2 \tilde{P}_{12}, \\
(\Lambda_1 + \mu_2 + 2\mu_1) \tilde{P}_{21} = \Lambda_1 (\tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{12}) + \Lambda_2 \tilde{P}_{20}, \\
(\Lambda_1 + \Lambda_2 + 2\mu_2) \tilde{P}_{02} = \Lambda_2 \tilde{P}_{01} + \mu_1 \tilde{P}_{12} + 3\mu_2 \tilde{P}_{03}, \\
(\Lambda_1 + \mu_1 + 2\mu_2) \tilde{P}_{12} = \Lambda_1 (\tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{03}) + \Lambda_2 \tilde{P}_{11}, \\
(\Lambda_1 + 3\mu_2) \tilde{P}_{03} = \Lambda_2 \tilde{P}_{02}, \\
\tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{30} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{03} = 1.
\end{array} \right. \quad (3.29)$$

На підставі описаних станів поліергатичної системи, відповідні ймовірності її перебування в аварійно небезпечних і безпечних станах по відношенню до можливих подій I або II категорій мають такий вираз:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\tilde{P}_{BI} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{20} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{03}, \\
\tilde{P}_{BII} = \tilde{P}_{00} + \tilde{P}_{10} + \tilde{P}_{01} + \tilde{P}_{11} + \tilde{P}_{02} + \tilde{P}_{20}, \\
\tilde{P}_{AI} = \tilde{P}_{30}, \\
\tilde{P}_{AII} = \tilde{P}_{30} + \tilde{P}_{21} + \tilde{P}_{12} + \tilde{P}_{03},
\end{array} \right. \quad (3.30)$$

Остаточний шуканий стан безпеки визначається згідно з (3.27). Згідно з (3.27) також можливе знаходження і небезпечного стану при функціонуванні поліергатичної системи.

### **3.5 Формування аналітичної моделі операторного управління для підвищення безпеки рухомого об'єкту водного транспорту**

При виконанні ручного керування за допомогою джойстика ОСДП в ручному режимі сам ЛО визначає компенсаційні сили. При ручному маневруванні найбільшим ризиком є грубе зіткнення РОВТ з іншим об'єктом. При цьому корпус, який виступає як система, отримує навантаження.

Специфіка функціонування цієї системи полягає в тому, що при належному догляді з боку КТ її функціонування є надійним на всьому протязі життєвого циклу РОВТ. І дійсно, аналіз вимог КТ підтверджує високі стандарти.

Саме на корпус приходяться навантаження в акваторії ТПК від чинників НС. Проте навантаження від чинників НС не можуть вплинути на безпеку, якщо РОВТ експлуатується в умовах символу класу – однією з реальних загроз можуть бути льодові навантаження. Але при експлуатації РОВТ в льодових умовах, які визначено КТ, загрози бути не може [78]. А якщо РОВТ експлуатується поза меж, які визначено КТ- це злочинний випадок і тягне за собою відповідальність.

Загроза безпеці РОВТ може надходити з боку характеру технологічної роботи. Так технологічна робота з постачання іншого РОВТ, стаціонарного об'єкту освоєння морських ресурсів або робота, яка пов'язана з виконанням швартових операцій (в морі або в порту) несе ризики. Джерелом безпеки для системи корпусу РОВТ може бути потужний поштовх, який перевищить максимально допустиме навантаження на корпус.

Для визначення характеристик допустимого навантаження необхідно побудувати тривимірну модель корпусу РОВТ і визначити площу дотику. З технічної документації необхідно визначити товщину металу та його характеристики. При цьому в процесі розрахунків можна користуватись [110].

З іншого боку, ключовим моментом при виконанні подібних операцій є кваліфікація ЛО, яка здійснює управління. На практиці такі операції виконує капітан / СОСДП РОВТ – людина, яка володіє вищим кваліфікаційним рівнем

серед членів екіпажу. Кваліфікація капітана / СОСДП не змінюється суттєво впродовж значного часового проміжку.

Позначимо подію нормального виконання керованого  $i$ -го підходу РОВТ до об'єкту (або до пірсу в порту)  $H_i$ , а подію грубого виконання керованого  $i$ -го підходу РОВТ -  $\Gamma_i$ . Тоді справедливо можна написати наступний вираз.

$$\tilde{P}(H_i) + \tilde{P}(\Gamma_i) = 1 \quad (3.31)$$

Як було визначено, що кваліфікація капітана РОВТ є постійною і тому результат  $i$ -го підходу не залежить від результатів попередніх виконань. Тобто події не залежать одна від одної.

Незважаючи на високий рівень професійної підготовки командного складу, як показує практика, грубий маневр РОВТ до об'єкту все одно матиме місце. Позначимо подію  $\Gamma_k$  як грубий підхід РОВТ вперше відбувся при  $k$ -й спробі. Таким чином можна стверджувати, що  $k-1$  підходів пройшло вдало, а  $k$ -й підхід виявився невдалим.

$$B_k = H_1 H_2 H_3 H_4 \dots H_{k-1} \Gamma_k \quad (3.32)$$

Якщо перейти до імовірностей, то можна записати наступне:

$$\tilde{P}(B_k) = \tilde{P}(H_1) \tilde{P}(H_2) \tilde{P}(H_3) \tilde{P}(H_4) \dots \tilde{P}(H_{k-1}) \tilde{P}(\Gamma_k). \quad (3.33)$$

Введемо такі позначення:

$$\begin{cases} \tilde{P}(\Gamma_i) = \gamma_{\tilde{P}_i}, \\ \tilde{P}(H_i) = 1 - \gamma_{\tilde{P}_i}. \end{cases} \quad (3.34)$$

Тоді буде справедливим наступне:

$$\tilde{P}(B_k) = (1 - \gamma_{\tilde{p}_1})(1 - \gamma_{\tilde{p}_2})(1 - \gamma_{\tilde{p}_3})(1 - \gamma_{\tilde{p}_4}) \dots (1 - \gamma_{\tilde{p}_{k-1}}) \gamma_{\tilde{p}_k}. \quad (3.35)$$

Як вже було зазначено, що рівень кваліфікації ЛО, яка здійснює маневр є незмінним, тому:

$$\gamma_{\tilde{p}_i} := \gamma_{\tilde{p}}, i \in [1; k] \quad (3.36)$$

Враховуючи вказане вище визначення:

$$\tilde{P}(B_k) = (1 - \gamma_{\tilde{p}})^{k-1} \gamma_{\tilde{p}}. \quad (3.37)$$

Позначимо через  $\varepsilon$  випадкову величину – число нормальних виконань маневрів РОВТ. Остання формула виражає імовірність того, що  $\varepsilon = k - 1$ .

$$\tilde{P}(\varepsilon = k - 1) = (1 - \gamma_{\tilde{p}})^{k-1} \gamma_{\tilde{p}}, k \geq 1. \quad (3.38)$$

Практичний інтерес, який виникає з потреб забезпечення безпечних керованих маневрів РОВТ під управлінням кваліфікованої особи в локально обмеженому просторі, представляє собою надійне визначення імовірності того факту, що на протязі перших  $K$  маневрів (або виконання робіт з підходу) не буде здійснено грубих маневрів:

$$\tilde{P}(\varepsilon > K) + \tilde{P}(\varepsilon \leq K) = 1. \quad (3.39)$$

Імовірність  $\tilde{P}(\varepsilon \leq K)$  будемо розраховувати згідно з теоремою про додавання імовірностей:

$$\tilde{P}(\varepsilon \leq K) = \sum_{n=0}^K \tilde{P}(\varepsilon = n). \quad (3.40)$$

Враховуючи (3.37), можна сформулювати наступний алгебраїчний вираз, який має наступний вид:

$$\tilde{P}(\varepsilon \leq K) = \gamma_{\tilde{p}} \sum_{n=0}^K (1 - \gamma_{\tilde{p}})^n = 1 - (1 - \gamma_{\tilde{p}})^{K+1}. \quad (3.41)$$

А враховуючи, що  $\tilde{P}(\varepsilon > K) + \tilde{P}(\varepsilon \leq K) = 1$ , то можна записати:

$$\tilde{P}(\varepsilon > K) = (1 - \gamma_{\tilde{p}})^{K+1}. \quad (3.42)$$

Отримані в ході дисертаційного дослідження результати проведеного імітаційного комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB дозволяють зробити чіткий висновок, що крива вірогідності підпорядковується відомому експоненційному закону. Що дозволяє записати в цьому випадку наступний алгебраїчний вираз:

$$\tilde{P}(\varepsilon > K) = e^{-K\gamma_{\tilde{p}}}. \quad (3.43)$$

Подальші теоретичні дослідження доводять те, що використання останньої формули надають хороші результати, коли:  $\gamma$  мале, а  $K$  велике, що повністю задовольняють реальним практичним умовам. Наступною необхідною умовою є те, щоб модуль добутку ступеня, лежав в межах 0,1-2,0, що накладає певні обмеження.

При практичному застосуванні виникає питання похибки від заміни  $(1 - \gamma_{\tilde{p}})^{K+1}$  на  $e^{-K\gamma_{\tilde{p}}}$ . Похибка має порядок  $\frac{n\gamma_{\tilde{p}}^2}{2}$ .



Оцінка математичного очікування має наступний вираз:

$$M(\varepsilon) = \frac{1 - \gamma_{\tilde{P}}}{\gamma_{\tilde{P}}}. \quad (3.44)$$

Якщо прийняти той факт, що при практичних розрахунках для РОВТ під керуванням висококваліфікованого персоналу  $\gamma$  є малою величиною, то вираз можна спростити наступним чином:

$$M(\varepsilon) = \frac{1}{\gamma_{\tilde{P}}}. \quad (3.45)$$

А кінцева формула для розрахунку імовірності матиме наступний вираз:

$$\tilde{P}(\varepsilon > K) = e^{-\frac{K}{M(\varepsilon)}}. \quad (3.46)$$

Переходячи до часових проміжків по аналогії, при експоненційному розподілі ми виходимо з того, що час безаварійного здійснення маневрів висококваліфікованим вахтовим персоналом РОВТ (зокрема капітаном / СОСДП), який відраховується від умовного початку має бути більшим, ніж проміжок, який нас цікавить:

$$\tilde{P}(\tau > T) = e^{-\lambda T}. \quad (3.47)$$

Враховуючи наступну умову:

$$\tilde{P}(\tau > T) + \tilde{P}(\tau \leq T) = 1. \quad (3.48)$$

Маємо вираз для функції розподілу:

$$\tilde{P}(\tau \leq T) = F(T) = 1 - e^{-\lambda T}. \quad (3.49)$$

Щільність розподілу при цьому:

$$f(T) = \frac{dF(T)}{dT} = \lambda e^{-\lambda T}. \quad (3.50)$$

Оцінка математичного очікування в умовах такої постановки матиме наступний вираз:

$$M(\tau) f(T) = \int_0^{\infty} T f(T) dt = \lambda \int_0^{\infty} T e^{-\lambda T} dT = \frac{1}{\lambda}. \quad (3.51)$$

А шукана імовірність має наступний вигляд:

$$\tilde{P}(\tau > T) = e^{-\frac{T}{M(\tau)}}. \quad (3.52)$$

Метал конструкцій РОВТ знаходиться під дією агресивних впливів акваторії ТПК. Тому з часом його властивості погіршуються, що може вплинути на безпеку. Швидкість цього процесу необхідно дослідити за сформованим наступним виразом:

$$\xi(t) = \zeta(t) + \varsigma(t)\rho(t), \quad (3.53)$$

де  $\zeta(t)$  - функція, яка характеризує основний потік процесу в агресивному середовищі ТПК;

$\zeta(t)$  - функція, яка характеризує додатковий випадковий потік процесу в агресивному середовищі ТПК;

$\rho(t)$  - випадковий процес, який має властивість стаціонарності.

За сформованими алгебраїчними моделями відповідних процесів оцінювати імовірність виконання маневру в ручному режимі управління РОВТ, який здійснює людина в локально обмеженому просторі акваторії ТПК можна, коли в фокусі виступає кількість маневрів, а також коли в фокусі дослідження поставлено час.

### **Висновки до третього розділу**

1. Визначено, що в імовірнісному просторі Колмогорова в умовах багатофакторних стаціонарних пуасонівських потоків загрозливих подій, необхідні показники безпеки людино - машинних систем управління РОВТ досягаються завдяки адекватному, надійному і точному функціонуванню технічної складової при здійсненні грамотного і належного управління та контролю ОСДП, що дозволило перейти до функціональних залежностей для дослідження імовірності безпечного полієргатичного управління.
2. За допомогою стаціонаризації стохастичних процесів впливу і реалізації каналних перетворень багатофакторних потоків станів марківських процесів було чітко визначено стани складної динамічної системи, що дало можливість сформулювати графі функціонування полієргатичної системи.
3. Сформовано відповідні рівняння Колмогорова-Чепмена, завдяки чому, за допомогою графів, визначено комплексні умови як безаварійної реалізації полієргатичного управління, так і настання аварійних подій.
4. Розроблено комплексну аналітичну модель функціонування людської складової полієргатичної системи, яка в імовірнісному просторі за Колмогоровим відтворює функціонування різних варіантів вахтового складу

професійних осіб в умовах потоків загрозливих подій і при виконанні різного виду технологічних робіт, для оцінювання імовірнісних показників безпеки в штатних та позаштатних умовах.

Матеріали розділу 3 висвітлені у працях автора [78, 79, 80, 92, 97, 307, 308, 309].

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ БЕЗПЕКИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ

#### 4.1 Формалізація активних дій техніко-технічних засобів безпеки за цільовим призначенням

Технічна складова поліергатичної системи представляє собою сукупність ТС, які мають свою структурну ієрархію. ТС сформовано відповідно до вимог КТ при побудові РОВТ шляхом морфологічного аналізу та синтезу. ТС відповідають вимогам різних МК (Міжнародної конвенції по охороні людського життя на морі 1974 р (СОЛАС), МАРПОЛ), ПТЕ. Проте, як свідчить статистика, це не гарантує безвідмовність функціонування ТС на всьому проміжку експлуатації РОВТ. Безпека ДП РОВТ в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК залежить від функціональної стійкості ТС, які є складовими РОВТ [87, 288].

Розрізняють апаратурні та інформаційні відмови. Апаратурні відмови пов'язані з порушенням функціональної стійкості технічних компонентів, які складають технічну частину поліергатичної системи управління процесом ДП. При апаратурних відмовах відновити нормальне функціонування обладнання СДП можливо шляхом технічного відновлення працездатності компонентів за допомогою заміни несправних блоків, що характерно для активних компонентів СДП, або шляхом заміни компонента в цілому.

Характерною особливістю СДП є можливість відмов при дотриманні ПТЕ та при відсутності дефектів в елементах. Відмови, які викликають неприпустимі помилки прийнятої інформації є інформаційними. Причини виникнення інформаційних відмов дуже різноманітні и залежать від специфіки взаємодії конкретних компонентів вимірювальної та інформаційної підсистем (а також від сприйняття інформації ОСДП, що відноситься вже до людської складової

поліергатичної системи). До технічних причин можна віднести проблеми при передачі і прийомі сигналів, перешкоди, зміни параметрів сигналу, некоректну обробку або передачу сигналу та ін. До причин, з яких ОСДП невірно інтерпретує отриману інформацію, можна віднести його психофізіологічний стан, характер виконуваних завдань та рівень потоків гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК, рівень стресу, та ін. Особливою властивістю інформаційної відмови СДП є властивість самовідновлення. І для її відновлення достатньо корекції внутрішньої інформації. При цьому фізичне втручання в систему не потрібне.

В сертифікованій КТ СДП, яка належним чином налаштована ОСДП, інформаційні відмови виявляються та нейтралізуються завдяки резервуванню обладнання і порівнянню інформаційних сигналів від декількох джерел. Також система має функцію самоконтролю власних параметрів. Коли СДП встановила наявність інформаційної відмови і не може прийняти рішення самостійно – вона інформує ОСДП за допомогою засобів АПС. Таким чином, інформаційна відмова в технічній складовій переходить в площину аналізу ситуації та прийняття адекватного рішення ОСДП.

Класична класифікація відмов пов'язана з їх наслідками. Їх прийнято розділити на параметричні та відмови функціонування. Відмова функціонування призводить до того, що система не може виконувати своїх функцій. Параметрична відмова призводить до виходу параметрів пристрою за допустимі межі, встановлені технічною документацією. Поняття відмови в класичній теорії надійності є фундаментальним, і від того наскільки вірно встановлено причини, які призвели до відмови технічного пристрою або інформаційної підсистеми, залежать подальші дії щодо їх усунення, заходи щодо підвищення безвідмовності і поліпшення методів експлуатації.

Для забезпечення безпеки та функціональної стійкості при практичній експлуатації РОВТ під час реалізації ДП класичний підхід не ефективний, так як не надає наочної інформації для прийняття рішень щодо безпеки ДП на конкретному часовому проміжку процесу експлуатації конкретної СДП РОВТ.

Традиційний підхід не досить гнучкий і, зокрема, не враховує можливості експлуатації ББКНО РОВТ в різних умовах локально обмеженого простору. Як фізичні параметри локально обмеженого простору навігації РОВТ, так і фактори НС можуть накладати очевидні обмеження на використання систем визначення вектору стану РОВТ.

У цьому напрямку пропонується новий погляд на дану проблему, де в основу пропонується поставити наступну класифікацію відмов. Основною ознакою, що визначає різні види відмов, служить характер і перебіг процесів, що призводять до відмови. Поглянувши на якісні складові можна виділяють різні класи відмов складних динамічних систем.

Клас раптових відмов характеризується відмовами які є швидкоплинними результатами імовірного збігу незалежних випадкових величин, які описують процеси гетерогенних несприятливих факторів. Відмови цього класу надзвичайно важко практично передбачити, а дії технічного обслуговування згідно з СУБ не є ефективними. Для гарантування підвищеної функціональної стійкості в умовах таких відмов необхідно підвищене резервування апаратури для СДП та РОВТ. Для практичного застосування, з власного досвіду роботи з СДП, рекомендується резервувати елементи ББКНО таким чином, щоб робота каналу вимірювань базувалась на різних фізичних принципах.

Клас поступових відмов характеризується достатньо довгим протіканням процесів деградації, поступового зносу, які можуть бути виявлено шляхом контролю параметрів досліджуваної системи. Клас цих відмов повністю піддається контролю шляхом належного контролю, догляду відповідно до СУБ. А також шляхом контролю з боку КТ.

Клас складних відмов характеризуються тим, що час виникнення відмови в технічній системі є випадковою величиною. Ймовірність настання відмов цього класу може бути аналітично досліджено шляхом застосування коректного математичного апарату.

Необхідним є дослідження впливу відмов технічних систем на безпеку навігації РОВТ при реалізації ДП. Це потребує дослідження функціональної

стійкості при резервуванні (залученні технічних ресурсів) для конкретної системи, з урахуванням її місця в загальній ієрархії, а також з прив'язкою нормативних вимог КТ, що відображено класом РОВТ.

У вирішенні проблеми гарантування функціональної стійкості РОВТ найважливішими є:

- забезпечення високого рівня імовірнісної безпеки за оцінкою функціональної стійкості всіх необхідних систем РОВТ для реалізації ДП та технологічної роботи;

- підтримання необхідного поточного рівня ймовірності безвідмовної роботи систем на всьому експлуатаційному часовому проміжку шляхом залучення (за наявності) технічних резервів;

- прогнозування працездатності РОВТ на детермінований прогнозний період з урахуванням умов експлуатації конкретного проекту.

У процесі життєвого циклу РОВТ всі компоненти СДП знаходяться під впливом гетерогенних дестабілізуючих загроз функціональній стійкості. Ці загрози на значному часовому проміжку призводять до виникнення відмов різних класів, що можуть мати різні ефекти на процес ДП в акваторії ТПК.

Великий спектр завдань, пов'язаних з надійністю, виникає при ремонті і обслуговуванні апаратури СДП. Потрібно проводити всебічний аналіз відмов по частоті і тривалості простоїв, планувати ремонт і розраховувати кількість запчастин на складі. Виникає необхідність працювати як з повними, так і неповними (цензурованими) даними, що збільшує точність оцінок.

Час  $\tau$  безвідмовної роботи технічного компоненту має випадкові варіації, саме тому використання методів математичної статистики та теорії імовірності є виправданим методологічним кроком.

Як правило, виробник проводить випробування та має вибірки статистичних даних  $\tau_i$  - часу безвідмовної роботи компонентів.



$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N} \quad (4.1)$$

Функція розподілу часу безвідмовної роботи  $\tau$   $F(T)$ :

$$F(T) = P(\tau \leq T). \quad (4.2)$$

Кількість відмов за час  $T$  –  $m(T)$ . Тоді частота події  $\tau \leq T$  буде виражено наступним чином:

$$\nu(T) = \frac{m(T)}{N}. \quad (4.3)$$

При оцінці параметрів теоретичного розподілу по даним експерименту набуло розповсюдження наступне рівняння [57] :

$$F(T) = \nu(T). \quad (4.4)$$

Необхідною умовою для практичного застосування на борту РОВТ при формалізації методів оцінки імовірності безпеки надійного функціонування складних ТС, які застосовуються при ДП та на протязі всього періоду експлуатації РОВТ має бути абсолютна безперервність функції розподілу випадкової величини.

В теорії імовірності функція розподілу характеризує розподіл випадкової величини, що має сенс ймовірності того, що значення досліджуваної випадкової величини  $\tau$  буде менше або дорівнювати деякому встановленому фіксованому значенню  $T$ . Введемо в дисертаційне дослідження ймовірнісний простір за Колмогоровим  $\check{K}$  [144]:

$$\ddot{K} = (\ddot{\Omega}, \ddot{F}, \ddot{P}), \quad (4.5)$$

де  $\ddot{\Omega}$  - довільна множина, елементи якої називаються елементарними подіями, а сама множина називається простором елементарних подій;

$\ddot{F}$  - сукупність підмножин  $\ddot{\Omega}$ , що утворюють  $\sigma$ -алгебру, які називаються випадковими подіями;

$\ddot{P}$  - ймовірнісна міра або ймовірність.

В аксіоматиці Колмогорова  $\ddot{P}$  має значення сигма-адитивної скінченної міри імовірнісного простору, при цьому є обов'язковою умова  $\ddot{P}(\ddot{\Omega}) = 1$ . Елементарні події (елементи множини  $\ddot{\Omega}$ ) - це результати випадкового експерименту. Випадкова подія (елемент  $\ddot{F}$ ) — це підмножина  $\ddot{\Omega}$ . Тоді можна стверджувати, що в результаті експерименту відбулася випадкова подія  $A \subset \ddot{\Omega}$ , якщо (елементарний) результат експерименту є елементом  $A$ .

$\sigma$ -алгебра представляє собою алгебру множин, яка замкнена щодо операції зліченого об'єднання. В математичному аналізі та теорії ймовірностей поняття сигма-алгебри є ключовим. В дисертаційному дослідженні це поняття має вирішальне значення для визначення імовірності, як складової імовірнісного простору Колмогорова.

Кільцем множин називається така система множин, що замкнена стосовно математичних операцій об'єднання, перетину, віднімання та симетричної різниці. Слід зазначити, що довільне кільце множин може містити порожню множину, що формує необхідну умову для динамічного програмування. Одиницею кільця множин  $\wp$  називається така множина  $E$ , яка належить до  $\wp$ . Для довільної множини  $A \in \wp$  виконується наступна умова:

$$A \cap E = A. \quad (4.6)$$

$\sigma$ -кільцем множин називається кільце множин, що разом з кожною детермінованою послідовністю множин  $A_1, \dots, A_n, \dots$  містить також об'єднання цих множин -  $\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n$ .

$\delta$ -кільцем множин називається кільце множин, що разом з кожною детермінованою послідовністю множин  $A_1, \dots, A_n, \dots$  містить також перетин цих множин -  $\bigcap_{n=1}^{\infty} A_n$ .

$\sigma$ -алгеброю множин називається  $\sigma$ -кільце множин з одиницею.  $\delta$ -алгеброю множин —  $\delta$ -кільце з одиницею. Необхідно зазначити, що при цьому кожна  $\sigma$ -алгебра є також  $\delta$ -алгеброю. Це твердження є вірним і в зворотному напрямку. Вимога, що  $\tilde{F}$  є  $\sigma$ -алгеброю підмножин  $\tilde{\Omega}$  є вирішальною для дисертаційного дослідження. Адже вона зумовлює можливість визначення ймовірності конкретної випадкової події за сформованими моделями ТС РОВТ, ймовірність об'єднання зліченної кількості випадкових подій для марківських моделей, що формують марківські процеси з марківськими ланцюгами, які відтворюють реальне функціонування різного складу вахтового персоналу РОВТ. А також ймовірність доповнення будь-якої події, що відкриває можливості для додаткових досліджень, якщо в фокусі дослідження поставити протилежне – настання аварійної події, або в фокусі поставити будь-яке доповнення – наприклад настання подій II категорії важливості.

Якщо у ймовірнісному просторі за Колмогоровим  $(\tilde{\Omega}, \tilde{F}, \tilde{P})$  визначено випадкову величину  $T$  з розподілом  $\tilde{P}$ . Тоді функцією розподілу випадкової величини  $T$  називається функція  $F(T): \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ , яка задається формулою:

$$F(T) = \tilde{P}(T \leq \tau) \equiv \tilde{P}([0, \tau]). \quad (4.7)$$

Треба відмітити, що при функціонуванні РОВТ часовий проміжок має значення  $[0, \tau]$ , що не суперечить класичній трактовці рівняння функції розподілу випадкової величини, де досліджуваним є проміжок  $(-\infty, \tau]$ .

Розподіл  $\tilde{P}(T)$  називається неперервним, якщо його функція розподілу  $F(T)$ . Тоді:

$$\tilde{P}(T = \tau) = 0, \forall \tau \in \mathbb{R}, \quad (4.8)$$

де  $\mathbb{R}$  - множина дійсних чисел.

Множина дійсних чисел розглядається згідно з класичними математичними поглядами як множина всіх меж послідовностей раціональних чисел.

$$F(\tau - 0) = F(\tau), \forall \tau \in \mathbb{R}, \quad (4.9)$$

А це означає, що формули мають наступний вид:

$$\tilde{P}(T \in |a, b|) = F(b) - F(a), \quad (4.10)$$

де  $|a, b|$  - інтервал.

Інтервал  $|a, b|$  може бути яким завгодно, а саме: відкритим або закритим, кінцевим або нескінченним. Абсолютно безперервний розподіл має місце, якщо існує така не негативна функція майже всюди (відносно міри Лебега):

$$F(T) = \int_{-\infty}^{\tau} f(T) dt. \quad (4.11)$$

Щільність вірогідності розподілення  $\tau$  виражається наступним чином, за умови якщо існує похідна  $F'(T)$ :

$$f(T) = \frac{dF(T)}{dt} = F'(T). \quad (4.12)$$

Поняття майже всюди означає, що множина не існування функції  $f(T)$  має міру нуль. Множина являється вимірюваною за Лебегом, якщо:

$$m^* E = m_* E, \quad (4.13)$$

де  $E$  – досліджувана множина;

$m^* E$  - зовнішня міра за Лебегом;

$m_* E$  - внутрішня міра за Лебегом.

Для досліджуваної множини  $E$  можна знайти скільки завгодно різних систем із кінцевого або рахункового числа інтервалів, об'єднання яких має множина  $E$ . Такі системи називаються покриттям. Так сума довжин інтервалів, які складають будь-яке покриття – є величина не негативна і така, яка обмежена знизу. Це означає, що множина довжин всіх покриттів має точну нижню грань. Ця грань залежить тільки від множини  $E$  і називається зовнішньою мірою, яка обчислюється наступним чином:

$$m^* E = \inf \left( \sum_i \Delta_i \right), \quad (4.14)$$

де  $\Delta_i$  - довжина інтервалу,  $\Delta_i \in \mathbb{R}$ .

Внутрішньою мірою множини  $E$  називається різниця між довжиною сегменту  $[a,b]$ , який містить  $E$  і зовнішньою мірою доповнення  $E$  в  $[a,b]$  :

$$m_* E = (b - a) - m^* ([a,b] \setminus E). \quad (4.15)$$

Таким чином, міра Лебега є продовженням міри Жордана на більший клас множин і також може використовуватись як спосіб формалізації поняття довжини в Евклідовому просторі  $\mathbb{R}^n$ .

Під час реалізації ДП РОВТ в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК і виконання технологічної роботи відповідна ТС (або будь-який компонент) працюють і саме надійність роботи у період реалізації процесу високоточної навігації гарантують технічну складову безпеки поліергатичного управління.

Для цього необхідно вирішити питання: чи є вірогідність надійного функціонування системи в необхідний для виконання технологічної роботи і реалізації процесів високоточної навігації проміжок часу. При цьому додатковими умовами є факт надійної роботи системи на попередньому інтервалі строку служби.

Для відповіді на це питання напишемо класичне рівняння, яке показує розподілення часу безвідмовної роботи:

$$F(T) = 1 - e^{-\int_0^T \lambda(t) dt}, \quad (4.16)$$

де,  $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов.

При цьому вважається, що ПТЕ ТС виконуються в повній мірі. Інтенсивність відмов, в свою чергу, має вираз:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}. \quad (4.17)$$

Інтенсивність відмов являється наріжним камінням при практичних розрахунках вірогідності безпечного функціонування. Для того, щоб відобразити суть інтенсивності відмов помножимо обидві частини рівняння на  $\Delta t$ , що

відображає проміжок часу. А також помножимо і розділимо на  $N$ , що відображає кількість екземплярів досліджуваного об'єкту.

$$\lambda(t)\Delta(t) = \frac{f(t)\Delta(t)N}{(1-F(t))N}. \quad (4.18)$$

$f(t)\Delta(t)$  являє собою вірогідність відмови об'єкта за час від  $t$  до  $t + \Delta t$ . Відповідно  $f(t)\Delta(t)N$  являє собою кількість об'єктів, які відмовили за час від  $t$  до  $t + \Delta t$ . Добуток  $(1 - F(t))N$  являє собою кількість об'єктів, які не відмовили за час  $t$ .

Добуток  $\lambda(t)\Delta(t)$  являє собою відношення кількості об'єктів, які відмовили за час від  $t$  до  $t + \Delta t$  до кількості об'єктів, які не відмовили за час  $t$ .  $\lambda(t)\Delta(t)$  є універсальною складовою, яка може бути використана у практичних умовах.

Загальна розмірність інтенсивності відмов залежить від часу. В дисертаційному дослідженні, яке має науково-практичну спрямованість для використання відносно до різних ТС, що формують ТПК будемо використовувати  $1/\text{год}$ .

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

$$\tilde{P}(\tau_k > T | t_{\Pi}) = \frac{\tilde{P}(\tau > T + t_{\Pi})}{\tilde{P}(\tau > t_{\Pi})} = \frac{e^{-\int_0^{t_{\Pi}+T} \lambda(t)dt}}{e^{-\int_0^{t_{\Pi}} \lambda(t)dt}}. \quad (4.19)$$

Спростивши вираз можна записати наступний алгебраїчний вираз для шуканої імовірності:

$$\tilde{P}(\tau_k > T | t_H) = e^{-\int_{t_H}^{t_H+T} \lambda(t) dt}. \quad (4.20)$$

Якщо величина  $T$  мала, то тоді позначимо її  $\Delta T$  і запишемо наступне рівняння:

$$\tilde{P}(\tau_k > T | t_H) \approx e^{-\lambda(t_H)\Delta T}. \quad (4.21)$$

Таким чином, імовірність  $\tilde{P}(\tau_k > \Delta T | t_H)$  є імовірністю того, що об'єкт буде функціонувати ще час  $\Delta T$  після того, як він пропрацював безвідмовно час  $t_H$ . Проте слід зазначити, що використання спрощеної формули може бути рекомендовано лише для приблизних оцінок.

Проводячи аналіз рівнянь не важко побачити, що чим більша інтенсивність відмов, тим менше вірогідність того, що система продовжить безвідмовну роботу.

Таким чином, можна використовувати два підходи до оцінки функціональної стійкості технічної складової, в залежності від виконуваної технологічної роботи. Якщо час  $\Delta T$  малий, то спрощена формула може бути використана для оцінки (особливо в практичних умовах ТПК), але при виконанні ДП на великому часовому проміжку необхідні більш точні оцінки (характерним прикладом може бути реалізація ДП при виконанні буріння, яке може проводитися достатньо довго).

Як вже було доведено, ключовим параметром є інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ , яка є складною функцією. Нормальний розподіл виникає тоді, коли випадкова величина виникає при великій кількості незалежних (або слабо залежних) подій. Саме такий перебіг подій характеризує надійність більшості компонентів технічної складової поліергатичної системи РОВТ, який здійснює ДП в локально обмеженому просторі технологічної роботи.

При нормальному розподілу процесу можна використовувати наступну щільність:



$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.22)$$

де  $M$  – оцінка математичного очікування;

$\sigma$  - середнє квадратичне відхилення.

Оцінка математичного очікування випадкової величини  $x$  в класичній постановці цього питання в теорії імовірностей визначається за наступним алгебраїчним виразом:

$$M(x) = \sum_i x_i \tilde{P}_i. \quad (4.23)$$

Тобто оцінка математичного очікування величини випадкової величини  $x$  являється сумою добутків всіх її можливих величин на відповідні імовірності. Центрованою випадковою величиною будемо називати значення різниці між власно самої випадкової величини та її математичним очікуванням:

$$\hat{X} = x - M(x) \quad (4.24)$$

Дисперсія випадкової величини  $x$  є математичне очікування квадрату центрованої випадкової величини:

$$D(x) = M(\hat{X}^2). \quad (4.25)$$

Таким чином, для випадкової величини можна написати наступне:

$$D(x) = \sum_i (x_i - M(x))^2 \tilde{P}_i. \quad (4.26)$$

Середнім квадратичним відхиленням (або ще в теорії імовірності називають стандартом) випадкової величини називають квадратний корінь дисперсії:

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}. \quad (4.27)$$

При нормальному розподілі наступний вираз має місце:

$$F(T) = \Phi\left(\frac{T - M}{\sigma}\right), \quad (4.28)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа.

Функція Лапласа  $\Phi(x)$  для випадкової величини представляє собою наступне:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (4.29)$$

Функція Лапласа представляє аналітичний інтерес саме як інтеграл від відомої функції Гауса:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}. \quad (4.30)$$

Якщо нам потрібно відшукати ймовірність попадання в інтервал від 0 до  $x$ , тобто ймовірність відхилення від нуля в позитивну сторону до деякої кількості стандартних відхилень, досить від значення функції стандартного нормального розподілу відняти 0,5:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(x) - 0.5. \quad (4.31)$$

Саме так побудовані таблиці для знаходження імовірності на додатних проміжках. Напишемо остаточний розрахунковий вираз для інтенсивності відмов, яка залежить від часу для закону Гауса (нормального розподілу):

$$\lambda(T) = \frac{e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\Phi\left(\frac{M-T}{\sigma}\right)}, \quad (4.32)$$

де  $M$  – оцінка математичного очікування;

$\sigma$  - середнє квадратичне відхилення;

$\Phi$  – функція Лапласа.

Підхід до визначення імовірностей надійного функціонування складних технічних систем, який базується на законі Гауса, будемо використовувати для практичного обчислення.

#### **4.2 Модель зміни рівня безпеки складних технічних об'єктів при множинних ризиках**

Багато систем РОВТ мають такі властивості, при яких вихід з ладу не відбувається при єдиному пошкодженні, а необхідно декілька пошкоджень для втрати функціональної стійкості. Такі властивості характерні для механічних систем РОВТ, складних систем (хоча при дослідженні складних систем найкращим є декомпозиція таких систем на складові і детальне дослідження кожного з компонентів).

Теоретично можемо стверджувати, що при експлуатації складних систем РОВТ можуть траплятися одиничні випадкові пошкодження, які не призводять до виходу з ладу системи. При накопиченні  $r$  таких пошкоджень система виходить з ладу. Пошкодження полягає у тому, що зношення збільшується на величину  $u$ , яка може бути представлена як постійна величина при випадковому процесі. Імовірність виникнення стрибка зносу за час від  $T$  до  $T+\Delta_T$  можна представити наступним виразом:

$$\tilde{P}_r(T) = \lambda_r \Delta_T + o(\Delta_T). \quad (4.33)$$

де  $\lambda_r$  - вихідна інтенсивність відмов,  $1/\text{год}$ ;

$T$  – час, год;

$o(\Delta_T)$  - імовірнісна флуктуація.

Важливою практичною властивістю є те, що імовірність стрибка зносу не залежить від кількості раніше отриманих пошкоджень. При цьому процес зносу відповідних компонентів складної системи РОВТ характеризується трьома загальними етапами.

При першому етапі проходить процес приробітки вузлів та механізмів. Таким чином знос на цьому етапі стрімко зростає, а потім спостерігається його зменшення.

При другому етапі знос стає нормальним і темпи росту зносу набувають стабільності. Цей період займає більшу частину життєвого циклу ТС при експлуатації РОВТ в межах символу КТ та з жорстким дотриманням відповідних вимог ПТЕ.

При третьому етапі фізична картина зносу значно змінюється. При накопиченні критичної величини зносу виникає стрибок, який зумовлено новими факторами.

В зоні нормального зносу позначимо через  $X_r(T)$  число пошкоджень, які відбулися за час  $T$ . Тоді величина зносу має наступний вигляд:

$$\eta(T) = y_\eta X_\eta(T), \quad (4.34)$$

де,  $\eta(T)$  - величина зносу;

$X_\eta(T)$  - число пошкоджень за час  $T$ ;

$y_\eta$  - величина, яка характеризує рівень зносу, який відбувається при єдиному пошкодженні.

Приведена нижче формула являє собою різницю, що відображає збільшення величини зносу  $\eta(\Delta_T)$ :

$$\eta(\Delta_T) = \eta(T + \Delta_T) - \eta(T) = y_\eta (X_\eta(T + \Delta_T) - X_\eta(T)). \quad (4.35)$$

За час  $\Delta_T$  знос може отримати збільшення  $y_\eta$  з імовірністю  $\tilde{P}_\eta(T)$ , або отримати збільшення, яке дорівнює нулю з імовірністю  $1 - \tilde{P}_\eta(T)$ . Тому оцінка математичного очікування збільшення зносу дорівнює:

$$M(\eta(T + \Delta_T) - \eta(T)) = y_\eta \tilde{P}_\eta(T) + (1 - \tilde{P}_\eta(T))0 = y_\eta (\lambda_r \Delta_T + o(\Delta_T)). \quad (4.36)$$

Враховуючи, що оцінка математичного очікування різниці випадкових величин дорівнює різниці оцінок математичних очікувань, отримуємо наступні результати:

$$M(\eta(T + \Delta_T)) - M(\eta(T)) = y_\eta (\lambda_r \Delta_T + o(\Delta_T)). \quad (4.37)$$

Тоді поділимо обидві частини на  $\Delta_T$  і, переходячи до межі  $\Delta_T \rightarrow 0$ , знаходимо:

$$\frac{dM(\eta(T))}{dT} = \lambda y. \quad (4.38)$$

Звідки виходить, що  $\lambda y$  є середня швидкість зносу. Як бачимо, що вона не залежить від часу і є постійною. Така схема є повністю відповідною до сучасних реалій відповідних процесів. Масове виробництво забезпечує високу однорідність початкової якості об'єктів: високу однорідність матеріалів, стабільний технологічний процес, жорсткий контроль якості. Навантаження, які діють на об'єкти в процесі експлуатації РОВТ, є в доволі широких межах. Процес пристосування займає доволі незначний проміжок в часі.

При накопиченні пошкоджень має місце гамма-розподіл часу  $\tau$  безвідмовної роботи. Щільність цього розподілу має наступний вид:

$$f(T) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^{\tilde{p}_\eta(T)} T^{r-1} e^{-\lambda T}, T \geq 0, \\ 0, T < 0, \end{cases} \quad (4.39)$$

де  $r$  – число пошкоджень, які необхідні для виходу з ладу об'єкту (технічної системи, або компоненту, в залежності від рівня ієрархії досліджуваної системи);

$\Gamma(r)$  – гамма-функція.

Гамма-функція була вперше введена видатним вченим-математиком Ейлером. А позначення гамма-функції ввів відомий французький математик Адрієн-Марі Лежандр. Гамма-функція представляє собою функцію з виду спеціальних функцій:

$$\Gamma(r) = \int_0^{\infty} x^{r-1} e^{-x} dx. \quad (4.40)$$

Як відомо, спеціальні функції не можуть бути вираженими через елементарні функції. Гамма-функція є функцією-інтегралом, яка представляє

невласний інтеграл першого роду. Невласний інтеграл є розширенням поняття інтеграла Рімана, в якому розглядають скінченний проміжок інтегрування  $[a, b]$  і підінтегральна функція  $f(x)$ , яка є обмеженою (необхідна умова інтегрованості функції за Ріманом).

Гамма-функція, як невластний інтеграл першого роду розглядається на нескінченному проміжку інтегрування. Проміжок обчислюється як границя послідовності відповідних інтегралів Рімана по скінченних проміжках, що в процесі обчислення розширюються. Головне значення інтеграла Коші вважається подальшим узагальненням інтеграла Рімана.

Нехай  $a \in \mathbb{R}$ , де  $\mathbb{R}$  – множина дійсних чисел, тобто невластний інтеграл першого роду визначається на  $(a, +\infty)$ . Нехай функція  $\Omega : (a, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$  така, що  $\forall A > a : \Omega \in \mathbb{R}([a, A])$ . З цього твердження виходить що інтеграл Рімана є скінченним.

$$\int_a^A \Omega(x) dx =: \mathfrak{U}(A). \quad (4.41)$$

Якщо існує скінченна границя послідовності для інтегралів  $\mathfrak{U}(A)$ , при  $A \rightarrow +\infty$ , тоді значення такої границі називаються невластним інтегралом першого роду для функції  $\Omega$  по інтервалу  $(a, +\infty)$ , а тоді невластний інтеграл лівої частини рівняння  $\int_a^A \Omega(x) dx$  називається збіжним. При виконанні умов означення, проте скінчена границя  $\mathfrak{U}(A)$  не існує взагалі або дорівнює  $\pm\infty$ , тоді невластний інтеграл першого роду для функції  $\Omega$  є розбіжним.

Інтеграл, яким визначається гама-функція є невластним першого роду, і він збігається при  $\mathbb{R} r > 0$ . Можна використати наступне рекурентне співвідношення:

$$\Gamma(r + 1) = r\Gamma(r). \quad (4.42)$$

З його допомогою можна продовжити гамма-функцію на всю комплексну площину за винятком  $r = -n$ , де  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Гамма-функція є частиною простору неперервних функціоналів Чебишова, яке визначає властивість неперервності для неї. Однією з важливих для розрахункових цілей даного дисертаційного дослідження є те, що гамма-функція є узагальненням поняття факторіала:

$$\Gamma(r) = (r-1)! \quad (4.43)$$

Нехай  $M$  є гранично допустимий рівень зносу, тобто при  $\eta(t) \geq M$  відбувається відмова. Звідки можна порахувати число пошкоджень до відмови:

$$r = \frac{M}{y_\eta} \quad (4.44)$$

Величина  $\lambda_r$  задає середню швидкість зносу, і тоді ми можемо записати наступне:

$$\lambda_r = \frac{1}{y_\eta} \frac{dM(\eta(T))}{dT} \quad (4.45)$$

Функція розподілу  $F(T)$ , яка виражена законом гамма-розподілу має співвідношення:

$$F(T) = \int_0^T f(T) dT = \frac{\lambda_r^r}{\Gamma(r)} \int_0^T t^{r-1} e^{-\lambda_r t} dT \quad (4.46)$$



Для цілих  $r$  з використанням інтегрування по частинам, можна записати наступне:

$$F(T) = 1 - \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(\lambda_r T)^k}{k!} e^{-\lambda_r T}. \quad (4.47)$$

Теоретичні дослідження функції показують, що при  $r=1$  щільність  $f(T)$  співпадає зі щільністю експоненційного розподілу, що повністю узгоджується з моделлю відмови при одиничному пошкодженні. Математичне очікування і дисперсія дорівнюють:

$$\begin{cases} M(\tau) = \frac{r}{\lambda_r}, \\ D(\tau) = \frac{r}{\lambda_r^2}. \end{cases} \quad (4.48)$$

Вірогідність безвідмовної роботи за час  $T$  розраховується наступним чином:

$$\tilde{P}(\tau > T) = 1 - F(T). \quad (4.49)$$

Інтенсивність відмов має наступний вид:

$$\lambda(T) = \frac{\lambda_r^r T^{r-1}}{\sum_{k=0}^{r-1} \frac{(r-1)!}{k!} (T \lambda_r)^k}. \quad (4.50)$$

Таким чином гамма розподіл являється надійним способом опису функціонування складних ТС, які функціонують в умовах пошкоджень на

часовому проміжку експлуатації РОВТ при здійсненні ДП та виконанні необхідної технологічної роботи.

### 4.3 Символьно-аналітичне моделювання імовірності безпечного функціонування складних ланцюгових техніко-технічних засобів

При експлуатації РОВТ під час ДП в локально обмеженому просторі здійснення високоточної навігації виникає необхідність поточної оцінки безпечного функціонування складних технічних систем, які складаються з багатьох компонентів. Можливі відмови компонентів і складових системи є взаємонезалежними. Можлива відмова одного з структурних ієрархічно упорядкованих елементів призведе до відмови цілої системи. Такі системи називаються ланцюговими системами і є вразливими з точки зору функціональної стійкості.

Нехай  $\tau$  є час безвідмовної роботи технічної системи ланцюгового типу, а  $\tau_i$  - час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента системи,  $i=1,2,3, \dots, k$ . Тоді час безвідмовної роботи технічної системи ланцюгового типу можна представити наступним чином:

$$\tau = \min(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_k). \quad (4.51)$$

Практично, коли ми маємо складну ланцюгову систему, яку розбито на багато компонентів згідно з ієрархічною структурою досліджуваної складної системи, це означає що вихід з ладу однієї складової трапляється при одиничному пошкодженні. А тому ми можемо застосувати експоненційний розподіл:

$$F(T) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^k \lambda_i T}, \quad (4.52)$$

де  $\lambda_i$ - інтенсивність відмов розподілу елементів системи,  $1/\text{год}$ ;

$T$  – час, год.

Особливу увагу необхідно звернути на той випадок, коли з'являються додаткові особливості. Число елементів  $k$  дуже велике, всі функції  $F_i(T)$  розподілу є такими, що при  $T \rightarrow 0$  має місце наступне:

$$F_i(T) = gT^\gamma + o(T^\gamma), \quad (4.53)$$

де  $g > 0, \gamma > 0$ .

Таке співвідношення зумовлює порядок зростання  $F(T)$  при малих  $T$ . Таке співвідношення має місце при гамма-розподілу. При великих значеннях  $k$  функція розподілу  $F(T)$  добре апроксимується наступним виразом:

$$F(T) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{T^\gamma}{\beta}}, & T \geq 0, \\ 0, & T < 0, \end{cases} \quad (4.54)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який дорівнює  $\beta = -\frac{1}{gk}$ .

Розподіл при таких умовах вперше було запропоновано В. Вейбулом [2, 185, 186]. Детальний розгляд питань, які відносяться до математичного опису процесів та практичного застосування було проведено Б.В. Гнеденко [185].

Слід також відмітити, що в математичній статистиці такий розподіл прийнято називати розподілом третього типу для крайніх членів послідовності незалежних величин. Щільність цього розподілу має наступний вид:

$$f(T) = \begin{cases} e^{-\frac{T^\gamma}{\beta}} \frac{\gamma}{\beta} T^{\gamma-1}, & T \geq 0, \\ 0, & T < 0, \end{cases} \quad (4.55)$$

Неважко помітити, що при  $\gamma=1$  щільність матиме експоненційний характер. Особливістю даного розподілу також являється те, що не дуже велика різниця між розподілами складових елементів може бути апроксимована єдиним розподілом для складної ТС. Наявність однакових елементів або близьких за конструкцією та типом елементів, що є характерним для функціонально стійких ТС РОВТ і може використовуватись при системному підході дисертаційного дослідження. Схожі за конструкцією та типом елементи мають мати безпосереднє відношення до часу безвідмовної роботи.

Для знаходження параметрів інтенсивності можна використовувати наступне співвідношення:

$$\lambda(T) = \frac{\gamma}{\beta} T^{\gamma-1}. \quad (4.56)$$

Якщо відомі величини  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_N$  часу безвідмовної роботи  $N$  складових системи РОВТ. То для оцінювання параметрів  $\gamma$  та  $\beta$  скористаємось відомим методом розбиття. Для цього необхідно ідентифікувати межі досліджуваного інтервалу  $[\Theta_1; \Theta_2]$ , такого що  $\Theta_1 < \Theta_2$  і підрахувати кількість значень  $\tau_i$  на проміжку  $[0; \Theta_j]$ ,  $j=1,2$ . Нехай ці величини дорівнюють  $m(\Theta_j)$ . Необхідне співвідношення знаходиться наступним чином:

$$\nu(\Theta_j) = \frac{m(\Theta_j)}{N}, \quad (4.57)$$

де  $N$  – кількість складових системи РОВТ,  $N \in \mathbb{Z}$ .

$\mathbb{Z}$  - множина цілих чисел.

Параметри  $\gamma$  та  $\beta$  можна оцінити наступним чином:

$$\begin{cases} \beta = \frac{\Theta_1^\gamma}{\ln\left(\frac{1}{1-\nu(\Theta_1)}\right)}, \\ \gamma = \frac{\ln\ln\left(\frac{1}{1-\nu(\Theta_1)}\right) - n\ln\left(\frac{1}{1-\nu(\Theta_2)}\right)}{\ln(\Theta_1) - \ln(\Theta_2)}. \end{cases} \quad (4.58)$$

Якщо має місце поріг чутливості  $t_0$ , то він приводить до зсуву розподілу всієї системи. Якщо  $T$  мале, то має місце наступне:

$$\tilde{P}(\tau \leq t_0 + T) = F(t_0 + T) = gT^\gamma + o(T^\gamma). \quad (4.59)$$

Розподіл в такому випадку матиме наступний вид:

$$F(T) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{(T-t_0)^\gamma}{\beta}}, & T \geq t_0, \\ 0, & T < t_0. \end{cases} \quad (4.60)$$

А вираз для щільності прийме таку форму:

$$f(T) = \begin{cases} e^{-\frac{(T-t_0)^\gamma}{\beta}} \frac{\gamma}{\beta} (T-t_0)^{\gamma-1}, & T \geq t_0, \\ 0, & T < t_0. \end{cases} \quad (4.61)$$

При цьому параметри  $\gamma$  та  $\beta$  при умовах зсуву оцінюються наступним чином:

$$\begin{cases} \beta = \frac{(\Theta_1^\gamma - t_0)}{\ln\left(\frac{1}{1-\nu(\Theta_1)}\right)}, \\ \gamma = \frac{y_{B1} - y_{B2}}{\ln(\Theta_1 - t_0) - \ln(\Theta_2 - t_0)}, \end{cases} \quad (4.62)$$

де  $y_{Bj}$  – специфічні змінні розподілу Вейбулла,  $y_{Bj} = \ln \ln \frac{1}{1-\nu(\Theta_j)}$ .

Досліджений розподіл Вейбулла є абсолютно неперервним, що є необхідною умовою його застосування при практичному обчисленні імовірностей відповідних ТС РОВТ для досягнення мети дисертаційного дослідження. Розподіл Вейбулла дуже добре підходить для задач практичного визначення імовірності надійного функціонування складних ТС ланцюгового типу, які складаються з багатьох елементів, які конструктивно близькі, що зумовлює однакові розподіли  $F(T)$ . Складність адекватної оцінки розподілів всіх елементів складних ТС полягає в великій кількості самих елементів, що знаходяться на різних рівнях ієрархії досліджуваного РОВТ. При чому елементи ТС не резервуються. Запропонований підхід спрощує обчислення без втрати точності результатів.

#### **4.4 Безпечне функціонування комплексів в умовах збігу причин відмов від незалежних факторів середовища**

Часто при розгляданні систем на різних рівнях ієрархії спостерігаються такі об'єкти дослідження, де знос і відмови не пов'язані лише з однією причиною. Прикладами можуть служити різні системи РОВТ. Наприклад, поступове зношення електронних частин систем не призводить до зниження їх стійкості до перевантажень через хвильові збурення або до механічних пошкоджень. Це

пояснюється тим, що знос також здатний викликати порушення працездатності за рахунок виходу робочої характеристики за допустимі межі. Перевантаження, в свою чергу, можуть викликати відмову, якщо їх величина перевищить розрахункові межі. Таким чином, навантаження, які можна розглядати у вигляді перевантажень, і знос діють паралельно, але ізольовано один від одного. При розгляданні РОВТ за допомогою системного підходу можна навести більше подібних прикладів. Фактично будь-який об'єкт або складна ТС, що має кілька робочих частин, які не взаємодіють одна з одною і приймають навантаження від різних джерел - мають і кілька незалежних причин відмов.

Вирішенням такої проблеми з методологічного боку є більш глибока декомпозиція, або застосування узагальнюючих розподілів. Іншим підходом є розгляд системи під впливом накладання причин відмов.

Для того, щоб розглядати систему під впливом декількох причин відмов  $H$ . Тобто  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_k$  ми маємо довести, що причини впливають паралельно і незалежно одна від одної. Незалежність означає, що будь-яка з перерахованих причин ніяк не позначається на можливості втрати функціональної стійкості системи РОВТ з якоїсь іншої причини. Припустимо, що якби причина  $H_i$  була єдиною, яка призводить до втрати функціональної стійкості, то час безвідмовної роботи був би  $\tau_i$ . Практичне завдання полягає у визначенні часу безвідмовної роботи  $\tau$  при паралельній дії всіх  $k$  причин.

Очевидно, що з моменту, коли одна з причин вже викликала втрату функціональної стійкості ТС, дія інших причин не важлива, бо система не функціонує і РОВТ знаходиться в умовах потенційної небезпеки. Математичний сенс сказаного вище виражається наступним чином:

$$\tau = \min(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_k), \quad (4.63)$$

де  $\tau$  - час безвідмовної роботи досліджуваної системи, год;

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_k$  - часи безвідмовної роботи під впливом причин відмов  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_k$ , год.

Приведена вище формула повторює алгебраїчний вираз, що наведено у попередньому параграфі, проте при розгляданні функції розподілу ми матимемо справи з різними розподілами, які відображають різні причини відмов (або ще можна сказати фактори відмов). Тоді сформуємо наступне:

$$F(T) = 1 - (1 - F_1(T))(1 - F_2(T))(1 - F_3(T)) \dots (1 - F_k(T)), \quad (4.64)$$

де  $F_1(T), F_2(T), F_3(T), \dots, F_k(T)$  - розподіли, що мають місце під впливом причин відмов  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_k$ .

Якщо  $F_i(T)$  є функція розподілу часу  $\tau_i$  безвідмовної роботи при ізольованому впливу  $i$ -й причини, то функція розподілу  $F(T)$  часу безвідмовної роботи  $\tau$  має сенс добутку. Тобто  $F(T) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - F_i(T))$ . В добутку ключове значення матимуть відповідні характеристики  $(1 - F_i(T))$ , що утворюють добуток.

#### **4.5 Оцінювання ймовірності безпеки функціонування комплексів з засобами керованого резервування**

Для гарантування функціональної стійкості СДП і навігаційної безпеки РОВТ проводиться резервування необхідних компонентів СДП. Мінімальне резервування здійснюється згідно з вимогами КТ до класу конкретної СДП, або резервування може визначатися відповідно до потреб функціональної стійкості шляхом аналізу додаткових ризиків особливостей виконання технологічної роботи, ризиків акваторії ТПК. Резервування компонентів СДП є технічним заходом щодо гарантування функціональної стійкості СДП, який базується головним чином на одиничній відмові компоненту. При виходу з ладу одного з



активних компонентів СДП розглянемо наступні два можливих сценарних варіанти розвитку ситуації щодо забезпечення безпеки ДП для СДП другого або третього класів.

Перший сценарний варіант передбачає те, що СДП виявляє вихід з ладу активного компоненту самостійно, відключає його і переключається на інший резервний компонент (або за допомогою алгоритмічних обчислень перерозподіляє функції несправного активного компоненту іншим активним компонентам).

Другий сценарний варіант полягає в тому, що ОСДП побачив першим вихід з ладу активного компоненту. В цьому випадку ОСДП сам відключає несправний активний компонент. В цьому випадку СДП автоматично перемикається на решту резервних активних компонентів (або за допомогою алгоритмічних обчислень перерозподіляє функції несправного активного компоненту іншим активним компонентам). У деяких випадках ОСДП сам вводить в експлуатацію резервний активний компонент. При цьому резервування має бути більшим, ніж того вимагає КТ і клас СДП.

Реалізація обох сценарних варіантів допомагає практично гарантувати навігаційну безпеку РОВТ при виході з ладу компонента СДП, за умови його дублювання відповідно до класу обладнання СДП, або резервування більшою кількістю активних компонентів, ніж того вимагає КТ. Резервні компоненти, що забезпечують необхідну надійність системи, повинні або постійно функціонувати, або включатися в роботу, при необхідності, негайно і без тривалих затримок. При цьому перемикання на резервний компонент має бути або автоматичним, або за допомогою простих операцій ОСДП. Перемикання не повинно викликати надмірних коливальних процесів режиму позиціонування [226].

Таким чином, питання безпеки ДП полягає в підтримці складових систем, які входять до складу складної технічної системи РОВТ, в робочому стані в цілому. Системи на різних рівнях ієрархії складаються з інших систем відповідних рівнів ієрархії. Імовірність надійного технічного функціонування

СДП і її складових буде кількісною оцінкою безпеки технічної складової поліергатичної системи РОВТ.

Імовірність безвідмовності компонента СДП позначимо  $\tilde{P}_{HK}$ . Під терміном функціональна стійкість системи будемо розуміти здатність системи виконувати свої функції в умовах гетерогенних збурень. Це означає, що комплекс параметрів системи в умовах збурень не буде виходити за допустимі межі, тобто вірним буде сформована в другому розділі умова  $S_d(t) \in \{U_x\}$ . Поняття надійності та безвідмовності відповідають відповідним діючому ДСТУ [121].

Система може виходити з ладу при виході з ладу або будь-якого компоненту, або системи нижнього рівня ієрархії, або при виході з ладу всіх резервних компонентів.

Для зручності подання інформації про надійність систем і компонентів введемо наочний спосіб представлення у вигляді схем з такими позначеннями. На схемах компоненти, без яких робота системи неможлива, зобразимо як ланки, які з'єднано послідовно, а ті компоненти, що дублюють один одного - відобразимо ланками з паралельним з'єднанням.

Припустимо, що надійність всіх резервних  $n$  компонентів складної системи одна й таж, тобто:

$$\tilde{P}_{HK1} = \tilde{P}_{HK2} = \tilde{P}_{HK3} = \dots \tilde{P}_{HKi} \dots \tilde{P}_{HKn}. \quad (4.65)$$

Резервування – це дієвий метод підвищення функціональної стійкості ТС, який необхідно застосовувати на флоті [86]. Введемо відповідне графічне представлення щодо функціональної стійкості. На рисунку представлено ТС, яка складається з двох однакових компонентів. При резервуванні повна відмова системи відбудеться при відмові обох компонентів, а без резервування відмова всієї системи відбудеться при умові відмови будь-якого з компонентів. Схематично зобразимо такі випадки наступним графічним чином.

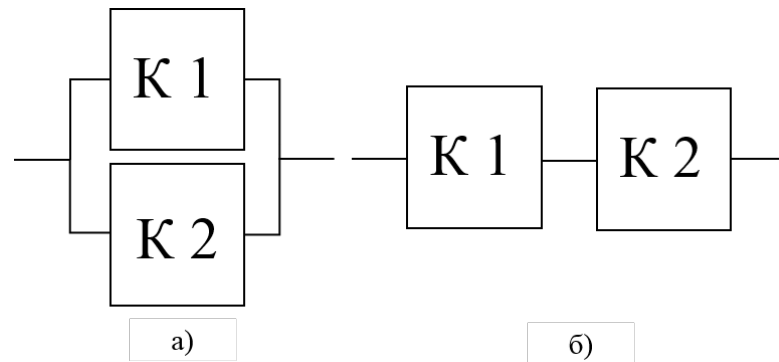


Рисунок 4.1 - Сформований наочний спосіб відображення інформації щодо функціональної стійкості:

а ) – резервування присутнє; б ) - варіант без резерву

Використовуючи алгебру подій, надійність системи, а отже, і безпеку функціонування системи з резервними компонентами  $\tilde{P}_{BC}$  визначимо за такою формулою:

$$\tilde{P}_{BC} = 1 - (1 - \tilde{P}_{HK})^2. \quad (4.66)$$

При дублюванні  $n-1$  такими ж компонентами імовірнісна безпека визначається за такою формулою:

$$\tilde{P}_{BC} = 1 - (1 - \tilde{P}_{HK})^n. \quad (4.67)$$

При практичній експлуатації РОВТ з СДП дуже часто компоненти можуть відрізнитися за часом експлуатації та мати різні ймовірності безвідмовної роботи на одному і тому часовому проміжку, тоді формула матиме вигляд:

$$\tilde{P}_{BC} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \tilde{P}_{HKi}). \quad (4.68)$$

У разі, якщо відмова системи відбудеться при відмові будь-якого з  $n$  компонентів, то безпеку функціонування системи без резервування можна визначити наступним чином:

$$\tilde{P}_{BC} = \tilde{P}_{HK}^n. \quad (4.69)$$

Якщо ймовірності компонентів відрізняються за часом експлуатації:

$$\tilde{P}_{BC} = \prod_{i=1}^n \tilde{P}_{HKi}. \quad (4.70)$$

Розроблений метод побудови схем для оцінки функціональної стійкості ґрунтується на основі вимог КТ щодо резервування складових СДП та на базі проведеного конструкторським бюро морфологічного аналізу і синтезу обладнання для конкретного РОВТ. Просуваючись етапами динамічного програмування безпеки необхідно за схемами функціональної стійкості сформулювати відповідні рівняння для обчислення чисельних показників безпечного функціонування для ТС при реалізації ДП РОВТ в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору ТПК [71, 85]. Тим самим можна ідентифікувати чисельний імовірнісний рівень безпеки для технічної складової поліергатичної системи. При необхідності рівень функціональної стійкості поліергатичної системи можна підвисити до необхідного шляхом залучення додаткових наявних резервів.

## Висновки до четвертого розділу

1. Доведено, що абсолютна безперервність функції розподілу випадкової величини в введеному ймовірнісному просторі за Колмогоровим з використанням методів  $\sigma$ -алгебри є необхідною умовою для практичної реалізації і адекватності отриманих даних за формалізованими математичними моделями.
2. Критерієм існування абсолютно безперервного розподілу виступає факт існування не негативної функції майже всюди відносно міри Лебега, яка має сенс щільності розподілу випадкової величини в ймовірнісному просторі за Колмогоровим, що дозволило сформулювати методологічні основи синтезу адекватних ймовірнісних моделей.
3. Встановлено глибину аналізу методології, який для вірного обчислення ймовірності надійного функціонування складних технічних систем за ієрархічним місцем має відбуватись до того рівня, коли складові елементи можуть бути описано приблизними функціями розподілу.
4. Розроблено модель зміни рівня безпеки складних технічних об'єктів в умовах множинних ризиків, що дозволило практично контролювати ймовірнісні показники безвідмовної роботи.

Матеріали розділу 4 висвітлені у працях автора [71, 85, 86, 87, 288 ].

## РОЗДІЛ 5

# ОБГРУНТУВАННЯ РІВНІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БЕЗПЕКИ БОРТОВОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ

### 5.1 Гарантування безпечного динамічного позиціонування засобами бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання

Надійний бортовий багатофункціональний комплекс навігаційного обладнання (ББКНО) має на меті гарантування безпечної реалізації керованого процесу здійснення навігації РОВТ, зокрема ДП в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі ТПК при виконанні відповідної технологічної роботи.

Так при побудові схем функціональної стійкості функціонування ББКНО РОВТ ми нашоувхуємося на певні труднощі в ієрархічній структурі, з урахуванням резервування (особливо для СДП високих класів), функціонального місця кожної системи в процесі реалізації керованої навігації. З одного боку, такі труднощі не постають при несистемній постановці питання, з іншого боку, розглядаючи системи окремо без встановлення зв'язку, не можливо досягнути цілей дослідження. Комплексна інтеграція технологій зображена у [22, 23].

Системи, що входять до ББКНО, для подальшого дослідження можна умовно розділити на системи, що функціонують та використовуються для забезпечення надійного та ефективного ДП, і системи, що використовуються для гарантування безпечної навігації РОВТ.

При цьому, деякі системи для здійснення загальної навігації (тобто при русі без використання СДП) можна розглядати, як резервні системи, які можуть бути використані в екстрених випадках. Деякі системи мають допоміжний

функціональний рівень при ДП, та основний при здійсненні навігації без використання СДП.

При розгляданні та описі систем ББКНО РОВТ будемо вважати, що функціонування СДП є основним [84], а системи для здійснення загальної навігації будемо розглядати як другорядні. Проте слід розуміти, що і в такій постановці, безпечне функціонування всіх навігаційних систем є ключовим. Така постановка питання надає можливість сфокусуватися на безпеці процесу ДП і роботі СДП. Проте при формуванні схем функціональної стійкості елементи матимуть послідовне з'єднання. Це не викликає протиріччя і підвищує вимоги до системи. Тобто похибка робиться «в безпечний бік».

Яскравим прикладом реалізації поставленого завдання буде опис інтегрованої системи управління збуреним рухом, де автоматичне управління СДП, управління за допомогою незалежного джойстика, та ручне управління матимуть послідовне з'єднання, незважаючи на те, що при аварійній ситуації кожний з варіантів управління дозволяє надійно контролювати параметри змінних стану РОВТ. Хоча кожна з систем управління є основною на певних просторово-часових проміжках експлуатації РОВТ.

Гарантоване безпечне функціонування ББКНО РОВТ може бути при належному та якісному функціонуванні технічних систем, які входять до його складу. Для підвищення функціональної стійкості технічні системи та їх компоненти можуть резервуватися.

Для визначення рівня безпеки необхідно провести опис систем, визначити їх місця в цілісній структурі та скласти відповідні ієрархічно структуровані схеми функціональної стійкості з відповідними рівняннями.

**Інтегрована система управління збуреним рухом РОВТ** має на меті контролювання параметрів вектору стану РОВТ для реалізації законів термінального управління.

Для обчислення відповідних алгоритмів ДП, системі необхідна поточна інформація про положення РОВТ. Цю інформацію надає **система ВМ РОВТ**.

Система ВМ РОВТ, що функціонує з СДП, складається з декількох систем в залежності від класу СДП.

**Комп'ютерні системи управління** забезпечують гарантовано безпечний та високий рівень автоматизації при експлуатації РОВТ в різних умовах та являються складовими багатьох систем.

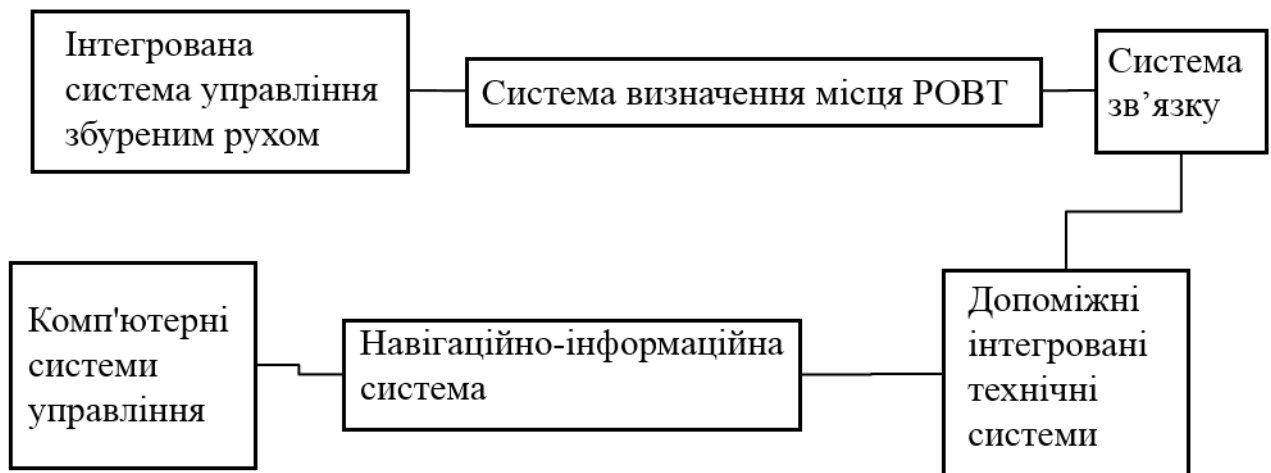


Рисунок 5.1 - Схема функціональної стійкості системи бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання і управління збуреним рухом

**Системи зв'язку** забезпечують надійний зв'язок як в середині РОВТ, між постами відповідних служб РОВТ, так і зв'язок з іншими РОВТ або офшорними спорудами, берегом та ін. Окремо слід відмітити роль систем зв'язку при лісії згідно з ГМЗЛБ.

**Навігаційно-інформаційна система** - система, яка здобуває, обробляє, зберігає отриману оброблену інформацію, що необхідна для реалізації процесів гарантовано безпечного ДП, або високоточної навігації при можливому паралельному виконанні технологічної роботи в локально обмеженому просторі.

Сформоване визначення може бути суперечливим в загальному розумінні цього поняття, проте воно є вірним з точки зору поставлених цілей конкретного дослідження. Так визначення об'єднує весь просторово-часовий проміжок



експлуатації РОВТ, а також охоплює системи, що зберігають інформацію і надають її при необхідності (при детальному аналізі аварійного випадка).

Основна задача навігаційно-інформаційної системи, яка взаємодіє з іншими системами – гарантування всіх видів безпеки РОВТ, підвищення ефективності його експлуатації.

**Допоміжні інтегровані технічні системи** – представляють собою системи, які можуть вважатися частиною ББКНО РОВТ і допомагають при реалізації процесів навігації. Такі системи найчастіше різняться в залежності від типу РОВТ, його призначення, класу СДП, виду обладнання РОВТ. Тому при формалізації структурної схеми функціональної стійкості необхідно приймати до уваги конкретний склад ББКНО конкретного РОВТ.

Інтеграційний модуль АРМ ЛО, що здійснює управління процесом високоточної навігації представляє собою ергономічний інтегрований комплекс. Для прикладу в дисертаційному дослідженні розглянемо сучасне АРМ, що вироблене компанією Rolls-Royce. Важливою особливістю АРМ компанії Rolls-Royce (яким устатковано об'єкт моделювання ТБС проекту UT 733-2) є те, що воно інтегроване з СДП та засобами ручного керування. Крісло ЛО може переміщуватися вздовж панелі, на якій розташовано прилади навігаційно-інформаційної системи та інших систем, а також та обертатися, що зменшує час реакції і формує більш ефективні потоки реакцій. Ці функції АРМ також полегшують ЛО контроль за процесами управління збуреним рухом РОВТ.

Сучасний РОВТ може нараховувати у складі свого ББКНО декілька постів управління рухом, таким чином підвищуючи рівень резерву. В загальному вигляді рівняння функціональної стійкості можна записати виходячи з аналізу схеми функціональної стійкості:

$$\tilde{P}_{\text{БКНО}} = \tilde{P}_{\text{ІСУР}} \tilde{P}_{\text{ВМРОВТ}} \tilde{P}_{\text{СЗ}} \tilde{P}_{\text{КСУ}} \tilde{P}_{\text{НІС}} \tilde{P}_{\text{ДІТС}}, \quad (5.1)$$

$\tilde{P}_{\text{БКНО}}$  - імовірність безвідмовного функціонування бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання;

$\tilde{P}_{ICVP}$  - імовірність безвідмовного функціонування інтегрованої системи управління збуреним рухом;

$\tilde{P}_{BMOBT}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи визначення місця РОБТ;

$\tilde{P}_{CЗ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи зв'язку;

$\tilde{P}_{КСУ}$  - імовірність безвідмовного функціонування КС;

$\tilde{P}_{HIC}$  - імовірність безвідмовного функціонування навігаційно-інформаційної системи;

$\tilde{P}_{ДИТС}$  - імовірність безвідмовного функціонування допоміжних інтегрованих технічних систем.

До допоміжних інтегрованих технічних систем також можна віднести двірники, Clear view screen. Ці прилади допомагають ЛО мати гарний огляд при певних погодних умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК, що заважають здійсненню безпечної навігації.

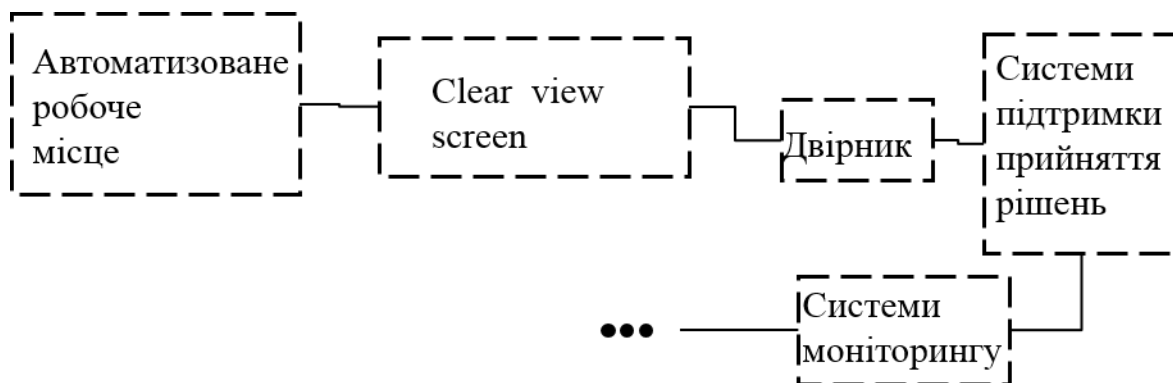


Рисунок 5.2 - Схема функціональної стійкості допоміжних інтегрованих технічних систем

**Система підтримки прийняття рішень (СППР)** – система, метою функціонування якої є допомога ЛО, які приймають рішення в складних умовах гетерогенних збурень ТПК для повного і об'єктивного ситуативного аналізу

динамічної складної системи. Функціонування СППР представляє собою синтез функцій інформаційної системи, системи управління базами даних та аналітичної системи. Для здійснення аналізу і надання рекомендацій в СППР використовуються наступні методи:

- інформаційний пошук в бібліотеках баз даних або в інших інформаційних джерелах (датчики СДП РОВТ);
- інтелектуальний аналіз отриманих даних;
- пошук знань в базах даних критеріїв, які встановлює ЛО / ОСДП ;
- імітаційне моделювання за сформованими моделями об'єкта моделювання (конкретного РОВТ), моделями функціональної стійкості встановлених на борту технічних систем (зокрема комплексу ББКНО), моделями чинників НС, моделями потоків збурень, моделями полієргатичного управління з різними варіантами вахтового складу;
- методи аналізу для надання інформації ЛО / ОСДП щодо безпеки здійснення навігації та синтезу рішення.

В останні роки проходить інтенсивна інтелектуалізація СППР, що спрямована головним чином на удосконалення процесу аналізу та прийняття рекомендацій ЛО щодо дій в екстремальних ситуаціях.

**Системи моніторингу** – системи, що проводять моніторинг відповідних параметрів, що відносяться до процесу експлуатації РОВТ. Прикладом може бути система моніторингу навантажень на корпусі РОВТ, яка призначається для забезпечення відповідного кваліфікованого персоналу інформацією про параметри хитавиці і навантаженнях на корпусі в процесі виконання рейсового завдання і протягом вантажних операцій в умовах гетерогенних збурень ТПК. Ця система розглядається як допоміжний засіб. Вона не звільняє від відповідальності відповідальну особу кваліфікованого вахтового складу за прийняті рішення стосовно безпеки РОВТ.

Проведений аналіз літератури [37 - 39, 46 - 48, 119, 159, 174, 175, 241] дозволяє визначити основні системотехнічні принципи організації ББКНО, виділити системи управління, інформаційні канали та визначити вимоги, що

пред'являються до вимірювальних та інформаційних систем, а також до навігаційного обладнання в цілому.

У складі вимірювальної системи можна виділити три основні канали вимірювання, реалізовані наступними вимірювачами:

1. Вимірники відхилень центру мас РОВТ від точки позиціонування для організації зворотного зв'язку за потреб реалізації алгоритмів ААУ в каналі управління по відхиленню.

2. Вимірники зовнішніх збурень факторів НС для формування керуючих сигналів в каналі управління зі збуреннями.

3. Вимірники кінематичних параметрів РОВТ.

Таким чином, існування вимірювальної системи можна звести до встановлення вектору стану РОВТ та сил чинників НС.

Вимоги до навігаційного обладнання суден регламентуються документами національних КТ, в тому числі і РУ. У четвертому томі «Правил будови і класифікації морських суден» Регістру Судноплавства України [226] в частині XV міститься розділ «Системи динамічного позиціонування», в якому два розділи присвячені навігаційному обладнанню РОВТ, оснащених СДП. Загальні вимоги до радіонавігаційного та іншого навігаційного обладнання РОВТ також відображено у відповідних документах РУ. Також в виданнях РУ містяться вимоги до навігаційного обладнання РОВТ, які виконують позиціонування за допомогою якорів або СДП. Найбільш визначено вимоги до мінімального складу радіонавігаційного обладнання сучасних суден сформульовані в Главі V Конвенції СОЛАС [179]. Національні КТ формулюють вимоги до складу радіонавігаційного обладнання, визначаючи склад обладнання штурманського містка. При цьому вимоги до точності цього обладнання в основних матеріалах відсутні.

Як приклад, сформуємо вимоги до обладнання містка згідно з МК СОЛАС та практичного досвіду. Обладнання, встановлене на навігаційному містку РОВТ, повинно забезпечувати вирішення наступних завдань: визначати і графічно відтворювати положення РОВТ, його курс і швидкість; аналізувати ситуацію в

районі плавання; запобігати зіткнення при маневруванні; відображати зміну курсу і швидкості; приймати і передавати звукові сигнали; приймати і видавати в ефір за допомогою радіосистеми повідомлення про навігаційну обстановку; здійснювати моніторинг таких навігаційних параметрів як: курс, швидкість, траєкторія, крок ГРК, кут положення пера керма, глибина моря і т.п.; проводити запис навігаційної інформації.

На навігаційному містку має встановлюватися наступне обладнання:

1. ЗАРП, який може бути представлено як окремий автономний комплекс обладнання (з власною РЛС) або, що має більше розповсюдження на флоті - ЗАРП поєднано з РЛС. При чому система повинна: попереджати про небезпеку зіткнення за час від 6 до 30 хвилин до об'єкту (установка тимчасового інтервалу регулюється); відображати дійсний і відносний рух РОВТ щодо небезпечного об'єкту; мати монітори, що працюють при денному світлі; забезпечувати автоматичне виявлення і супровід не менше 20 радіолокаційних цілей; видавати відповідне попередження ОСДП при вході РОВТ в зону найближчої точки небезпеки по відстані (Closest Point of Approach) і за часом (Time to Closest Point of Approach); дозволяти імітувати ситуацію зміни курсу або швидкості щодо відстежуваних цілей; мати вбудований самоконтроль.

2. Електронна система визначення положення РОВТ.

3. Два незалежних радара, один з яких працює в X-діапазоні.

4. Репітер гірокомпаса (ГК) з можливістю калібрування.

5. Автоматична система управління, яка має: забезпечувати тривогу при відхиленні від заданого курсу; допускати можливість скасування з робочої станції керуючого впливу автоматичної системи.

6. Лаг.

7. Гідролокатор.

8. Засіб для здійснення радіотелефонного зв'язку.

9. Приймач сигналів NAVTEX або розширеного групового виклику (РГВ) в залежності від району плавання.

10. Панель управління і покажчики світлової сигналізації та вогнів.

Провівши аналіз вимог КТ, що є членами МАКТ, до навігаційного обладнання, можна визначити, що на РОВТ повинно встановлюватися і постійно перебувати в робочому стані наступне навігаційне обладнання:

1. Скануючий радар Х-смуги з растровим дисплеєм.
2. Автоматичний радар з функцією плоттера і ЗАРП (система перевірки помилок).
3. Система управління курсом і швидкістю.

При цьому на індикацію повинні виводиться показання наступних пристроїв: ГК; індикатора кутової швидкості повороту (для РОВТ водотоннажністю більш 100000 рег. тон); індикаторів кутового положення пера керма (або кутового положення ЗАК, азимутального рушія), частоти обертання гребного гвинта (для ГФК або ГРК), кроку і режиму роботи ГРК і ПП; лага; гідролокатора; магнітного компаса; показання електронної системи визначення координат.

Також, обов'язковим є наявність системи навігаційних вогнів, яка розглядається в даній дисертаційній роботі. Автоматичний графічний дисплей відображення положення РОВТ розглядається в якості додаткового навігаційного обладнання.

Для спеціалізованих РОВТ, таких як, ТБС, ПБУ, НПБУ, СПБУ, FPSO, трубоукладачі, водолазні комплекси і т.д., в правилах КТ сформульовані вимоги до міцності корпусу РОВТ, до рушійних комплексів, до джерел електроживлення, до протипожежних і вентиляційних систем, до систем попередження забруднення моря згідно з МАРПОЛ.

В значно меншій мірі в правилах, що випускаються національними КТ на основі вимог МК, розглянуто питання радіо та іншого навігаційного обладнання таких РОВТ. РОВТ, оснащені СДП, повинні мати систему для збору інформації від вимірювальної системи оцінки навігаційних параметрів збуреного руху РОВТ в локально обмеженому просторі (вимірювальної системи позиціонування, що формує дані про вектор стану РОВТ) і від датчиків вимірювання впливу зовнішнього середовища. Вимірювальна система позиціонування може містити

наступні підсистеми РОВТ, що обладнаний СДП: акустичну гідролокаційну систему; систему інерціальної навігації; систему супутникової навігації; інклінометричну систему; інші засоби в залежності від умов експлуатації, для яких РОВТ призначене.

У встановлену на борту РОВТ вимірювальну систему повинні включатися дані від: систем вимірювання курсу; системи ГК або еквівалентних їй за призначенням.

Система датчиків для вимірювання впливу навколишнього середовища включає - датчики вертикального переміщення РОВТ і його крену, а також датчики визначення швидкості і напрямку вітру.

Кількість датчиків на РОВТ визначається класом СДП відповідно до вимог КТ. У частині XIV «Автоматизація» «Правил класифікації, побудови і обладнання плавучих бурових установок і морських стаціонарних платформ (МСП)» РУ містяться загальні вимоги до ПБУ, оснащених СДП, аналогічні вимогам КТ, які входять до складу МАКТ. Крім того, в цих Правилах зазначено, що встановлена на РОВТ схвалена та відповідно сертифікована СДП будь-якого класу повинна використовувати дані від 3-х систем датчиків: система ВМ; датчики положення РОВТ у просторі; датчики параметрів впливу зовнішніх сил локально обмеженого простору, датчики що вимірюють курс, величину хитавиці (поточне значення величин крену і диференту РОВТ).

Відзначимо, що вітчизняні та зарубіжні правила КТ не визначають, з якою періодичністю дані повинні надходити на вхід обчислювальної системи, яка проводить розрахунок параметрів для реалізації алгоритмів ААУ та управління пропульсивними механізмами РОВТ.

Таким чином, існуючі в даний час правила національних морських КТ однозначно не формулюють вимоги до мінімального складу навігаційного обладнання ББКНО, яким повинні оснащуватися РОВТ, що виконують ДП в умовах різних видів збурень і загроз локально обмеженого простору. Також не має чіткої прив'язки до характеру технологічної роботи, яка виконується.

Також правилами не визначені вимоги до точності утримування місця РОВТ або відхилень змінних вектору стану при ДП, точності оцінки навігаційних параметрів руху РОВТ та точності навігаційних систем та обладнання, дані від яких використовуються вимірювальною системою СДП. Тому СДП ( навіть з високим рівнем резервування елементів) можуть виявитися непридатними для вирішення завдання позиціонування через їх низьку точність, що може не задовольняти вимоги, що висуває характер технологічних робіт, а також можливі додаткові ризики локально обмеженого простору акваторії ТПК.

Виникає необхідність класифікації СДП за ступенем точності позиціонування. Відповідно до вимог до точності позиціонування має вибиратися обладнання для вимірювальної системи СДП. В цьому випадку можуть бути сформульовані вимоги як до окремих елементів, так і до всього складу навігаційного обладнання ББКНО РОВТ.

Системи, що входять до складу ББКНО, які 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.

Для розрахунку постійних сил, створюваних чинниками НС локально обмеженого простору акваторії ТПК, а саме: течії і вітру, як зазначалося вище, треба знати гідродинамічні та аеродинамічні характеристики корпусу РОВТ, які залежать від площ надводної та підводної частини корпусу, а також його маси. Площі надводної та підводної частини корпусу розраховуються за осадкою РОВТ з урахуванням його крену та диференту. Для проведення цих вимірювань РОВТ оснащуються наступними навігаційними системами та обладнанням:

1. Навігаційні системи для оцінки лінійних координат та швидкостей РОВТ: глобальні супутникові навігаційні системи; гідроакустичні системи;



інклінометричні системи; системи інерціальної навігації; радіолокаційні системи; лазерні системи.

2. Системи для оцінки курсу РОВТ: магнітні компаси; ГК.

3. Системи для оцінки кутової швидкості: гіроскопи (входять до складу систем інерціальної навігації).

4. Оцінки швидкості вітру: анемометри.

5. Оцінки напрямку вітру: флюгера.

6. Оцінки крену і диференту: кренометри та датчики вертикальної орієнтації.

7. Оцінка параметрів хитавиці: акселерометри; гіроскопи.

8. Навігаційні системи для спостереження за оточуючим локально обмеженим простором здійснення навігації: РЛС.

Нижче будуть розглянуті навігаційні системи для визначення параметрів руху РОВТ, вимірювання яких використовуються СДП.

## **5.2 Обґрунтування застосування супутникової навігаційної апаратури користувача DPS-110**

Всі РОВТ водотоннажністю понад 150 реєстрових тон повинні бути оснащені ПП для прийому і обробки сигналів від глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС).

Основними перевагами ГНСС над іншими радіонавігаційними системами (РНС) є глобальність та висока точність ВМ РОВТ незалежно від географічного району ТПК і гідрометеорологічних умов НС. Ці ключові переваги зумовили розповсюдження цього типу РНС та використання ГНСС для впевненого безпечного ВМ РОВТ при ДП. Тому ГНСС використовуються як для загальної навігації, так і для ДП, проте РОВТ зазвичай мають 2 системи приймачів: одна використовується для загальної навігації, а інша – для ДП. Це викликано не тільки

технічним аспектом комплексування супутникової РНС з обладнанням СДП, а і тим, що при ДП використовуються високоточні поточні параметри руху РОВТ.

ГНСС включає в себе наступні основні елементи. Систему штучних супутників Землі (ШСЗ), що знаходяться на заданих орбітах та мають на борту спеціальне радіотехнічне обладнання, яке дозволяє випромінювати чи ретранслювати радіосигнали. наземний комплекс, що забезпечує управління ШСЗ та їх бортовим обладнанням, систему визначення параметрів орбітального руху супутників і передачу їх на борт ШСЗ. Бортове обладнання для навігаційних вимірювань. Принцип дії ГНСС базується на використанні ШСЗ як опорних навігаційних точок з відомими координатами. ШСЗ супутникових РНС можуть рухатися по орбітам з висотою: порядком 1000 км – низькоорбітальні ГНСС; порядком 20 000 км – середньо орбітальні ГНСС (NAVSTAR і GLONASS ).

ГНСС з низькоорбітальними ШСЗ характеризуються відносно великою дискретністю в обсерваціях (порядком 16-18 хв), тому такі системи практично не можуть задовольняти вимоги у відношенні точності, добової роботи і зони охоплення, і за цієї причини в теперішній час не використовуються.

На відміну від низькоорбітальних систем, ГНСС із середньо орбітальними ШСЗ спроектовані таким чином, що в будь-якій точці поверхні Землі, практично в будь-який час можна приймати сигнал не менше чим з 4-х супутників. Це дозволяє отримувати постійну інформацію про місцезнаходження РОВТ з високою точністю.

В даний час найбільш поширеними є дві супутникові РНС - американська Global Positioning System (GPS) NAVSTAR і російська глобальна навігаційна супутникова система Global Navigation Satellite System (GLONASS).

ГНСС «NAVSTAR» була розроблена за єдиними вимогами трьох видів збройних сил Сполучених Штатів Америки (США): військово-морських сил, військово-повітряних сил, сухопутних військ. Загальне керівництво роботами по створенню системи, які було розпочато у 1973 році, здійснювало управління ракетно-космічними системами військово-повітряних сил США. Домовленості про взаємодії в процесі розробки системи підписані Бельгією, Канадою, Данією,

Францією, ФРГ, Італією, Нідерландами, Норвегією, Великобританією. В закордонній пресі та ряді офіційних документів Міністерства оборони США ГНСС NAVSTAR називають також Глобальною системою визначення місця - Global Positioning System або GPS.

ГНСС NAVSTAR здатна обслуговувати необмежену кількість рухомих і стаціонарних об'єктів, які знаходяться у будь-якій точці поверхні Землі, повітряного і біляземного космічного простору при будь-яких метеорологічних умовах і у будь-який час. Формат сигналів, випромінюваних системою, дозволяє безперервно вимірювати навігаційно-часові параметри споживачів з підвищеною і зниженою точністю. В останньому випадку система використовується для навігації літаків і гвинтокрилів цивільної авіації та РОВТ.

ГНСС NAVSTAR представляє собою середньо орбітальну квазидальномірну систему, що забезпечує визначення координат місця, швидкості зміни координат і поправок до шкали часу. На шести орбітах розташовано 24 ШСЗ по 4 в кожній орбітальній площині. Крім того, передбачається наявність трьох резервних ШСЗ. При такій структурі системи в зоні радіовидимості спостерігача постійно можуть бути одночасно видно від 4 до 8 ШСЗ.

Орбіти майже кругові висотою  $H = 20200$  км. Кут нахилу орбіт 55 градусів. При такому куті нахилу площини орбіт перетинаються під прямим кутом, утворюючи на поверхні Землі 8 рівних октантів. Це забезпечує наявність однакових зон точності по поверхні Землі. Період оберту ШСЗ дорівнює 12 годин. Радіус зони радіовидимості 76 градусів.

Система є квазидальномірною, так як використовується для визначення координат часових затримок між споживачем і ШСЗ вимірюється із систематичною похибкою внаслідок неузгодженості шкал часу, які формуються на борту споживача і ШСЗ. Для виключення цієї погрішності виміряні квазидальності до різних ШСЗ попарно віднімаються, в результаті чого формуються вимірювання.

Систему можуть безоплатно використовувати усі цивільні користувачі усіх країн. Але, першочергово, у відповідності з ідеологією функціонування системи, при розробці системи точність сигналів для цивільних споживачів була штучно занижена. Для цивільних споживачів застосовувалися одно частотні ПП, які працювали в грубому режимі C/A-code, а для військових споживачів – двох частотні ПП, які працюють у точному режимі. У мирний час оператор мережі гарантував похибку менше ніж 100 м при вимірюванні абсолютного місцеположення у 95% випадків. На практиці в останні роки величина похибки склала б 50-70 м. Мінімально досягнута похибка склала б приблизно 30 м.

Після 2000 року ці обмеження для цивільних споживачів були зняті, що дозволило зменшити похибку до величини менше ніж 15 м, а за рахунок використання диференційованої системи з'явилася реальна можливість зменшити похибку до 1-3 м і менше.

Орбітальне групування **GLONASS** складається з 24 супутників обслуговування, які знаходяться на орбітах оптимальним чином для того, щоб азимуті ефемерід убезпечували достатній геометричний фактор. Три орбітальні площини відповідно рознесені по довготі на кутову відстань 120 градусів. В кожній орбітальній площині знаходяться 8 ШСЗ. Діапазон частот 1240 – 1260 МГц, а очікувана точність ВМ порядку 30 м (P=95%). За рахунок використання диференціального режиму реально можна знизити помилку до 1м.

ГНСС Galileo – це сучасний проект супутникової системи навігації, який реалізують країни Європи. Ця європейська система створена з метою вирішення навігаційних задач для будь-яких рухомих об'єктів (зокрема РОВТ) з точністю ВМ до 1 метра. Між керівництвом проекту досягнуто домовленості стосовно сумісності Galileo з ГНСС NAVSTAR третього покоління [117].

У створенні системи приймають участь країни Євросоюзу, Китай, Ізраїль, Південна Корея, Україна та інші. У переговорах стосовно участі у проекті приймають участь й інші країни. Galileo введено в експлуатацію в 2013 році, коли на орбіту будуть виведені усі 30 запланованих супутників (27 операційних та 3 запасних). Космічний сегмент буде доповнений наземною інфраструктурою, яка

включає в себе 2 центри управління та глобальну мережу передаючих та приймаючих станцій. У відмінність від американської ГНСС NAVSTAR і російської GLONASS, система Galileo не контролюється ні державними, ні військовими установами.

Система Galileo в процесі свого функціонування планує використання 10 навігаційних сигналів з правою круговою поляризацією, які передаються в частотному діапазоні 1164-152 МГц. Крім того, усі супутники системи Galileo будуть спільно використовувати одну номінальну частоту, використовуючи техніку колективного доступу з кодовим розділенням каналів. Опірні системи координат в Galileo прийнята у відповідності з міжнародними цивільними стандартами. Але опірні системи часу і координат мають базуватися на геодезичних опірних станціях та еталонах часу, відмінних від тих, що використовуються в ГНСС NAVSTAR. Це гарантує незалежність обох систем та дозволяє одній системі діяти як резервне рішення для іншої системи.

Наземна опірна система координат Galileo на практиці має стати незалежним членом міжнародної системи опірних координат (ITRS). Створена система координат ґрунтується на координатах наземних станцій системи Galileo. ГНСС NAVSTAR використовує систему WGS-84. Різниця у координатах, отриманих у системах NAVSTAR та Galileo не повинна перевищувати декількох сантиметрів.

Головними перевагами ГНСС при застосуванні сигналів стандартної точності у штатному режимі цивільними споживачами є глобальність, висока точність і безперебійність навігаційних визначень, незалежність від часу доби і погодних умов гетерогенно збуреної акваторії ТПК, простота ВМ в стандартній системі координат, а також можливість підвищення точності і надійності навігаційних визначень за рахунок застосування диференціального режиму при створенні диференціальної системи ГНСС.

Зовнішні методи контролю цілісності систем можуть бути пов'язані з каналом передачі даних про цілісність. Для їх реалізації необхідна наявність мережі станцій контролю цілісності для забезпечення контролю працездатності

системи в реальному масштабі часу, регіонального обчислювального центру управління для обробки даних, отриманих від цієї мережі станцій і формування даних про цілісність і канал передачі їх споживачам. В цьому випадку канал цілісності ГНСС NAVSTAR і GLONASS буде широкосмужним і може використовуватися для навігаційних повідомлень, зокрема ІБМ.

Створення такого широкосмужного каналу цілісності у системі Міжнародної організації морського супутникового зв'язку (ІНМАРСАТ) у якості геостаціонарного регіонального доповнення ГНСС NAVSTAR і GLONASS дозволяє покращити доступність і точність за рахунок оперативної і надійної передачі споживачам інформації в складі навігаційних повідомлень цих сигналів.

За планом розвитку системи ІНМАРСАТ в частині її навігаційного використання на першому етапі створюється система регіонального доповнення ГНСС NAVSTAR і GLONASS на базі застосування геостаціонарних супутників ІНМАРСАТ при використанні широкосмугового каналу цілісності для поліпшення основних характеристик ГНСС NAVSTAR і GLONASS та розширення можливостей їх цивільного застосування РОБТ, а також іншими споживачами. За допомогою системи ІНМАРСАТ також відбувається передача ІБМ.

Перспективою розвитку може бути новий підхід створення цивільних ГНСС з використання регіонального геостаціонарного доповнення в межах системи ІНМАРСАТ, пов'язаних середньорбітальних супутників ГНСС NAVSTAR (GPS) і GLONASS з додатковою навігаційною апаратурою при максимальному використанні існуючої інфраструктури і мінімальних змінах навігаційних сигналів ГНСС NAVSTAR і GLONASS для забезпечення поєднання апаратури споживача.

Доопрацювання ІНМАРСАТ та ГНСС NAVSTAR другого покоління з ціллю отримання необхідних характеристик, повністю задовольняє міжнародні і національні вимоги України до навігаційного забезпечення, дозволить використовувати на РОБТ приймальну апаратуру ГНСС як основний навігаційний засіб ВМ РОБТ в локально обмеженому просторі акваторії ТПК, а

також засіб прийняття ІБМ. Інші засоби ВМ використовувати як дублюючі для забезпечення функціональної стійкості РОВТ в умовах ТПК.

Алгоритм оцінки навігаційних параметрів руху в ПІ в звичайному режимі полягає в наступному. ШСЗ передають далекомірний код - послідовність нулів і одиниць, який є періодичною функцією часу, відлік яких зв'язується з атомним годинником. Цей код поступає в ПІ, який генерує копію цього коду у відповідності зі своїми власними годинниками. По різниці фаз між цими сигналами визначається час затримки сигналу на поширення. Періодично ШСЗ передає також інформацію про свої параметри руху, які дозволяють розрахувати положення ШСЗ протягом цього періоду з високою точністю. Профіль оптичної щільності шарів атмосфери не є постійним. У зв'язку з цим з'являються помилки при оцінці координат. Крім того, помилки виникають через розкид показань годинників ШСЗ. Помилка годинників ПІ істотно більше, ніж помилка годинника будь-якого з ШСЗ.

Зв'язок координат ШСЗ і об'єкту з вимірним навігаційним параметром описується рівнянням:

$$\rho_i = \sqrt{(X_{si} - X_o)^2 + (Y_{si} - Y_o)^2 + (Z_{si} - Z_o)^2} + cm_{ti} + c\sigma_{ti}, \quad (5.2)$$

де  $\rho_i$  - вимірне значення дальності ШСЗ;

$X_{si}; Y_{si}; Z_{si}$  - координати ШСЗ відносно центра Землі;

$X_o; Y_o; Z_o$  - координати ПІ відносно Землі;

$cm_{ti}$  - похибки вимірювань за рахунок рефракції в іоносфері і тропосфері і випадкових флуктуацій сигналу;

$c\sigma_{ti}$  - систематична похибка вимірювання через розбіжності шкал часу на ШСЗ і в бортовому ПІ.

Система рівнянь вирішується ітеративними методами від зчисленого місця. У число шуканих невідомих, крім координат об'єкту, обов'язково включають і величину систематичного зсуву шкал часу на ШСЗ і в ПІ, тому мінімально

необхідна кількість ШСЗ для визначення місця об'єкту дорівнює чотирьом. Якщо на РОВТ з достатньою точністю відома висота приймальної антени над поверхнею референц-еліпсоїда, для визначення місця достатньо буде виміряти дальність трьох ШСЗ, проте на практиці такий підхід не використовується. Вимірюваної дальності за формулою відповідає ізоповерхня у вигляді сфери, центр якої збігається з положенням ШСЗ в просторі на момент вимірювань, а радіус дорівнює вимірюваному значенню дальності. Перетин сфери з поверхнею Землі дає навігаційну ізолінію у вигляді малого кола, центр якого збігається з положенням підсупутникової точки, а радіус пов'язаний з вимірюваною дальністю наступним виразом.

$$\begin{cases} \rho^2 = (H + R_3)^2 + R_3^2 - 2(H + R_3)R_3^2 \cos D, \\ \cos D = \frac{(H + R_3)^2 + R_3^2 - \rho^2}{2(H + R_3)R_3}, \\ D = \arccos\left(\frac{(H + R_3)^2 + R_3^2 - \rho^2}{2(H + R_3)R_3}\right), \end{cases} \quad (5.3)$$

де  $H$ - висота ШСЗ над поверхнею референц-еліпсоїда, м;

$R_3$ - радіус референц- еліпсоїда, м;

$\rho$  - модуль вимірюваної дальності.

Модуль вимірюваної дальності  $\rho$  повинен бути попередньо виражений в долях земного радіуса. Градієнт вимірюваної дальності  $g_\rho = 1$  і направлений від центру сфери; його горизонтальна і вертикальна складові будуть відповідно рівні:

$$\begin{cases} g_r = \cosh, \\ g_b = \sinh, \end{cases} \quad (5.4)$$

де  $h$  — кутова висота ШСЗ в момент вимірювань.



Таким чином, при постійному значенні помилки вимірювання навігаційного параметру точність визначення широти і довготи РОВТ, що залежить від горизонтальної складової градієнта, буде вище при малих (10-30°) кутових висотах ШСЗ. Отже, при мінімально необхідному числі ШСЗ найбільш оптимальним буде такий варіант, коли один ШСЗ знаходиться поблизу зеніту спостерігача, а три інших - на малих висотах з різницею азимутів близько 120 ° (маючи при цьому на увазі, що при висотах менше 10° виміри ненадійні).

Радіальна помилка визначення місця судна при цьому буде дорівнює:

$$M = \frac{m}{\cosh} \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A_i}}, \quad (5.5)$$

де  $m = \sqrt{m_\rho^2 + m_s^2}$  - повна помилка визначення відстані від РОВТ до ШСЗ в обраній системі координат, м;

$m_\rho$  - середня квадратична помилка виміру дальності ШСЗ, м;

$m_s$  - середня квадратична помилка визначення координат ШСЗ на момент вимірювань, м;

$\Delta A$  - різниця азимута, рад.

Величина геометричного фактору  $\frac{1}{\cosh} \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A_i}}$  показує залежність точності

обсервації від розташування супутників в просторі. Для дослідження впливу точносних характеристик ГНСС на точність рішення задачі ДП бажано знати тимчасову функцію кореляції помилок вимірювань. Очевидно, різні за походженням помилки матимуть різний інтервал кореляції. Безпека ДП в умовах погіршеної роботи ГНСС [76]. Убезпечення мореплавства шляхом контролю спостережуваності навігаційних параметрів викладено в[103]. Як показали експерименти, помилка в оцінці швидкості становить 0,1 - 0,2 м/с у ГНСС

NAVSTAR, а у GLONASS 0,05 м/с (точність виміру швидкості в системі GLONASS виявилася вище запланованої).

ГНСС NAVSTAR забезпечує необхідну точність навігації у відкритій акваторії ТПК, яка становить кілька десятків метрів. Для проведення ДП у локально обмеженому небезпечному просторі акваторії ТПК, під час переходів до портів і портових вод згідно з вимогами до супутникової радіонавігаційної системи, прийнятими в 1995 році на 19-ій асамблеї ІМО похибка місця РОВТ повинна бути менше 10 м з ймовірністю 0,95, або мати середнє квадратичне відхилення менш 5м. Безпосереднє використання сигналів від ГНСС NAVSTAR таку точність не забезпечує.

Найбільш раціональним шляхом усунення вказаних вище недоліків є застосування диференційного режиму роботи ГНСС (DGPS), що дозволяє досягнути точності, надійності і ефективності радіонавігаційного забезпечення у робочих зонах диференційних систем ГНСС. Для цієї цілі буде потрібне встановлення на березі контрольних ПП системи та передавачів для корекції вимірювань на РОВТ в реальному масштабі часу. DGPS виключає помилку, яку вносить вибіркова доступність, і помилки, викликані змінами в іоносфері, що дозволяє призвести до гарантованої точності приблизно 1 м.

Ідея диференційного методу корекції координат DGPS полягає в тому, що приймальна апаратура ГНСС встановлюється на опорних (контрольних) станціях, координати яких визначаються геодезичним методом і точність прив'язки в даній системі координат значно перевищує точність визначення місця по навігаційній системі.

Таким чином, приймаючи вимірювальну інформацію, на станції з'являється можливість враховувати диференційні поправки по координатам чи радіонавігаційним параметрам. Ці поправки практично постійні для будь-яких акваторій ТПК, які на однаковому віддаленні від опорної станції DGPS. Сигнали про поправку передаються на ПП РОВТ для уточнення координат у спеціальному диференційному блоці.

Канали зв'язку можуть бути наземними, наприклад, з використанням частотного діапазону радіомаяків, або через геостаціонарні супутники (ІНМАРСАТ). Найбільше поширення має мережа опорних станцій DGPS, розташованих на вже діючих радіомаяках (робочі канали морських радіомаяків знаходяться у діапазоні 283,5-325 кГц).

Точність визначення координат споживачів при користуванні сигналами ГНСС визначається погрішностями інформації, яка використовується для вирішення задач високоточної навігації і ДП. Вимірні параметри з періодичністю близько 1 хв передаються усім споживачам, які знаходяться поблизу опорної точки. Споживачі приймають сигнали системи і параметри, передані контрольним пунктом.

Таким чином, застосування ГНСС в стандартному і DGPS режимах дозволяє мати глобальну і високонадійну систему, єдину для всіх районів світу і яка не вимагає наявності на РОВТ спеціальної дублюючої радіонавігаційної апаратури. За своїми тактико-технічними даними з урахуванням виконання необхідних робіт з підвищення цілісності така система спроможна повністю задовольнити всі міжнародні і національні вимоги як для плавання у відкритому морі, так і для ДП в умовах близького розташування загрозливих навігаційних небезпек.

У разі установки на РОВТ двох (або більше) просторово рознесених супутникових антен з'являється можливість оцінки курсу РОВТ і швидкості його зміни. Великі перспективи для вирішення задач ДП за допомогою ГНСС існують для супутникових компасів, які для вимірювання курсу РОВТ оцінюють фазові затримки супутникових сигналів, прийнятих на просторово рознесених супутникових антенах. В цьому випадку точність вимірювання курсу складе кілька кутових хвилин, що істотно перевищує точність магнітних компасів і деяких ГК.

Система DPS-110 відомого виробника KONGSBERG має точність менше 1 м при використанні поправок. Об'єкт дисертаційного дослідження – ТБС, з обладнанням СДП другого класу, проекту UT 733-2 обладнано саме системою

DPS-110 KONGSBERG для потреб надійного ДП в умовах локально обмеженого простору ТПК для виконання технологічних робіт за символом класу. Побудуємо схему функціональної стійкості на прикладі DPS-110.

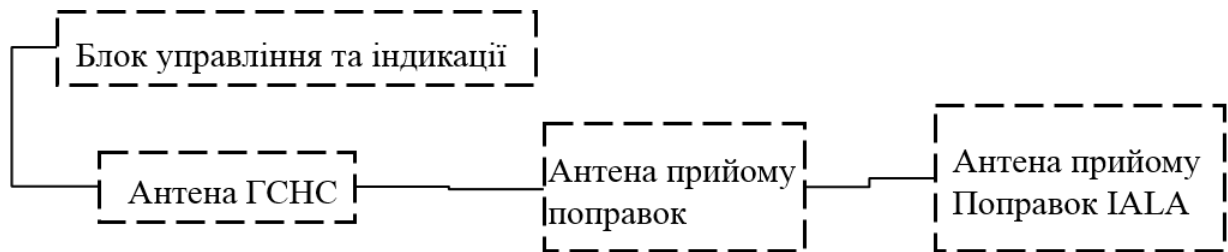


Рисунок 5.3 - Схема функціональної стійкості DPS-110.

Відповідне рівняння матиме наступний вигляд:

$$\tilde{P}_{DPS110} = \tilde{P}_{БУІ} \tilde{P}_{АГНСС} \tilde{P}_{АДП} \tilde{P}_{АІАІА}, \quad (5.6)$$

де  $\tilde{P}_{DPS110}$  - імовірність безпечного функціонування системи DPS-110;

$\tilde{P}_{БУІ}$  - імовірність безпечного функціонування блоку управління та ідентифікації;

- імовірність безпечного функціонування антени ГНСС;

- імовірність безпечного функціонування антени прийому диференційних поправок;

- імовірність безпечного функціонування антени прийому поправок IALA.

DPS-110 має можливість приймати диференційні поправки не тільки від стаціонарних станцій диференційних поправок IALA, а й від WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS, що значно розширює можливості системи. Проте це не приводить до ускладнення системи, хоча наявність додаткових двох антен без яких гарантоване точне вимірювання параметрів руху РОВТ неможливе, накладає певні обмеження, які відображено послідовним з'єднанням елементів.

### **5.3 Засоби комплексного динамічного позиціонування для підвищення рівня безпеки в акваторії техноприродного комплексу**

**Гідроакустичні навігаційні системи.** Використовуються різні варіанти гідроакустичних систем (ГАС) навігації з гідроакустичними маяками (ГМ) та гідроакустичними антенами (ГА), що відрізняються між собою як в частині розміщення ГМ і приймачів гідроакустичних сигналів на борту РОВТ - ГА, так і за характером інформаційного обміну між ГМ і приймачами їх випромінювання (ГА). Залежно від цього використовується той чи інший варіант обробки інформації для оцінки місця положення і параметрів руху РОВТ. Вибір системи визначається в значній мірі економічними причинами при забезпеченні необхідної точності вирішення навігаційних завдань в районі обслуговування даної системи ГМ, а також характером технологічної роботи, особливостями локально обмеженого простору ТПК, де РОВТ виконує ДП. У сучасних ГАС використовуються різні типи ГМ та ГА. ГМ за характером випромінювання розрізняють: з безперервним випромінюванням, з імпульсним випромінюванням; випромінюваний сигнал: простий гармонічний, або складно модульований.

По тому, чи потребує ГМ перед початком випромінювання прийняти запит в вигляді відповідного сигналу ГА або ні розрізняють: ГМ - пінгери з випромінюванням без запиту або ГМ - транспондери з випромінюванням сигналів тільки за запитом.

ГМ з довгою базою складається із просторово рознесених в межах локально обмеженого простору акваторії ТПК трьох (або більше) генераторів акустичних сигналів (ГМ), розташованих на дні моря. ГМ намагаються розмістити у вигляді основи піраміди з осьовою симетрією, в вершині якої ГА РОВТ. Для забезпечення хорошого геометричного фактору, що визначає залежність точності оцінки місця РОВТ від кутів надходження сигналів, основа вершини має збільшуватися з ростом глибини. Система ГМ з довгою базою передбачає вирішення завдання

визначення місця РОВТ від одного приймача сигналу з використанням різницево-далекомірною методу.

Однак, РОВТ, що виконують ДП з використанням ГАС, зазвичай оснащені двома горизонтально рознесеними ГА - приймачами гідроакустичних сигналів (або гідролокаторами), відстань між якими становить 10 і більше метрів. Наявність другої ГА відповідає вимогам резервування / дублювання елементів для гарантування функціональної стійкості вимірювальної системи СДП.

Крім того, при такій розстановці ГА можуть використовуватися будь-які варіанти ГМ, в тому числі найбільш поширених - пінгерів (не вимагають сигналу запиту) з імпульсним випромінюванням.

В цьому випадку позиціонування проводиться за методом вимірювання фазової затримки імпульсів (або оцінки фазового набігу - в безперервному випадку) на просторово рознесених гідрофонах при відомих координатах трьох маяків і курсу РОВТ, його координати визначаються однозначно.

Очевидно, при використанні більш складних систем ГМ, що дозволяють оцінити дальність між ними і приймачами гідроакустичних сигналів, точність визначення місця РОВТ може бути істотно підвищена. Незважаючи на високу вартість, найбільшого поширення отримали ГАС, що використовують багатоканальні імпульсні (гармонічні або лінійно-частотно-модульовані) маяки-відповідачі з частотно-рознесеним прийомом і відповіддю сигналів.

Це дозволяє обслуговувати одночасно кілька РОВТ в зоні дії ГМ. У цих системах досить економічно використовується енергія акумуляторних батарей маяків. Однак в цьому випадку має місце велика дискретність вимірювань в оцінці місця РОВТ, що ускладнює використання ГАС для автоматичного рішення задачі ДП РОВТ.

Частота несучої в відомих ГАС з довгою базою знаходиться в інтервалі від 6 кГц до 30 кГц для безперервного сигналу і від 6 кГц до 50 кГц для імпульсного. Очевидно, точність позиціонування РОВТ залежить від кількості маяків і їх геометричного фактору системи ГМ. У системах з гідроакустичними маяками-

відповідачами (транспондерами) і довгою базою використовується різницево-далекомірний метод оцінки координат.



Рисунок 5.4 - Визначення положення РОВТ при використанні довгої бази

У цьому випадку передбачається, що координати маяків, які знаходяться в локально обмеженому просторі акваторії ТПК, відомі, що надає змогу проводити вимір затримок між моментом випромінювання імпульсу гідролокатором РОВТ і моментами приходу відповідних імпульсів для однозначного визначення координат РОВТ.

ГАС з **короткою базою** передбачає позиціонування з використанням сигналу всього від одного ГМ, в той час, як РОВТ оснащений двома (або більшою кількістю) ГА, відстань між якими становить 7 - 10м, і генератором гідроакустичного сигналу для формування імпульсів запиту. Зазвичай, генератор просторово суміщений з одним з гідрофонів. Аналогічно системам з довгою базою і маяками-відповідачами в системах з короткою базою також проводиться вимірювання відстаней від гідрофонів до маяків з використанням різницево-далекомірною методу. Використовуючи інформацію про глибину моря конкретного локально обмеженого простору акваторії ТПК, а також маючи дані

стосовно курсу РОВТ, однозначно визначаються координати РОВТ щодо маяка-відповідача.

Точність позиціонування при такій системі залежить від азимутального кута надходження сигналу на гідрофони. Ця точність швидко знижується зі збільшенням кутів місця маяка щодо приймачів (більш 45 градусів відносно вертикалі). Вона також залежить від глибини акваторії локально обмеженого простору проведення ДП - величина помилок вимірювання дальності пропорційна глибині акваторії. Крім того, величина помилок пов'язана з точністю оцінки вертикального профілю швидкості звуку. Оцінка профілю швидкості звуку необхідна для перерахунку тимчасових затримок при поширенні акустичних сигналів в похилі дальності.

Використання декількох ГМ може істотно зменшити помилки вимірювання, обумовлені низькою точністю оцінки профілю швидкості звуку, дозволяє вирішувати задачу ДП РОВТ на малих кутах поширення в акваторії ТПК, а також задовольняє вимогу резервування / дублювання.

В системі з короткою базою RS-5 точність позиціонування складає 1% від глибини при куті місця менше 45 градусів, і 15% від глибини - при великих кутах. Робочий діапазон частот - 45кГц - 47кГц. В системі AMS-SP точність також становить 1% - 2% від глибини при куті місця менше 45 градусів.

У ГАС з **надкороткою базою**, як і в системах з короткою базою, позиціонування проводиться з використанням одного маяка - відповідача, але судно оснащується одним приймачем - ГА.

Для сканування простору використовуються також антенні решітки ГА, розташованих між собою так, що відстань між сусідніми гідрофонами становить близько половини довжини хвилі робочої смуги частот. В цьому випадку для забезпечення необхідної точності кутових вимірів (десяті частки градуса) слід використовувати багатоеlementні антенні решітки, що забезпечують високу роздільну здатність за кутом, або антенні системи з паралельним введенням інформації від елементів антенної решітки. У першому випадку оцінка кута проводиться по сигналам в суміжних променях і їх взаємної кореляційної функції.



У другому - вимірювання проводиться фазовим методом - по затримках між сигналами від різних елементів антенної решітки.

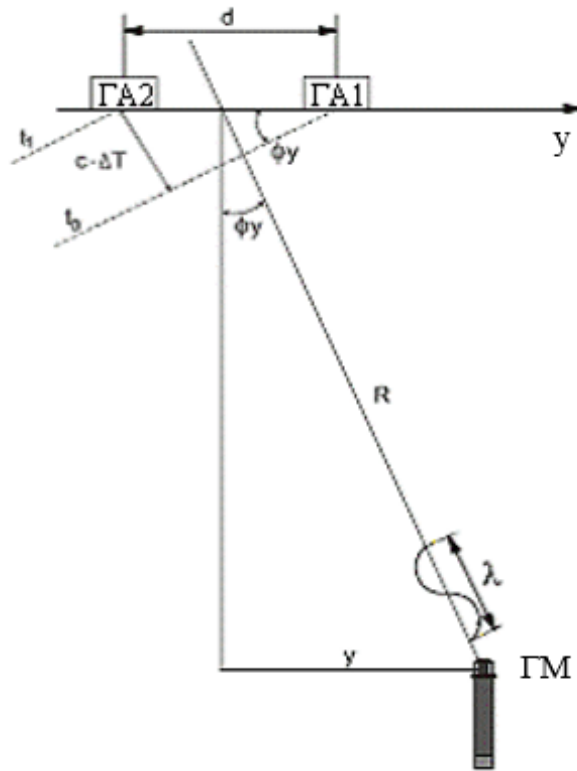


Рисунок 5.5 - Визначення відстаней при використанні надкороткої бази

Використовуючи інформацію про відстань між антенною решіткою і ГМ, про глибину локально обмеженого простору акваторії ТПК і курс РОВТ визначаються координати РОВТ відносно ГМ.

$$y = R \sin \varphi_y = R \frac{c \Delta T}{d}, \quad (5.7)$$

де  $R$ - відстань до гідроакустичного маяка, м;

$c$ - швидкість звуку в воді, м/с;

$\Delta T$ - тимчасова різниця приходу сигналів, с;

$d$ - відстань між приймачами гідрофону ( $d \leq \frac{\lambda}{2}$ ).

Таким чином визначаються координати РОВТ за наведеним вище алгебраїчним виразом. Для дослідження надкороткої бази застосуємо систему координат, яка є зв'язаною з корпусом РОВТ.

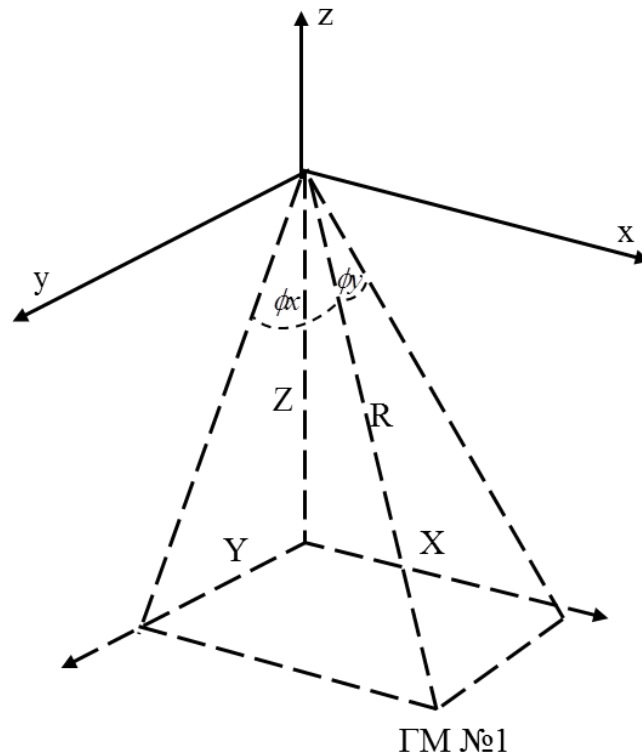


Рисунок 5.6 - Визначення позиції при використанні надкороткої бази

$$\begin{cases} X = R \sin \varphi_x, \\ Y = R \sin \varphi_y, \\ Z = R \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_y - \sin^2 \varphi_x}. \end{cases} \quad (5.8)$$

Точність позиціонування в системах із надкороткою базою та ж, що і в системах із короткою базою. В даний час саме ці системи отримали найбільш широке поширення: системи High Precision Acoustic Positioning - HiPAP 502, RS-7, RS-900, 904,906, HPR і т.д.

Слід зазначити, що системи гідроакустики схильні до впливу помилкових сигналів, що виникають через власний шум, перевідбиття акустичних сигналів,

НС. На сьогоднішній день немає чіткого уявлення про можливості усунення впливів цих шумів. А всі останні розробки не доступні широкому колу науковців.

Однак необхідно відзначити, що за умови досить точного калібрування гідроакустичних систем може бути отримана досить висока точність оцінки місця РОВТ навіть при роботі на великих глибинах. Так, наприклад, при роботі на глибині понад 1000 м система ГМ фірми Sonardyne забезпечувала точність до 1 м.

Побудуємо схему функціональної стійкості типової гідроакустичної системи на прикладі HiPAP 502 High Precision Acoustic Positioning System виробника KONGSBERG. Ця система також встановлена на борту об'єкта дисертаційного дослідження – ТБС проекту UT 733-2. Ця система використовує надкоротку базу. Тому для впевненої роботи достатньо одного ГМ. Збільшення кількості ГМ буде характеризувати резервування.

Основні характеристики HiPAP 502: точність оцінки відстані – 0,02 м. В цьому випадку поточна точність оцінки місцеположення можна розрахувати наступним чином:

$$M = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (5.9)$$

Частота - 21 – 31 kHz, мінімальна та максимальна глибина - 1-5000 м, оперативний кут - 200 градусів.

ГАС керується з поста керування, на який також виводиться гідроакустична інформація. Пост керування представляє собою комп'ютер, монітор та систему введення інформації. Відповідне рівняння для нього наступне:

$$\tilde{P}_{ПКН\text{HiPAP}502} = \tilde{P}_{ЕН\text{HiPAP}502} \tilde{P}_{КН\text{HiPAP}502} \tilde{P}_{ПВН\text{HiPAP}502}, \quad (5.10)$$

де  $\tilde{P}_{ПКН\text{HiPAP}502}$  - імовірність безпечного функціонування поста керування системи HiPAP 502;

$\tilde{P}_{E\text{HiRAP}502}$  - імовірність безпечного функціонування системи екрану;

$\tilde{P}_{K\text{HiRAP}502}$  - імовірність безпечного функціонування комп'ютера системи;

$\tilde{P}_{ПВ\text{HiRAP}502}$  - імовірність безпечного функціонування пристроїв введення.

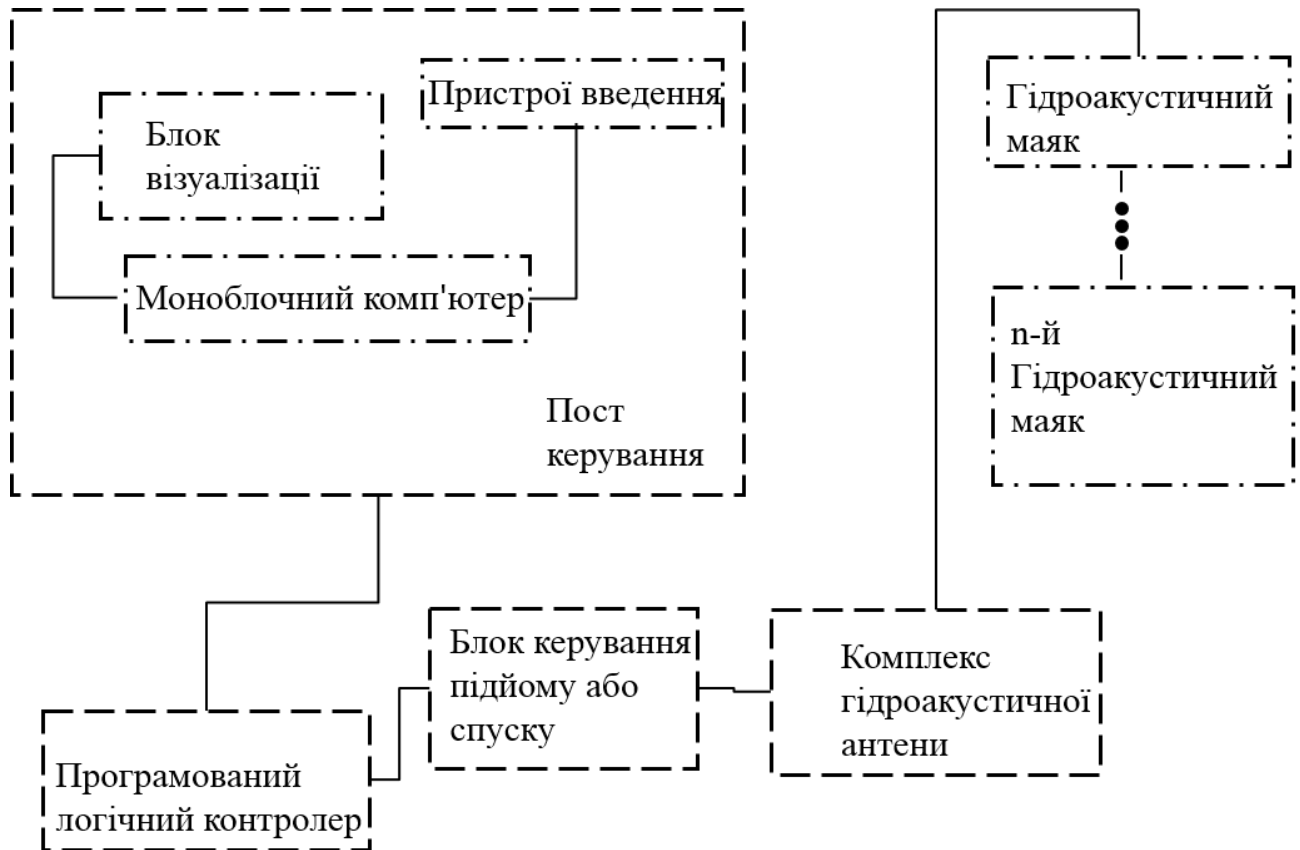


Рисунок 5.7 - Схема функціональної стійкості гідроакустичної системи на прикладі HiRAP 502 High Precision Acoustic Positioning System

Імовірність безпечного функціонування системи HiRAP 502 High Precision Acoustic Positioning System буде виглядати наступним чином:

$$\tilde{P}_{\text{HiRAP}502} = \tilde{P}_{\text{ПКHiRAP}502} \tilde{P}_{\text{ПЛКHiRAP}502} \tilde{P}_{\text{БКСПHiRAP}502} \tilde{P}_{\text{ГАНiRAP}502} \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \tilde{P}_{\text{ГМ}i}) \right), \quad (5.11)$$

де  $\tilde{P}_{\text{HiRAP}502}$  - імовірність безпечного функціонування системи HiRAP 502;

$\tilde{P}_{ПЛКНіРАР502}$  - імовірність безпечного функціонування програмованого логічного контролера;

$\tilde{P}_{БКСПНіРАР502}$  - імовірність безпечного функціонування блоку керування підйому або спуску;

$\tilde{P}_{ГАНіРАР502}$  - імовірність безпечного функціонування гідроакустичної антени;

$\tilde{P}_{ГМі}$  - імовірність безпечного функціонування і-го гідроакустичного маяка.

Програмований логічний контролер оброблює данні, що поступають від ГА і виводить їх на піст керування, а також передає їх обчислювальній системі СДП. Комплекс ГА складається з самої ГА, спеціальної рухомої штанги, на якій вона закріплена, кабелів зв'язку, механізму спуску та підйому, шлюзу, клінкетного клапана. Комплекс гідроакустичної антени розташовано в шахті корпусу РОВТ, яка має бути водонепроникною. Ця властивість забезпечує надійну роботу гідроакустичної системи і є одним з гарних прикладів взаємодії систем РОВТ, а також розкриває суть системного підходу до безпеки.

До складу ГАС РОВТ також входять ГМ, які є її невід'ємним і ключовим компонентом. Кількість ГМ визначається типом бази ГАС. Також необхідно враховувати і закладати резервні ГМ в залежності від типу, характеру та часу виконаної технологічної роботи. Конкретно для НіРАР 502 наявність n-го ГМ відображає резерв безпеки роботи системи.

**Інклінометричні навігаційні системи.** При вирішенні задачі виконання безпечного ДП РОВТ за допомогою ГАС істотні проблеми виникають через те, що можуть бути створені потужні акустичні перешкоди від різних джерел.

Для забезпечення їх працездатності в цих умовах потрібні спеціальні технічні рішення - вибір складної модуляції сигналів маяків, спеціальна форма діаграми направленості приймальних елементів і їх кріплення до корпусу РОВТ.

У зв'язку з цим, якщо дозволяють гідрологічні умови, при ДП використовують інклінометричні системи - системи визначення положення РОВТ

за допомогою туго натягнутих тросів. Визначення координат РОВТ проводиться шляхом вимірювання кутів нахилу туго натягнутого заякореного тросу відносно корпусу РОВТ, яке проводиться за допомогою інклінометра, і довжині витравленого троса, який має розмітку довжини.

Може використовуватися кілька таких ліній на РОВТ. Оцінка взаємного розташування якорів тросів зазвичай не проводиться – алгоритм оцінки положення РОВТ аналогічний алгоритму, що використовується для навігаційних вимірювань за допомогою ГАС.

Інклінометричні системи не можуть бути використані при вирішенні задачі утримання РОВТ на заданому курсі із заданою швидкістю (позиціонування РОВТ при проведенні днопоглиблювальних робіт, робіт з прокладання трубопроводу або кабелю і т.д.).

Обмеження на використання інклінометричних систем пов'язані з тим, що всі троси в тій чи іншій мірі розтягуються під дією сил, обумовлених власною вагою тросу, механізмом натягу тросу, а також течією. При цьому відносне збільшення довжини троса є постійним і вимагає періодичного калібрування.

Існуючі троси, що зберігають мале розтягнення в умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК в упродовж тривалого часу, мають високу вартість. Тому ці системи зазвичай використовують на малих глибинах (до 400 м) і при слабких течіях (до 1,5 м/с). В цьому випадку точність оцінки горизонтального зміщення знаходиться в межах 1% -1,5% від глибини акваторії реалізації ААУ, тобто порівнянна з точністю визначення положення РОВТ, що здійснюється за допомогою ГАС. Алгоритм обробки інформації ідентичний процедурі обробки інформації для ГАС із надкороткою базою.

Використання декількох якірних ліній пов'язане з істотними труднощами. Крім того, троси такої системи можуть плутатися між собою при виконанні ДП. Тому на практиці зазвичай використовують дані від інклінометров одного туго натягнутого тросу. А якщо використовується інша подібна система-відстань між ними має бути достатня, щоб уникнути сплутання тросів під час навігації в локально обмеженому просторі.

**Система інерціальної навігації** складається з блоку інерціальних датчиків, який зазвичай включає в себе три лінійних акселерометра і два (три) узгоджених ротора гіроскопів (гіровертикаль). Блок інерціальних датчиків вимірює лінійні прискорення і швидкості зміни кутів орієнтування за всіма трьома напрямками (осями координат). Ці вимірювання обробляються за алгоритмом інерційної навігації. Відповідно до цього алгоритму вирішуються ньютонівські рівняння руху блоку в зв'язаній системі РОВТ. За даними про кутові оцінки обчислюється швидкість обертання Землі для формування матриці напрямних косинусів, яка визначає перетворення з локальної системи РОВТ в загальну геодезичну. Дані інтегруються для отримання швидкостей і поточних координат для визначення параметрів вектору стану РОВТ при реалізації ААУ в умовах збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК.

При використанні цього алгоритму можуть бути отримані наступні оцінки:

- координати РОВТ в загальній геодезичній системі координат;
- широта, довгота, висота над референц-еліпсоїдом;
- тривимірний вектор швидкості РОВТ: в зв'язаній РОВТ системі координат;
- тривимірний вектор прискорення в зв'язаній і горизонтальній системах координат;
- тривимірна кутова швидкість в зв'язаній системі координат;
- тривимірне кутове прискорення в зв'язаній системі координат;
- крен, диферент і параметри хитавиці (середні і максимальні значення кутових амплітуд і період).

Перевага системи інерціальної навігації полягає в тому, що вона дозволяє отримувати результати з високою частотою і в широкому динамічному діапазоні. Алгоритм інерціальної навігації не накладає жодних обмежень на динаміку руху РОВТ. Оцінки, отримані за допомогою цієї системи, мають високу динамічну точність – їх спектр зосереджений в області низьких частот. Головним недоліком інерціальних систем є накопичення помилок із часом. Цей недолік усувається при комплексуванні вимірювань від інерціальних систем з вимірами від інших

навігаційних систем, які вимірюють положення відносно деяких орієнтирів, тобто систем з ГМ або інклінометричної системи.

Ефективним є комплексування з вимірами ГНСС. Особливо ефективним при введенні диференційних поправок. Оцінки навігаційних параметрів руху РОВТ, отримані в результаті спільної обробки вимірювань від цих систем, мають високу точність і можуть використовуватися при виробленні алгоритмів ААУ для завдань реалізації ДП в локально обмеженому просторі ТПК для виконання технологічної роботи. Така система дозволяє також обчислювати оцінки навігаційних параметрів з високою частотою і точністю навіть в умовах короткочасного зникнення сигналу локальної ГНСС. Крім того, з'являється можливість визначати положення, використовуючи фазовий метод, так як при такому комплексуванні усувається неоднозначність фазового набігу для просторово рознесених приймачів ГНСС.

Важливо, що система інерціальної навігації дозволяє отримати оцінки всіх навігаційних параметрів, які використовуються СДП при розрахунку ААУ ДП РОВТ в локально обмеженому просторі акваторії ТПК.

На практиці в СДП інерціальна система навігації являється резервом для ВМ РОВТ в випадках, коли всі інші системи ВМ відмовлять. Таким чином на короткий час є можливість достатньо безпечно і ефективно виконувати ДП для того, щоб терміново закінчити виконання технологічної роботи і покинути зону підвищеного ризику здійснення навігації. Також параметри ВМ РОВТ системи інерціальної навігації можуть використовуватись для самоконтролю СДП.

**Лазерні та радіо системи** ВМ РОВТ використовуються при ДП, як важливі компоненти технічної складової високоточної навігації. Їх функціональну стійкість пропонується визначати імовірнісними показниками. Практичною особливістю гарантування функціональної стійкості є критерій застосування систем для визначення місцеположення, які базуються на різних гетерогенних фізичних принципах. В той же час компоновка обладнання лазерних та радіосистем є схожою.



Побудуємо схеми функціональної стійкості типового комплексу ВМ РОВТ на прикладі проекту UT 733-2, який устатковано лазерною системою визначення місця CyScan від Guidance Navigation Limited та радіосистемою RADius 1000.

Максимальна дальність – до 500 м, максимальна дальність роботи в режимі ДП – 250 м, точність визначення дистанції – 0,5% від дистанції, вертикальний кут – 16 градусів, точність визначення азимуту – 0,5 градуса, горизонтальний кут – 0,23 градуса, компенсація качки – до 20 градусів незалежно від місця монтажу, робочі температури – від -10 градусів за Цельсієм С до +55 градусів за Цельсієм.

Радіомаяк RADius 700X надає можливості працювати системі з наступними характеристиками. Максимальна дальність – до 1000 м, максимальна дальність роботи в режимі ДП – 550 м, точність визначення дистанції -  $\geq 1$  м, точність визначення азимуту – 0,5 градуса, вертикальний кут – 45 градусів, горизонтальний кут – 45 градусів, робочі температури – від -20 градусів за Цельсієм до +55 градусів за Цельсієм. Відповідне рівняння виглядає наступним чином:

$$\tilde{P}_{RADius} = \tilde{P}_{ПКRADius} \tilde{P}_{БЖRADius} \tilde{P}_{1002} \prod_{i=1}^n \tilde{P}_{700.Xi}, \quad (5.12)$$

де  $\tilde{P}_{ПКRADius}$  - імовірність безпечного функціонування поста керування;

$\tilde{P}_{БЖRADius}$  - імовірність безпечного функціонування блоку живлення;

$\tilde{P}_{1002}$  - імовірність безпечного функціонування прийомопередавача моделі 1002;

$\tilde{P}_{700.Xi}$  - імовірність безпечного функціонування і-го радіомаяка моделі 700X.

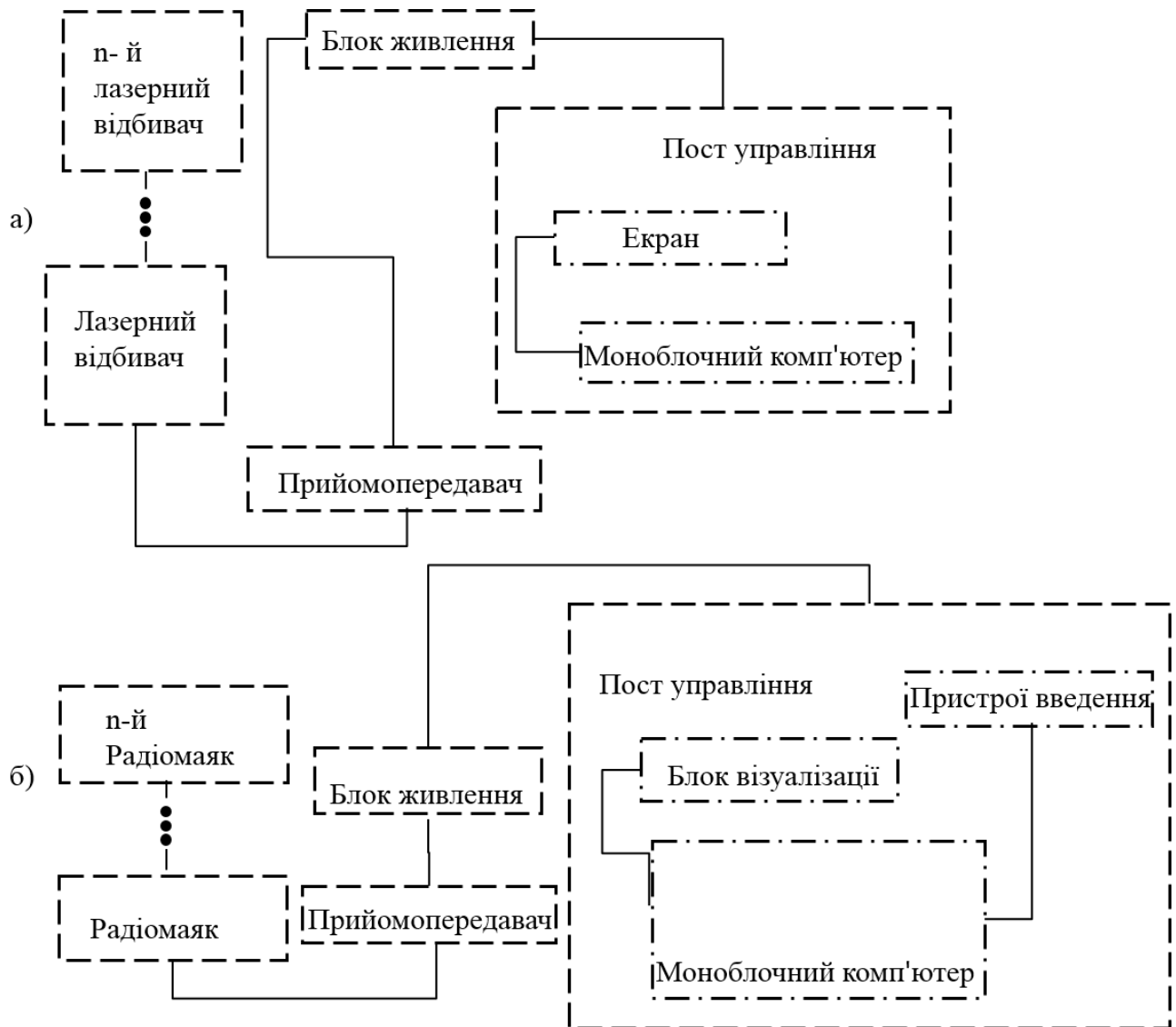


Рисунок 5.8 - Схема функціональної стійкості:

а) – лазерної системи на прикладі CyScan; б) - радіосистеми на прикладі RADIUS 1002 (з радіомаяком RADIUS 700X )

Практично в лазерних системах і в радіо системах використовується один відбивач (або радіомаяк відповідно). Цього достатньо для гарантованого якісного визначення ВМ РОВТ в локально обмеженому просторі для потреб ДП та виконання технологічної роботи. Збільшення відбивачів (радіомаяків) підвищує точність та зумовлює запас функціональної стійкості ТС на випадок відмови компонента.

#### 5.4 Радіоелектронні та інформаційно-навігаційні засоби динамічного програмування безпеки полієргатичного управління

**Використання лагів та ехолотів** найбільш поширене при виконанні рейсового завдання переходу від порту до локально обмеженого простору виконання технологічної роботи. Навігаційні ехолоти зазвичай мають дві робочі частоти – низьку (20 - 50кГц) для вимірювання великих глибин (від 500 і більше метрів) і високу (100 200кГц) для менших глибин [189]. Помилки вимірювання на малих глибинах не перевищують 0,2 - 0,3 м. На великих глибинах точність відносного вимірювання глибини становить від 0,5% до 2% на низьких частотах.

Промірні ехолоти використовуються для проведення гідрографічних робіт і мають випадкову компоненту в помилці вимірювання в межах декількох сантиметрів. Відзначимо, що абсолютна помилка вимірювання глибини в цьому випадку визначається неточною інформацією про профіль швидкості звуку. При ДП з використанням гідроакустичної системи або інклінометричної системи проводиться оцінка горизонтальних складових лінійних координат і швидкостей по нахиленим відстаням. При наявності оцінок глибини точність оцінок горизонтальних складових зміщення може бути збільшена.

Навігаційні лаги забезпечують вимір швидкості РОВТ і числення пройденого шляху. Швартові лаги служать для вимірювання невеликих значень поздовжньої і поперечної швидкості РОВТ в районах з малими глибинами. Комбіновані лаги дозволяють вирішувати обидві ці задачі.

Залежно від принципу дії розрізняють доплерівські і кореляційні гідроакустичні лаги (ГЛ). У доплерівських ГЛ гідролокатор формує випромінювання у вигляді двох пар променів, спрямованих під деяким кутом до горизонту. У горизонтальній площині промені кожної пари направлені в протилежні сторони - перша пара променів направлена уздовж РОВТ і використовується для вимірювання поздовжньої швидкості РОВТ, друга - поперек і служить для вимірювання поперечної швидкості РОВТ. Принцип дії базується на ефекті Доплера.

Висока точність може бути забезпечена при використанні високочастотних сигналів випромінювання з частотним рознесенням для різних пар променів, діаграма направленості гідролокатора повинна складатися з вузьких (в обох площинах) променів і не мати великих бічних пелюсток. Це питання докладно було дослідження для радіолокаційних станцій в роботах [81,89,100], проте для ГЛ питання придушення бокових пелюсток є аналогічним. Вимога високої точності вимірювань пред'являється до швартових ГЛ. У таких ГЛ зазвичай використовується безперервне випромінювання. У навігаційних ГЛ з економічних причин зазвичай використовують імпульсне випромінювання. Вони мають суттєво меншу точність. В даний час набули поширення комбіновані ГЛ, що мають можливість вирішувати обидва зазначені завдання.

Існують доплерівські ГЛ, що дозволяють виробляти високоточні вимірювання на великих глибинах. Наприклад, PADS (компанія «Сперрі» США) в варіанті навігаційної системи працює на глибинах від 30 до 6000 метрів. У варіанті системи позиціонування - на глибинах від 30 до 1800м, вимірює швидкість до 15 вуз з помилкою числення шляху 0,2%. MX -610D («Магнавокс» США) вимірює подовжню і поперечну швидкості до 20 вуз з точністю до 0,2% від швидкості і працює на глибинах від 15 до 500м.

В кореляційних ГЛ уздовж корпусу РОВТ розміщуються дві однакові приймально-випромінювальні антени, що працюють як високоточні (промірні) ехолоти. По мірі руху РОВТ безперервно здійснюється прийом сигналу, відбитого від дна локально обмеженого простору акваторії ТПК, і визначаються функції розподілу глибин в точках траєкторії руху РОВТ. Тимчасові функції розподілу глибин на рознесених антенах подібні і зміщені за часом на наступну величину:

$$T = \frac{R_{AH}}{V_{POBT}}, \quad (5.13)$$

де  $R_{AH}$  – відстань між антенами, м;

$V_{POBT}$  - швидкість POBT, м/с.

Таким чином, якщо оцінити тимчасову затримку між сигналами з виходів антен, то можна визначити швидкість POBT. Кореляційні ГЛ мають певні переваги перед доплерівськими. Точність швидкості вимірної кореляційним ГЛ не залежить від профілю швидкості звуку, який важко виміряти з високою точністю.

Під час хитавиці точність доплерівських ГЛ істотно знижується (якщо антени не стабілізувати), в той час як вплив хитавиці (не занадто великий) на оцінки кореляційних впливає слабо.

Кореляційний ГЛ МХ-810 («Магнавокс» США) дозволяє визначити швидкість до 30 вуз з точністю до 0,1 - 0,2 вуз (0,05-0,1 м.с), а сучасні пристрої для військових цілей та швидкісних POBT здатні визначити швидкість в діапазоні до 50 вуз із помилкою порядку 0,2% на глибинах до 6000 м.

**Радіолокаційна станція (РЛС)** кругового або секторного (в такому випадку використовують комплекс з декількох РЛС) огляду застосовується для знаходження об'єктів, вимірювання їх просторових координат, а також параметрів вектору стану. Також за допомогою РЛС можна спостерігати за метеообстановкою. Виявляти такі небезпечні для ДП погодні умови як шквал. Проте РЛС не комплексуються з СДП і ОСДП (той, що не на вахті безпосередньо за постом ДП) здійснює огляд оточуючого середовища самостійно виявляючи потенційні загрози, що виникають в локально обмеженому просторі від різних джерел.

Поява сигналів на РЛС каже про наявність фізичного об'єкту в акваторії ТПК. Засіб автоматизованої радіолокаційної прокладки (ЗАРП) допомагає встановити ступень небезпеки при динаміці руху та прийняти рішення згідно з МППЗС-72. На POBT використовують РЛС, які працюють на частотах 8-12 ГГц, довжина хвилі 2,5-3,5 см (X-band) та 2-4 ГГц, довжина хвилі 7,5-15 см (S-band).

Дальність до об'єкта визначається імпульсним методом. Пристрій для формування імпульсів запуску виробляє імпульси з заданою частотою посилок. Відповідно до вимог глави 5 «Навігаційна безпека», яка є частиною Міжнародної

конвенції з охорони людського життя на морі (СОЛАС-74), на РОВТ має бути встановлено апаратуру **автоматизованої ідентифікаційної системи (АІС)**. Слід зазначити, що АІС як засіб радіозв'язку є також об'єктом в загальній системі забезпечення охорони у відповідності з Міжнародним кодексом з охорони суден і портових засобів.

Відповідно до Правила 19 СОЛАС АІС повинна: автоматично надавати відповідним чином обладнаним береговим станціям, іншим морським і повітряним рухомим об'єктам інформацію, включаючи ідентифікацію РОВТ, тип, координати, курс, швидкість, експлуатаційний стан РОВТ та іншу пов'язану з безпекою інформацію; автоматично приймати таку інформацію від так само обладнаних РОВТ; вести супровід спостережуваних РОВТ; обмінюватися даними з береговими засобами.

АІС повинна сприяти підвищенню безпеки мореплавання, підвищенню ефективності судноводіння та експлуатації систем регулювання рухом, а також захисту навколишнього середовища. Зазначені спільні завдання вирішуються шляхом використання АІС як: засіб попередження зіткнень між РОВТ; джерело отримання компетентними береговими службами інформації про стан РОВТ, вантаж, порт заходу; інструмент для управління рухом РОВТ, а також як засіб спостереження за РОВТ; інструмент при проведенні пошуково-рятувальних операцій.

Станції АІС обмінюються даними між собою за замовчуванням на двох каналах ультракоротких хвиль (УКХ) з тимчасовим поділом сигналів Time Division Multiple Access : 87В (161,975 МГц) і 88В (162,025 МГц). Станції АІС використовують Time Division Multiple Access канали на однакових частотах з поділом передач за часом. Як джерела єдиного часу станції АІС використовують зовнішній і внутрішній приймачі ГНСС.

В регіонах, де здійснюється моніторинг береговими станціями, можуть використовуватися інші частотні канали АІС, якщо канали 87В і 88В зайняті іншими службами. В одночасному режимі крім двох каналів Time Division

Multiple Access, станція АІС функціонує на каналі УКХ ЦВВ (канал 70). З цього каналу проводиться призначення робочих каналів АІС з боку берегової станції.

Станції АІС встановлюються на рухомих і стаціонарних об'єктах. До рухомих станцій відносяться: станції РОВТ класу А; станції РОВТ класу В; повітряні станції на пошуково-рятувальних РОВТ; станції, що встановлюються на навігаційних об'єктах; портативні станції, що використовуються лоцманами на борту РОВТ. До стаціонарних станцій відносяться: базові станції; репітерні станції.

Станції класу А повністю відповідають всім міжнародним вимогам та повинні встановлюватися на конвенційних РОВТ відповідно до вимог Глави 5 МК СОЛАС. Станції класу В не мають мінімального дисплея для відображення інформації, не вимагають введення рейсової інформації. Такі станції призначені для установки на неконвенційних РОВТ (прогулянкові катери, яхти, риболовецькі РОВТ)

Станції АІС можуть встановлюватися на повітряних суднах для пошуково-рятувальних операцій. Станції, що встановлюються на навігаційних об'єктах виконують роль радіомаяка і передають спеціальне повідомлення, що містить власний ідентифікатор, тип, ознаку точності, місце розташування, вид навігаційного датчика.

До базових станцій відносять АІС, що встановлюються на берегових станціях, що беруть участь в системі регулювання рухом. Базові станції забезпечують моніторинг, тобто спостереження РОВТ в визначеній прибережній зоні, можуть передавати спеціальні бінарні повідомлення, що містять інформацію про РОВТ, які не обладнані АІС, але супроводжуються береговими РЛС, а також виконують багато інших функцій.

Для розширення зони дії берегової базової станції, наприклад для моніторингу акваторії, прихованої береговим рельєфом, використовують ретранслятори - репітерні станції.

На РОВТ з динамічними принципами позиціонування застосовують апаратуру АІС класу А. До складу основного блоку станції АІС з класом А

входять приймачі каналів з декодерами Time Division Multiple Access та з можливістю перемикання на регіональні канали з фіксованими частотами і декодер цифрового вибіркового виклику (ЦВВ) (який працює виключно на каналі 70); антенний перемикач прийом / передача; антена АІС УКХ; антена ГНСС; вбудований приймач ГНСС; декодери сигналів ЦВВ і Time Division Multiple Access; мікропроцесорний контролер, керуючий роботою апаратури; вбудований пристрій інтегрального контролю працездатності.

З системою АІС зазвичай комплексуються РЛС та електронна картографічна та навігаційно-інформаційна система (ЕКНІС), які надають ОСДП (вахтовому помічнику) важливу інформацію стосовно безпеки навігації в локально обмеженому просторі.

Вбудований приймач ГНСС забезпечує процес дискретної синхронізації апаратури АІС про місцезнаходження РОВТ. Основним джерелом інформації про місцезнаходження РОВТ в АІС є зовнішній приймач ГНСС, який використовується в навігаційних цілях і сполучається з системою АІС.

Таким чином, ґрунтуючись на результатах опису вище, відобразимо розглянуті вище системи і побудуємо схему функціональної стійкості навігаційно-інформаційної системи. Візуалізація поточної ситуації здійснення навігації на переході, або під час ДП в конкретних умовах локально обмеженого простору здійснюється **електронною картографічною та навігаційно-інформаційною системою** (ЕКНІС), яка є законним еквівалентом традиційних паперових карт для плавання.

Останнім часом в українській морській термінології можна прослідкувати послідовне витиснення іноземних скорочень. Прикладом цього є ЕКНІС, яке поступово замінило відому аббревіатуру ECDIS (Electronic Chart Display and Information System). Електронна навігаційна карта завдяки ЕКНІС інтегрує усю поточну інформацію, що надається апаратурою ГНСС, АІС, бортовими приладами. ECDIS може відображати контури РОВТ, що важливо при ДП в локально обмеженому просторі з наявністю навігаційних загроз на близькій відстані, а також при реалізації процесів високоточної навігації у вузькому



фарватері, заході в шлюз або порт. ЕКНІС працюють з електронними навігаційними картами на яких відображено усі об'єкти, які необхідні для безпечної навігації.

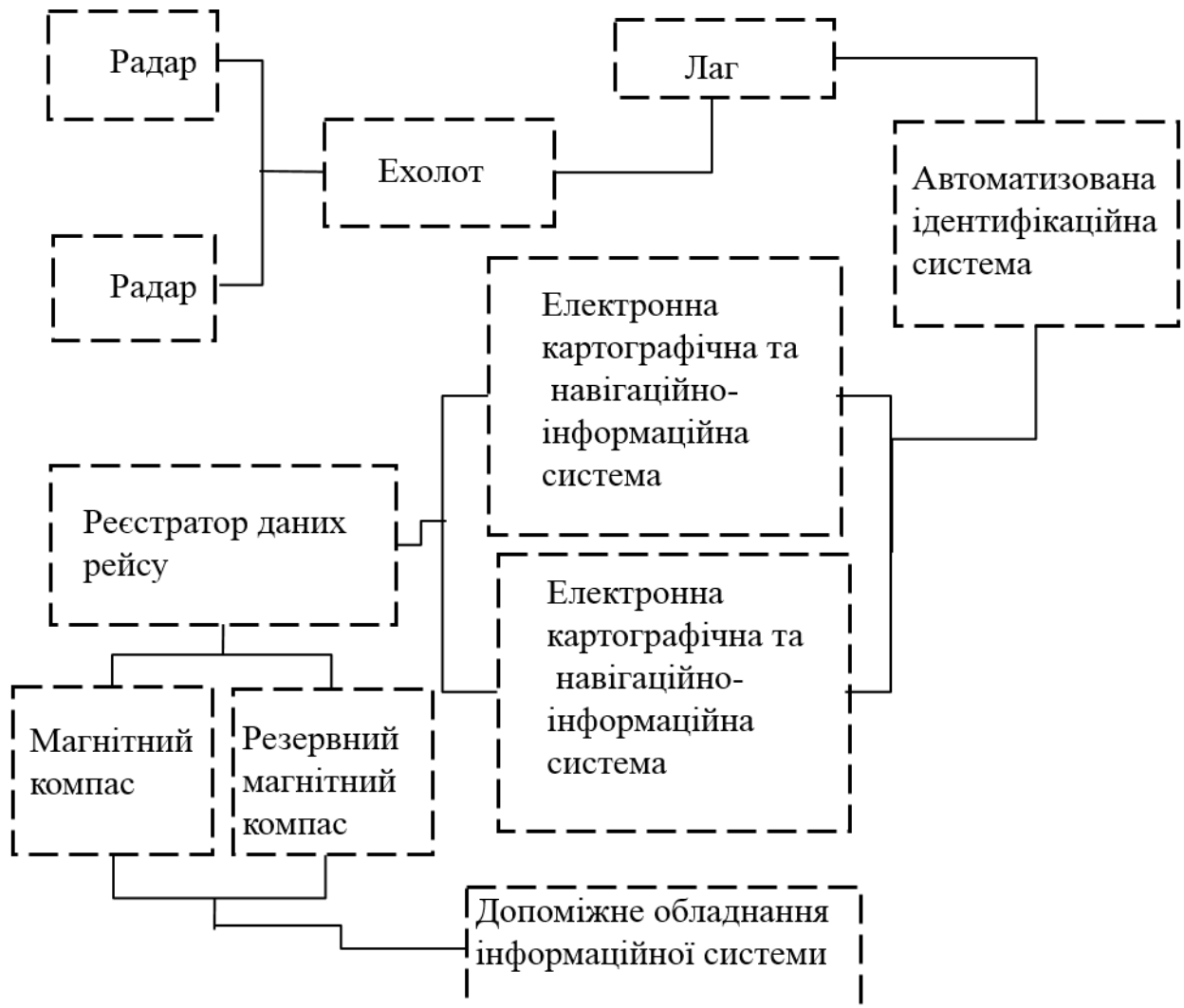


Рисунок 5.9 - Схема функціональної стійкості навігаційно-інформаційної системи

Мінімальні експлуатаційні вимоги до ЕКНІС встановлено КТ на основі міжнародних стандартів МГО до змісту електронних навігаційних карт, умовних позначень на них, застосовуваних кольорів, екранів дисплеїв, та ін.

Інформаційні дані векторних карт зберігаються в пам'яті у вигляді послідовності масивів даних по кожному з об'єктів акваторії. За цими записами за

допомогою спеціальної програми ЕКНІС сама будує зображення карти на екрані дисплея.

На КТ покладено відповідальність щодо тестування ЕКНІС на предмет відповідності стандартам (зокрема стандартам МГО). Навігаційно-інформаційні системи, що пройшли перевірку на відповідність вимогам, отримують від КТ спеціальний класовий сертифікат і можуть після цього законно називатися ЕКНІС.

Як було зазначено вище, на законних підставах на РОВТ можуть бути відсутні фоліо паперових карт і використано лише електронну прокладку без її дублювання графічним способом з застосуванням паперових карт, коли ЕКНІС сертифікована КТ. А також коли ЕКНІС забезпечена схваленою резервною системою, яка має достатні резерви для гарантування безпечного судноводіння на протязі виконання рейсового завдання в разі виходу ЕКНІС з ладу. Резервна система може мати обмежені функції ЕКНІС. Між основною і резервною системами для гарантування функціональної стійкості комплексу повинна бути можливість обміну потоками інформації. Як мінімум, в резервну систему від основної слід забезпечити надання інформації щодо результатів попередньої прокладки, а сама система мусить мати останні дані коректури. При прокладанні використовуються тільки ЕКНІС-карти. ЕКНІС-карти відкориговані на дату використання.

У разі невиконання будь-якої з цих вимог на РОВТ має бути відповідне до акваторії ТПК фоліо паперових карт, які відкориговано відповідно з СУБ. При невідповідності лише другій вимозі можливо використовувати тільки електронну прокладку (без відповідного дублювання її графічною прокладкою на підібраних паперових картах).

Можна виділити наступні основні аспекти, що забезпечують безпеку реалізації процесу високоточної навігації при використанні ЕКНІС. Це використання точних, корегованих відповідно до СУБ та стандартів МГО даних, відповідна кваліфікація ОСДП згідно з МК ПДМНВ для забезпечення знання можливостей і обмежень всієї технічної системи ЕКНІС. Це визначення бази

знань - яку інформацію необхідно використовувати при вирішенні конкретних поточних завдань на просторово-часовому проміжку різних режимів експлуатації РОВТ.

В даний час ІМО, МГО і ВМО ведуть велику роботу по доповненню переліку програмних об'єктів ЕКНІС об'єктами і символами для відображення: льодового покриття, приливних рівнів, течій, океанографічних явищ, погоди, даних пошуково-рятувальних операцій та іншої ІБМ.

При цьому однією з основних сторін ЕКНІС повинна бути можливість зручного цілеспрямованого відбору інформації за стандартами МГО для вирішення завдань в конкретній ситуації.

Міжнародна електротехнічна комісія відповідно до вимог МК СОЛАС [179], враховуючи Резолюцію ІМО А.861 (20), розробила і прийняла Міжнародний стандарт МЕК 61996, яким встановлює мінімальні вимоги до робочих характеристик, задає технічні характеристики і методи випробування, а також необхідні результати випробувань для системи **реєстратора даних рейсу** (РДР).

Вимоги до функціональної стійкості РДР дуже жорсткі. Капсула РДР має бути спроектована таким чином, щоб забезпечити збереження даних, що в ній знаходяться після впливу чинників НС та різних гетерогенних факторів. Таких як ударне навантаження, проникнення, пожежа з температурним режимом у 260 градусів за Цельсієм протягом 10 годин, при температурному режимі 1000 градусів за Цельсієм протягом не менш ніж 1 години. Критерій до тиску РДР полягає в зануренні до досягнення 60 МПа, що еквівалентно зануренню в морську воду (з щільністю 1024 кілограми на метр кубічний) до глибини 6000 м. Перебування на глибині 3 м протягом 30 діб.

Згідно з нормативних документів РДР фіксує 15 основних параметрів (стандарт МЕК 61996): дата і час - щодо Всесвітнього скоординованого часу, який визначається від зовнішнього (невстановленого на РОВТ) джерела, або від вбудованого в реєстратор годинника. Детальність реконструкції історії інциденту повинна бути не гірше, ніж 1 секунда; широта і довгота місця розташування

РОВТ і використовується система координат - широта і довгота, а також система координат, яка використовується в технічних засобах навігації, режим роботи цих приладів. Роздільна здатність при записі координат до 0,0001 хв. дуги; швидкість відносно води та / або ґрунту із зазначенням способу вимірювання. Дані повинні записуватися з роздільною здатністю до 0,1 вузла; курс (істинний / магнітний). Курс РОВТ згідно з показаннями ГК або магнітного компаса повинен записуватися з роздільною здатністю до 0,10 град; переговори, команди і звукові сигнали на ходовому містку. Звукові сигнали на всіх робочих постах, а також, по можливості, оголошення через командний трансляційний пристрій; переговори з іншими РОВТ. Переговори з використанням радіообладнання УКХ діапазону записуються безперервно; радіолокаційна та допоміжна навігаційна інформація, яка відображається на індикаторі радіолокаційної станції. Метод реєстрації повинен забезпечувати можливість відтворення зображення в тому вигляді, в якому воно було в момент запису, з урахуванням можливих перешкод в відтворенні інформації, пов'язаних із стисненням інформації при записі; глибина під кілем РОВТ із зазначенням встановленої шкали вимірювання і режиму роботи ехолота; сигнали САПС - записується стан всіх сигналів тривоги, що надходять на ходовий місток. Записуються також параметри цих сигналів там, де це можливо; команди, що надходять в рульову машину, і їх виконання, а також режим роботи системи управління курсом і траєкторією. Записуються кути перекладки керма (або кути азимутальних рушіїв) як для команди, так і для її виконання; команди, що надходять в машинне відділення, і їх виконання, а також режим роботи ПП (при їх наявності). Сюди відносяться положення машинних телеграфів або органів прямого управління двигуном, ГФК або ГРК, включаючи число оборотів в хвилину валу, і свідчення зворотного зв'язку. Сюди також відноситься стан носового і кормового ПП, якщо такі передбачені; стан забортних отворів в корпусі РОВТ. Масив даних РДР включає всю обов'язкову інформацію, що надходить на ходовий місток, про статус забортних отворів; стан водонепроникних і протипожежних дверей. Масив даних РДР також включає всю обов'язкову інформацію, що надходить на ходовий місток, про статус дверей;

прискорення і напруги в корпусі РОВТ. Якщо РОВТ обладнане приладами контролю напруги в корпусі і реакції на зовнішній вплив, то всі елементи даних, які були попередньо відібрані оператором, повинні реєструватися; швидкість і напрямок вітру. РОВТ з динамічними принципами позиціонування обладнані відповідними датчиками для реєстрації параметрів, які також записуються РДР. Реєструються відносні, або справжні напрямки і швидкість вітру.

Враховуючи те, що дуже мало інформації відносно структури РДР, розглянемо цю систему детальніше та побудуємо схему функціональної стійкості.

РДР складається з Основного блоку. Система повністю пасивна і записує всі дані, що надходять в основний блок. Вона не впливає на інші системи і на надходження інших даних. Реєстратор постійно зберігає дані за відповідний проміжок часу, стираючи застарілі дані і замінюючи їх оновленими.

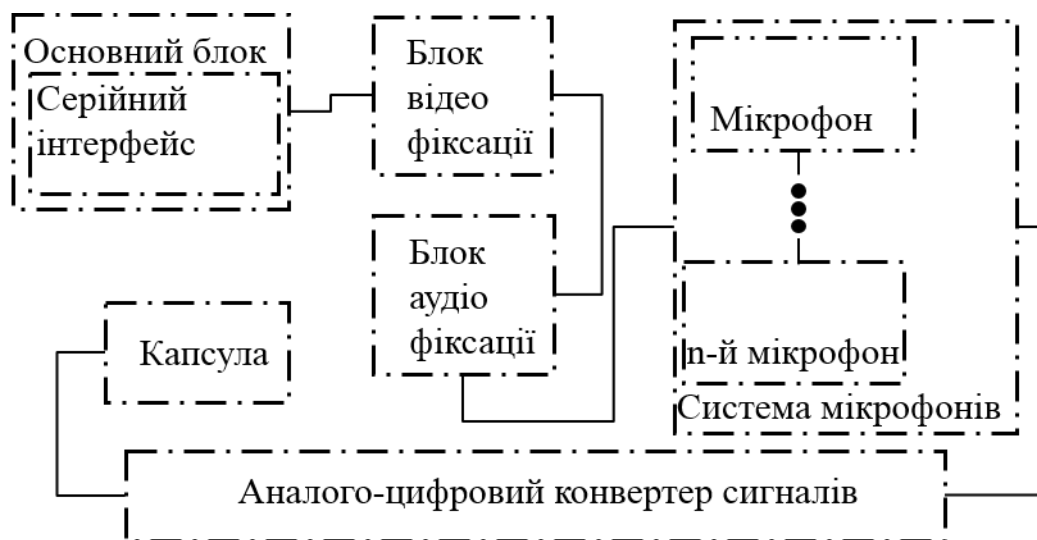


Рисунок 5.10 - Схема функціональної стійкості реєстратора даних рейсу

Блок відео фіксації записує стисле зображення у форматі JPEG або відео. Блок розташовується окремо корпусі. Блок підключається до відповідної системи РОВТ (за її наявності).

Блок аудіо фіксації складається з мікрофонних входів і входів з УКХ радіостанції з індивідуальним налаштуванням. Аудіо сигнал стискається для зниження обсягу записуваної інформації.

Система мікрофонів, які можуть бути консольного або настінного виконання. Мають бути вбудовані динаміки для автоматичної перевірки. Конструкція передбачає також установку на відкритих крилах містка.

До технічних засобів, що служать для визначення основних напрямків в морі, відносяться **магнітний компас**. Усі РОВТ, що підпадають під дію міжнародної конвенції СОЛАС, а також всі пасажирські РОВТ повинні мати для забезпечення функціональної стійкості резервний магнітний компас, взаємозамінний з основним магнітним компасом, або інший технічний засіб, що забезпечує виконання функцій магнітного компасу в умовах рейсу.

У магнітних компасах використовують властивість намагніченої стрілки розташовуватися уздовж магнітних силових ліній магнітного поля Землі в напрямку північ-південь. На РОВТ на магнітну стрілку, крім магнітного поля Землі, діють магнітні поля, створювані залізом і електроустановками. Тому магнітна стрілка компаса, встановленого на РОВТ, буде розташовуватися в так званому компасному меридіані.

Простота пристрою, автономність, постійна готовність до дії і малі розміри - переваги магнітного компаса. Проте дані магнітного компаса необхідно виправляти поправкою, величина і знак якої змінюються в залежності від курсу РОВТ, місця розташування його на земній поверхні і інших причин. У високих широтах точність магнітного компаса зменшується, а в районі магнітного і географічного полюсів Землі він взагалі перестає діяти.

Більшість РОВТ забезпечуються морськими магнітними 127-міліметровими (5-дюймовими) компасами. Основними частинами компаса є: казанок з картушкою, нактоуз, пеленгатор і девіаційний прилад. Казанок - латунний циліндричний резервуар, розділений на дві камери, які сполучаються між собою. У верхній камері розміщується картушка компаса, нижня камера служить для компенсації зміни об'єму компасної рідини при коливаннях температури навколишнього повітря.

В якості компасної рідини застосовується розчин етилового спирту (43% за обсягом) в дистильованій воді, що замерзає при температурі  $-26^{\circ}\text{C}$ . Для

зменшення коливань казанка під час хитавиці до нижньої частини його корпусу прикріплена латунна чашка зі свинцевим вантажем.

Казанок забезпечений кардановим кільцем, яке дозволяє зберігати в горизонтальному положенні азимутальне кільце казанка. Картушка - головна частина компаса, складається з системи магнітних стрілок, поплавка, агатової топки, гвинта для кріплення топки, шести кронштейнів, що підтримують слюдяний диск, на який наклеюється диск, розділений на румби і градуси.

Експлуатаційні вимоги до магнітних компасів викладені в додатках 1 і 2 до резолюції ІМО А.382 (10), прийнятої 14 листопада 1971 р.

**Допоміжне обладнання інформаційної системи** представляє собою різні інформаційні системи нижчих ієрархічних порядків, що обробляють інформаційні потоки і надають ЛО необхідну інформацію.

Це датчик кутової швидкості повороту РОВТ, що надає значення кутової швидкості. Це має важливе значення при здійсненні маневрів та проведенні швартових операцій. Кутова швидкість при ДП також має велике значення та також контролюється СДП в автоматичному режимі. Проте для СДП використовують інші датчики кутової швидкості, які описано окремо.

Датчик положення керма надає інформацію про кутове положення керма. В випадку, коли РОВТ обладнано азимутальними рушіями – датчик надає кутове положення азимутального рушія.

Датчик кута ВРК надає інформацію про кут ВРК у відсотках.

Бортова система прийому звукових сигналів - це електронна система, що є частиною інформаційної системи ББКНО РОВТ, яка призначена для посилення зовнішніх звукових сигналів і визначення напрямку на їх джерело. Вона дозволяє ОСДП всередині повністю закритою рульової рубки чути зовнішні акустичні сигнали інших РОВТ, маяків, споруд або берегових об'єктів.

Система повинна встановлюватися на РОВТ з повністю закритим містком, що визначено Правилем 19, Глави 5 СОЛАС [179], а мінімальні експлуатаційні вимоги до системи визначені Резолюцією ІМО А.694 (17).

Таким чином ми можемо написати загальне рівняння функціональної стійкості для НІС:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{НІС} = & \left(1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{РЛСi})\right) \tilde{P}_{ЕЛ} \tilde{P}_{Л} \tilde{P}_{АІС} \left(1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ЕКНІСi})\right) \tilde{P}_{РДР} \times \\ & \times \left(1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{Кi})\right) \tilde{P}_{ДНІС}, \end{aligned} \quad (5.14)$$

де  $\tilde{P}_{НІС}$  - імовірність безпечного функціонування НІС;

$\tilde{P}_{РЛСi}$  - імовірність безпечного функціонування РЛС;

$\tilde{P}_{ЕЛ}$  - імовірність безпечного функціонування ехолоту;

$\tilde{P}_{Л}$  - імовірність безпечного функціонування лагу;

$\tilde{P}_{АІС}$  - імовірність безпечного функціонування АІС;

$\tilde{P}_{ЕКНІСi}$  - імовірність безпечного функціонування ЕКНІС;

$\tilde{P}_{РДР}$  - імовірність безпечного функціонування РДР;

$\tilde{P}_{Кi}$  - імовірність безпечного функціонування компасу;

$\tilde{P}_{ДНІС}$  - імовірність безпечного функціонування допоміжного обладнання

НІС.

Якщо відійти від безпеки типового торговельного РОВТ до безпеки РОВТ з класом СДП, то можна зробити висновок, що наведене рівняння (5.4.1) не в повній мірі відображає взаємозв'язки в ієрархічних системах. Також можна відзначити те, що РДР не відіграє ролі саме в процесі безпеки при реалізації навігації. Хоча і являється конвенційним обладнанням і має функціонувати. Тому в для поточного оперативного обчислення рівня безпеки його можна виключити, а для стратегічного планування необхідно включати.

Якщо розглянути можливість застосування елементів ББКНО, які є джерелом інформації для СДП, то можна переписати рівняння функціональної



стійкості, маючи на увазі наступне. Гідроакустична станція дублює функції ехолоту і може бути використана для загальної навігації, проте ехолот не може бути в повній мірі використано для ДП.

Для завдань ДП використовуються інші спеціалізовані ТС, які можуть комплексуватися з апаратурою НІС та дублювати її елементи. Так ГК, які резервуються в залежності від класу СДП. Резервовані ГК мають бути включені до рівнянь функціональної стійкості.

Джерелом інформації про швидкість РОВТ також є системи визначення вектору стану. Перш за все це ГНСС, а також інші системи, використання яких має бути предметом особливого оперативного аналізу.

Для прикладу сформуємо рівняння імовірності безпечного функціонування НІС для РОВТ з СДП другого класу. В таких РОВТ практично завжди дублюються ПІ ГНСС. Припустимо, що РОВТ обладнано НіРАР 500, який було описано вище, а систему RADiUS використовувати не доцільно, тому що вона має суттєві обмеження для реального практичного використання без ДП, на маршруті при здійсненні загальної навігації. Для СДП другого класу, як буде показано далі, характерним є наявність трьох ГК. Тоді рівняння отримає наступний вид:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{НІС} = & \left( 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ПЛСi}) \right) \left( 1 - (1 - \tilde{P}_{ЕЛ}) (1 - \tilde{P}_{НІРАР502}) \right) \times \\ & \times \left( 1 - (1 - \tilde{P}_{Л}) \prod_{n=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ГНССn}) \right) \tilde{P}_{АІС} \left( 1 - \prod_{j=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ЕКНІСj}) \right) \times \\ & \times \left( 1 - \prod_{l=1}^2 (1 - \tilde{P}_{Кl}) \prod_{m=1}^3 (1 - \tilde{P}_{ГКm}) \right) \tilde{P}_{ДНІС}, \end{aligned} \quad (5.15)$$

де  $\tilde{P}_{ГНСС}$  - імовірність безпечного функціонування комплексу ВМ за допомогою ГНСС;

$\tilde{P}_{ГК}$  - імовірність безпечного функціонування ГК.

При розгляданні ГНСС було розглянуто надійність на прикладі конкретного DPS-110. Проте в загальному рівнянні (5.15) вказано лише  $\tilde{P}_{ГНСС}$ . Значення  $\tilde{P}_{ГНСС}$  має бути конкретизовано в кожному окремому випадку відповідно до РОВТ, який є об'єктом дослідження. Тому на цьому етапі дослідження конкретизація може нашкодити загальному рівнянню і формуванню методології. Принцип модульності, який застосовується у методології, надає можливість конкретизації у записі рівняння і дозволяє підставити у нього, при необхідності, сформовану алгебраїчну модель DPS-110, або будь-якої іншої системи.

### 5.5 Обґрунтування додаткового обладнання розподілених навігаційно-інформаційних засобів для динамічного позиціонування

Обладнання навігаційно-інформаційної системи, що використовується при ДП також може бути використано і при здійсненні загальної навігації між двома пунктами призначення протягом виконання рейсового завдання. Побудуємо схему функціональної стійкості та розглянемо її складові.

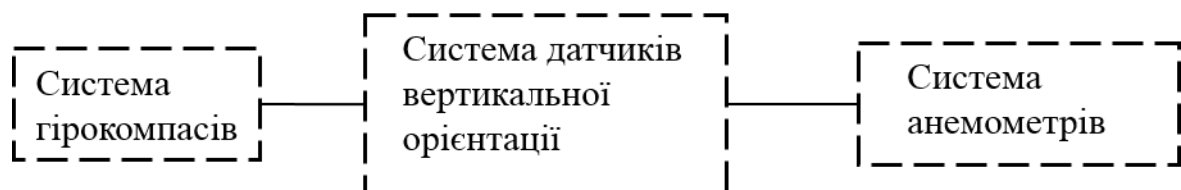


Рисунок 5.11 - Схема функціональної стійкості компонентів навігаційно-інформаційної системи, що використовується при динамічному позиціонуванні

ГК - навігаційний прилад, що призначений для відображення курсу РОВТ і визначення напрямків на земні орієнтири і небесні світила. ГК використовуються в якості датчика курсу в БКНО РОВТ (при орієнтації зображення на екрані

індикатора РЛС, радіопеленгування, автоматичному управлінні курсом РОВТ за допомогою АР, для автоматичного обчислення і прокладки шляху на карті, та ін.).

Усі РОВТ валовою місткістю 500 рег. т і більше повинні мати ГК або інший засіб для визначення або відображення курсу немагнітними засобами і для передачі і введення інформації про курс в інші прилади ББКНО РОВТ. Репітер ГК або інший засіб візуального представлення інформації про курс на аварійному посту управління. Також репітер ГК або інший засіб для взяття пеленгів по дузі горизонту  $360^\circ$  з використанням ГК або іншого засобу.

Експлуатаційні вимоги до ГК викладені в додатку до резолюції ІМО А.424 (ХІ), прийнятої 15 листопада 1979 г. Ці вимоги орієнтовані на ГК, які експлуатуються на РОВТ, що розвивають швидкість до 20 вуз. в широтах не вище  $60^\circ$ . Область застосування цієї резолюції по швидкості РОВТ пізніше, в листопаді 1995 р, була розширена іншою резолюцією ІМОА.821 (19) - до швидкості 30 вуз.

ГК мають ключове значення при здійсненні ДП в локально обмеженому просторі. Як мінімум один ГК повинен постійно надавати СДП інформацію про поточний курс РОВТ для можливості автоматичного утримання заданого курсу. Згідно з правилами КТ щодо резервування обладнання СДП, ГК резервується для СДП всіх класів.

Різниця між резервуванням для СДП II класу і СДП III класу полягає в тому, що один з ГК СДП III класу має бути відокремлений протипожежною перегородкою класу А.

Дані від кожного ГК можуть оцінюватися за допомогою комплексування з ГНСС. Це значно підвищує надійність і може попередити ОСДП про можливі негаразди в системі ГК. Метод засновано на обчисленні поточного курсу РОВТ з обсервованих позицій, отриманих двома антенами ГНСС. Похибка кожного ГК оцінюється з фільтрованої різниці між обчисленим курсом від ГНСС і даними ГК. Рекомендована дистанція між антенами ГНСС - 10 метрів, зі збільшенням дистанції точність визначення курсу РОВТ буде підвищуватися.

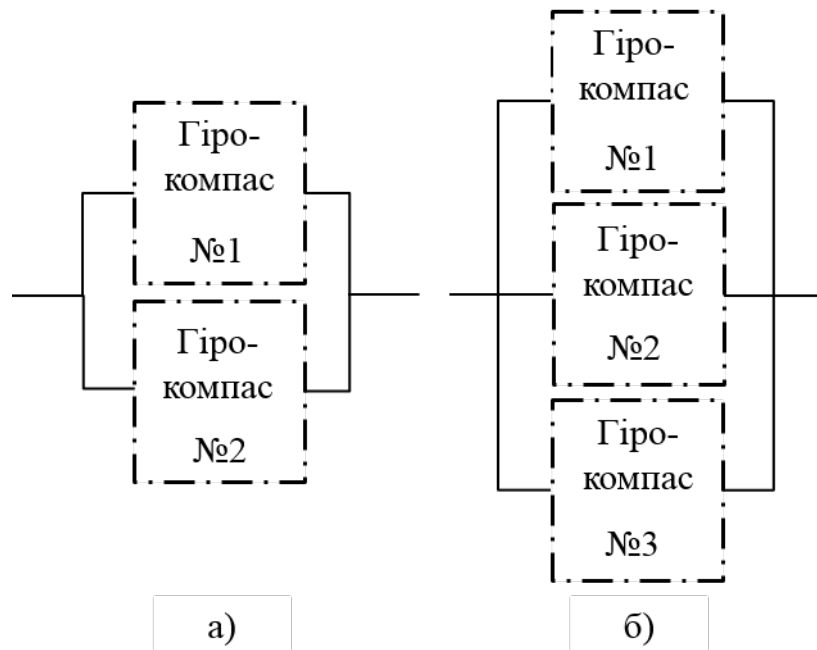


Рисунок 5.12 - Схема функціональної стійкості з урахуванням ієрархії при резервуванні гірокомпаса:

а) – для СДП I класу; б) – для СДП II і III класів

Якщо дані від ГК не приймаються СДП, то генерується повідомлення з описом несправності. Повідомлення може визначати безпосередньо статус ГК.

В іншому випадку, може бути декларована тільки різниця в показаннях доступних ГК. В цьому випадку ОСДП повинен, застосовуючи альтернативне джерело визначення курсу, визначити, який з ГК видає вірні дані і відключити той ГК, що надає невірні дані.

**Датчики вертикальної орієнтації.** Як мінімум один датчик вертикальної орієнтації повинен забезпечувати СДП інформацією про поточний крен і диферент РОВТ. У СДП високих класів кількість таких датчиків досягає 3. Системою приймаються і порівнюються сигнали від усіх доступних датчиків вертикальної орієнтації.

Ця інформація необхідна для коригування даних систем визначення вектору стану РОВТ з урахуванням умов плавання при бортовій і кільовій хитамицях. Якщо система містить додатково датчик вертикального переміщення,

його інформація може бути використана ОСДП для оцінки стану РОВТ, так само для прийняття рішень про доцільність проведення технологічної роботи, для якої існують обмежуючі параметри вертикальної хитавиці.

При втраті або відсутності даних, СДП не зможе вводити відповідні поправки за відхилення РОВТ від крену і диференту, і тим самим погіршить якість ДП.

Метеорологічна інформація, що представляє фактичний стан погоди локально обмеженого простору проведення ДП являється важливим чинником в потоках інформації. Вітер вимірюється **анемометрами**. Їх кількість для СДП першого класу має бути 2. А для систем вищих класів 3. Анемометр визначає напрям та швидкість відносного вітру. При наявності параметрів руху РОВТ можна визначити напрям та швидкість істинного вітру.

Як видно з проведеного опису, окремий розгляд компонентів НІС, що використовуються при ДП, має сенс для гарантування функціональної стійкості. При цьому необхідно враховувати, що компоненти НІС мають схожість. Ця схожість проявляється також і в резервуванні за правилами провідних КТ [226, 283, 207]. Тому можна сформулювати загальні рівняння функціональної стійкості. Так для СДП першого класу:

$$\tilde{P}_C = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{Ki}), \quad (5.16)$$

де  $\tilde{P}_C$  - імовірність безпечного функціонування системи відповідного рівня ієрархії;

$\tilde{P}_{Ki}$  - імовірність безпечного функціонування компоненту системи.

Для СДП вищих класів (другого та третього) рівняння матиме вид добутку трьох компонентів. Загальне рівняння для НІС ДП для СДП вищих класів матиме вид:

$$\tilde{P}_{НСДП} = \left(1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \tilde{P}_{ГКi})\right) \left(1 - \prod_{j=1}^3 (1 - \tilde{P}_{Анj})\right) \left(1 - \prod_{n=1}^3 (1 - \tilde{P}_{ДВОn})\right), \quad (5.17)$$

де  $\tilde{P}_{ГК}$ ,  $\tilde{P}_{Ан}$ ,  $\tilde{P}_{ДВО}$  - імовірність безпечного функціонування ГК, анемометрів, датчиків вертикальної орієнтації.

Така постановка завдання за потреб методології паркового динамічного програмування безпеки процесу полієргатичного управління вимагає дослідження саме кожного комплексу обладнання на відповідність вимогам. А індикаторна функція при цьому матиме наступний загальний вигляд для компонентів СДП вищих класів

$$I_{\tilde{P}}(\tilde{P}_C) = \begin{cases} 1, & \left(1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \tilde{P}_{Кi})\right) \geq \tilde{P}_{Б\min}, \\ 0, & \left(1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \tilde{P}_{Кi})\right) < \tilde{P}_{Б\min}, \end{cases} \quad (5.18)$$

де  $\tilde{P}_{Б\min}$  - значення мінімального критерію функціональної стійкості складної ТС.

При виконанні ДП в таких умовах ТПК, коли за заздалегідь проведеною оцінкою ризику наслідків від втрати позиції РОВТ або виходу з ладу технічного компоненту системи не є великими і значення  $\tilde{P}_{Б\min}$  можуть бути досить малими, можливе ітераційне оцінювання рівня безпеки полієргатичного управління при різних варіантах складу обладнання, таким чином підвищуючи ефективність гарантовано безпечного використання компонентів СДП в умовах гетерогенних збурень акваторії ТПК.

## **5.6 Оперативна адаптація засобів управління згідно поточного оцінювання рівня функціональної стійкості**

Управління рухом – основна задача навігації і системи, які допомагають людині здійснювати контроль РОВТ, або автоматично управляють рухом мають велике значення. Гарантовано надійна робота таких систем – запорука безпеки РОВТ. Розглянемо основні системи управління та побудуємо схему функціональної стійкості інтегрованої системи управління.

На РОВТ, що мають знак ступеня автоматизації, повинна бути передбачена **система дистанційного автоматизованого управління (СДАУ)**, за допомогою якої можна робити пуск, зупинку, а також управління частотою обертання головних механізмів, величиною і напрямком упору рушіїв у всіх допустимих режимах роботи з ходового містка.

СДАУ включає в себе обладнання, призначене для управління механізмом з віддаленого поста управління, що забезпечує автоматичне виконання операцій ідентифікації та обробки інформаційних потоків конкретного об'єкту управління і вироблення команд відповідним виконавчим пристроям, які реалізують заданий ЛО режим роботи механізму.

СДАУ забезпечує обмеження числа невдалих автоматичних спроб пуску головних двигунів, або інших двигунів ЗАК РОВТ, щоб після останньої невдалої спроби запасу пускового повітря або ємності пускових акумуляторних батарей було достатньо для виконання вручну половини числа пусків. Виконання останньої заданої команди незалежно від порядку і швидкості завдання. Можливість установки величини і напрямки упору одним органом управління. Автоматичне проходження зон критичної частоти обертання незалежно від заданого режиму роботи. СДАУ сприяє запобіганню перевантаження головних механізмів в нормальних експлуатаційних режимах. Потреби гарантування функціональної стійкості ТС при експлуатації РОВТ в умовах з підвищеними ризиками зумовлюють незалежність СДАУ і системи машинного телеграфу одна від одної (хоча згідно з правилами КТ, зокрема РУ, допускається використовувати

один і той же орган управління). СДАУ обладнано сигналізацію про втрату живлення і несправності в системі. За потреб безпеки також передбачено можливість вимкнення неприпустимих режимів роботи головних механізмів і рушіїв (мимовільне підвищення частоти обертання, пуск і реверс) при виході з ладу СДАУ, а також виконання аварійних маневрів за якомога можливо короткий час, при цьому можуть бути зняті відповідні обмеження і захисту.

Можливість одночасного управління з різних постів повинна бути виключена. Допускається застосування взаємопов'язаних органів управління на одному посту (наприклад, на крилах і в приміщенні ходового містка). На всіх постах управління, включаючи відключені, повинна бути передбачена індикація заданих машинним телеграфом команд.

У головних механізмів - двигунів внутрішнього згорання повинна підтримуватися в автоматично в допустимих межах температура робочих середовищ: охолоджуючого середовища циліндрів; охолоджуючого середовища поршнів; охолоджуючого середовища форсунок; мастила; палива (при роботі на важкому паливі, якщо відсутнє регулювання в'язкості). При виходу параметрів за межі норми система може автоматично зупинити роботу двигуна.

**Система для екстреної зупинки головних рушієвих механізмів** повинна бути незалежною від СДАУ, системи аварійно-попереджувальної сигналізації, а також від мережі, якщо для роботи цього пристрою потрібно електрична енергія. Система має приводитись в дію вручну з ходового містка.

Передача управління з одного поста на інший повинен бути можливий тільки з домінуючого поста, незалежно від того, в узгодженому або неузгоджені становищі перебувають органи управління на постах куди може бути передано управління.

Згідно з вимогами РУ, РОВТ повинні бути забезпечені головним і допоміжним рульовими приводами, якщо спеціально не вказано інше.

**Головний рульовий привід** - механізм, виконавчі приводи перекладки керма або азимутального рушія. Технічні засоби цієї системи становлять



комплекс для здійснення перекладки керма або азимутального рушія з метою управління РОВТ в нормальних умовах експлуатації.

**Допоміжний рульовий привід** представляє собою систему обладнання, яке не являється частиною головного рульового приводу і функціонально незалежне. Ця система необхідна для гарантування функціональної стійкості в умовах відмов. Система допоміжного рульового приводу живиться від основного джерела енергії. Проте вона може отримувати живлення і від інших незалежних джерел енергії, або мати ручне управління – все це є предметом розгляду КТ.

Допоміжний рульовий привід повинен забезпечувати перекладку керма або азимутального рушія РОВТ з 15 градусів з борту на борт за проміжок часу не більше ніж за 60 секунд в умовах максимальної експлуатаційної осадки РОВТ і швидкості, що дорівнює половині його максимальної експлуатаційної швидкості руху вперед, або 7 вузлів, в залежності від того, яка величина є більшою.

Системи головного і допоміжного рульових приводів повинні бути незалежними одна від одної для гарантування функціональної стійкості, проте РУ допускається, щоб ці рульові системи приводи мали деякі спільні частини.

Вибір основних характеристик рульового пристрою і пристрою з азимутальним рушієм здійснюється з урахуванням необхідності забезпечення належної керованості РОВТ, що відповідає його призначенню та умовам експлуатації.

**Силовий агрегат рульового приводу** представляє собою при реалізації з електричним рульовим приводом електродвигун з електроустаткуванням. В електрогідравлічному варіанті рульового приводу РОВТ – електродвигун, який сполучено з ним насосом, з відповідним електроустаткуванням. В іншому можливому варіанті реалізації гідравлічного рульового приводу за РУ він представляє собою технічну систему приводного двигуна і насосу.

**Силова система** представляє собою цільовий комплекс, який має на меті свого функціонування створення зусилля для повороту баллера пера руля, що складається з силового агрегату або агрегатів рульового приводу та належних до них трубопроводів та арматури, а також виконавчого приводу перекладки керма.

Силові системи можуть мати загальні механічні елементи: румпель, сектор і баллер, а також і інші суттєві елементи, які мають однакове функціональне призначення.

**Система управління рульовим приводом** – являє собою систему технічних засобів, які спрямовано на передачу керуючих сигналів з АРМ ходового містка до відповідних силових агрегатів рульового приводу РОВТ. Система складається з комплексу датчиків та приймачів, гідравлічних керуючих насосів, що пов'язані з двигунами. Органи управління двигунами присутні в ЦПК та, при необхідності дублюються на АРМ ОСДП. Також до складу системи входять трубопроводи та кабелі, які є майже надійними компонентами при впровадженні відповідного обслуговування згідно з вимогами КТ або СУБ компанії.

Управління РОВТ в ручному режимі здійснюється за допомогою органів ручного керування. Системи ручного управління, до складу яких входять органи ручного управління, в залежності від типу ЗАК, задають частоту обертання або крок гвинта, або їх комбінацію відповідно до ГФК або ГРК. В сучасних системах ручного управління передбачено систему управління, що дублює основну, зберігаючи при цьому свої основні властивості.

**Система управління РОВТ** являється частиною СДП. СДП являється основною системою автоматичного управління збуреним рухом РОВТ при виконанні технологічної роботи.

За допомогою **авторульового (АР)** здійснюється управління РОВТ за курсом, вибираються режими управління курсом і траєкторією РОВТ, задаються параметри поворотів, а також проводиться настройка АР.

Якщо на РОВТ встановлено неадаптивний АР – це зумовлює реалізацію тільки одного режиму управління навігацією. Такий режим в більшості виробників зазвичай називається «Автомат». У цьому режимі АР, якщо не проводиться ручна настройка, коефіцієнти відповідного закону розподілу керуючих сил залишаються константами. Тому цей режим іноді в англійській мові середовищі морської спільноти називають «Auto-fixed».



Рисунок 5.13 - Схема функціональної стійкості інтегрованої системи управління збуреним рухом

Коли на РОВТ встановлено адаптивний АР, то може бути кілька автоматичних режимів управління курсом: один без адаптації і два або три режими ААУ з адаптацією, які різняться за використанням критерієм оптимізації. Слід зазначити, що таким критерієм може бути і критерій максимальної безпеки, спрямований на забезпечення максимальної функціональної стійкості системи в сенсі реалізації процесу навігації шляхом точності регулювання. Такий режим називається «Обмежені води» і використовується на ріках, в умовах мілководдя, в акваторіях портів та інших ТПК, де необхідно впровадження ААУ для мінімізації відхилень курсу РОВТ.

А також економічний, який в класичній постановці завдання передбачає мінімізацію витрат ресурсів ААУ. Рішення питань такого підходу здійснюється застосуванням саме класичного методу динамічного програмування з пошуком екстремумів. Як результат – ми отримуємо набір коефіцієнтів для адаптації РОВТ при плавання у відкритому морі та в умовах відсутності значних ризиків - «Відкрите море». Існує також практичне впровадження на флоті і інших режимів ААУ, які мають свої особливості. Наприклад для здійснення навігації в умовах посиленого впливу чинників НС - «Штормові умови». Також для спеціалізованих РОВТ, що здійснюють буксирні операції існує режим «Буксирування». У режимі «Автомат» АР виконує регулювання курсу за незмінним законом з постійними коефіцієнтами, деякі з яких можна налаштувати вручну.

У адаптивних режимах при здійсненні навігації в просторово-часовому континуумі локально обмеженого простору змін зовнішніх і внутрішніх умов ТПК, АР самостійно обирає характер ААУ для забезпечення найкращого за обраним критерієм якості ААУ. АР зазвичай пристосовуються до зміни чинників НС, завантаження та зміни кінематичних характеристик РОВТ. АР може мати автоматичний режим реалізації навігації РОВТ по траєкторії. Побудуємо рівняння для визначення імовірності роботи дистанційного автоматизованого управління збуреним рухом:

$$\tilde{P}_{ДАУ} = \left( \prod_{j=1}^n \left( 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{PYi}) \right) \right)_j \tilde{P}_{EmStop} \tilde{P}_{AP}, \quad (5.19)$$

де  $\tilde{P}_{ДАУ}$  - імовірність безпечного функціонування системи автоматизованого управління збуреним рухом;

$\tilde{P}_{PY}$  - імовірність безпечного функціонування автоматизованої системи ручного управління;

$\tilde{P}_{EmStop}$  - імовірність безпечного функціонування системи аварійної зупинки ЗАК;

$\tilde{P}_{AP}$  - імовірність безпечного функціонування АР.

В рівнянні (5.19) питання може викликати математична модель оцінки безпеки комплексу ручного управління, смисл якої полягає в тому, що крім резервування система ручного управління має працювати на всіх постах управління. Простіший приклад цього – це носовий та кормовий пости управління ТБС проекту УТ 733-2 (дивись Додаток Е).

Для ручного керування РОВТ в режимі ДП використовується **незалежний джойстик**. Джойстик може виступати як складова частина СДП, проте може бути і самостійним органом керування. Джойстик здатен нахилитися в будь-якому напрямку, а також обертатися навколо своєї вертикальної осі. В режимі керування джойстиком ОСДП задає необхідні упори рушійного комплексу по осях зв'язаної координатної системи.

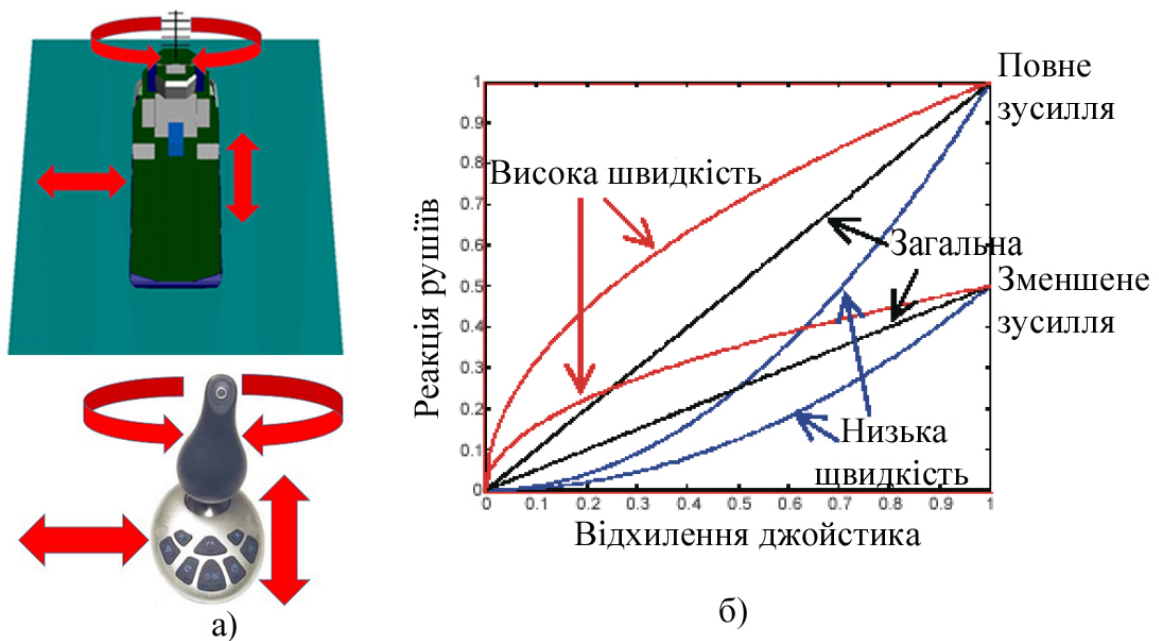


Рисунок 5.14 - Функції джойстика:

а) - керування; б) - налаштування

Нахил джойстика характеризує величину сумарного упору рушійного комплексу, напрям обертання джойстика задає напрям обертання РОВТ, а кут розвороту джойстика – характеризує величину сумарного упору. Таким чином контролюється переміщення РОВТ і його обертальний рух. Це можливо, якщо СДП не контролює переміщення РОВТ або курс в автоматичному режимі.

Пропорціональність потужності рушійного комплексу в залежності від кута нахилу джойстика можна регулювати. Процедури регулювання різні в залежності від системи. В системах Rolls-Royce це регулювання посилення, що відображається в трьох варіантах: високе, середнє, низьке. Також існує можливість компенсації зовнішніх збурень. В системах Kongsberg існують дві функції налаштування – зусилля і точність. В режимі повного зусилля – максимальні упори досягаються всіма компонентами рушійного комплексу. В режимі зменшеного зусилля максимальні упори всіх компонентів рушійного комплексу будуть становити 50% від можливих. Використання режиму повного зусилля значно посилює реакцію РОВТ на переміщення джойстика в порівнянні з режимом зменшеного зусилля.

Точність управління джойстиком можна регулювати, змінюючи установки: висока швидкість, загальна або низька швидкість. Під терміном швидкість розуміється не швидкість РОВТ, а швидкість реакції системи на рухи джойстика. Висока швидкість - установка для динамічного маневрування. Невелике відхилення джойстика від вихідного положення зумовлює значну реакцію зусилля рушіїв. Подальше відхилення джойстика, навпаки, забезпечує зменшену тенденцію збільшення зусилля. Загальна лінійна залежність між відхиленням джойстика і зусиллям рушія має лінійний характер. Низька швидкість - установка для повільного маневрування. Невелике відхилення джойстика зумовлює невеликі зусилля рушіїв. При подальшому відхиленні джойстика зусилля пропорційно зростає.

Також можлива компенсація зовнішніх впливів для двох осей та обертального руху. Компенсація «течії» проводиться системою тільки при наявності інформації від датчиків ВМ та орієнтації РОВТ.

В СДП стандартною є функція обирання точки обертання. Можливо задати обертання РОВТ щодо носа або корми замість пропонованого по промовчанню центру РОВТ. Для вибору точки обертання, відмінної від центра РОВТ, необхідно виконання наступних умов: система повинна знаходитися в режимі джойстик; поперечна вісь та контроль за обертальним рухом повинні перебувати під управлінням джойстика; повздовжня вісь може бути під управлінням джойстика або в автоматичному режимі керування; конфігурація рушіїв, що мають використовуватися, повинна бути прийнятною для маневрування з відповідним центром обертання .

Для пояснення останньої умови, наведемо практичний приклад вибору в якості точки обертання корми РОВТ. Для цього необхідний як мінімум один рушій в носовій частині РОВТ за умов функціонування головного рушійного комплексу РОВТ.

Якщо хоча б одну з цих умов не буде виконано, на дисплеї буде відображено відповідне повідомлення про неможливість введення точки обертання. Якщо хоча б одна з перерахованих умов припиниться у процесі маневрування, точка обертання автоматично переміститься в центр.

Використання іншого центру обертання може бути корисним наприклад при підході або відході від іншого РОВТ або берегової конструкції. Наприклад, при виконанні швартування. При здійсненні маневрування уздовж причальної стінки, що знаходиться по лівому борту, може знадобитися притиснути корму, не змінюючи при цьому відстань від носа РОВТ від причалу, і одночасно завдати невелике зусилля вліво. Здійснити такий маневр з точкою обертання у центрі РОВТ досить важко. Полегшати виконання такого маневру можна утримуючи курс РОВТ паралельним до лінії причальної стінки в автоматичному режимі. Проте вибравши в якості точки обертання ніс РОВТ, такий маневр легко зробити, задавши джойстиком одночасно обертання за годинниковою стрілкою і рух вліво. Торкнувшись причальної стінки можна утримувати судно до тих пір, доки операція швартування не завершиться. Слід зазначити, що в режимі джойстика РОВТ може не обертатися щодо заданої точки з абсолютною точністю.

Це базові функції джойстика, які розраховано для використання при малих швидкостях РОВТ. Виробники СДП представляють різні додаткові функції і модифікації для ефективного рішення конкретних завдань.

### 5.7 Мережі локального зв'язку та засоби телекомунікації рухомих об'єктів водного транспорту в акваторії техноприродних комплексів

До системи зв'язку РОВТ необхідно віднести дві складові. Перша – це **система внутрішнього зв'язку**, а друга- **інтегрований комплекс глобальної морської системи зв'язку для безпеки мореплавства**. Ці дві складові забезпечують внутрішній зв'язок між постами керування РОВТ для здійснення навігації при ДП і безпечної технологічної роботи в умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК

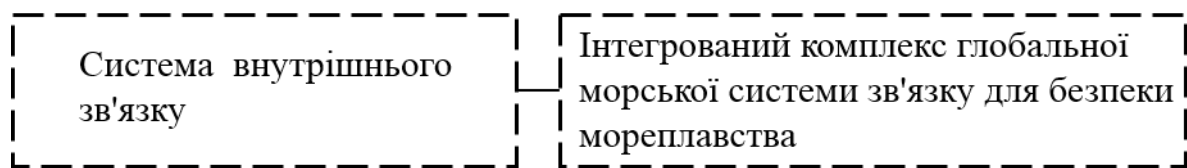


Рисунок 5.15 - Схема функціональної стійкості системи зв'язку

А також для зовнішнього зв'язку з іншими РОВТ, координації процесу виконання технологічної роботи з берегом. А головне – для здійснення зв'язку для гарантування безпеки мореплавства.

У систему внутрішнього зв'язку входить **машинний телеграф і система внутрішнього службового зв'язку**. Побудуємо схему функціональної стійкості для системи внутрішнього зв'язку РОВТ. **Машинний телеграф** повинен отримувати живлення від головного розподільного щита або від щита навігаційних пристроїв. Якщо на РОВТ застосований об'єднаний пульт управління - то машинний телеграф може отримувати живлення від цього пульта. Машинний телеграф повинен бути обладнаний світловою сигналізацією про



наявність напруги в ланцюзі живлення і звуковою сигналізацією про зникнення напруги у мережі живлення.

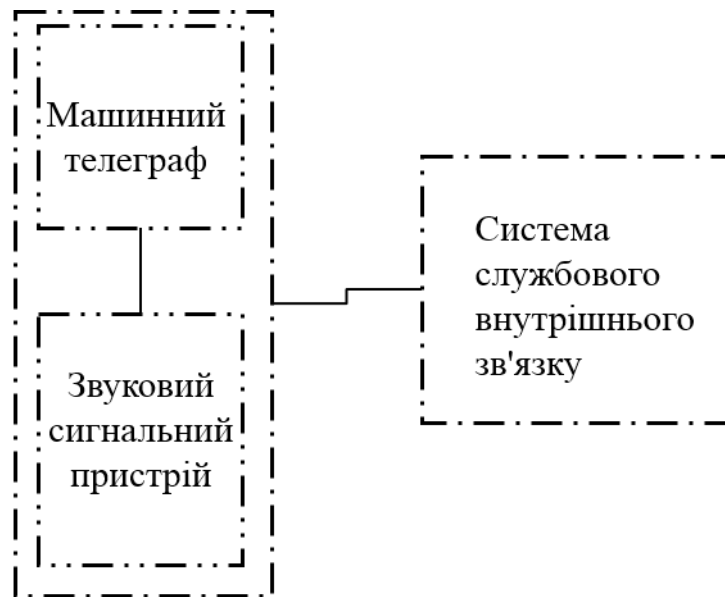


Рисунок 5.16 - Схема функціональної стійкості системи внутрішнього зв'язку

Функціональна стійкість може бути оцінена за відповідною схемою, яка являється базою для складання рівняння. Рівняння дозволяють проводити аналіз та приймати рішення щодо можливості внесення змін при необхідності в сформовані шляхом морфологічного аналізу та синтезу первинні структури, які затверджено КТ.

**Система службового внутрішнього зв'язку** дозволяє швидко оповістити будь-якого члена екіпажу або викликати його в призначене місце, встановити зв'язок між постами управління, постами технологічної роботи РОВТ або постами виконання важливих операцій.

Система службового внутрішнього зв'язку має на меті свого функціонування гарантування можливості виклику відповідного абонента в межах РОВТ. А також чітке забезпечення зв'язку в між абонентами в нормальних і аварійних умовах, а також в екстремальних умовах рівня шуму біля відповідних місць розташування технічних засобів системи службового внутрішнього зв'язку.

В системі службового внутрішнього зв'язку можуть бути використано безбатарейні телефонні апарати, пристрої переговорного зв'язку або інші технічні системи для забезпечення двостороннього гучномовного зв'язку, автоматичні телефонні станції (АТС) або мобільні телефонні апарати локальної мережі.

Система службового внутрішнього зв'язку (АТС або інша система) має на меті гарантування переговорного зв'язку поста керування навігацією (ДП або іншим режимом навігації) з основними службовими постами РОВТ. При гарантуванні функціональної стійкості окремий зв'язок може взагалі не передбачатися. Для цього необхідно щоб в будь-який проміжок часу експлуатації РОВТ пристрій зв'язку або АТС забезпечували пріоритет виклику і ведення переговорів для АРМ ОСДП з наступними основними службовими приміщеннями і постами РОВТ: ЦПК; місцевими постами управління головним рушійним комплексом, а також іншими ЗАК (з цією метою може бути використано парний телефонний зв'язок між АРМ ОСДП і ЦПК з паралельно встановленими на конкретних постах управління телефонними апаратами, або еквівалентними пристроями зв'язку); радіорубкою (може не передбачатися, якщо зв'язок може бути встановлено без апаратних засобів АТС); румпельним відділенням; приміщенням, де розташований аварійний розподільний щит; постами на баку і юті; приміщенням ГК; станцією об'ємного пожежогасіння; приміщенням гребних електричних двигунів; постом управління вантажними операціями (на спеціалізованих нафтоналивних РОВТ); постом управління АТБПА; постом управління пожежно-рятувальними операціями (на РОВТ зі знаком оснащення засобами боротьби з пожежами в символі класу); іншими відсіками РОВТ, які мають технічні засоби ББКНО або інші технічні системи, що впливають на безпечне здійснення рейсового завдання та технологічної роботи в ТПК.

Для пристроїв зв'язку між перерахованими вище приміщеннями, крім безбатарейних телефонних апаратів повинно бути передбачено живлення (зокрема для АТС) від основного джерела електричної енергії і резервної

аккумуляторної батареї для забезпечення функціональної стійкості, що відповідає запропонованій методології та відповідній схемі функціональної стійкості.

Також повинно бути передбачено зв'язок за допомогою АТС або еквівалентної системи між ЦПК або місцевим постом управління головними механізмами і рушіями з житловими приміщеннями механіків. Системи зв'язку між рульової рубкою і ЦПК або місцевими постами управління головними механізмами і рушіями, повинні мати додаткову звукову, світлову АПС. Втрата функціональної стійкості з будь-яких причин одного пристрою зв'язку не повинно впливати на функціональну стійкість інших пристроїв зв'язку.

**Інтегрований комплекс глобальної морської системи зв'язку для безпеки мореплавства.** Сучасна глобальна морська система зв'язку у разі лиха та для забезпечення безпеки (ГМЗЛБ) – це міжнародна система, яка складається з наземних та супутникових елементів і направлена на гарантування надійного зв'язку, що стосується безпеки та терміновості, передачу іншої необхідної інформації. Питання функціональної стійкості даної системи постає у разі лиха і має вирішальне значення [71], адже втрата функціональної стійкості під час лиха може призвести до ескалації наслідків (як визначено структурою подальшого розвитку методу Ісікави та діаграми). На базі МК КТ висувають жорсткі вимоги до ПТЕ компонентів ГМЗЛБ. Саме встановлення надійного зв'язку з рятувальним координаційним центром (РКЦ) для гарантування чіткої координації дій пошуково-рятувальних операцій є пріоритетним завданням ГМЗЛБ. ГМЗЛБ забезпечує не тільки зв'язок з РКЦ - забезпечується зв'язок з іншими РОВТ, а також іншими спеціалізованими технічними засобами, які позбавлені мобільності – ПБУ, НПБУ, СПБУ або МСП, FPSO та ін., а також, при необхідності, з літальними апаратами. При цьому РКЦ або координатор на місці керує сеансами зв'язку, а також сеансами радіомовчання. РКЦ або координатор на місці можуть визначати види зв'язку (в залежності від морського району). Використовується цифровий вибіркового виклик (ЦВВ), супутниковий зв'язок ІНМАРСАТ, телефонія на ультра коротких хвилях (УКХ), коротких хвилях (КХ), проміжних хвилях (ПХ), розширений груповий виклик (РГВ). Якщо РОВТ не має змогу

приймати повідомлення міжнародної автоматизованої системи сповіщення Navigational Telex (NAVTEX), то необхідно застосовувати РГВ чи використовувати приймач ІБМ на КХ. РГВ використовується при поданні сигналу лиха, а також може бути використаний РКЦ для координації дій РОВТ. Необхідно відмітити, що ІБМ в системі РГВ може передаватися лише англійською мовою.

Різні системи зв'язку, які складають бортовий сегмент ГМЗЛБ і є частиною ББКНО РОВТ, формуються конструкторськими бюро за допомогою методів морфологічного аналізу і синтезу за критеріями відповідних норм КТ. Додаткове резервування систем може бути визначено шляхом пропонованого зворотного підходу. Підхід ґрунтується на базі визначення імовірності безвідмовної роботи комплексу з можливістю залучення резервів.

В роботі розглянемо бортовий сегмент ГМЗЛБ проекту UT 733-2 морського району А4 з типовим обладнанням: УКХ радіостанція з ЦВВ; приймач NAVTEX; радіолокаційний відповідач; аварійний радіобуй (АРБ); портативні аварійні радіостанції; ПХ/КХ радіостанція з ЦВВ і вузькосмуговим літеродрукуванням (ВСЛД); приймач РГВ або приймач ІБМ на КХ.

В сформованій схемі очевидне резервування за вимогами КТ, в даному випадку. АРБ не має резервування, але жорсткі вимоги до нього гарантують функціональну стійкість. Також функції АРБ з практичної точки зору можуть не знадобитися при деяких обставинах лиха. АРБ вкрай важливий компонент ГМЗЛБ при раптовій загибелі РОВТ. Важливість АРБ зростає при навігації поза зоною ІНМАРСАТ.

Перевага ВСЛД полягає в тому, що передається текст, а не голос. Тому в разі лиха це може практично спростити сприйняття інформації, адже в стані стресу і якщо англійська мова не є рідною для екіпажу – можуть виникнути певного роду комунікаційні труднощі. За допомогою ВСЛД можна передавати заздалегідь приготовлені повідомлення. Перевагою ВСЛД є також можливість зв'язку з однією станцією або з усіма станціями, що мають технічні можливості по прийняттю радіо сигналів. При відповідному сигналі лиха по ЦВВ з

встановленим методом подальшого зв'язку телекс можна отримувати в форматі ВСЛД повідомлення.

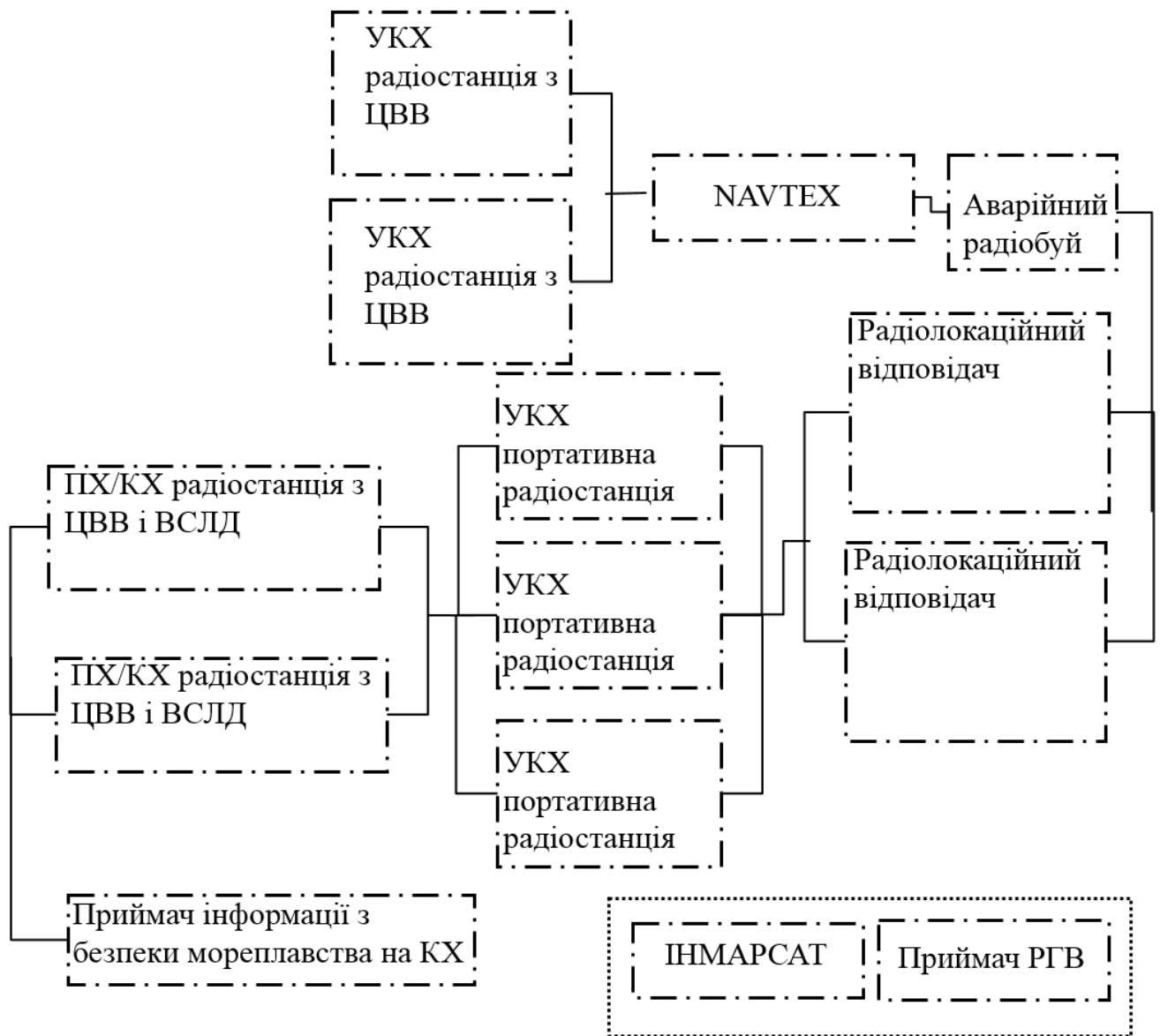


Рисунок 5.17 - Схема функціональної стійкості інтегрованого комплексу глобальної морської системи зв'язку для безпеки мореплавства проекту UT 733-2

Щодо УКХ радіостанцій – то на РОВТ більше 500 р тон має бути як мінімум 3 УКХ портативні радіостанції. При настанні лиха на РОВТ, де кількість екіпажу не перевищує місткість шлюпки або, що найчастіше – плоту, гідно з морською практикою всі сідають в один рятувальний засіб, а ті засоби, що залишились об'єднують до купи з основним, як резерв. В такому випадку 2 з 3 УКХ

радіостанцій виступають у якості резерву. А імовірність безпечного функціонування комплексу портативних УКХ радіостанцій дорівнює:

$$\tilde{P}_{КПУКХ} = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \tilde{P}_{ПУКХi}), \quad (5.20)$$

де  $\tilde{P}_{ПУКХ}$  - імовірність безпечного функціонування портативної УКХ радіостанції.

Це рівняння повністю відповідає складеній схемі функціональної стійкості. Проте, якщо члени РОВТ при настанні лиха будуть розбиті на дві групи, то тоді рівняння матиме наступний вид:

$$\tilde{P}_{КПУКХ} = \tilde{P}_{ПУКХ} \left( 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ПУКХi}) \right). \quad (5.21)$$

Якщо КТ, або СУБ компанії визначає, що для РОВТ необхідно більше радіостанцій – то загальне рівняння можна записати наступним чином:

$$\tilde{P}_{КПУКХ} = \prod_{j=1}^n \tilde{P}_{ПУКХj} \prod_{l=1}^k \left( 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \tilde{P}_{ПУКХi}) \right)_l. \quad (5.22)$$

Сенс останнього рівняння зводиться до того, що прогнозується у разі лиха використовувати n-ну кількість рацій без резервування, тобто екіпаж формує відряди, де існує тільки одна радіостанція для підтримки зв'язку. Прогнозується k-та кількість груп, де рації резервуються кількістю m-1 одиниць. Саме такий набір безаварійних структур необхідно впроваджувати на РОВТ з великою кількістю осіб. Особливо там, де можуть бути групи з дітьми, жінками, пораненими, великі групи, та ін. При цьому критерії імовірності безпеки можуть бути різними для різних груп.

Для адекватного використання індикаторної функції, введемо дві категорії для  $\tilde{P}_{B \min}$ . Для I категорії пріоритет безпеки є більшим ніж для другої за обумовлених вище причин. Тобто  $\tilde{P}_{BI \min} \succ \tilde{P}_{BII \min}$ . Тоді з урахуванням пріоритету, рівняння для індикаторної функції  $I_{\tilde{P}}(\tilde{P}_{КПУКХ})$  матиме наступний вигляд:

$$I_{\tilde{P}}(\tilde{P}_{КПУКХ}) = \begin{cases} 1, \prod_{l=1}^k \left( 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \tilde{P}_{ПУКХi}) \right)_l \geq \tilde{P}_{BI \min}, \\ 0, \prod_{l=1}^k \left( 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \tilde{P}_{ПУКХi}) \right)_l < \tilde{P}_{BI \min}, \\ 1, \prod_{j=1}^n \tilde{P}_{ПУКХj} \geq \tilde{P}_{BII \min}, \\ 0, \prod_{j=1}^n \tilde{P}_{ПУКХj} < \tilde{P}_{BII \min}, \end{cases} \quad (5.23)$$

де  $\tilde{P}_{BI \min}$  - критерій безпеки по I категорії;

$\tilde{P}_{BII \min}$  - критерій безпеки по II категорії.

Тоді повне рівняння імовірності безвідмовного функціонування засобів зв'язку прийме вид:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{33} = & \left( 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{СУКХi}) \right) \tilde{P}_{NAVTEX} \tilde{P}_{АРБ} \left( \tilde{P}_{КПУКХ} I_{\tilde{P}}(\tilde{P}_{КПУКХ}) \right) \times \\ & \times \left( 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ПХ/КХi}) \right) \tilde{P}_{ПБМ}, \end{aligned} \quad (5.24)$$

де  $\tilde{P}_{СУКХ}$  - імовірність безпечного функціонування стаціонарної УКХ апаратури;

$\tilde{P}_{NAVTEX}$  - імовірність безпечного функціонування апаратури NAVTEX;

$\tilde{P}_{APB}$  - імовірність безпечного функціонування АРБ;

$\tilde{P}_{ПХ/КХ}$  - імовірність безпечного функціонування ПХ/КХ устаткування;

$\tilde{P}_{ПБМ}$  - імовірність безпечного функціонування приймача інформації з безпеки мореплавання.

Введення в рівняння індикаторної функції дозволяє виявити на ранніх етапах можливі загрози, джерелом яких є невідповідності рівнів безпеки. Індикаторну функцію доцільно використовувати, коли ми маємо біфуркацію критеріїв безпеки за категоріями, коли існують ситуативні поділи технічних засобів, що викликає застосування принципу розчленованості при збереженні модульної цілісності системного підходу для формалізації алгебраїчних моделей.

## **5.8 Динамічне програмування безпеки поліергатичного управління засобами інформаційно-обчислювальних комплексів**

Комп'ютерні системи управління являються серцем не тільки сучасного навігаційного комплексу, а і багатьох важливих з точки зору безпеки систем РОВТ. Комп'ютери та комп'ютерні системи призначені для контролю і управління механізмами та пристроями, що забезпечують спільно з іншими системами автоматизації, безпечну і надійну реалізацію процесів високоточної навігації при експлуатації РОВТ і виконання технологічної роботи, підтримують життєдіяльність.

Введемо поняття і визначення, які характеризують найбільш повно системи з точки зору завдань дослідження і не суперечать визначенням, які вводить РУ.

Інтегрована система – це комп'ютерні системи, взаємопов'язані для забезпечення централізованого доступу до інформації від датчиків та управління процесами.



Інтерфейс - це місце обміну інформацією (наприклад: інтерфейс входу/виходу для з'єднання з датчиками і виконавчими механізмами РОВТ; інтерфейс людина/машина, тобто монітори, клавіатури, маніпулятори і т.д. для взаємодії оператора і комп'ютера; комунікаційний інтерфейс для здійснення послідовного зв'язку з іншими комп'ютерами та периферійними пристроями).

Комп'ютер - програмований електронний пристрій, призначений для зберігання і обробки даних в цифровій формі, проведення цільових розрахунків або здійснення управління. Комп'ютер може бути моноблочним або складатися з декількох взаємопов'язаних одиниць.

Комп'ютерна система - система, що складається з одного або декількох комп'ютерів зі встановленим програмним забезпеченням, периферійними пристроями та інтерфейсами.

Програмований логічний контролер (PLC) - комп'ютерний пристрій, виконаний у вигляді самостійного функціонального модуля та призначений для виконання функцій управління і контролю механізмами та процесами на борту РОВТ.

Монітор - електронний пристрій відображення інформації.

Периферійний пристрій - пристрій, що виконує певну допоміжну функцію в системі (принтер, пристрій зберігання даних та т.д.).

Програмне забезпечення - програми, параметри та документація, пов'язані із забезпеченням роботи комп'ютерної системи.

Вузол - точка підключення до шин обміну інформацією.

Комп'ютерні системи автоматизації повинні відповідати всім функціональним вимогам, що пред'являються до них в усіх умовах експлуатації РОВТ, включаючи аварійні, з урахуванням убезпечення безпеки людей, виключення шкідливого впливу на НС, виключення ушкоджень або аварій обладнання, забезпечення зручності обслуговування, забезпечення працездатності інших ТС.

Якщо час відпрацювання функцій ТС коротше, ніж час реакції оператора, через що аварія не може бути відвернена ручним втручанням, повинні передбачатися засоби автоматичної корекції процесу.

Комп'ютерна система повинна мати достатні можливості для того, щоб в усіх умовах експлуатації, включаючи аварійні: виконувати необхідні автономні операції, приймати команди ОСДП, правильно і своєчасно інформувати ОСДП.

Система повинна бути здатна забезпечити реалізацію всіх функцій протягом заданого часу з урахуванням максимального навантаження та максимального числа одночасно виконуваних завдань, включаючи забезпечення швидкості передачі даних по мережі, в нормальних та аварійних умовах.

**Комп'ютерні системи** повинні бути спроектовані так, щоб не вимагалось спеціальних попередніх знань для їх нормальної експлуатації. У разі необхідності повинна бути забезпечена відповідна технічна підтримка і навчання персоналу. Також системи повинні бути захищені від випадкових і несанкціонованих змін програм та інформації.

**Апаратне забезпечення** комп'ютерів та комп'ютерних систем повинне надійно працювати в усіх можливих умовах експлуатації РОВТ, а конструкція апаратури повинна забезпечувати легкий доступ до замінних елементів та блоків для ремонту і технічного обслуговування. Причому кожен замінний елемент повинен бути виконаний так, щоб його можна було легко та безпечно замінити і обслуговувати. Всі замінні елементи повинні бути виконані так, щоб виключались їх неправильне підключення й установка. У випадках, коли це неможливо виконати, повинно бути передбачене відповідне чітке маркування.

В ході всього життєвого циклу ПЗ, тобто в процесі розробки, установки, налагодження і подальшої модернізації, повинні виконуватися систематичні процедури контролю його функціонування.

Всі передбачені функції застосованого на борту РОВТ і відповідно сертифікованого КТ ПЗ повинні бути детально вказані в технічній документації, перевірені і зафіксовані в протоколах відповідних випробувань. Випробування повинні включати перевірку всіх окремих функцій, важливих поєднань функцій,

їх реалізацію, надійність, зручність застосування в усіх режимах роботи, включаючи аварійні, а також поведінку програм в несправному стані за умови присутності кваліфікованих представників КТ.

Будь-які зміни в ПЗ та інформації повинні бути виконані відповідно до нормативів і відображені в технічній документації.

ПЗ в комп'ютерних системах контролю, управління і САПСЗР не повинно втрачатися або пошкоджуватися через короткочасні провали напруги живлення або коливань напруги і частоти мережі.

Повинні бути передбачені конструктивні засоби захисту від помилок ЛЮ III роду, а також від випадкового втручання, що може призвести до критичних змін з аварійними наслідками подій I категорії в програмах управління або величинах граничних значень контрольованих параметрів комп'ютерних систем.

Для підвищення відмовостійкості комп'ютерної системи її апаратне і ПЗ повинне мати модульну ієрархічну структуру. Вибір компонентів комп'ютерної системи повинен виконуватися з урахуванням забезпечення безпечного функціонування керованого обладнання.

Комп'ютерні системи повинні мати вбудований самоконтроль функціонування, що забезпечує відповідну сигналізацію в разі несправності. Джерела електричного живлення повинні мати контроль їх справного стану. У разі відхилень параметрів або зникнення будь-якого із видів живлення повинен бути передбачений аварійно-попереджувальний сигнал.

ПЗ і інформація комп'ютерної системи повинні бути захищені від пошкоджень через втрату електричного живлення. Резервовані комп'ютерні системи повинні отримувати живлення з окремих фідерів і повинні бути захищені від коротких замикань і перевантажень окремими пристроями захисту.

Апаратура і кабельні траси комп'ютерних систем повинні бути розташовані так, щоб було виключено їх електромагнітний взаємовплив, а також перешкоди від іншого обладнання. Кабелі передачі інформації повинні бути досить міцними, відповідним чином закріплені і захищені від механічних пошкоджень.

Канал передачі інформації повинен безперервно самоконтролюватися з метою виявлення відмов в ньому самому і збоїв у передачі інформації на вузлах. При виявленні несправності повинна спрацювати САПСЗР. Якщо канал передачі інформації використовується для двох і більше відповідальних функцій, він повинен бути резервованим. Резервовані канали передачі даних повинні прокладатися окремо і на якомога більшій відстані один від одного.

Перемикання між резервованими каналами не повинно викликати порушень в передачі інформації і в безперервному функціонуванні системи. При автоматичному перемиканні повинен подаватися сигнал САПСЗР. Для забезпечення нормального обміну інформацією між різними системами повинні використовуватися стандартні інтерфейси.

Принцип виходу із ладу в ТС в найменш небезпечну сторону є ключовим при проектуванні СДП і систем комп'ютерного управління. Комп'ютерна система має бути сформована таким чином, щоб при виходу її із ладу об'єкти управління автоматично приводились в найменш небезпечний стан. Несправність системи і її перезапуск не повинні призводити керовані процеси в невизначений або критичний стан. Системи управління, САПСЗР повинні бути виконані таким чином, щоб одинична відмова в комп'ютерній системі не могла вплинути на більш ніж одну з указаних функцій.

Функціонування об'єктів управління в рамках інтегрованої системи повинно бути не менш ефективним і надійним, ніж їх функціонування в автономних умовах. При використанні багатофункціональних засобів відображення інформації і управління, вони повинні бути дубльованими і взаємозамінними.

Відмова однієї частини інтегрованої системи (модуля, блоку апаратури або системи відповідного рівня ієрархії) не може впливати на функціональну стійкість інших частин складної технічної системи, виключаючи ті функції, які безпосередньо залежать від того компоненту, який зазнав відмови або пошкодження. Альтернативні засоби управління, незалежні від інтегрованої системи, повинні бути передбачені для всіх відповідальних функцій.

Якщо потрібно дублювання об'єктів управління і розміщення їх в різних приміщеннях, то цю ж вимогу слід застосовувати і до їх комп'ютерних систем управління і контролю.

Комп'ютерні системи повинні бути виконані з урахуванням вимог ергономіки таким чином, щоб управління ними було легким, зрозумілим і зручним, а стан комп'ютерної системи (включено, виключено, справне, несправне і т.п.) повинно бути легко розпізнаваним. Для системи повинно бути розроблено посібник користувача, в якому повинні бути описані призначення функціональних клавіш, екранні відображення меню, черговість дій при діалозі ОСДП з СДП. У випадках відмов або відключень підсистем на відповідних операторських станціях повинна спрацьовувати САПСЗР.

Пристрої введення повинні мати чітко визначені функції, бути надійними і безпечними при всіх умовах експлуатації. Підтвердження введеної команди повинно бути очевидним для оператора.

Для часто повторюваних команд і команд термінового виконання повинні передбачатися окремі клавіші. Якщо клавіша призначена для завдання декількох функцій, то повинна бути передбачена ідентифікація функції, що знаходиться в активному стані. Панелі управління комп'ютерної системи СДП на ходовому містку повинні бути обладнані окремим підсвічуванням. Рівень інтенсивності підсвічування і яскравість екранів моніторів повинні регулюватися.

У тих випадках, коли дія системи або її функції можуть бути змінені за допомогою клавіатури, операції на ній повинен проводити лише кваліфікований персонал. Якщо за допомогою клавіатури можна задати потенційно небезпечні умови роботи обладнання СДП РОВТ, то повинні бути передбачені заходи для запобігання виконання такої команди однією дією, наприклад використання спеціального замка для клавіатури або використання для такої команди двох або більше клавіш.

Суперечливі втручання ОСДП в управління повинні бути попереджені за допомогою відповідного блокування або системи попереджень. Існуючий в кожен даний момент стан управління системою повинен бути зрозумілим для

ОСДП. Дії пристроїв введення повинні бути логічними і відповідати напрямам дій керованого системою обладнання.

Розмір, колір, щільність тексту і графічної інформації на екранах моніторів повинні бути такими, щоб забезпечувалося легке зчитування інформації з робочого місця оператора за всіх умов освітленості в приміщенні. Яскравість і контрастність зображення на екранах повинні регулюватися для нормального сприйняття інформації при будь-якому оточуючому освітленні. Інформація повинна надаватися відповідно до логічних пріоритетів.

Якщо на екранах кольорових моніторів виводяться аварійні повідомлення, їх аварійний характер повинен бути чітко помітний навіть в умовах порушення нормальної кольоровості екранів.

Функціонально стійкий графічний інтерфейс користувача СДП має цільове призначення для введення команд і виведення інформації про стан системи. Інформація повинна подаватись чітко, зрозуміло, відповідно до її функціональної значимості і взаємозв'язками. Зміст екранного зображення повинен бути організованим і обмежений даними, які мають безпосереднє відношення до ОСДП.

При використанні графічних інтерфейсів загального призначення оператору повинні бути доступні тільки функції, необхідні для відповідного процесу. Візуальна і звукова аварійна інформація повинна мати пріоритет перед іншою інформацією в усіх робочих режимах системи. Аварійна інформація повинна добре відрізнятися від іншої.

Всі екранні зображення і функції управління на операторських станціях, що обслуговуються одним і тим же кваліфікованим відповідно до міжнародних вимог вахтовим персоналом, повинні мати один і той же інтерфейс. Особлива увага повинна бути звернена на ідентичність символів, кольорів, способів управління, пріоритетів інформації, компоновання екранних зображень.

Повинно бути передбачено навчання персоналу на рівні, необхідному для ефективної експлуатації і технічного обслуговування системи, яка повинна охоплювати нормальні умови експлуатації, типові несправності і аварійні

режими. Інтерфейс користувача при навчанні повинен відповідати реальному інтерфейсу системи.

На борту РОВТ повинна бути передбачена відповідна документація для навчання і використання в якості довідкового посібника в процесі експлуатації комп'ютерних систем. Якщо режим навчання безпосередньо вбудований в СДП, то він повинен бути чітко ідентифікований при його включенні (активації).

Нормальне функціонування системи не повинно припинятися у випадках, коли включений (активований) режим навчання, аварійно-попереджувальні сигнали і індикація в системі не повинні при цьому блокуватися.

Комп'ютерні системи повинні бути спроектовані, виготовлені і випробувані на відповідність вимогам КТ. Якщо система є інтегрованою, то повнота виконання вимог щодо об'єднання підсистем повинна бути представлена підприємством, відповідальним за об'єднання. В додаток до вимог цього розділу виробники комп'ютерних систем повинні мати систему управління якістю, що підтверджує відповідність їх продукції заявленим характеристикам.

Випробування і перевірки комп'ютерної системи повинні виконуватися з метою підтвердження правильності функціонування і якості виконання обладнання. Модифікації програмного забезпечення і параметрів системи, а також конструктивні зміни повинні бути перевірені і випробувані.

Програмовані електронні системи повинні відповідати всім пред'явленим до них вимогам в усіх очікуваних умовах експлуатації РОВТ на протязі всього його життєвого циклу, з урахуванням загрози людському життю, впливу на навколишнє середовище, пошкодження РОВТ і обладнання.

Програмовані електронні системи повинні підрозділятися на три категорії, відповідно до потенційних (можливих) збитків, що виникають по причині одиничної відмови в програмованих електронних системах управління і контролю.

Категорія I включає в себе такі системи, відмова яких не призведе до виникнення небезпечних ситуацій для здоров'я людей, безпеки РОВТ або загрози для навколишнього середовища. Такі системи застосовуються для реалізації

функції контролю для інформаційних та адміністративних завдань. Це системи технічного обслуговування, інформаційні системи і системи діагностики.

Категорія II включає системи, відмова яких може, в кінцевому результаті, призвести до виникнення небезпечних ситуацій для здоров'я людей, безпеки РОВТ або загрози для навколишнього середовища. Такі системи застосовуються для реалізації функції аварійно-попереджувальної сигналізації і контролю, а також функцій управління, які необхідні для підтримки РОВТ в нормальному робочому стані на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації. Це обладнання систем АПС і контролю, засоби вимірювання ємності танків, системи управління допоміжними механізмами, системи дистанційного автоматизованого управління головної пропульсивної установки, система пожежної сигналізації, системи пожежогасіння, осушувальні системи, регулятори частоти обертання.

Категорія III включає такі системи, відмова яких може негайно призвести до виникнення небезпечних ситуацій для здоров'я людей, безпеки РОВТ або загрози для навколишнього середовища. Це системи або пристрої захисту механізмів, системи автоматизованого управління котельними форсунками, електронні системи управління вприскуванням палива дизельних двигунів, системи управління пропульсивною установкою і рульовим пристроєм, пристрої синхронізації для головного розподільчого щита.

Віднесення програмованої електронної системи до відповідної категорії повинно здійснюватися в залежності від найбільшого можливого ступеня безпосереднього пошкодження механізмів і обладнання. При цьому, слід розглядати збиток, безпосередньо заподіяний такою відмовою, а не опосередкований збиток. В системах, де передбачено ефективно незалежне резервування або інші заходи, що дозволяють уникнути небезпеки, категорія III може бути знижена на одну категорію.

Ці вимоги застосовуються для систем категорій II і III, що використовують загальні канали передачі даних (локальну мережу) для розподілу даних між програмованими електронними системами і обладнанням.



У випадку, якщо одиночна відмова будь-якого компонента призводить до втрати каналу зв'язку, повинні бути передбачені засоби автоматичного відновлення каналу передачі даних.

Відмова будь-якого каналу передачі даних не повинна впливати на можливість здійснювати управління відповідальними споживачами за допомогою альтернативних засобів. Повинні бути передбачені засоби, що забезпечують цілісність даних і своєчасне відновлення пошкоджених або недостовірних даних.

Повинні бути передбачені засоби самоконтролю каналу передачі даних, які виявляють відмови в каналі, а також збоїв в передачі даних на вузлових модулях, приєднаних до каналу. При виявленні відмови повинен подаватися сигнал АПС. У випадку виходу каналу передачі даних із ладу, засоби самоконтролю повинні переводити всю програмовану електронну систему в найбільш безпечний стан марківського процесу, з урахуванням стану резервів технічних систем.

Робочий канал передачі даних повинен забезпечувати передачу всієї необхідної інформації в реальному часі і запобігати перевищення обсягу переданої інформації. Вимоги поширюються на системи категорії II, що використовують безпроводні канали передачі даних.

Запобігання виникненню помилок, їх виявлення, оцінку і корекцію з метою уникнути пошкодження або зміни інформації, що міститься в повідомленнях, під час передачі; ідентифікацію пристроїв і конфігурації. Допускається підключення тільки передбачених проектом пристроїв; шифрування інформаційних повідомлень і конфіденційність інформації, що передається. Захист мережевих ресурсів має бути гарантовано як частина комплексу мір інформаційної безпеки.

Технічні характеристики передачі відповідних радіосигналів мають відповідати встановленим Міжнародним союзом електрозв'язку (International Telecommunication Union) вимогам, або, при необхідності, вимогам Адміністрації держави прапора. Мають бути передбачені технічні заходи для забезпечення експлуатації систем при неможливості з технічних, природних або інших причин (зокрема при накладанні обмежень на використання частот або рівнів

радіосигналів портовою адміністрацією чи іншим органом місцевої влади) використання безпроводних каналів передачі даних.

Програмовані електронні системи категорій II і III повинні бути захищені від внесення змін до програми персоналом (користувачем), які не мають на те повноважень. Зміни параметрів систем категорії III, здійснювані виробником, повинні бути схвалені Регістром. Будь-які зміни програм і / або апаратних засобів, що вносяться після проведення на яких був присутній представник КТ, повинні бути оформлені відповідною документацією, яка надається для схвалення КТ. Для схвалення програмованих електронних систем категорій II і III повинна бути представлена документація. Для всіх випробувань систем, у відповідності з призначеної категорією, повинна бути розроблена і представлена на розгляд програма випробувань, а результати випробувань повинні бути оформлені документально (протоколами).

Для систем категорії III повинна бути представлена на розгляд додаткова документація. Документація повинна включати методику випробувань і критерії оцінки результатів випробувань.

На борту РОВТ повинні завжди знаходитись документи системи якості підприємства, що стосуються розробки ПЗ та які визначають відповідність виробництва і виробів заявленим стандартам. Також повинна бути розроблена документація щодо функціонування програмного забезпечення протягом терміну служби, що визначає відповідні процедури, зобов'язання і документацію системи, включаючи управління конфігурацією ПЗ. Вхідний контроль компонентів (тільки апаратного забезпечення), отриманих від постачальників гарантує те, що компоненти і / або блоки системи відповідають специфікації.

Контроль якості при виробництві грає ключову роль. Він відображений документально у відповідних свідоцтвах про вжиті заходи щодо забезпечення якості в процесі виробництва, а також в протоколах остаточних випробувань готової продукції та інших документах про результати випробувань.

Контроль ПЗ полягає в простежуваності ПЗ, що означає те, що модифікація змісту і даних програми, а також зміна версії повинні здійснюватися відповідно до спеціальної процедури і бути документально оформлені.

Технічна документація апаратного і програмного забезпечення:

- документація ПЗ;
- документація апаратного забезпечення;
- аналіз відмов функцій системи, важливих для безпеки.

Для виконання гарантованого професійного контролю роботи СДП і систем РОВТ, ЛО повинен мати опис ПЗ, яке повинно містити наступне:

- опис базового ПЗ і ПЗ зв'язку, встановленого в кожному з апаратних засобів;
- опис прикладного ПЗ ( при цьому описом прикладного ПЗ не являється лістинг програми);
- опис функцій, технічних характеристик, обмежень і взаємозалежності між модулями, або іншими компонентами.

Опис апаратного забезпечення аналогічно опису ПЗ має велике значення для забезпечення ЛО необхідною інформацією під час експлуатації та ремонту ТС. Повинен бути даний опис технічних засобів, зокрема структурна схема ТС із зазначенням розташування, пристроїв введення / виводу, а також взаємозв'язку між компонентами; - монтажні схеми; детальний опис пристроїв введення / виводу; детальний опис системи електропостачання.

Документація по аналізу відмов для функцій, важливих для безпеки, наприклад, аналіз видів і наслідків відмов - Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) - методології проведення аналізу та виявлення найбільш критичних кроків процесів. Згідно військовому стандарту США, та стандарту ІМСА, FMEA – складна багатофазова процедура, що має на меті всебічний аналіз всіх можливих помилок системи, а також визначення результатів впливу та ефектів на систему для відповідної класифікації всіх таких помилок щодо їх критичності (оцінки ризиків і можливих наслідків) для роботи всієї досліджуваної системи [317].

Процедурний протокол FMEA було розроблено для військово-промислового комплексу США. Це стандартний підхід до ідентифікації, аналізу та структуруванню потенційно можливих відмов, який діє в США і станом на 2021 рік.

В 1950-х - 1960-х роках стандарт набув подальшого розповсюдження, насамперед в аерокосмічній промисловості для запобігання дефектів дорогих і несерійних ракетних технологій. Розробку проекту з висадки людини на Місяць було успішно проведено саме завдяки застосуванню процедур FMEA і вірного аналітичного підходу до функціональної стійкості та резервування.

У 1970-х роках методологія FMEA була застосована в різних галузях промисловості для підвищення надійності та безпеки. З 1993 року FMEA став одним з вимог стандартів якості США.

Аналіз повинен виконуватися (описуватися) із застосуванням відповідних методів, наприклад аналізу дерева подій, аналізу ризиків, аналізу характеру і наслідків відмов, або аналізу характеру, наслідків та важливості відмов.

Метою зазначених заходів є демонстрація того, що при одиничній відмові система повинна відповідати принципу виходу в безпечну сторону, а працюючі системи не будуть виведені з ладу, або їх продуктивність не буде нижче прийнятного критерію, встановленого схваленою технічною документацією. Необхідно зазначити, що при впровадженні ПАК ППР на базі розробленого ПЗ «Інспектор поліергатичних систем» [148] як частину ББКНО РОВТ він також має проходити випробування щодо його функціональної стійкості та відповідності стандартам якості.

Документи з випробувань ПЗ:

- протоколи випробувань ПЗ відповідно до плану якості;
- аналіз наявності та виконання процедур програмування для функцій, важливих для безпеки.

Протоколи випробувань ПЗ повинні відповідати документам системи якості підприємства. Повинні бути встановлені процедури перевірки і підтвердження достовірності ПЗ, наприклад:

- методика випробувань;
- створення програм випробувань;
- моделювання.

Повинні бути розроблені спеціальні методи перевірки і підтвердження достовірності (правильності), що задовольняють відповідним вимогам, наприклад:

- багатоваріантне програмування;
- аналіз і випробування програм для виявлення формальних помилок і протиріч щодо описів.

Випробування апаратних засобів:

- випробування у відповідності з вимогами КТ.

Випробування зазвичай представляють собою випробування такого типу, на яких присутній представник КТ. По закінченню випробувань складається відповідний протокол.

Випробування ПЗ складається з наступних етапів:

- випробування модулів ПЗ;
- випробування ПЗ складових системи (підсистем, компонентів);
- випробування ПЗ цілої системи.

Випробування програмних модулів повинні бути свідченням того, що кожен модуль виконує визначені для нього функції і не виконує функцій, які йому не визначено.

Випробування ПЗ підсистем покликані засвідчити, що модулі взаємодіють належним чином, виконуючи визначені функції і не виконуючи функцій, які їм не визначені.

Функціональні випробування системи:

- комплектні випробування (з ПЗ);
- моделювання відмов;
- заводські приймально-здавальні випробування.

Комплектні випробування програмованих електронних систем повинні здійснюватися спільно з належним чином випробуваним системним ПЗ, а також з відповідними компонентами прикладних програм в тій мірі, в якій це можливо.

Відмови повинні моделюватися з максимальним ступенем адекватності реальним об'єктам, з метою виявлення відмов у системі, а також дослідження реагування системи на такі відмови. Результати будь-яких видів аналізу наслідків відмов (FMEA) повинні ретельно розглядатися.

Заводські приймально-здавальні випробування здійснюються відповідно до програми випробувань, схваленою КТ.

Випробування на борту РОВТ:

- комплектні випробування системи;
- комплексні (інтеграційні) випробування;
- демонстрація електромагнітної сумісності обладнання безпроводної передачі даних натурними випробуваннями.

Випробування проводяться на повністю укомплектованій системі, куди входять компоненти технічних засобів і остання версія ПЗ, у відповідності зі схваленою програмою випробувань. Мета випробувань на борту РОВТ полягає в тому, щоб підтвердити, що була досягнута необхідна функціональність всіх інтегрованих систем.

Випробування проводяться з метою демонстрації функціональної стійкості обладнання безпроводної передачі даних до електромагнітних перешкод в умовах експлуатації, а також відсутності відмови іншого обладнання при передачі даних в радіочастотному діапазоні. У разі виявлення відмов обладнання систем категорії II або III, розміщення та / або склад обладнання повинні бути змінені для запобігання зазначених відмов у майбутньому. Внесення змін до системи зумовлює необхідність випробування після внесення змін.

Модифікація схвалених систем повинна здійснюватися відповідно до вимог КТ. Всі зміни, що вносяться або модифікації системи повинні бути документально оформлені виробником і представлені для розгляду і схвалення КТ. Наступні значні зміни програмного і апаратного забезпечення (значною

змінною вважається зміна, яка впливає на функціональність і / або безпеку системи) систем категорій II і III повинні бути представлені на розгляд і схвалення заново.

Використовуючи системний підхід та модульний принцип можна для наочності представити резервування компонентів СДП в залежності від класу наступним чином. Незалежно від класу СДП кожна комп'ютерна система управління ДП складається з системи пристроїв вводу та виводу інформації управління процесом ДП та системи програмованих логічних контролерів. Принтер являється периферійним пристроєм системи. Тому за винятком принтеру можна перераховане вище виділити як єдиний модуль для спрощення надання інформації про надійність.

Система пристроїв вводу та виводу інформації управління процесом ДП складається з багатоцільового пристрою вводу, джойстика та багатофункціонального інтегрованого комп'ютера. Інтегрований джойстик в СДП не можна відносити до систем ручного керування, так як він інтегрується з конкретною СДП і є об'єктом управління відповідного програмованого логічного контролеру.

Багатофункціональний комп'ютер представляє собою не тільки інтеграцію з монітором і забезпечує зручний вивід поточної навігаційної інформації на екран, а й являється пристроєм вводу при наявності функції тач скрін монітору (таким чином можна використовувати віртуальну клавіатуру). Система програмованих логічних контролерів убезпечує виконання функцій управління і контролю поточними процесами для реалізації безпечного ДП в збуреному локально обмеженому просторі виконання технологічних робіт.

Для формування бази даних схем функціональної стійкості комп'ютерних систем для потреб методології динамічного програмування безпеки полієргатичного управління необхідно дослідити можливі варіанти конфігурацій для СДП всіх класів за правилами РУ та КТ, що входять до МАКТ. Побудуємо схему функціональної стійкості комп'ютерної системи управління для СДП першого класу.

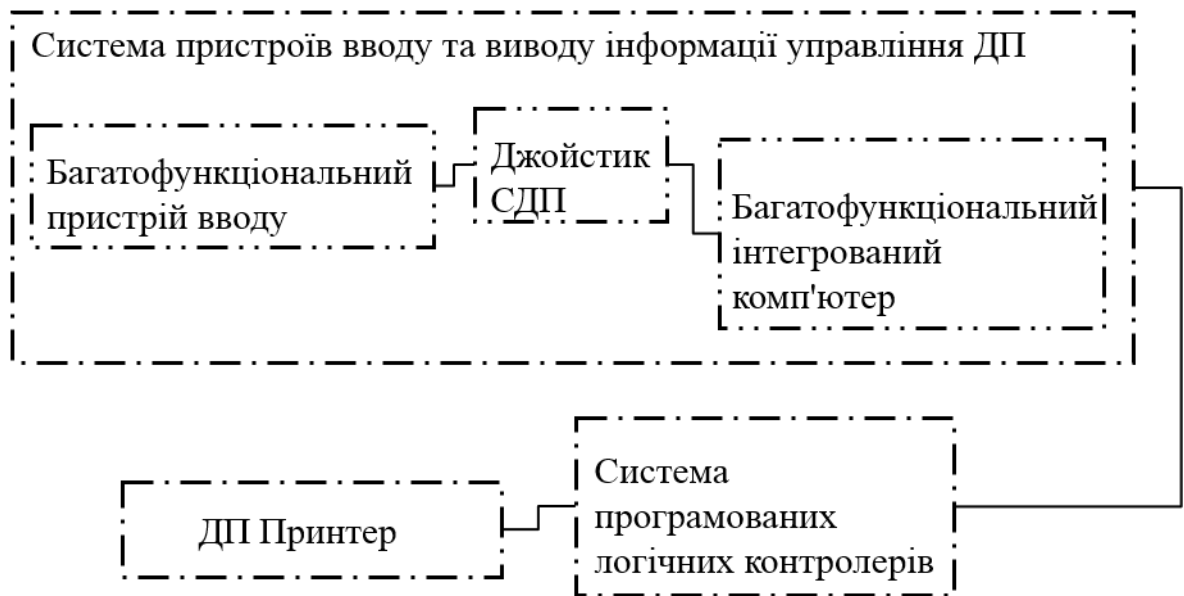


Рисунок 5.18 - Схема функціональної стійкості комп'ютерної системи управління для СДП першого класу

Для комп'ютерних систем, що застосовують у системах управління збуреним рухом СДП класу 1 і РОВТ, що обладнані такими СДП, мають до основного символу класу відповідний знак РУ DP1, вимоги до резервування не пред'являються. Такі вимоги повністю вимогам ІМО, МАКТ та РУ щодо класифікації СДП [319, 226].

Проте хочеться відзначити, що відсутність резерву для комп'ютерної системи зовсім не означає, що така система не є функціонально стійкою, а експлуатація РОВТ є потенційно небезпечною. Резервом безпеки виступає в даному випадку поліергатична взаємодія, яка забезпечує керування в разі відмови кваліфікованим ОСДП за допомогою джойстика, який є складовою частиною СДП.

Комп'ютерні системи, що застосовують у системах керування СДП класу 2 (що класифікуються згідно РУ і мають знак DP2 додатково до основного символу класу), повинні бути дубльовані і незалежні одна від одної. Таким чином, спираючись на сказане вище, можна побудувати схему функціональної стійкості СДП 2 класу.



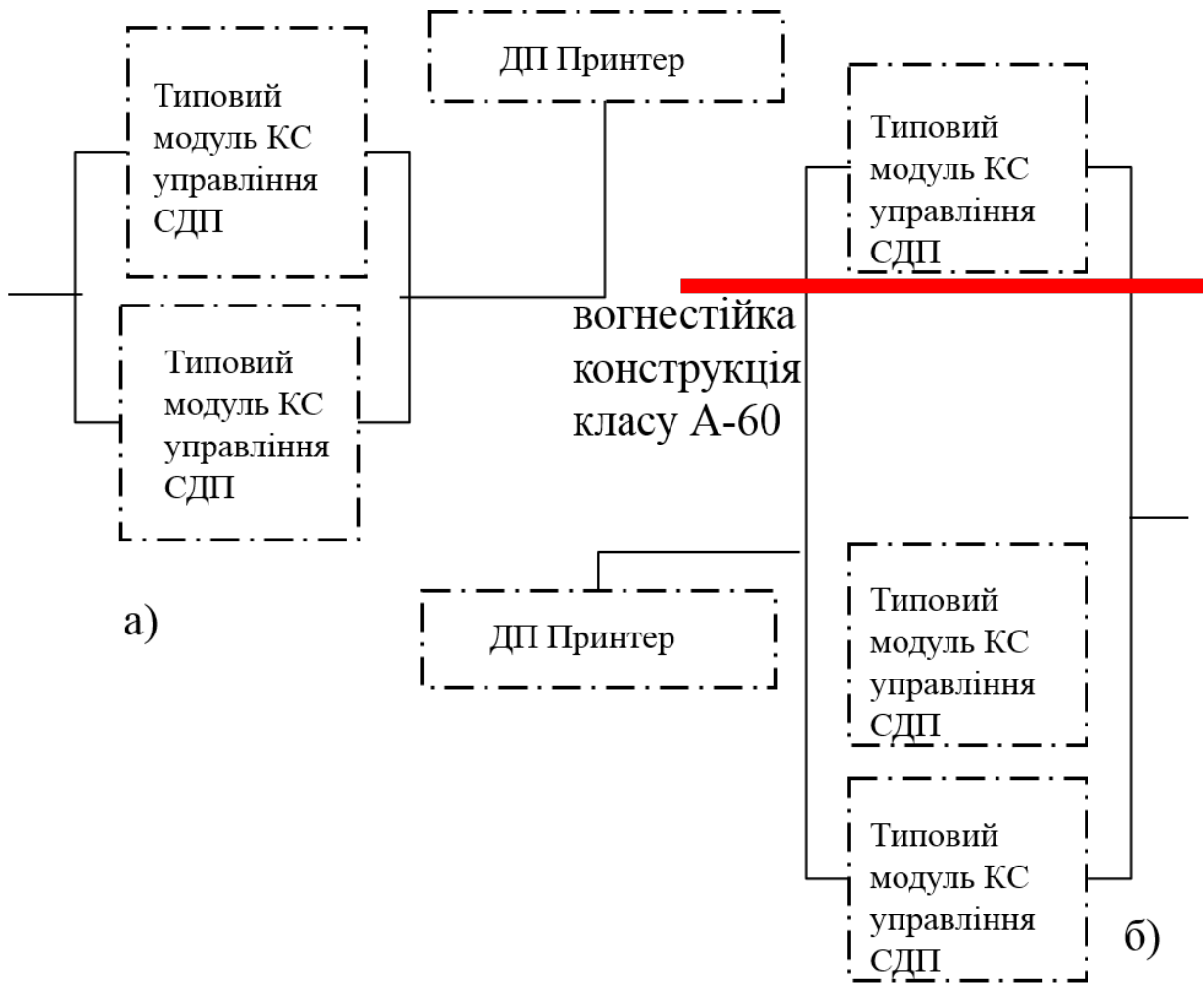


Рисунок 5.19 - Схеми функціональної стійкості комп'ютерних системи управління:

а) - для СДП другого класу; б) – для СДП третього класу

Несправності загальних пристроїв, таких як пристрої сполучення, передачі даних, інформаційні шини і програмне забезпечення, у тому числі самоконтролю, не повинні виводити із ладу обидві системи. Ґрунтуючись на цьому, на практиці досить часто застосовують дублювання цих компонентів.

Комп'ютерні системи, що застосовують у системах керування СДП класу 3 (СДП мають знак DP3 за класифікацією РУ), повинні бути дубльовані, як зазначено для СДП класу 2, і, крім того, повинна бути передбачена одна незалежна резервна система керування ДП, розташована в особливому приміщенні, відділеному від головного поста керування вогнестійкою

конструкцією класу А-60. У ході процесу нормального керування ДП резервна система повинна знаходитися у режимі постійної готовності у включеному стані і у режимі автоматичного введення даних від датчиків системи контролю координат положення РОВТ, датчиків зворотного зв'язку системи рушіїв та ЗАК. Сформуємо рівняння для СДП третього класу:

$$\tilde{P}_{КССДП} = \left( 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \tilde{P}_{МКСУi}) \right) \tilde{P}_{ДПП}, \quad (5.25)$$

де  $\tilde{P}_{КССДП}$  - імовірність безпечного функціонування комп'ютерної системи, яка є складовою СДП;

$\tilde{P}_{МКСУ}$  - імовірність безпечного функціонування модуля КС управління;

Переключення на резервну КС повинне бути можливим у будь-який момент і повинне виконуватися вручну із резервного поста керування. Слід відмітити, що для СДП класу 3 можливе включення принтеру до резервної системи при необхідності і для повного дублювання модуля, який знаходиться поза межами вогнестійкої конструкції класу А-60.

## 5.9 Безпека технічних систем рухомого об'єкту водного транспорту

При дослідженні ТС було встановлено їх вплив на безпеку, доведено необхідність контролю рівня безпеки за оцінкою функціональної стійкості та його корегування при необхідності. Для реалізації цього шляхом динамічного програмування мають бути складено алгоритми, що відтворюють системи реального об'єкту, які було створено шляхом морфологічного аналізу і синтезу на основі вимог КТ.

Для цього необхідно побудувати схеми функціональної стійкості технічних систем РОВТ на відповідних рівнях ієрархії. Для компактності викладення

матеріалу сформуємо стисло алгебраїчні рівняння за сформованими схемами, що наведено у Додатку Г, які представляють собою практичний інтерес. При їх формалізації було також проаналізовано відповідність вимогам РУ та міжнародним вимогам. Вигляд навігаційного містка ТБС проекту UT 733-2 зображено у Додатку Е.

РОВТ, який виконує ДП в локально обмеженому просторі акваторії ТПК для здійснення технологічної роботи представляє собою досконалу складову поліергатичної системи, що розв'язує загальну задачу реалізації процесів високоточної навігації на просторово-часовому проміжку в умовах гетерогенних збурень від різних джерел.

Безпека РОВТ та виконання технологічної роботи під час ДП в локально обмеженому просторі гетерогенно збуреної акваторії ТПК залежить від багатьох чинників, в яких працюють різні ТС РОВТ безперервно в нормальних експлуатаційних умовах, в умовах ризиків та невизначеності, а також в умовах позаштатних ситуацій. Відомі існуючі системи РОВТ бувають автономні та комплексні (не автономні). Автономні системи РОВТ функціонують як самостійні незалежні системи, які не мають спеціалізованих комунікацій обладнання зв'язку з іншими системами.

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

Значна складність гарантування властивості рівня безпеки (або близько нульового розрахункового рівня ймовірності аварії, катастрофи) процесу ДП РОВТ на всьому просторово-часовому проміжку виконання рейсового завдання обумовлює шлях комплексного синергетичного й системного використання усіх технічних ресурсів РОВТ.

Саме тому безвідмовне функціонування всіх ключових систем зумовлює гарантовано безпечне ДП РОВТ. Для того, щоб гарантувати процес необхідно

визначити технічні системи, провести їх опис, визначити місце кожної ТС у синергетичній взаємодії, а також визначити можливість їх резервування. Для цього необхідно побудувати схеми функціональної стійкості для відповідних вирішальних ТС РОВТ на всіх рівнях ієрархії.

Центральним елементом ТС РОВТ є корпус, що володіє масовими, гідродинамічними та аеродинамічними властивостями, які оптимізують гарантовано безпечний процес ДП в акваторії ТПК. Також в ньому розміщуються всі інші системи РОВТ. На корпус діють чинники НС, які є частиною гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК. Безпека корпусу РОВТ є наріжним комнем безпеки ДП, саме тому на етапі проектування та будівництва РОВТ особливу увагу при застосуванні методів морфологічного аналізу та синтезу звертають на себе корпус і інші визначальні ТС, які синергетично взаємодіють. А відповідні КТ здійснюють постійний нагляд за корпусом РОВТ на всьому протязі життєвого циклу РОВТ.

САПЗР дозволяє своєчасно попередити кваліфікований склад вахтового персоналу РОВТ під час реалізації процесів високоточної навігації про відмову компонентів, або вихід з штатного функціонування системи. Процедура управління операційним планом з повернення РОВТ до штатного стану на кожному кроці ДП при виконанні технологічної роботи (яка накладає певні обмеження) буде оптимальна, якщо система спроможна своєчасно визначати як ознаки, що потрібно актуалізувати, так й технічні засоби, що гарантують маршрутизацію, тобто постачання необхідних даних до ЛО.

Система вентиляції та мікроклімату, санітарно-побутова система та система освітлення являються головним чином системами забезпечення життєдіяльності персоналу, хоча також система вентиляції та мікроклімату є важливою для формування умов надійного функціонування мікропроцесорної техніки, а система освітлення також забезпечує спостережуваність РОВТ іншими учасниками процесу навігації і тим самим є складовою навігаційної безпеки.

Баластна система призначена для управління баластними водами для забезпечення морехідної безпеки РОВТ (формування необхідної посадки, крену і диференту, а також метацентричної висоти).

Осушна система є системою, що направлено на видалення води з корпусу РОВТ, а система водонепроникних дверей направлена на те щоб гарантувати безпеку РОВТ при затопленні приміщень, або і цілих відсіків. Система пожежогасіння направлена на якісне придушення пожежі, яка може трапитись на борту РОВТ.

Енергетична система РОВТ виробляє енергетичні ресурси для функціонування всіх систем РОВТ і також являється ресурсом безпеки. Потоки енергії забезпечують живлення ТС для функціонування РОВТ і виконання відповідних завдань навігації і технологічної роботи. Це дає можливість оцінити важливість цієї системи. Паливна система являється джерелом ресурсів для її функціонування.

В свою чергу система керованих рушіїв та засобів керування рухом РОВТ являється головним споживачем ресурсів енергетичної системи. Система керованих рушіїв перетворює сигнали управління процесом ДП у відповідні вектори сил керуючих впливів, які необхідні РОВТ для реалізації процесу високоточної навігації в локально обмеженому просторі в умовах збурень від різних джерел.

Задавачем сигналів управління збуреним рухом може бути: система дистанційного автоматизованого управління, система керування ДП, система незалежного від СДП джойстика, а також система управління допоміжним рульовим приводом. Всі ці системи є частиною системи бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання і управління збуреним рухом в локально обмеженому просторі.

Спеціалізовані системи РОВТ мають на меті забезпечити цільове використання РОВТ та виконання ним певного кортежу технологічних робіт в локально обмеженому просторі акваторії ТПК на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ згідно з символами КТ. Ці системи, в залежності від

їх цільового призначення також можуть бути основними споживачами енергетичних ресурсів.

Допоміжні системи РОВТ виконують завдання для підтримання функціонування РОВТ на певних просторово-часових проміжках експлуатації, які не пов'язано з ДП, проте мають відношення до безпеки РОВТ та його функціональної стійкості.

Комплекс рятувальних засобів і сигнальних пристроїв призначено для порятунку членів екіпажу в умовах лиха. Цей комплекс має ключове значення і якщо цей комплекс не функціонує гарантовано безпечно – РОВТ не може вийти з порту для здійснення рейсового завдання.

Аналітичне рівняння безвідмовного функціонування, яке сформовано згідно з відповідної схеми функціональної стійкості системи корпусу РОВТ з додатковим урахуванням системи рубок та надбудов виглядає наступним чином:

$$\tilde{P}_K = \tilde{P}_{ЛА} \tilde{P}_{НАБОР} \tilde{P}_{\Phi} \tilde{P}_{Л} \tilde{P}_{НН} \tilde{P}_{Ш} \tilde{P}_{РН} \tilde{P}_{ТГ}, \quad (5.26)$$

де  $\tilde{P}_K$  - імовірність безвідмовного функціонування системи корпусу, надбудов та рубок;

$\tilde{P}_{ЛА}$  - імовірність безвідмовного функціонування листових елементів;

$\tilde{P}_{НАБОР}$  - імовірність безвідмовного функціонування набору корпусу РОВТ;

$\tilde{P}_{\Phi}$  - імовірність безвідмовного функціонування фундаментів;

$\tilde{P}_{Л}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи лацпортів, люків;

$\tilde{P}_{НН}$  - імовірність безвідмовного функціонування неповоротних насадок;

$\tilde{P}_{Ш}$  - імовірність безвідмовного функціонування шахт РОВТ;

$\tilde{P}_{РН}$  - імовірність безвідмовного функціонування систем рубок та надбудов;

$\tilde{P}_{ТГ}$  - імовірність безвідмовного функціонування систем рубок та надбудов.

Поняття безвідмовності функціонування об'єкта розглядається в дисертаційній роботі у класичній постановці згідно з ДСТУ 2860-94 та полягає у виконанні потрібної функції системою в певних умовах збурень протягом заданого інтервалу часу [121]. Людський чинник не розглядається в таких умовах постановки проблеми.

В аналітичному вигляді рівняння безвідмовного функціонування енергетичної системи за наведеною у додатках схемою має наступний вид:

$$\tilde{P}_{ЕнС} = \tilde{P}_{ГД} \tilde{P}_{ОДЕ} \tilde{P}_{СОГД} \tilde{P}_{АДЕ} \tilde{P}_{ЩЖ} \tilde{P}_{РД}, \quad (5.27)$$

де  $\tilde{P}_{ЕнС}$  - імовірність безвідмовності енергетичної системи;

$\tilde{P}_{ГД}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи головних двигунів;

$\tilde{P}_{ОДЕ}$  - імовірність безвідмовного функціонування основного джерела енергії РОВТ;

$\tilde{P}_{СОГД}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи обслуговування головних двигунів;

$\tilde{P}_{АДЕ}$  - імовірність безвідмовного функціонування аварійного джерела енергії РОВТ;

$\tilde{P}_{ЩЖ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи головного розподільного щита;

$\tilde{P}_{РД}$  - імовірність безвідмовного функціонування резервних джерел РОВТ.

Функціональна стійкість паливної системи важлива для гарантування функціонування енергетичної системи РОВТ. Аналітичне рівняння для розрахунку імовірності безвідмовного функціонування паливної системи, що сформовано згідно з відповідною схемою функціональної стійкості матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{ПС} = & \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \tilde{P}_{ПНасi})\right) \left(1 - \prod_{j=1}^m (1 - \tilde{P}_{ПКланj})\right) \left(1 - \prod_{e=1}^k (1 - \tilde{P}_{ПТе})\right) \times \\ & \times \left(1 - \prod_{d=1}^2 (1 - \tilde{P}_{ПРЦd})\right) \tilde{P}_{ПМаг} \left(1 - \prod_{s=1}^l (1 - \tilde{P}_{ПСs})\right) \tilde{P}_{ПАЗ} \tilde{P}_{ПТемп}, \end{aligned} \quad (5.28)$$

де  $\tilde{P}_{ПС}$  - імовірність безвідмовного функціонування паливної системи;

$\tilde{P}_{ПНас}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи паливних насосів;

$\tilde{P}_{ПКлан}$  - імовірність безвідмовного функціонування клапанів паливної системи;

$\tilde{P}_{ПТ}$  - імовірність безвідмовного функціонування комплексу паливних танків;

$\tilde{P}_{ПРЦ}$  - імовірність безвідмовного функціонування розхідних цистерн РОВТ;

$\tilde{P}_{ПМаг}$  - імовірність безвідмовного функціонування магістралі трубопроводів;

$\tilde{P}_{ПСs}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи паливних сепараторів;

$\tilde{P}_{ПАЗ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи аварійної зупинки;

$\tilde{P}_{ПТемп}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи вимірювання температур.

В аналітичному рівнянні присутні  $i, j, e, d, s$ , що приймають значення від 1 до  $n, m, k, 2, l$  відповідно. Значення 2 є фіксованим для розхідних цистерн, бо саме 2 відповідає вимогам РУ та МАКТ. Для інших змінних значення може варіюватись у широких межах, які обумовлено типом РОВТ.



За сформованою схемою функціональної стійкості відобразимо відповідні аналітичні рівняння на базі системного підходу системи освітлення для знаходження імовірності безвідмовного функціонування  $\tilde{P}_{CO}$ .

$$\tilde{P}_{CO} = \tilde{P}_{CO/COO} \tilde{P}_{CO/CAO} \tilde{P}_{CO/CCO} \tilde{P}_{CO/CPЛ}, \quad (5.29)$$

де  $\tilde{P}_{CO}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи освітлення;

$\tilde{P}_{CO/COO}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи основного освітлення;

$\tilde{P}_{CO/CAO}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи аварійного освітлення;

$\tilde{P}_{CO/CCO}$  - імовірність безвідмовного функціонування спеціальної системи освітлення;

$\tilde{P}_{CO/CPЛ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигнально-розпізнавальних ліхтарів.

При ДП та експлуатації РОВТ виникає необхідність здійснювати роботу по прийому гвинтокрилів, згідно з правилами РУ, додаткові знаки HELIDECK, HELIDECK-F чи HELIDECK-H (HELIDECK-H означає, що РОВТ обладнано ангаром для гвинтокрила) можуть бути присвоєні РОВТ при здійсненні відповідних вимог. При цьому практично постає питання додаткової функціональної стійкості освітлення гвинтокрильних палуб. Відповідно до складеної в дослідженні схеми функціональної стійкості аналітичне рівняння записується наступним чином:

$$\tilde{P}_{COП} = \tilde{P}_{СВПП} \tilde{P}_{COПЗ} \tilde{P}_{СЗПЛ}, \quad (5.30)$$

де  $\tilde{P}_{COPI}$  - імовірність безвідмовного функціонування світло-сигнальної і освітлювальної системи гвинтокрильних палуб;

$\tilde{P}_{CBPI}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи вогнів позначення периметра;

$\tilde{P}_{COPI}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи освітлення посадкової зони;

$\tilde{P}_{C3PI}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи загороджувально-попереджувальних ліхтарів.

Протипожежна безпека включає в себе всі можливі системи боротьби з пожежею. Докладно дане питання досліджено в роботі [87], де надано аналіз системи боротьби з пожежею. В загальному вигляді аналітичний вираз, який побудовано на основі схеми функціональної стійкості, яку наведено в Додатку Г, матиме наступний вигляд:

$$\tilde{P}_{ПЖ} = \tilde{P}_{ВПЖ} \tilde{P}_{Cnp} \tilde{P}_{CBP} \tilde{P}_{CB3} \tilde{P}_{CB3ав} \tilde{P}_{СПГ} \tilde{P}_{Cnp} \tilde{P}_{CO2} \tilde{P}_{СПорГ} \tilde{P}_{Aep}, \quad (5.31)$$

де  $\tilde{P}_{ПЖ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи пожежогасіння;

$\tilde{P}_{ВПЖ}$  - імовірність безвідмовного функціонування водопожежної системи;

$\tilde{P}_{Cnp}$  - імовірність безвідмовного функціонування спринклерної системи;

$\tilde{P}_{CBP}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи водяного розпилення;

$\tilde{P}_{CB3}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи водяного зрошення;

$\tilde{P}_{CB3ав}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи водяних завіс;

$\tilde{P}_{СПГ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи піногасіння;

$\tilde{P}_{CO_2}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи вуглекислотного гасіння;

$\tilde{P}_{СпорГ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи порошкового гасіння;

$\tilde{P}_{Аер}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи аерозольного гасіння.

На основі схеми функціональної стійкості сформуємо аналітичний вираз для знаходження імовірності безвідмовного функціонування стаціонарної водопожежної системи:

$$\tilde{P}_{ВПЖ} = \tilde{P}_{ОПН} \tilde{P}_{АПН} \tilde{P}_{ПМаг} \left( 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \tilde{P}_{ПКi}) \right) \left( 1 - \prod_{j=1}^k (1 - \tilde{P}_{ПРj}) \right), \quad (5.32)$$

де  $\tilde{P}_{ВПЖ}$  - імовірність безвідмовного функціонування стаціонарної водопожежної системи;

$\tilde{P}_{ОПН}$  - імовірність безвідмовного функціонування основного насосу;

$\tilde{P}_{АПН}$  - імовірність безвідмовного функціонування аварійного насосу;

$\tilde{P}_{ПМаг}$  - імовірність безвідмовного функціонування пожежної магістралі;

$\tilde{P}_{ПКi}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи пожежних клапанів;

$\tilde{P}_{ПРj}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи пожежних рукавів.

В рівнянні  $m$  – кількість пожежних клапанів, а  $k$  – кількість пожежних рукавів, що функціонують синергетично, а також можуть бути замінені відповідним чином. Особливістю цих компонентів є можливість збереження функціональної стійкості при декількох пошкодженнях.

Робота баластної системи здійснюється перекачуванням водяного баласту із спеціальних цистерн. Система обов'язково присутня на всіх типах РОВТ. З розширенням можливостей автоматизації система крену отримала розвиток у вигляді систем заспокоєння хитавиці.

На основі схеми функціональної стійкості побудуємо аналітичний вираз для знаходження імовірності безвідмовного функціонування:

$$\tilde{P}_{БалС} = \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \tilde{P}_{БалHi}) \right) \tilde{P}_{КДС} \tilde{P}_{ОБВ/ЗБВ} \tilde{P}_{БалМаг} \left( 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \tilde{P}_{БалTj}) \right), \quad (5.33)$$

де  $\tilde{P}_{БалС}$  - імовірність безвідмовного функціонування баластної системи;  
 $\tilde{P}_{БалН}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи баластних насосів;  
 $\tilde{P}_{БалМаг}$  - імовірність безвідмовного функціонування баластної магістралі;  
 $\tilde{P}_{КДС}$  - імовірність безвідмовного функціонування кренової та диферентної систем;  
 $\tilde{P}_{ОБВ/ЗБВ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи обробки баластних вод або системи для заміни баласту в морі;  
 $\tilde{P}_{БалТ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи баластних танків.

При цьому  $\tilde{P}_{БалТ}$  може бути представлено і в послідовності, що регулюється конкретним технологічним завданням в конкретних умовах експлуатації РОВТ. Так в наведеному рівнянні мається на увазі питання набору обмеженої кількості баласту.

Аналітичний вираз для осушної системи буде схожим з виразом для баластної системи, проте сформуємо його незалежним чином на основі схеми функціональної стійкості:

$$\tilde{P}_{OcC} = \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \tilde{P}_{OcHi}) \right) \tilde{P}_{OcCMB} \tilde{P}_{ДOcC} \tilde{P}_{СПВ} \tilde{P}_{OcMag}, \quad (5.34)$$

де  $\tilde{P}_{OcC}$  - імовірність безвідмовного функціонування осушної системи;

$\tilde{P}_{OcHi}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи насосів;

$\tilde{P}_{OcMag}$  - імовірність безвідмовного функціонування осушної магістралі;

$\tilde{P}_{OcCMB}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи осушення машинного відділення;

$\tilde{P}_{ДOcC}$  - імовірність безвідмовного функціонування додаткової системи осушення;

$\tilde{P}_{СПВ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи перепуску води.

Системи перепуску води та, при необхідності, додаткові системи осушення встановлюються на РОВТ для виконання додаткових функцій і вони являються предметом відповідних погоджень з КТ. В наведеному вище виразі було включено всі можливі складові, а при практичній реалізації проводиться необхідне корегування з урахуванням характеристик досліджуваного РОВТ. Для конкретного проекту УТ 733-2 останні два елементи рівняння виключаються, що являється типовим не тільки для даного проекту, а і для всього класу ТБС в цілому.

Побудуємо аналітичний вираз для визначення імовірності безвідмовного функціонування санітарно-побутової системи:

$$\tilde{P}_{СПБС} = \tilde{P}_{ПобВ} \tilde{P}_{ОП} \tilde{P}_{СО} \tilde{P}_{Ш} \tilde{P}_{СФ} \tilde{P}_{Х}, \quad (5.35)$$

де  $\tilde{P}_{СПБС}$  - імовірність безвідмовного функціонування санітарно-побутової системи.

$\tilde{P}_{ПобВ}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи побутового водопостачання;

$\tilde{P}_{ОП}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи опріснення;

$\tilde{P}_{СО}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи опалення;

$\tilde{P}_{Ш}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи шпігатів;

$\tilde{P}_{СФ}$  - імовірність безвідмовного функціонування сточно-фанової системи РОВТ;

$\tilde{P}_{Х}$  - імовірність безвідмовного функціонування холодильної системи РОВТ.

Для системи вентиляції та мікроклімату імовірність безвідмовності системи вентиляції та мікроклімату матиме наступний вигляд:

$$\tilde{P}_{СВМ} = \tilde{P}_{БК} \tilde{P}_{ЗБК} \tilde{P}_{СВен} \tilde{P}_{СЕМ} \tilde{P}_{СМК}, \quad (5.36)$$

де  $\tilde{P}_{СВМ}$  - імовірність безвідмовності системи вентиляції та мікроклімату;

$\tilde{P}_{БК}$  - імовірність безвідмовності системи вентиляційних каналів;

$\tilde{P}_{ЗБК}$  - імовірність безвідмовності системи закриття вентиляційних каналів;

$\tilde{P}_{СВен}$  - імовірність безвідмовності системи вентиляторів;

$\tilde{P}_{СЕМ}$  - імовірність безвідмовності систем електромоторів;

$\tilde{P}_{СМК}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи мікроклімату.

Сформуємо аналітичний вираз для розрахунків на базі відповідної схеми функціональної стійкості системи аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{АПС} = & \tilde{P}_{АС} \tilde{P}_{СП} \tilde{P}_{СВПД} \tilde{P}_{СПОП} \tilde{P}_{ССП} \tilde{P}_{FM} \tilde{P}_{DM} \tilde{P}_{SENG} \tilde{P}_{CHB} \tilde{P}_{HG} \tilde{P}_{Ct} \tilde{P}_{CmB} \tilde{P}_{CCTV} \times \\ & \times \tilde{P}_{Cруш} \tilde{P}_{САПС} \tilde{P}_{СКПер}, \end{aligned} \quad (5.37)$$

де  $\tilde{P}_{АПС}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації;

$\tilde{P}_{АС}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи авральної сигналізації;

$\tilde{P}_{СП}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації і виявлення пожежі;

$\tilde{P}_{СВПД}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації закриття водонепроникних і протипожежних дверей;

$\tilde{P}_{СПОП}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації попередження про пуск системи об'ємного пожежогасіння;

$\tilde{P}_{ССП}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації попередження про пуск стаціонарної системи пожежогасіння місцевого застосування;

$\tilde{P}_{FM}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації людини в рефрижераторному приміщенні;

$\tilde{P}_{DM}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи контролю дієздатності машинного персоналу;

$\tilde{P}_{SENG}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації в приміщеннях механіків;

$\tilde{P}_{CHB}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації надходження води;

$\tilde{P}_{HG}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації граничної концентрації вибухонебезпечних і отруйних газів;

$\tilde{P}_{Ct}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації про перевищення температури у корпусах пристроїв, сальниках, підшипниках та інших технічних засобів;

$\tilde{P}_{CmB}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи сигналізації рівня в збірних цистернах стічних вод;

$\tilde{P}_{CCTV}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи телевізійного спостереження і сигналізації;

$\tilde{P}_{CPyи}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи аварійно-попереджувальної сигналізації рушіїв;

$\tilde{P}_{CAПC}$  - імовірність безвідмовного функціонування спеціалізованих систем аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації;

$\tilde{P}_{CKПep}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи контролю за переливом.

Система рятувальних засобів являється важливим компонентом безпеки РОВТ, а саме тому КТ і зокрема РУ однозначно встановлюють технічні вимоги для рятувальних засобів і пристроїв. На базі МК РУ або інші відповідні КТ визначають кількість таких засобів і пристроїв та їх розміщення на РОВТ. Сформуємо розрахунковий вираз для знаходження імовірності безвідмовного функціонування комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв на основі розробленої в даному дисертаційному дослідженні відповідної схеми функціональної стійкості:

$$\tilde{P}_{P3} = \tilde{P}_{IP3} \tilde{P}_{KP3} \tilde{P}_{CP3}, \quad (5.38)$$

де  $\tilde{P}_{P3}$  - імовірність безвідмовного функціонування комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв;



$\tilde{P}_{IP3}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи індивідуальних рятувальних засобів для членів екіпажу РОВТ;

$\tilde{P}_{KP3}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи колективних рятувальних засобів РОВТ;

$\tilde{P}_{CP3}$  - імовірність безвідмовного функціонування системи зазначення місцезнаходження рятувальних засобів для цілей їх пошуку і рятування.

Системи комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв призначені для використання відповідним кваліфікованим персоналом РОВТ під час лиха і не впливають на функціональну стійкість загальної навігації, ДП, технологічної роботи в локально обмеженому просторі акваторії ТПК, тощо. Проте, доведено необхідність дослідження функціональної стійкості комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв, так як саме його функціональна стійкість є вирішальною під час лиха. Вона також є запорукою недопущення ескалації наслідків лиха (за удосконаленою діаграмою Ісікави).

### **Висновки до п'ятого розділу**

1. Проведено опис бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання РОВТ з відображенням структури резервування компонентів для різних класів СДП на основі вимог Регістру судноплавства України та міжнародних нормативних документів, що дозволило скласти схеми функціональної стійкості складних технічних систем, а також визначити перспективні об'єкти при необхідності додаткового резервування.
2. Сформовано відповідні рівняння для оцінки імовірності функціональної стійкості на основі схем функціональної стійкості для бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання за допомогою якого реалізуються закони термінального управління вектором стану РОВТ під час ДП.

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

Матеріали розділу 5 висвітлені у працях автора [22, 23, 71, 76, 84, 103, 148] та у Додатках Г, Е.

## РОЗДІЛ 6

# ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАСОБІВ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛІЕРГАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ УМОВАХ АКВАТОРІЙ ТЕХНОПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ

### 6.1 Оцінка безпечного функціонування технічних комплексів за показниками інтенсивності імовірних відмов

Необхідність гарантування безпеки РОВТ при виконанні технологічних робіт, пов'язаних з ДП в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК, і обґрунтованості ухвалення попередніх рішень при комерційній експлуатації флоту різних РОВТ ставить завдання застосування математичного моделювання та реалізації розроблених моделей дискретного динамічного програмування [70, 74, 307, 308, 309].

При практичному впровадженні методології рекомендовано, що повномасштабний глибокий аналіз ТПК має проводитись судновласником для збору адекватних достовірних статистичних даних, які будуть основою для введення початкових даних в алгоритм імовірнісної оцінки безпеки ДП РОВТ [91, 148]. Моделювання проводиться у програмному середовищі MATLAB з використанням пакету Simulink за сформованими в дослідженні математичними моделями. Використання модульного принципу має дозволити швидке налаштування програми для любого типу РОВТ з СДП будь-якого класу, а також для широкого спектру видів гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК для отримання відповідних адекватних результатів, які необхідні для ППР щодо безпеки на борту РОВТ або на березі. Імітаційне моделювання, яке виступає як пізнавальна суть системного підходу при реалізації методології динамічного програмування, дозволяє проводити повномасштабну оцінку безпеки поліергатичного управління РОВТ в конкретних умовах локально

обмеженого простору акваторії ТПК, на конкретному просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ.

Базовий алгоритм обчислення імовірності безпечного функціонування має наступний вид:

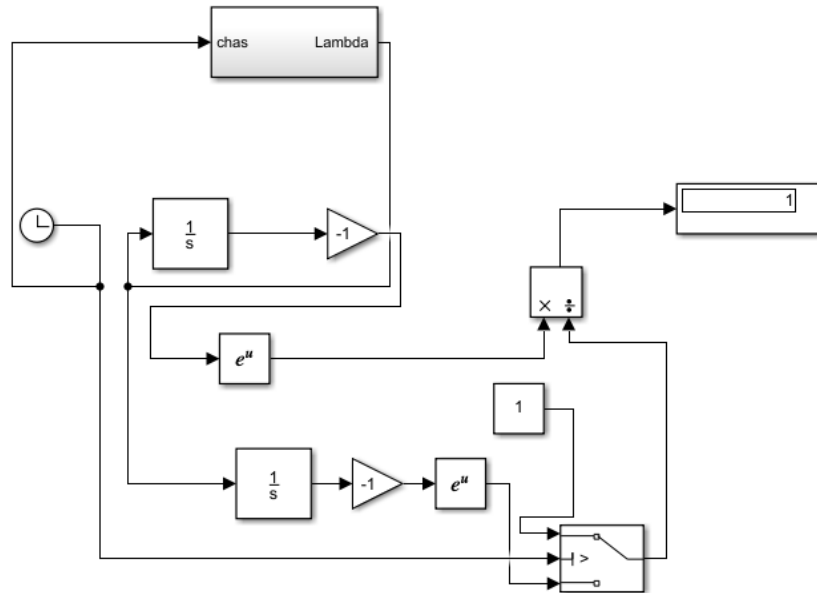


Рисунок 6.1 - Алгоритм розрахунку імовірності безпечного функціонування технічної системи на модульній основі в середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink

Сформований в дослідженні на відповідному алгоритмі модуль обчислення інтенсивності відмов ТС РОВТ базується на обраному законі розподілу. Для всіх розглянутих в дослідженні розподілів вирішальним компонентом є параметр часу. Саме час визначає якою буде інтенсивність відмов для конкретної ТС РОВТ на досліджуваному проміжку.

Блоки Score та Display використовуються для визначення значень імовірності при зміні часу та для отримання точного значення при закінченні моделювання.

При практичній реалізації розподілу, де  $\lambda(t)=\text{const}$  ми нашоувхуємося на труднощі при класичній постановці задачі інтегрування:

$$\int_0^{t_{\pi}} \lambda(t) dt = \lambda t + C, \quad (6.1)$$

де  $C$  – константа інтегрування.

Визначення константи  $C$  нашоувхується на певні методологічні протиріччя, які відповідно до завдання дослідження однозначно можна визначити наступним чином. В математичному аналізі визнано існування повного та часткового диференціалів. Константа  $C$  визначає приналежність до інтегралу за частним диференціалом. Інтегрування, як математична операція, яка є зворотною диференціюванню, не може давати однакові результати по двом різним диференціалам. В нашому конкретному практичному випадку ми використовуємо повні диференціали, а це значить, що  $C=0$ .

Це повністю узгоджено із сенсом, який несе  $\lambda$ . Грунтуючись на результатах проведеного дослідження, можна стверджувати, що  $\lambda$  не має якихось початкових умов при описі будь-якої з ТС РОВТ, які можна було би виразити за допомогою додаткової константи. Таким чином, якщо відома  $\lambda$  і вона є константою, то графік імовірності приймає вид класичної експоненти. Проте для більшості ТС РОВТ, зокрема для електроніки СДП адекватним є закон нормального розподілу. Нормальний розподіл характеризує на високому рівні процеси зносу та старіння елементів систем.

Представлений на рисунку алгоритм розрахунку інтенсивності відмов  $\lambda$  при нормальному розподілі на модульній основі в середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink представлено нижче. Як видно, інтенсивність відмов ТС РОВТ залежить насамперед від часу експлуатації (при дотриманні відповідних норм СУБ та ПТЕ), який є ключовим показником при практичних розрахунках імовірності безвідмовної роботи. Також важливими

характеристиками, які впливають на розрахункові значення інтенсивності відмов  $\lambda$  є математичне очікування та дисперсія.

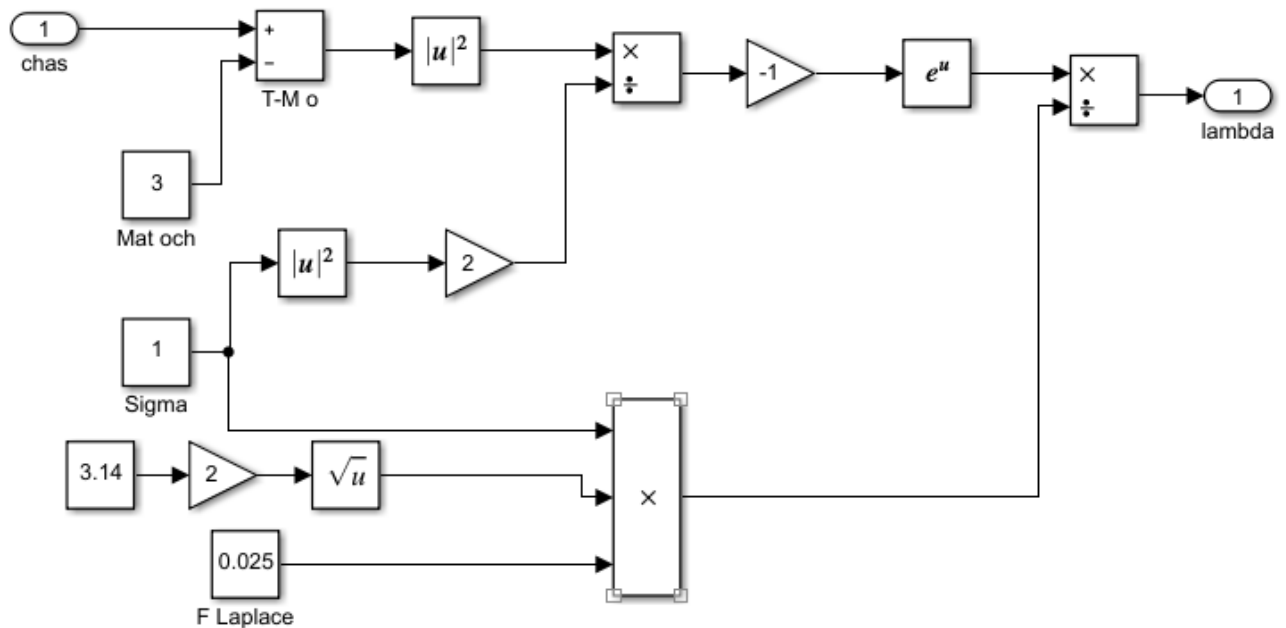


Рисунок 6.2 - Алгоритм розрахунку інтенсивності відмов при нормальному розподілі

Практичний розрахунок функції Лапласа в MATLAB має наступний програмний код:

$$F = @(u)1 / (\text{sqrt}(2 * \text{pi})) * \text{quadgk}(@(u)\text{exp}(-0.5 * u.^2), -u, u), \quad (6.2)$$

де  $u$  – вхідна функція або константа.

В формулі (6.2) використано позначення  $u$  для змінної, яке поширене в середовищі Simulink і має суть сигналу, який подається на вхід досліджуваного блоку (або системи). Враховуючи, що даний розділ має прикладний характер, роз'яснює та описує конкретні алгоритми – будемо використовувати цей символ і при теоретичних визначеннях і при написанні ПЗ для розрахунків імовірності безпечного функціонування ТС.

При написанні алгоритму розрахунку функції Лапласа в пакеті Simulink найкраще підходить блок MATLAB Function, який може містити в собі окремо написаний програмний код. Необхідно зазначити, що в якості альтернативи для розрахунку функції Лапласа також можна написати програмний код безпосередньо в Simulink з використанням оператора erf, який представляє собою функцію похибок. Функція похибок представляє собою неелементарну функцію. Ця функція широко використовується в теорії ймовірностей, статистики та теорії диференціальних рівнянь. Функція похибок визначається за допомогою наступного виразу:

$$\operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-t^2} dt. \quad (6.3)$$

Функція є непарною:  $\operatorname{erf}(-u) = -\operatorname{erf}(u)$ , а для будь-якого комплексного числа справедливим є наступне:

$$\operatorname{erf}(\bar{u}) = \overline{\operatorname{erf}(u)}. \quad (6.4)$$

Верхня риса позначає комплексне сполучення, яке треба розуміти як операцію заміни знаку уявної частини комплексного числа. Наприклад, якщо є комплексне число  $u = x + iy$ , то число  $\bar{u} = x - iy$  представляє комплексне сполучення.

Функція похибок не може бути представлена через елементарні функції, але, розкладаючи інтегровальний вираз в ряд Тейлора і після проведення процедури відповідного інтегрування напишемо наступний ряд:

$$\operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{(-1)^n u^{2n+1}}{n!(2n+1)} \right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( u - \frac{u^3}{3} + \frac{u^5}{10} - \frac{u^7}{42} \dots \right) \quad (6.5)$$

Означений ряд має властивість збіжності вірна не тільки для будь-якого дійсного  $u$ , а й згідно ознакою Д'Аламбера, ряд збігається на всій числовій комплексній площині. Послідовність знаменників утворює послідовність A007680 в On-Line Encyclopedia of Integer Sequences. Функція похибок дорівнює одиниці на нескінченності, проте це твердження є справедливим тільки при наближенні до нескінченності по дійсній числовій осі. Похідна має наступний вигляд:

$$\frac{d}{du} \operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u}. \quad (6.6)$$

Набір випадкових величин, який характеризує функціонування ТС РОВТ, підпорядковується нормальному розподілу по статистиці з відомим обчисленим стандартним відхиленням  $\sigma$ . В такому випадку ймовірність того, що величина відхилиться від середнього не більше ніж на величину  $A$  обчислюється за допомогою функції похибки, яка може бути зображена стандартним математичним оператором  $\operatorname{erf}$ :

$$\tilde{P}(A) = \operatorname{erf}\left(\frac{A}{\sigma\sqrt{2}}\right). \quad (6.7)$$

Для практичного застосування приведена вище формула має велике значення і може бути використана для оцінки випадкових величин. Також практичної розрахункової цінності набуває той факт, що функція похибок може бути виражена через функцію Лапласа:

$$\Phi(u) = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \right). \quad (6.8)$$



При використанні блока MATLAB function в пакеті Simulink для обчислення функції Лапласа за допомогою функції похибок напишемо наступний програмний код:

```
function y = fcn(u)
%#codegen
y = 0.5*(1+erf((u)/(sqrt(2))));
```

(6.9)

З урахуванням наведеного вище програмного коду, розрахунковий алгоритм в Simulink для практичного розрахунку функції Лапласа матиме наступний вид:

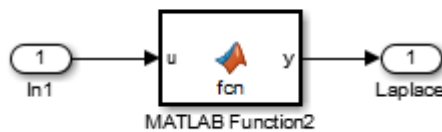


Рисунок 6.3 - Алгоритм розрахунку функції Лапласа за допомогою пакету Simulink

Таким чином проводимо розрахунок функції Лапласа. Ідентичність результатів при застосуванні обох методів доказують адекватність побудованих моделей і написаних програмних кодів в середовищі MATLAB.

Інтенсивність відмов різних технічних компонентів складних динамічних ТС є різною. В умовах експлуатації РОВТ, які характеризуються функціонуванням в межах символу КТ, а також при повному дотриманні норм ПТЕ та стандартів СУБ найбільш стійкими є електронні компоненти ББКНО або інших електронних систем РОВТ.

Процес розрахунку незміщеної дисперсії проведемо за наступною формулою:

$$S_{\tau}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau})^2}{n-1}, \quad (6.10)$$

де  $\bar{\tau}$  - середній час безвідмовної роботи (що має сенс оцінки математичного

очікування і  $\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}$ , год).

n – кількість досліджуваних технічних компонентів.

## **6.2 Оцінка функціональної стійкості технічних засобів при ранжуванні спостережуваних пошкоджень**

Складні технічні засоби РОВТ, які продовжують працювати при отриманні пошкодження описуються гамма розподілом. Такі технічні засоби зазвичай представляють собою системи на механічній основі. Гарним прикладом такого технічного засобу є клапана, які входять до складу багатьох ТС РОВТ і можуть бути керованими на відстані механічно або електронно, в залежності від знаку автоматизації класу РОВТ, від цільового призначення ТС, місця розміщення технічних засобів в корпусі РОВТ, оцінки ризиків під час експлуатації, тощо. Якщо присутня відповідна електронна складова – то її необхідно враховувати за умови, якщо надійність електронної складової не є на порядки більшою за надійність досліджуваної системи з гамма розподілом. При чому, гамма розподіл описано таким чином, що обраний адекватний ранг розподілу надає змогу продовжувати функціонування при отриманні пошкоджень. В процесі цільового

функціонування РОВТ отриманні пошкодження розглядається, як небажані загрозливі події, що призвели до порушення справного стану технічного засобу при збереженні працездатного стану ТС і збереженні функціональної стійкості РОВТ для вирішення завдання безпечної навігації в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі ТПК і безпечного виконання необхідної технологічної роботи. Практичний розрахунок інтенсивності відмов ведеться за наступним алгоритмом.

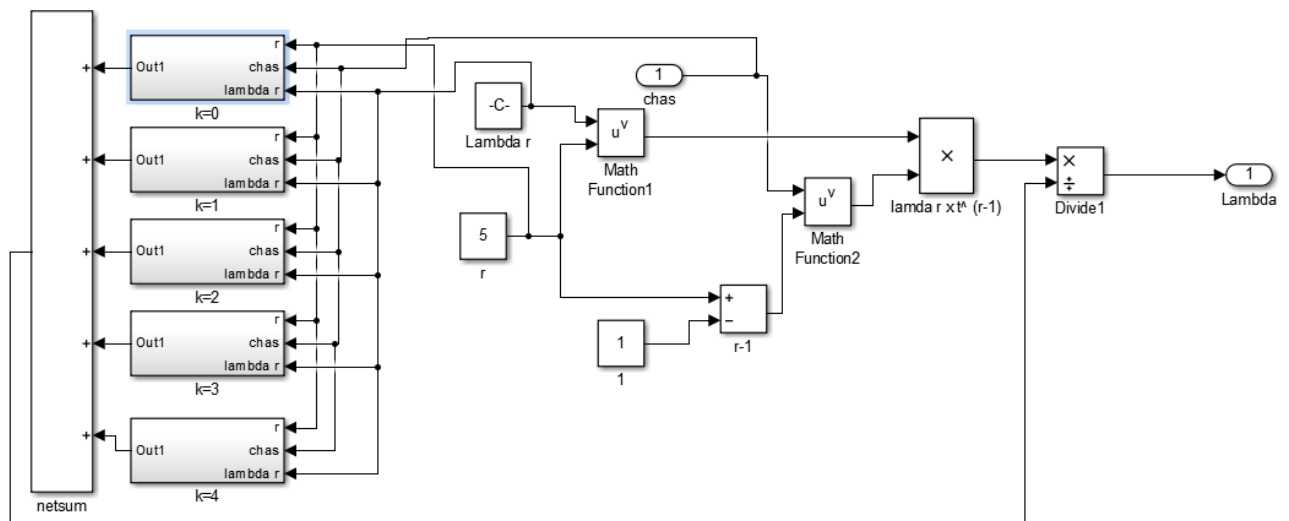


Рисунок 6.4 - Алгоритм розрахунку інтенсивності відмов при гамма розподілі при  $r=5$

Необхідно відмітити, що пошкодження, які мають місце в ТС РОВТ при гамма розподілі є незалежними. Тобто настання пошкодження на детермінованому досліджуваному часовому проміжку експлуатації РОВТ не залежить від того, чи були до цього моменту пошкодження. Кількість пошкоджень, які може отримати досліджувана система до втрати функціональної стійкості, позначимо  $r$ .

Накопичений досвід практичної експлуатації ТПК свідчить про те, що існує багато ТС, які можуть продовжувати роботу після отримання пошкоджень мають великий ресурс працездатності (при  $r > 3$ ). Функціональна стійкість таких систем

не поступається електронним системам, які вважаються одними з надійніших систем РОВТ.

Проведемо імітаційне моделювання. Для вихідних умов промодуємо інтенсивність потоку відмов клапану, який швидко запирається. За статистичними результатами, які було зібрано за 10 років експлуатації 7 транспортно-буксирних суден з СДП на борту  $\lambda_r = 0,00004 \text{ 1/год}$ . Число  $r = 5$ , проте для моделювання ми побудуємо криві інтенсивності відмов також при  $r = 1, 2, 3, 4$ . Розрахунки проведемо на часовому проміжку  $t=50000 \text{ год}$ . Результати моделювання наведено на рисунку нижче.

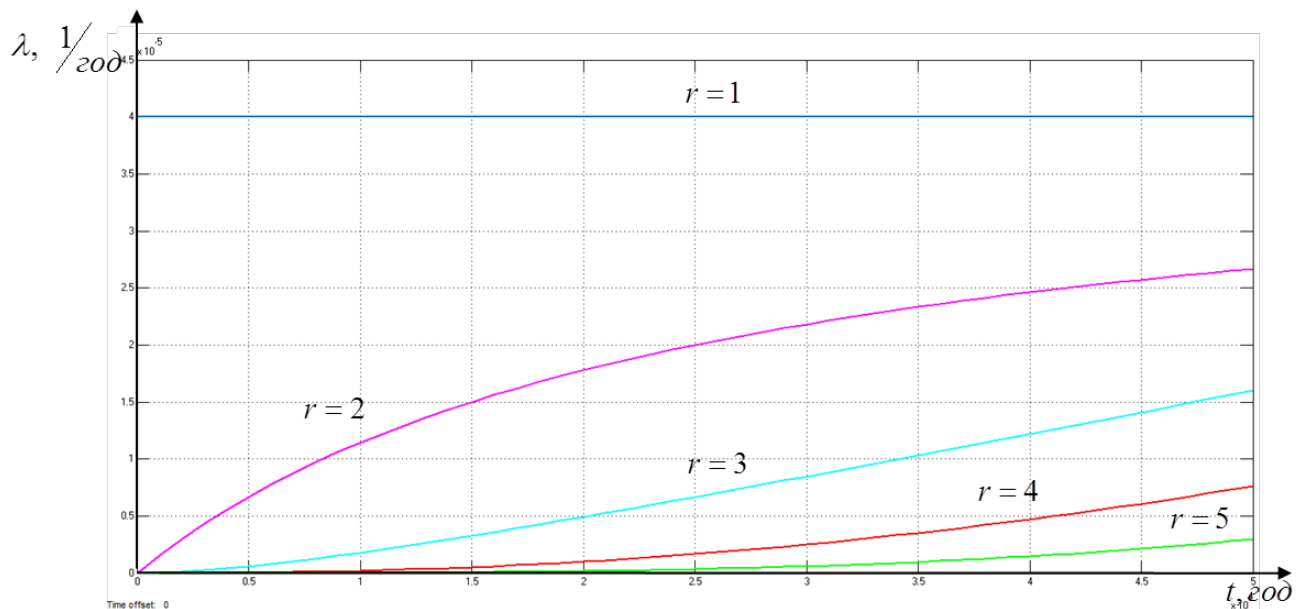


Рисунок 6.5 - Залежність інтенсивності відмов від часу та можливої максимальної кількості пошкоджень системи

Як видно на рисунку, гамма розподіл вироджується в експоненційний розподіл при  $r = 1$ , а  $k=0$  і тоді  $\lambda(T) = \lambda_r$ . Обчислення факторіалів проводиться за допомогою блоку MATLAB Function, де в програмному коді використовується оператор `factorial`.

Проведемо розрахунок імовірності надійного функціонування системи на досліджуваному часовому проміжку при  $r = 1$ , маючи на увазі, що перші 3000 годин система пропрацювала надійно.

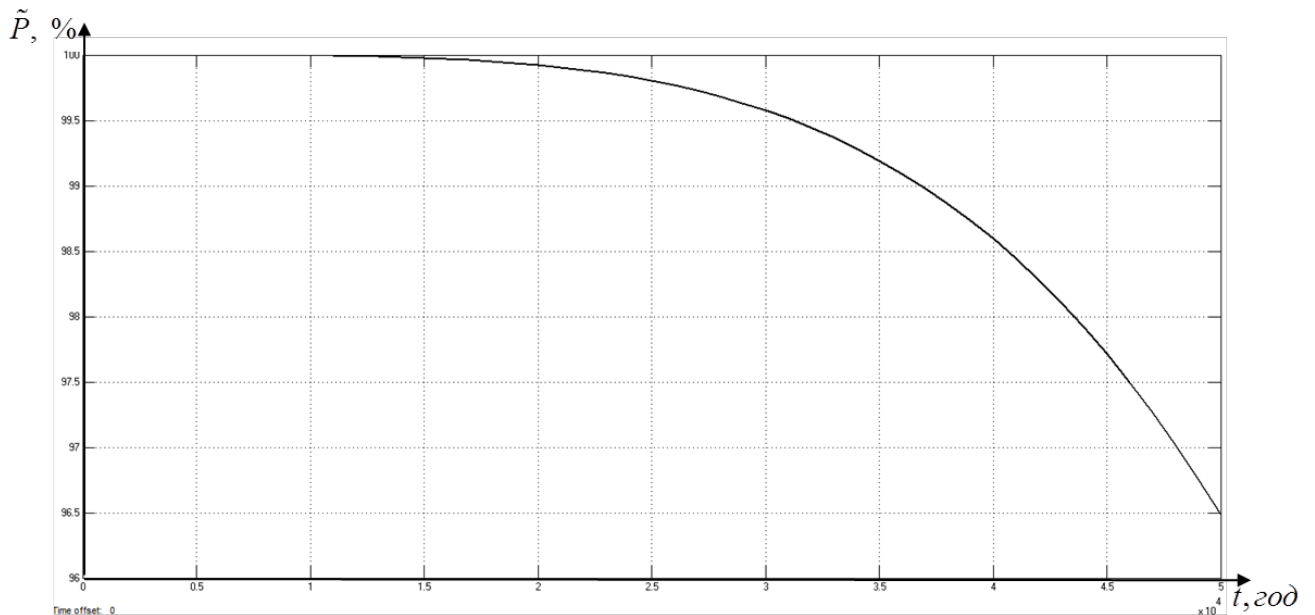


Рисунок 6.6 - Імовірність надійного функціонування системи при максимальному імовірному числі можливих пошкоджень, яке дорівнює 5

Як бачимо з рисунка імовірність того, що досліджувана ТС РОВТ буде функціонувати 50000 годин надійно в умовах максимального числа пошкоджень до втрати функціональної стійкості  $r = 5$ , при  $\lambda_r = 0,00004$   $1/\text{ГОД}$  дорівнює  $96,5\%$ . Точне виведення розрахунків в середовищі Simulink рекомендується виконувати за допомогою блоку Display. В конкретному прикладі обрахована  $\tilde{P} = 96,48\%$ . Як видно з представленого графіка імовірність у  $99,9\%$  закінчується на  $2,13 \times 10^4$  годин. Іншими словами, досліджувана ТС надійно буде зберігати свою функціональну стійкість з розрахунковою імовірністю  $99,9\%$  на протязі 2 років 157 діб і 12 годин.

Таким чином, за сформованим алгоритмом можна виконувати обчислення імовірності надійного функціонування складних ТС та засобів, які можуть

продовжувати функціонувати при отриманні певної кількості пошкоджень на досліджуваному часовому проміжку.

### 6.3 Імовірності оцінки функціональної стійкості багаторівневих комплексів в умовах застосування розподілу Вейбула

Розподіл Вейбула, який дуже широко відомий та поширений за кордоном (англійською мовою - Weibull distribution), як було вже зазначено являє собою неперервний розподіл ймовірностей, який було названо на честь Валоді Вейбула (англійською мовою Waloddi Weibull), котрий навів детальне описання розподілу.

Носієм розподілу при постановці питання відносно цілей дослідження є параметр часу  $t$ . При цьому розподіл Вейбула включає в себе експоненційний розподіл, який може вважатися його частковим випадком.

Представлений нижче алгоритм розрахунку інтенсивності відмов при використанні розподілу Вейбула в MATLAB з використанням пакету Simulink зображено нижче.

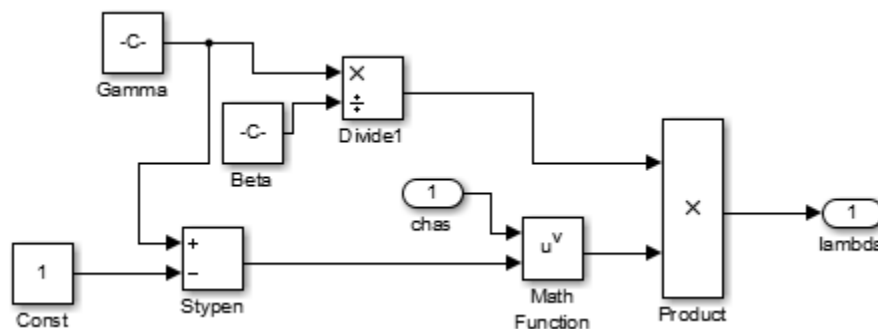


Рисунок 6.7 - Алгоритм розрахунку інтенсивності відмов при розподілі Вейбула

При аналізі алгоритму (а також відповідних математичних рівнянь) видно, що ключову роль відіграє звісно час, а також коефіцієнти розподілу  $\gamma$  та  $\beta$ . При практичному застосуванні для обчислення інтенсивності відмов за допомогою

розподілу Вейбула проявляє себе універсальність цього розподілу. Розподіл Вейбула може бути застосовано при обчисленні імовірнісних параметрів складних динамічних систем ТПК, які складаються з компонентів, що мають спільні імовірнісні розподіли. Також за розподілом Вейбула можна досліджувати імовірнісні характеристики систем високих рівнів в запропонованій ієрархічній системі ТПК.

В середовищі програмування MATLAB представимо можливості розподілу Вейбула. Для цього будемо досліджувати поведінку інтенсивності відмов при зміні показника  $\gamma$ . Визначимо часовий проміжок дослідження  $[T_0; T_1]$  на числовій вісі  $t$ . Для того, щоб наглядно показати характер інтенсивності відмов  $\lambda$  необхідно взяти короткий проміжок часу. При дослідженні на великих часових інтервалах характеристики істотно відрізняються і графіки мають великий розбіг по вісі інтенсивності відмов  $\lambda$ , що ускладнює надання інформації для зручного наочного вигляду. Тому проміжок дослідження виберемо  $[0; 1,5]$ .

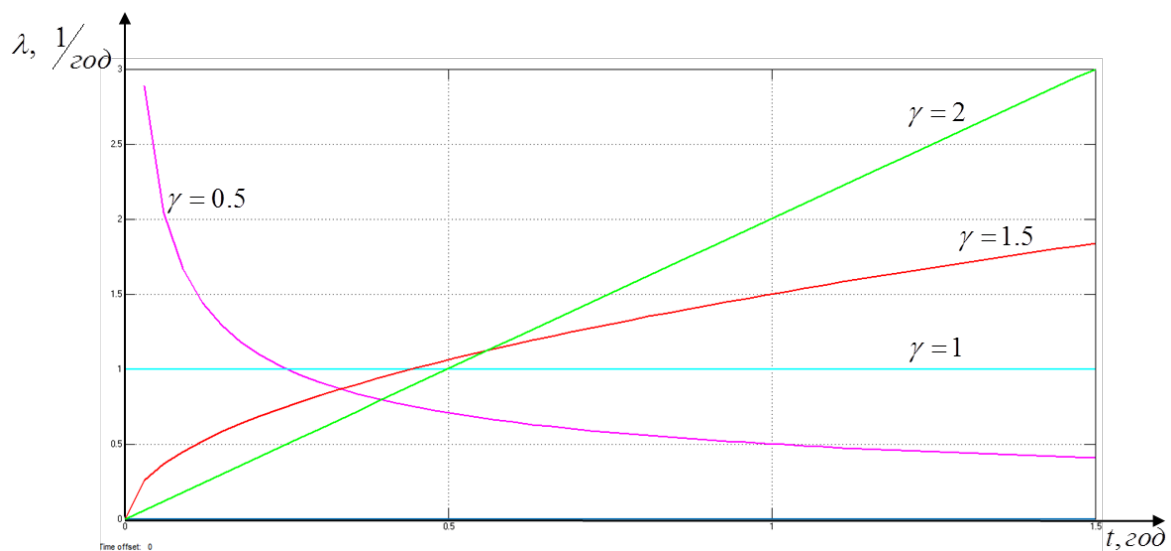


Рисунок 6.8 - Інтенсивність відмов в залежності від показника  $\gamma$  при розподілі Вейбула

Аналізуючи графік, можна зробити висновок, що при  $\gamma=0,5$  інтенсивність відмов характеризує типовий початковий період функціонування нової технічної

системи, коли інтенсивність відмов більша, ніж у період, коли деталі припрацювалися.

При  $\gamma=1$  (в загальному випадку необхідно розуміти ступень ) інтенсивність відмов є константою і не змінюється на всьому можливому проміжку проведення досліджень. Зростання інтенсивності відмов відбувається при  $\gamma=1,5$  і  $\gamma=2$ .

Таким чином, розподіл Вейбула може характеризувати будь-який випадок інтенсивності відмов і для практичної реалізації необхідно обчислити коефіцієнти, які є відображенням статистичних даних.

#### **6.4 Достовірність динамічного програмування безпеки за критеріями нормального розподілу потоку інтенсивності незалежних відмов**

Для практичного дослідження в якості об'єкта моделювання оберемо пару незалежних причин відмов, що уособлюють найпоширеніший випадок для ТС РОВТ. Перша причина втілює сенс раптової відмови, а друга може бути описана законом розподілу. При дослідженні статистичних причин відмов найпоширенішим є нормальний закон розподілу часу безвідмовної роботи технічних засобів управління навігацією РОВТ. Результируючий розподіл має вигляд:

$$F(T) = 1 - e^{-\lambda T} \left( 1 - \Phi \left( \frac{T-c}{\sigma} \right) \right). \quad (6.11)$$

Відповідно щільність досліджуваного розподілу матиме вигляд:

$$f(T) = e^{-\lambda T} \left( \frac{e^{-\frac{(T-c)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} + \lambda \left( 1 - \Phi \left( \frac{T-c}{\sigma} \right) \right) \right). \quad (6.12)$$



За визначеним вище алгебраїчним виразом для щільності розподілу проведемо імітаційне моделювання в MATLAB з використанням ресурсів Simulink. Метою є дослідження впливів детермінованих значень параметру лямбда на характер щільності розподілу. Сформований алгоритм для обчислення значень щільності розподілу в середовищі програмування MATLAB з використанням блоків бібліотек пакету Simulink має наступний вигляд:

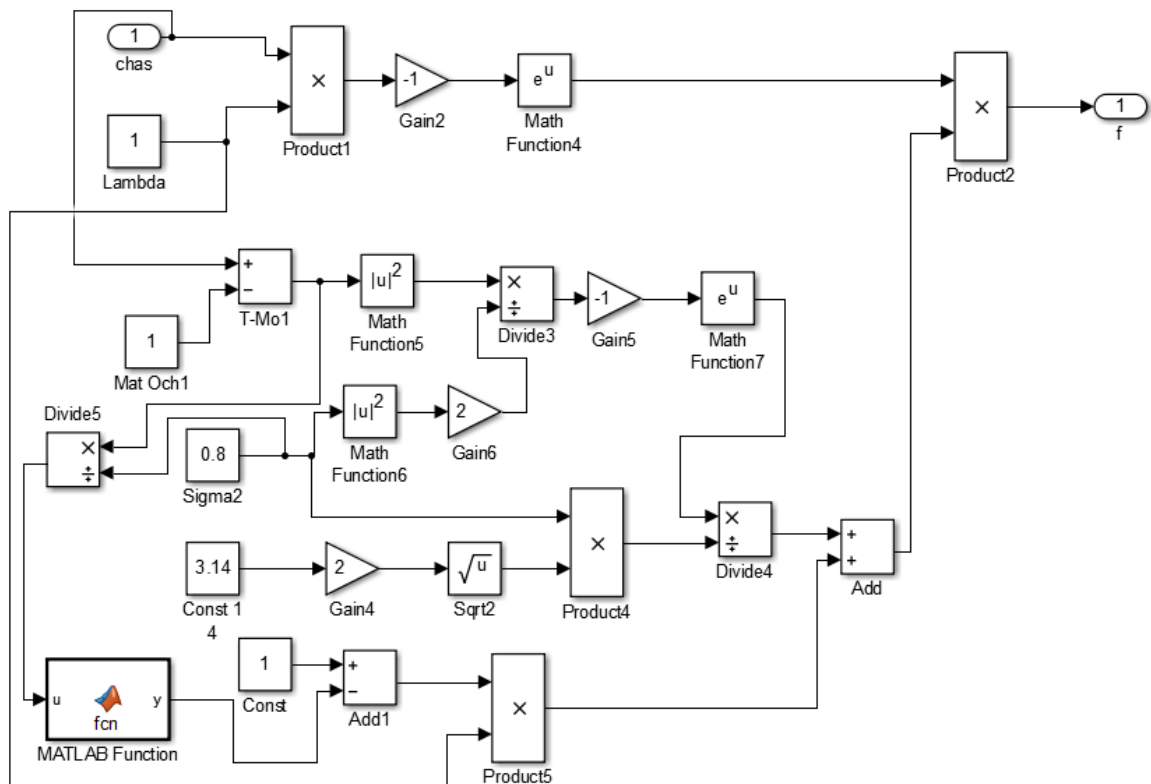


Рисунок 6.9 - Розрахунковий алгоритм щільності при одночасному впливі незалежних факторів відмов

Для практичного проведення розрахунків за пропонованими алгебраїчними виразами при моделюванні постала необхідність обчислення функції Лапласа, яка була вирішена шляхом використання блоку MATLAB Function з бібліотеки Simulink для розрахунку значень функції Лапласа. Опис цього блоку було

наведено вище. Завдяки введенню блоку MATLAB Function при поточному обчисленні функції Лапласа в результаті моделювання отримано графік, що представляє щільність розподілу в залежності від часу  $T$ . Часом  $T$  позначається час при виконанні моделювання на детермінованих проміжках, які задаються в блоці введення даних MATLAB Simulink. На загальних графіках позначено час загальним позначенням  $t$ , що відповідає традиційній системі позначень в науковій школі України.

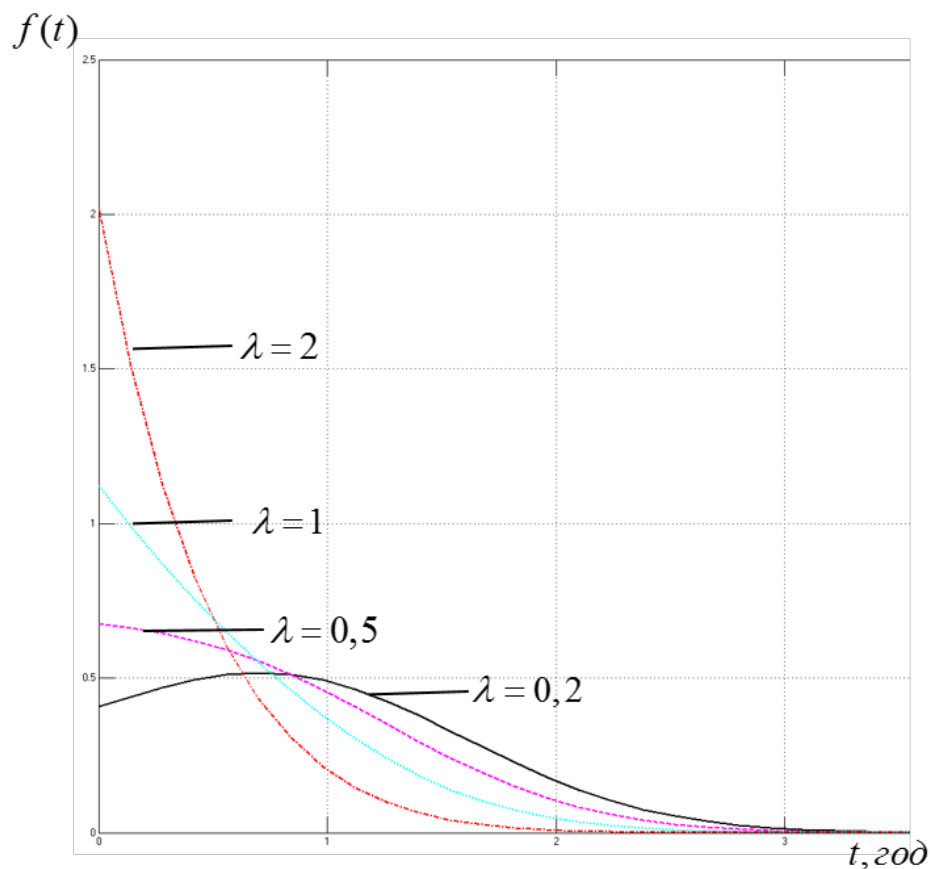


Рисунок 6.10 - Досліджувана щільність одночасного впливу незалежних факторів відмов

При дослідженні отриманого в результаті моделювання графіка щільності одночасного впливу незалежних факторів відмов для ТС РОВТ можна визначити вирішальне значення впливу кортежу значень  $\lambda$  на характер досліджуваної щільності розподілу, а отже і на зміну функціональної стійкості в часі. Ця

можливість виходить з того факту, що всі інші члени розрахункового алгебраїчного виразу є константами, що при моделюванні задаються перед початком розрахунків.

З наведеного вище графіку щільності одночасного впливу незалежних факторів відмов можна чітко визначити тенденцію при збільшенні значень параметру моделювання  $\lambda$  - графік прагне до виду експоненціальної функції, при зменшенні – до виду нормального розподілу.

Щоб здійснити практичні розрахунки необхідно використання методу розбиття на досліджувані проміжки. Вирішальним в такій постановці завдання буде визначення границі розбиття  $\Theta_\tau$  для проміжків, що зумовлює сенс наступного виразу:

$$e^{-\lambda\Theta_\tau} \left( 1 - \Phi \left( \frac{\Theta_\tau - c}{\sigma} \right) \right) = 1 - \nu(\Theta_\tau), \quad (6.13)$$

де  $\nu(\Theta_\tau)$ - відома частота значень  $\tau_i$ , яка знаходиться зліва від заданої границі  $\Theta_\tau$ , 1/год.

$$\lambda = \frac{\ln \left( 1 - \Phi \left( \frac{\Theta_\tau - c}{\sigma} \right) \right) - \ln(1 - \nu(\Theta_\tau))}{\Theta_\tau}. \quad (6.14)$$

За допомогою сформованого вище алгебраїчного виразу стає можливою практична ідентифікація значень параметру  $\lambda$ . Це відіграє ключову роль при необхідному практичному обчисленні імовірності безвідмовного функціонування досліджуваного технічного засобу відповідного ієрархічного рівня при відомих значеннях величин  $c$  та  $\sigma$ . Що необхідно для вирішення завдання оцінки функціональної стійкості технічної складової полієргатичної системи управління

РОВТ, яка знаходиться в умовах одночасного впливу незалежних факторів відмов.

### **6.5 Імовірнісна оцінка техніко-технологічної безпеки рухомого об'єкту водного транспорту за проектом УТ 733-2**

Дослідження безпечного функціонування РОВТ при ДП є важливим завданням на всьому часовому проміжку експлуатації РОВТ при виконанні ДП в локально обмеженому просторі акваторії ТПК. Розглянемо технічну складову, яка була представлена на третьому рівні ієрархії та досліджена глибше за допомогою декомпозиції, як інструменту системного підходу на прикладі конкретного РОВТ, а саме ТБС проекту УТ 733-2. Характеристики ТБС проекту УТ 733-2 надано в Додатку Д.

Сформована в дисертаційному дослідженні схема функціональної стійкості ТБС проекту УТ 733-2, який обладнано СДП другого класу є наочним представленням структури безпеки функціонування технічної складової полієргатичної системи. Досліджуване ТБС проекту УТ 733-2 та його СДП класифіковано КТ ABS, вимоги якого, як і вимоги більшості КТ-членів МАКТ базуються на МК та схожі між собою. Вимоги КТ ABS не протирічають вимогам РУ.

Наведена надійність системи рушіїв та засобів активного керування рухом показує в даному конкретному випадку подальшу декомпозицію, де має місце резервування. Комплекс засобів активного керування збуреним рухом ТБС проекту УТ 733-2 складається з двох азимутальних рушіїв та двох ПП тунельного типу. Згідно з вимогами для СДП другого класу РОВТ ми маємо один з класичних прикладів дублювання обладнання, хоча при відмові одного з компонентів РОВТ втрачає запас керованих реакції рушіїв.

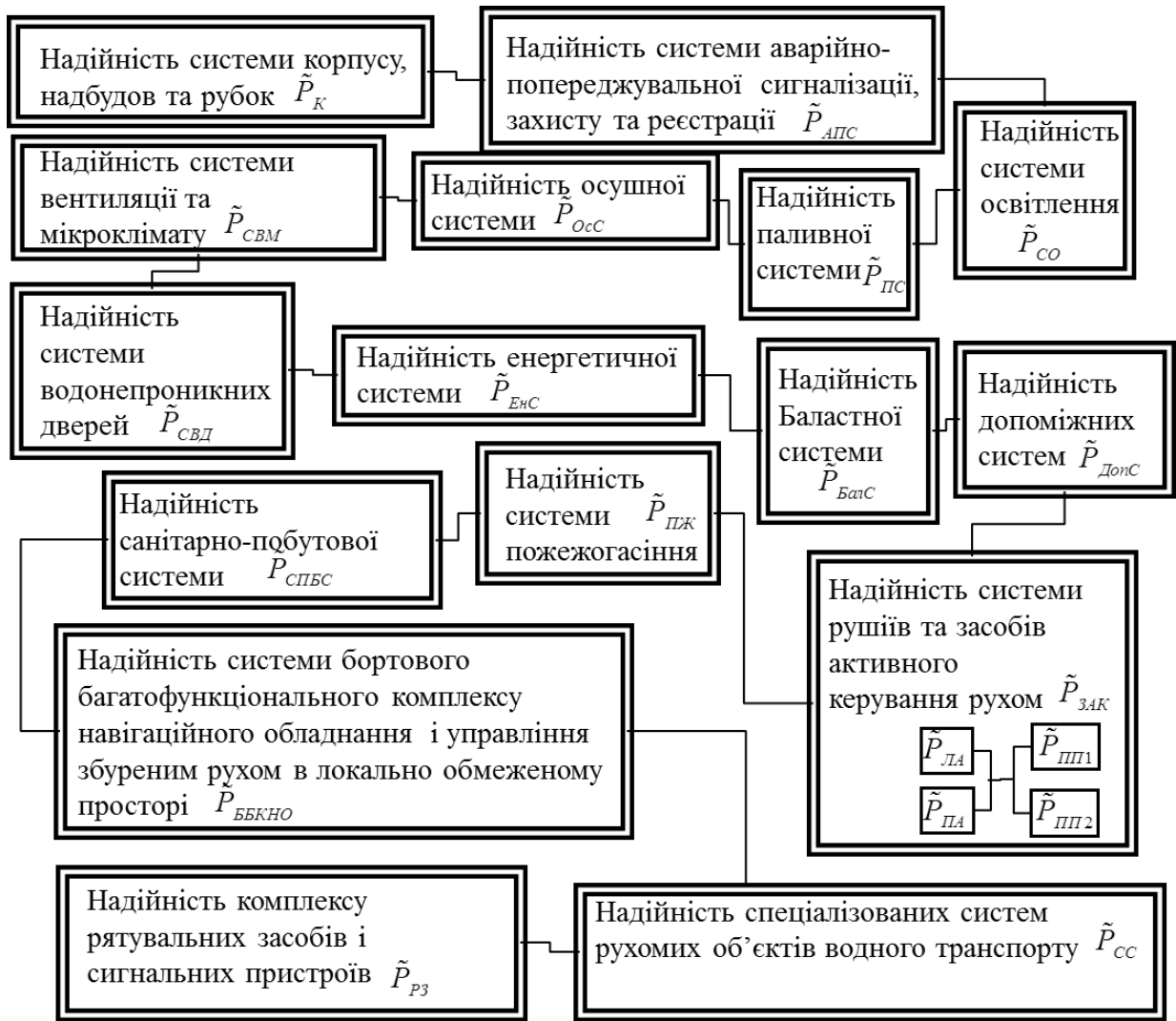


Рисунок 6.11 - Побудована схема функціональної стійкості ТБС проекту UT 733-2 з СДП другого класу з позначенням відповідної імовірності для подальших досліджень

Таким чином імовірність безпечного функціонування комплексу засобів активного керування збуреним рухом РОВТ:

$$\tilde{P}_{ЗАК} = \left(1 - (1 - \tilde{P}_{ПА})(1 - \tilde{P}_{ЛА})\right) \left(1 - (1 - \tilde{P}_{ПП1})(1 - \tilde{P}_{ПП2})\right), \quad (6.15)$$

де  $\tilde{P}_{ЗАК}$  - імовірність безвідмовної роботи системи рушіїв та засобів активного керування рухом РОВТ;

$\tilde{P}_{ПА}$  - імовірність безвідмовної роботи правого азимутального рушія;

$\tilde{P}_{ЛА}$  - імовірність безвідмовної роботи лівого азимутального рушія;

$\tilde{P}_{ПП1}$  - імовірність безвідмовної роботи ПП №1;

$\tilde{P}_{ПП2}$  - імовірність безвідмовної роботи ПП №2.

Гамма розподіл характеризує потік відмов обох груп компонентів, проте для азимутального рушія  $r=4$ , а для ПП  $r=3$ . Наведено нижче реалізований алгоритм розрахунку.

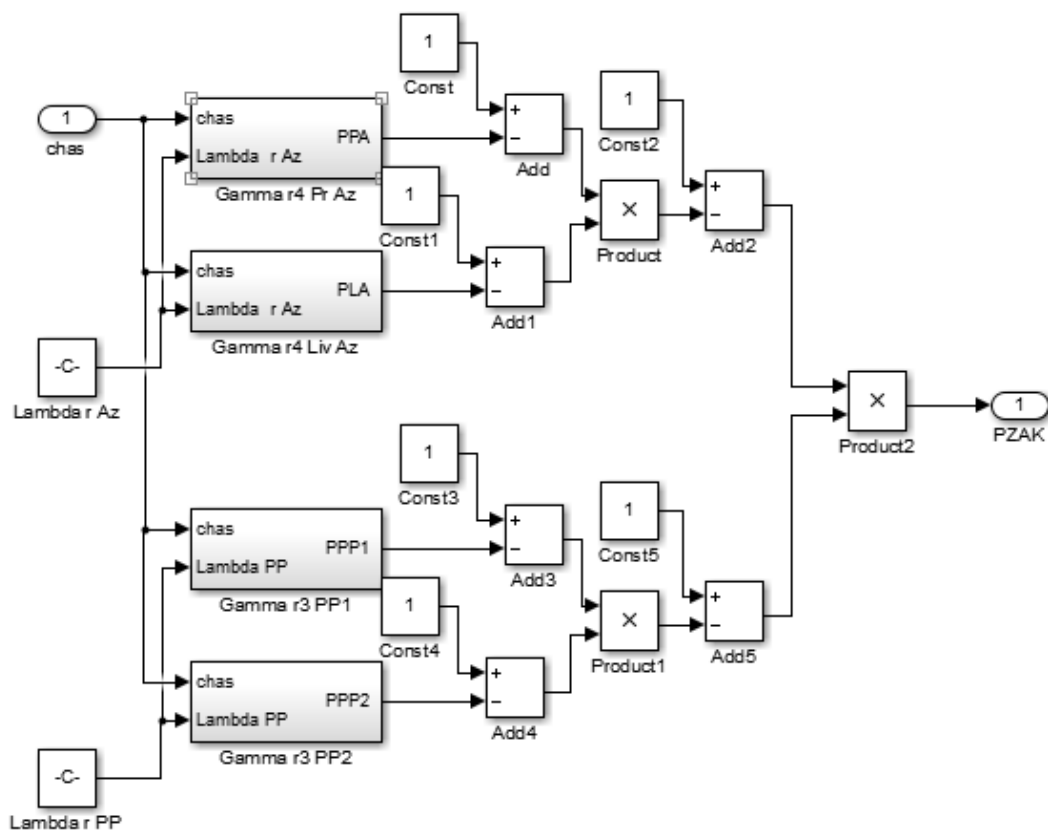


Рисунок 6.12 - Структурна схема алгоритму розрахунку імовірності безвідмовного функціонування комплексу засобів активного керування динамічним позиціонуванням ТБС проекту UT 733-2 в програмному середовищі MATLAB з використанням пакету Simulink

За наведеним вище алгоритмом проведемо моделювання та представимо результати у графічному вигляді. Для того, щоб також показати практичність

результатів та їх впровадження у реальний процес експлуатації РОВТ, введемо додаткову умову, яка полягає у тому, що комплекс пропрацював безвідмовно на протязі 3000 годин. Дослідимо імовірність на протязі 40000 годин роботи.

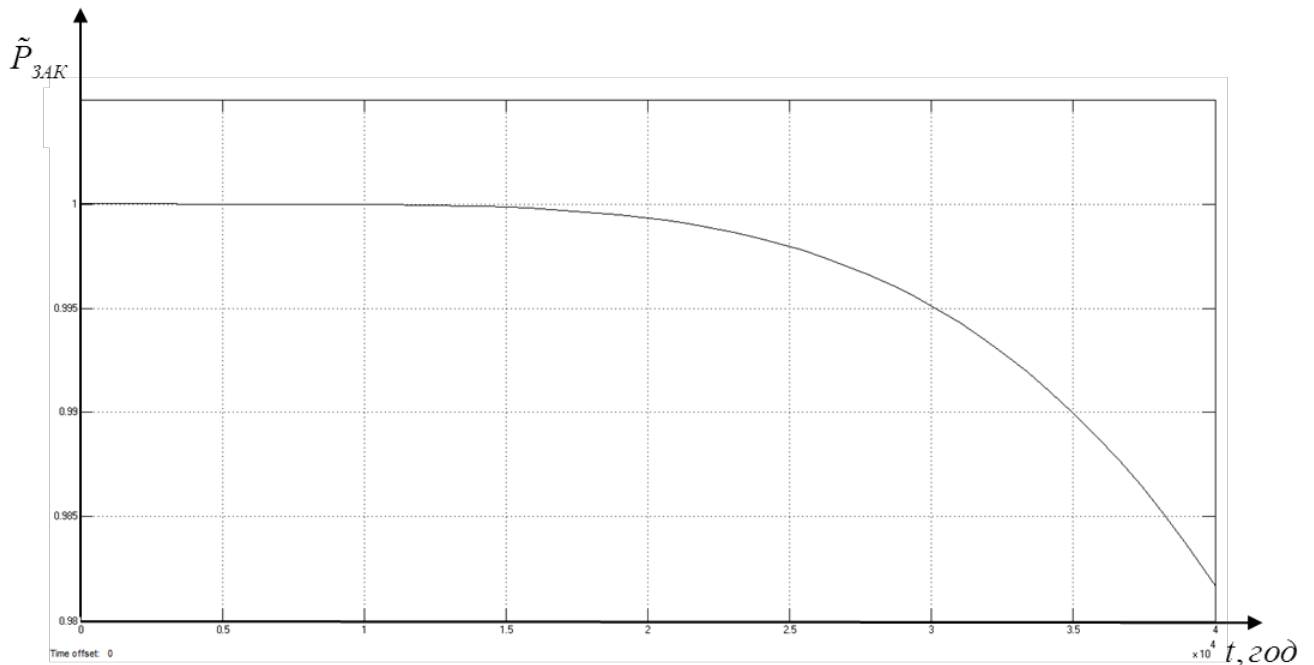


Рисунок 6.13 - Результати імітаційного моделювання імовірності безвідмовної роботи комплексу засобів активного керування РОВТ на протязі 40000 годин

Як видно з графіка, на протязі 40000 годин роботи імовірність не опуститься нижче 0,98 (виведення точних результатів за допомогою блоку Display дозволяють точно встановити граничне значення, яке дорівнює 0,9817). Слід зазначити, що при внутрішніх розрахунках в MATLAB дуже зручно не використовувати відсотки, які, в свою чергу, дуже зручно використовувати при наданні остаточного результату, який представляє практичний інтерес для зацікавлених організацій стосовно прийняття відповідних рішень щодо безпеки РОВТ.

Імовірність безвідмовного функціонування технічної складової поліергатичної системи для досліджуваного РОВТ можна записати наступним чином:

$$\tilde{P}_{БТС} = \tilde{P}_K \cdot \tilde{P}_{АПС} \cdot \tilde{P}_{СО} \cdot \tilde{P}_{ПС} \cdot \tilde{P}_{ОсС} \cdot \tilde{P}_{СВМ} \cdot \tilde{P}_{СВД} \cdot \tilde{P}_{ПЖ} \cdot \tilde{P}_{БалС} \cdot \tilde{P}_{ДопС} \cdot \tilde{P}_{ББКНО} \times \quad (6.16) \\ \times \tilde{P}_{ЗАК} \cdot \tilde{P}_{РЗ} \cdot \tilde{P}_{СС} \cdot \tilde{P}_{ЕнС} \cdot \tilde{P}_{СПБС},$$

де  $\tilde{P}_K$  - імовірність безвідмовної роботи системи корпусу, надбудов та рубок;

$\tilde{P}_{АПС}$  - імовірність безвідмовної роботи системи аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації;

$\tilde{P}_{СО}$  - імовірність безвідмовної роботи системи освітлення;

$\tilde{P}_{ПС}$  - імовірність безвідмовної роботи паливної системи;

$\tilde{P}_{ОсС}$  - імовірність безвідмовної роботи осушної системи;

$\tilde{P}_{СВМ}$  - імовірність безвідмовної роботи системи вентиляції та мікроклімату;

$\tilde{P}_{СВД}$  - імовірність безвідмовної роботи системи водонепроникних дверей;

$\tilde{P}_{ПЖ}$  - імовірність безвідмовної роботи системи пожежогасіння;

$\tilde{P}_{БалС}$  - імовірність безвідмовної роботи баластної системи;

$\tilde{P}_{ДопС}$  - імовірність безвідмовної роботи допоміжних систем;

$\tilde{P}_{ББКНО}$  - імовірність безвідмовної роботи системи бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання і управління збуреним рухом в локально обмеженому просторі;

$\tilde{P}_{ЗАК}$  - імовірність безвідмовної роботи системи рушіїв та засобів активного керування рухом РОВТ;



$\tilde{P}_{PЗ}$  - імовірність безвідмовної роботи комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв;

$\tilde{P}_{CC}$  - імовірність безвідмовної роботи спеціалізованих систем рухомого об'єкту водного транспорту;

$\tilde{P}_{ENC}$  - імовірність безвідмовної роботи енергетичної системи;

$\tilde{P}_{СПБС}$  - імовірність безвідмовної роботи санітарно-побутової системи.

Керуючись принципами системному підходу, необхідно постійно контролювати в якому форматі надаються данні для подальшої обробки, щоб вони були узгоджені і відповідали інформаційним запитам програмних моделей алгебраїчних залежностей. Остаточні результати зручніше всього подавати у відсотках, як показано на рисунку, який характеризує імовірність безпечного функціонування технічної складової поліергатичної системи управління РОВТ на проміжку у 40000 годин, при умові що досліджувана ТС функціонувала без відмов 3000 годин.

При подальшому просуванні по етапах моделювання ми для кожної системи, в залежності від її сутності та структури, а також глибини декомпозиції, обираємо тип розподілу.

Для опису системи корпусу РОВТ можна використовувати експоненційний розподіл, так як погіршення стану проходить поступово і дуже повільно. Також необхідно вважати те, що система складається з однорідного компоненту (металу), що також відповідає умовам застосування експоненційного розподілу. Необхідно мати на увазі те, що даний вид опису включає тільки процеси погіршення властивостей міцності корпусу з часом і не включає вплив, який може отримати корпус РОВТ при виконанні певних технологічних робіт та маневрів в режимі ручного управління, що буде досліджено нижче.

Для опису імовірності баластної, осушної систем та пожежної систем, які дуже близькі за технічними характеристиками (основною системою боротьби з пожежею на РОВТ проекту УТ 733-2 можна вважати водяну систему), необхідно

застосовувати гамма-розподіл з рангом пошкоджень 4 (і 5 для пожежної системи) і відповідною початковою інтенсивністю відмов.

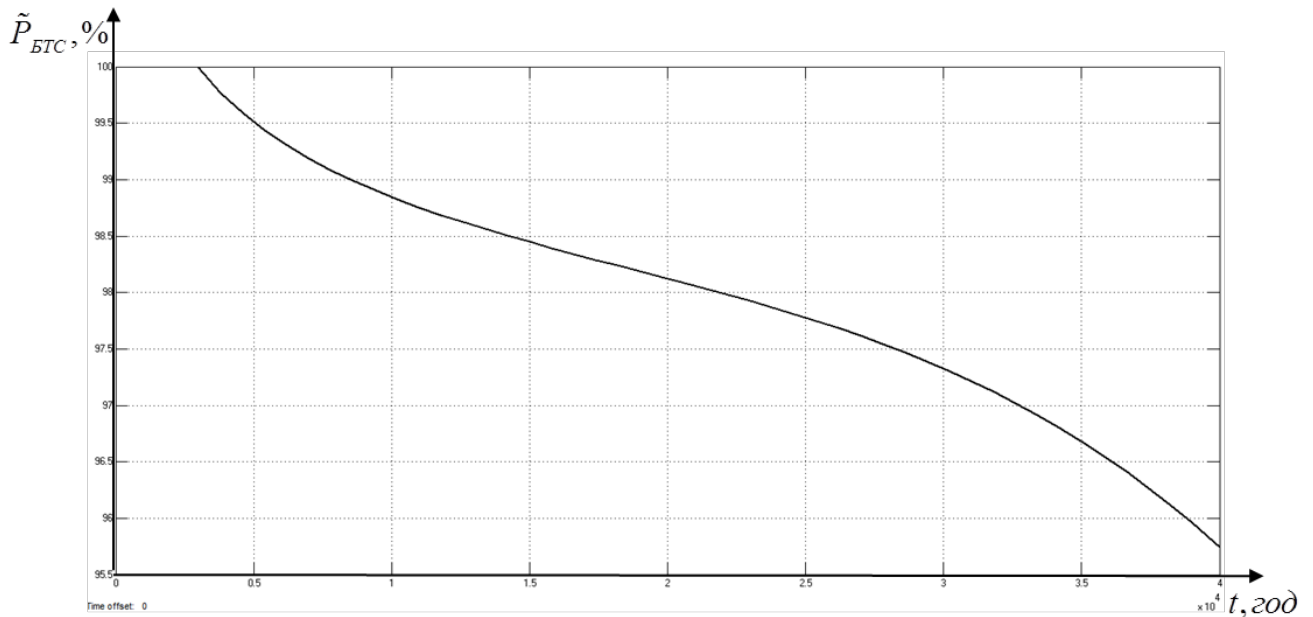


Рисунок 6.14 - Фінальна імовірність безпечного функціонування технічної складової поліергатичної системи РОВТ

Система водонепроникних дверей, як показує практика сучасних РОВТ, є дуже надійною та має ручний привід. Для опису також рекомендовано застосовувати гамма-розподіл, проте з рангом пошкоджень 5.

Розподіл Вейбула можна застосовувати для систем із багатьма компонентами і він є таким, що найбільш правильно відповідає дійсності практичних спостережень. При цьому його можна застосовувати коли системи не розбиваються на дрібні і не має просування до нижчих рівнів ієрархії (порядку VI-VIII рівнів), де рекомендовано переглянути розподіли (або вхідні дані розподілу Вейбула) для отримання адекватної картини.

Накладання розподілів формують фінальну криву, яка характеризує зміну функцію, що відображає імовірність безпечної роботи всієї системи. Як видно на рисунку фінальна імовірність при 40000 годинах роботи складатиме 95,74%, що є в довірчому інтервалі  $1,64\sigma$ . Аналізуючи компоненти основної формули можна

зробити висновок можна зробити висновок, що характер технологічної роботи також присутній. Так в залежності від технологічної роботи для ТБС буде змінюватися  $\tilde{P}_{CC}$ . Так при виконанні роботи постачання деякі складові  $\tilde{P}_{CC}$  можна виключити з розгляду, так як спеціалізовані буксирні системи і системи для заведення якорів не використовуються.

## 6.6 Специфіка імовірнісних розрахунків маневру підходу в умовах ручного управління

При розгляді завдання визначення імовірності безпечного виконання робіт при ручному керуванні основним параметром є  $\mathcal{Y}_{\tilde{p}}$ , який відображає рівень кваліфікації ЛО, яка здійснює маневр. Такого типу маневри виконує в більшості випадках найбільш висококваліфікований оператор (капітан / СОСДП), а інші вахтові надають інформаційну допомогу за вимогою та ведуть спостереження за оточуючим локально обмеженим простором акваторії ТПК.

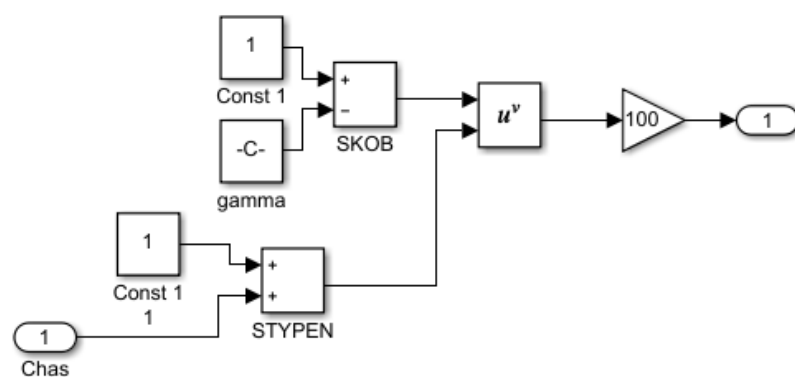


Рисунок 6.15 - Алгоритм розрахунку виконання маневру підходів середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink

При наявності чинників збурень локально обмеженого простору акваторії проведення маневрів, які впливають на РОВТ з силами не більше, ніж 10% від потужності ЗАК (мається на увазі найменш потужний компонент комплексу ЗАК РОВТ, в залежності від кутів впливу в зв'язаній системі координат), а також при залученні досліджених вище варіантів складу кваліфікованого вахтового персоналу, спираючись на обробку статистичних даних аварійності РОВТ, можна вважати, що  $\gamma_{\tilde{P}} = 0,00000012$  для висококваліфікованого капітана/СОСДП. Імовірність виражено в відсотках.

Отриманий в результаті проведення математичного моделювання графік безпечного виконання підходу зображено в залежності від  $K$ , який характеризує дискретну величину, а саме кількість підходів РОВТ. Графік повністю узгоджується з реальними даними, які показують, що за зазначених вище умов імовірність безпечного виконання підходу близька до одиниці при керуванні РОВТ висококваліфікованим капітаном / СОСДП на всьому протязі експлуатації РОВТ, якщо всі інші технічні засоби, комплекси та системи працюють задовільно.

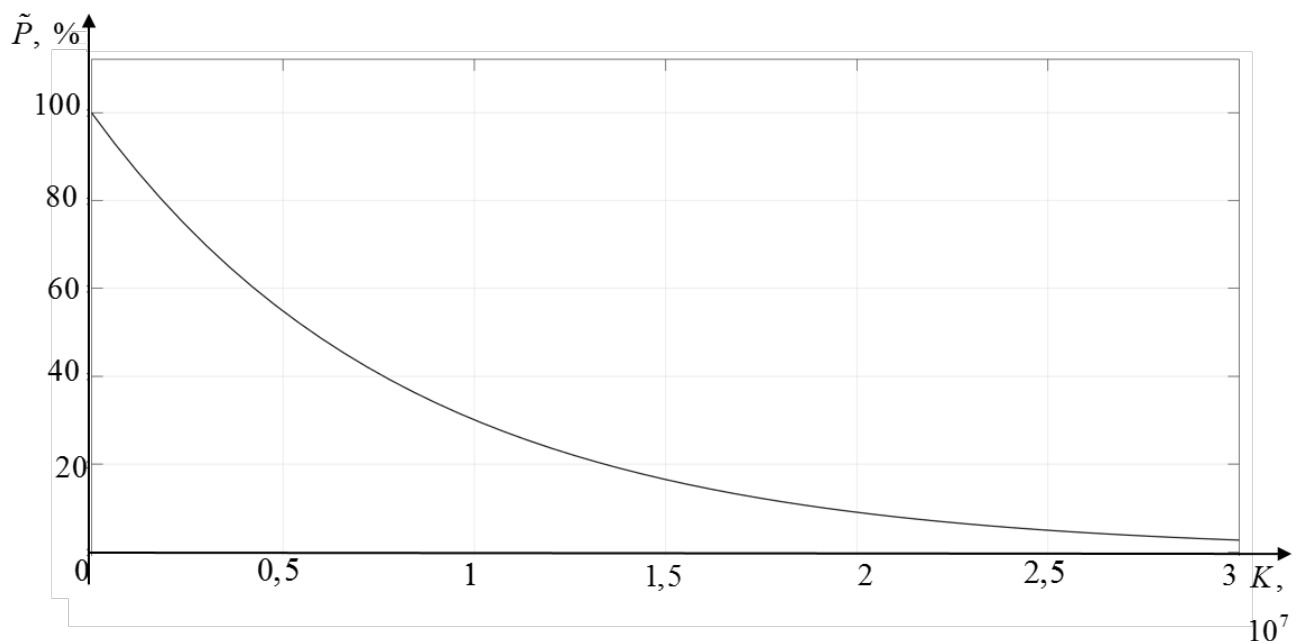


Рисунок 6.16 - Імовірність безпечного виконання підходу, який виконується професійною особою

Аналіз даного графіку надає інформацію про імовірність безпеки виконання конкретної технологічної роботи, яка вимагає особливої уваги і може бути виконана гарантовано безпечно лише високопрофесійною особою.

**6.7 Формалізація оперативного оцінювання безпеки поліергатичного управління засобами динамічного програмування**

Для того, щоб забезпечити безпечну реалізацію процесів високоточної навігації необхідно при достовірній надійній роботі технічної складової поліергатичної системи пропонується оцінювати імовірнісну можливість людської складової функціонувати в потоці збурюючих подій. Розглянемо спочатку ергатичну систему під управлінням однієї ЛО.

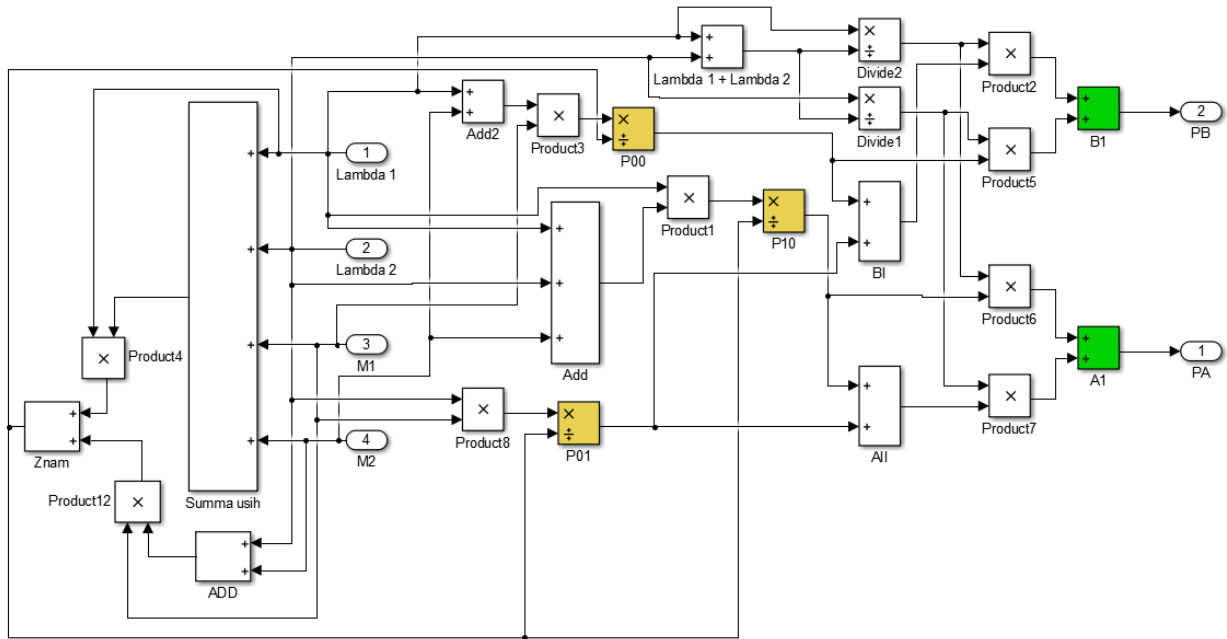


Рисунок 6.17 - Алгоритм розрахунку імовірностей для ідентифікації ергатичної системи

Рішення відповідної системи становили алгебраїчні моделі, за якими було здійснено програмування в середовищі Matlab, з інтегрованим пакетом Simulink, що надало можливість реалізації модульного принципу системного підходу.

Сформований алгоритм розрахунку націлено на обчислення та надання в поточному або прогнозному режимі інформації щодо ймовірностей знаходження об'єкта моделювання у безпечному й потенційно небезпечному станах. Шляхом аналізу отриманих при моделюванні ймовірностей за марківськими процесами проводиться поточна оцінка рівня безпеки (або небезпеки при необхідності) функціонування ергатичної системи.

При практичній реалізації ДП РОВТ в локально обмеженому просторі мінімальний склад професійних осіб, які здійснюють управління ТБС СДП будь-якого класу дорівнює двом. Алгоритм розрахунку в MATLAB з використанням пакету Simulink представлено нижче.

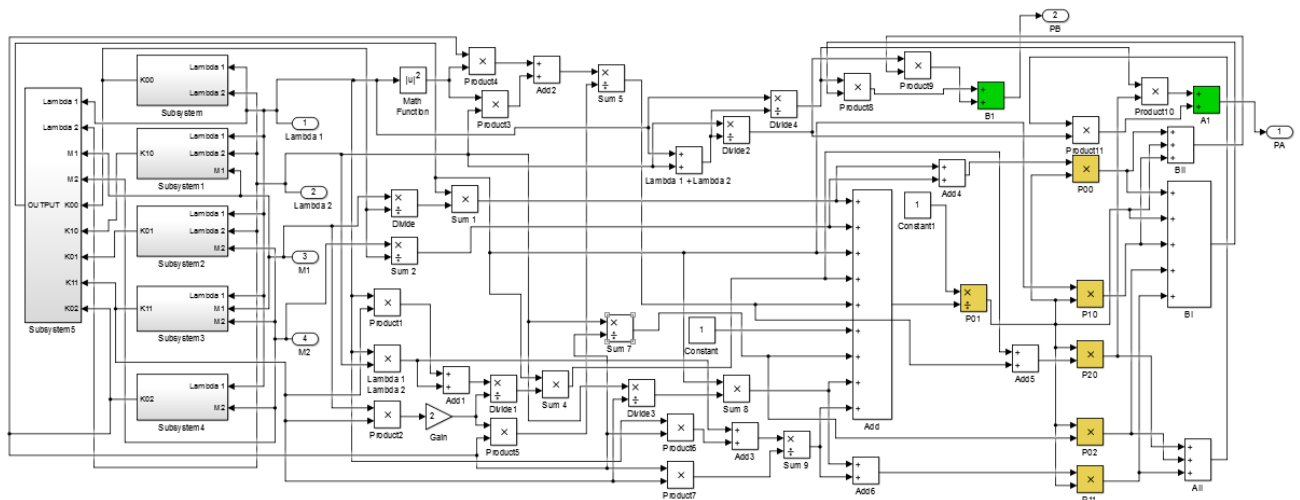


Рисунок 6.18 - Алгоритм розрахунку імовірності безпечного функціонування поліергатичної системи, яка складається з двох операторів системи динамічного позиціонування

Максимально можливий склад вахтових осіб при ДП ТБС (і багатьох інших типів РОВТ) складає 3 особи. Для трьох ОСДП алгоритм розрахунку виглядає наступним чином.

Вхідними параметрами в будь-яку модель (від одного до трьох ЛО), яка реалізована в MATLAB є показники потоків  $\Lambda_1$  та  $\Lambda_2$ , які характеризують вплив на систему. А також показники потоків  $\mu_1$  та  $\mu_2$ , які характеризують людську складову.

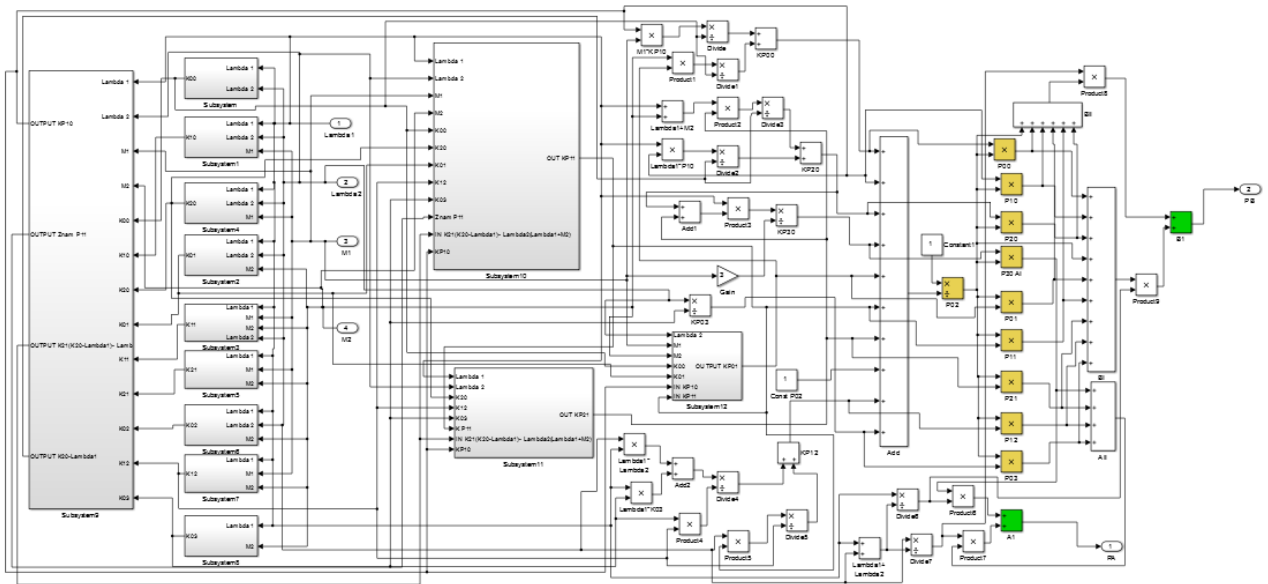


Рисунок 6.19 - Алгоритм розрахунку імовірності безпечного функціонування поліергатичної системи, яка складається з трьох операторів системи динамічного позиціонування

Вихідними параметрами являються  $\tilde{P}_B, \tilde{P}_A$  - ймовірності знаходження поліергатичної системи у безпечному та небезпечному станах. Також для проведення досліджень функціонування систем необхідними є  $\tilde{P}_{BI}, \tilde{P}_{BII}$  - ймовірності знаходження поліергатичної системи у безпечному стані відповідно до ідентифікації потоків подій I або II категорії важливості, а також  $\tilde{P}_{AI}, \tilde{P}_{AII}$  - ймовірності знаходження поліергатичної системи у потенційно небезпечному стані відповідно до ідентифікації подій I або II категорії важливості. При проведенні досліджень можна керуватися тим, що мета є дослідити та визначити

розрахункову імовірність безпечного функціонування, а також мати на увазі наступну умову:

$$\tilde{P}_{BI} + \tilde{P}_{BII} + \tilde{P}_{AI} + \tilde{P}_{AII} = 1. \quad (6.17)$$

Тоді при дослідженні ми можемо мати в фокусі імовірність безпеки функціонування системи і сформований за модульним принципом алгоритм розрахунку імовірностей має бути перетворено. Складемо універсальний алгоритм для дослідження поліергатичних систем:

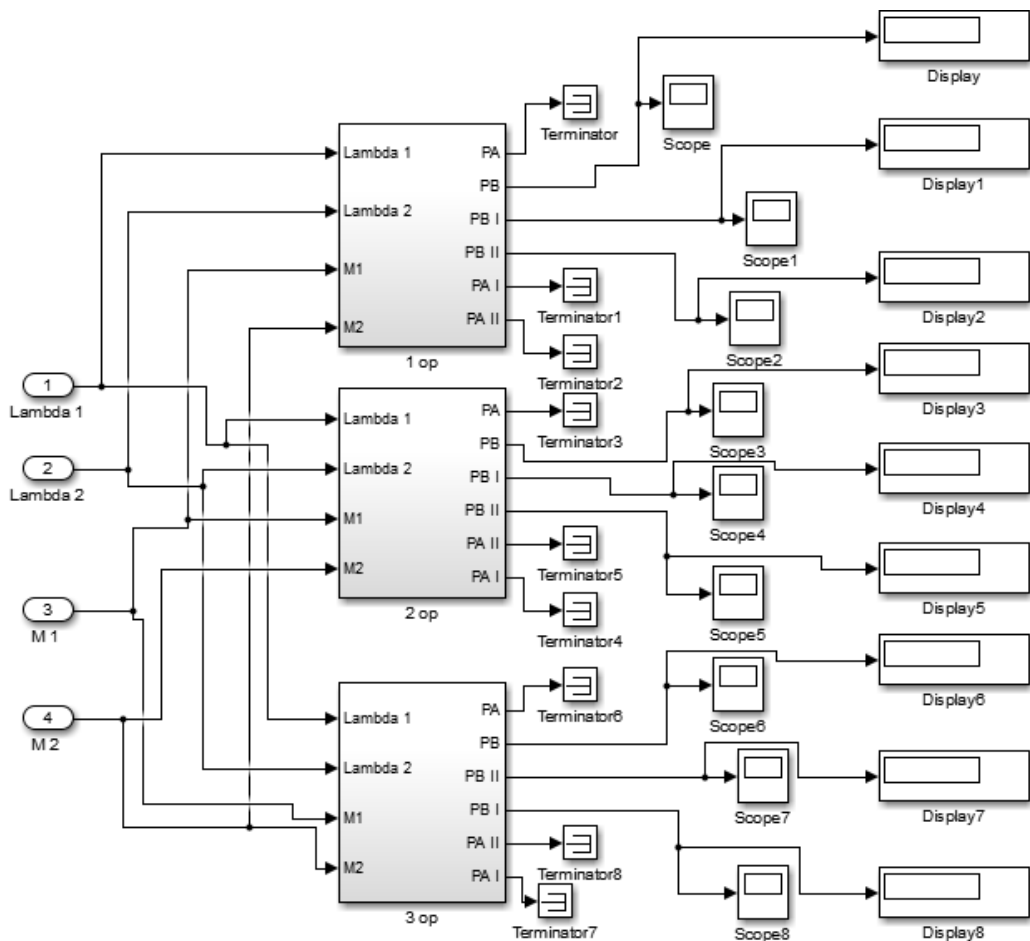


Рисунок 6.20 - Універсальний алгоритм розрахунку імовірностей функціонування досліджуваних поліергатичних систем, які відображають різний склад кваліфікованого вахтового персоналу при управлінні рухом РОВТ



Як вже було визначено раніше, модульний принцип при системному підході має надавати гнучкості програмі при подальшому застосуванні. Тобто за певних умов, при практичному користуванні можна припустити випадки, коли необхідно буде дослідити імовірність потенційно аварійних станів системи.

В програмі, за допомогою бібліотеки модулів Simulink в MATLAB, використаємо блок Terminator для  $\tilde{P}_A, \tilde{P}_{AI}, \tilde{P}_{AII}$ . Таким чином ми залишаємо можливість розблокування вихідних даних для аналізу. Для виводу даних в динамічному режимі скористаємось блоком Score. Блок Display будемо використовувати для виводу даних в числовому форматі для точних розрахунків. Так для кожного параметру ми використовуємо по 2 блоки (один Score та один Display). Такий універсальний підхід використано в ПЗ «Інспектор поліергатичних систем», що забезпечує не тільки надання повної поточної інформації, а й гнучке налаштування програми для конкретних цілей наукових досліджень і практичного застосування.

## **6.8 Інтегроване оцінювання варіантів поліергатичного управління адекватного відповідним потокам збурень**

Для знаходження імовірностей, які характеризують безпеку необхідно задавати показники груп  $\mu$  та  $\Lambda$ . Показники групи  $\mu$  характеризують можливість реакції кваліфікованого персоналу на потік збурень.

Так події I категорії важливості вважаються початком причинно-наслідкового зв'язку подій, що приводять до аварії РОВТ при здійсненні високоточної навігації, яка пов'язана з ДП в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи. До таких подій, які включають в себе значні впливи чинників НС, відмови і збої технічних систем та їх компонентів на різних рівнях ієрархії та інші дестабілізуючі події. Кваліфікований вахтовий персонал проводить регулярні навчання згідно з СУБ і відповідні сценарії

відпрацьовуються під час навчального процесу підготовки та навчань на борту РОВТ. Навчання забезпечують швидкий час реакції на такі події. На основі статистичних даних, при виконанні управління ДП за допомогою системи Роллс-Ройс СДП будь-якого класу час реакції на події I категорії для висококваліфікованих осіб становить  $54 \text{ 1/год}$ .

Як вже було детерміновано, події II категорії важливості не можуть призвести до аварії рухомого об'єкту водного транспорту. До таких подій відносяться відповіді на інформаційні запити від берегового персоналу компанії або підрядників, координація виконання технологічних робіт та інші події до яких ЛО готова, але розбіг часу реагування може бути різним. На основі натурних випробувань, які було проведено на ТБС з СДП, можна вважати  $\mu_2=46 \text{ 1/год}$  для висококваліфікованого персоналу.

Задання параметрів групи  $\Lambda$  має відбуватися на основі статистичних досліджень. На основі проведених натурних спостережень можна зробити висновок, що головним є характер технологічної роботи і значення величин чинників НС (сильний вітер, імовірність шквалу, сильна змінна за напрямком течія, яка характерна для періодів сизигії та квадратури та ін.), які необхідно враховувати.

Саме параметри групи  $\Lambda$  можуть змінюватися, що може становити загрозу безпеці РОВТ під час ДП. Як було описано вище,  $\Lambda=\text{const}$  і це є наріжним комнем протікання марківських процесів. Тому  $\Lambda$  не може змінюватися в часі при протіканні процесу, проте може змінюватися сам процес. І це дійсно так, ми не можемо стверджувати, що потік подій буде тим же самим, коли змінилися умови технологічної роботи і змінилися чинники НС. Зміна технологічної роботи сама по собі може призводити до зміни  $\Lambda$ .  $\Lambda$  також при змінюється при виникненні позаштатної ситуації. Наприклад, при викиді в атмосферу газу  $\text{H}_2\text{S}$  зі свердловини.

При здійсненні нормальних операцій з роботи постачання у морі з використанням СДП для контролю руху РОВТ можна прийняти, що  $\Lambda_1 = 2 \text{ 1/год}$ , а  $\Lambda_2 = 7 \text{ 1/год}$ .

Результати моделювання безпеки реального функціонування поліергатичної системи, яка складається з 2 ОСДП або з 3 ОСДП за сформульованими вище умовами наступні:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{P}_{\underset{2}{B}} = 98,83\%, \\ \tilde{P}_{\underset{2}{BI}} = 99,93\%, \\ \tilde{P}_{\underset{2}{BII}} = 98,52\%, \\ \tilde{P}_{\underset{3}{B}} = 99,72\%, \\ \tilde{P}_{\underset{3}{BI}} = 100\%, \\ \tilde{P}_{\underset{3}{BII}} = 99,63\%. \end{array} \right. \quad (6.18)$$

Зрозуміло, що нове позначення під імовірністю відображає кількість ОСДП. Згідно з СУБ один ОСДП не може нести вахту під час ДП, проте для наочності продемонструємо результати моделювання. За результатами моделювання видно, що навіть при спокійній обстановці з боку потоку збурень, класична ергатична система, яка складається з однієї ЛО не здатна функціонувати безпечно з достовірною імовірністю.

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{P}_{\underset{1}{B}} = 86,88\%, \\ \tilde{P}_{\underset{1}{BI}} = 96,43\%, \\ \tilde{P}_{\underset{1}{BII}} = 84,16\%. \end{array} \right. \quad (6.19)$$

Для оцінки безпеки РОВТ під час ДП можна використовувати «класичний підхід» - де рішення стосовно безпеки буде прийматися на основі оцінки безпеки  $\tilde{P}_B$  відповідної поліергатичної системи.

Але такий підхід може виявитися не ефективним на підставі того, що при висуванні високих вимог «3 $\sigma$ » обчислювана загальна безпека  $\tilde{P}_B < 99,73\%$  і операції ДП можуть бути відкладені, але при цьому  $\tilde{P}_{BI} \geq 99,73\%$ , що означає відсутність реальних загроз. Тому пропонується в фокусі мати безпеку для подій I категорії важливості, які є початком ланцюга причинно-взаємопов'язаних подій, що приводять до аварії. Саме такі події з достовірною імовірністю мають бути виключено.

Критерій достовірності для таких подій може залежати від характеру технологічної роботи. Якщо виконання технологічної роботи може нести загрозу життю людини (або значну загрозу екології), то тоді є необхідність застосування вимог «3 $\sigma$ ». За цих умов настання умов для розвитку аварійної ситуації практично неможливе.

При існуванні менш тяжких ризиків (пошкодження об'єктів, незначної шкоди екологічній системі) можна використовувати критерій «1,96 $\sigma$ », тобто 97,50%, який також є достовірно надійним.

Для дослідження промодельюємо функціонування поліергатичних систем до складу яких входять 2 та 3 ОСДП, що є практичним вахтовим складом РОВТ. А також представимо результати моделювання для однієї ЛО, яка взаємодіє з технічною системою РОВТ при реалізації законів управління збуреним рухом під час ДП.

Для отримання теоретичних результатів дослідження проведемо моделювання також ергатичної системи до складу якої входить 1 ОСДП. Це надає змогу для подальшого аналізу безпечного функціонування системи в різних умовах. Насамперед це не тільки умови ДП РОВТ в локально обмеженому просторі в позаштатних критичних умовах (коли один ОСДП не може виконувати

свої функції), а й засади дослідження управління РОВТ ергатичною системою при здійсненні переходу, коли СДП не використовується.

При дослідженні для моделювання визначимо значення потоків реакції фіксованими на всьому проміжку моделювання:  $\mu_1 = \text{const}$ ;  $\mu_2 = \text{const}$ . Це повністю відповідає теоретичним і практичним аспектам дослідження. Група ОСДП є незмінною і їх фаховий рівень не змінюється на короткому часовому проміжку здійснення ДП РОВТ. При дослідженні різних кваліфікаційних рівнів змінюється об'єкт дослідження.

Потоки збурень  $\Lambda_1$  та  $\Lambda_2$  є змінними і дискретними. Кожне значення потоків збурень відповідає конкретному стану системи і протіканню конкретного марківського процесу.

Для моделювання приймемо  $\Lambda_1 = \Lambda_2$  та проведемо дослідження на проміжку значень від нуля до  $50 \text{ } 1/\text{год}$ . Результати представимо в графічному вигляді.

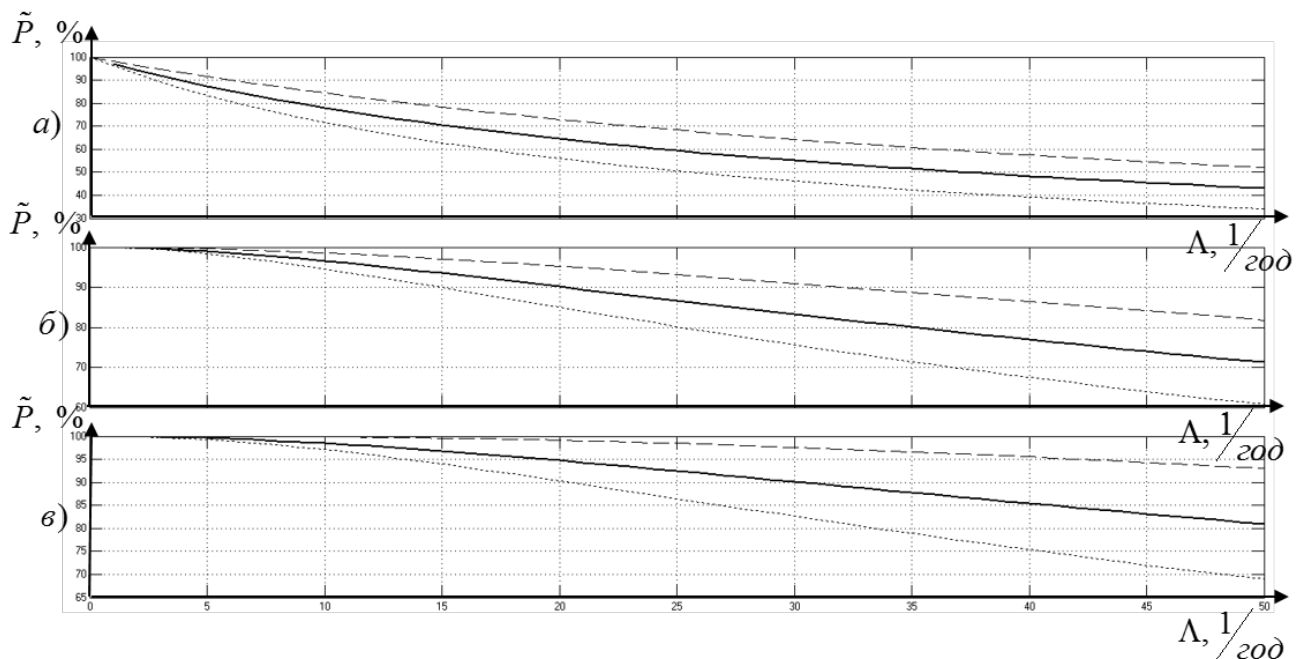


Рисунок 6.21 - Імовірнісні характеристики безпеки функціонування систем під впливом потоків збурень:

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

$$- \tilde{P}_B; \text{---} \tilde{P}_{BI}; \dots \tilde{P}_{BII}$$

Як видно з графіків, найбільш функціонально стійкою є поліергатична система з 3 ОСДП. А класична ергатична система управління з 1 ЛО в умовах збурень ТПК при управлінні процесом ДП швидко виходить із зони достовірної імовірності безпеки.

### **6.9 Динамічне програмування функціональної стійкості за комплексними критеріями безпеки поліергатичного управління**

Будемо продовжувати проводити дослідження за визначеними вище даними та визначати ефективність методології за тенденціями зміни рівнів безпеки функціонування для різних варіантів поліергатичної системи управління. Як вже було зазначено раніше, склад відповідно кваліфікованих професійних вахтових осіб при управлінні процесом ДП РОВТ (зокрема для класу ТБС) є мінімум 2 ЛО. Тому практичне значення дослідження в даному випадку 1 ОСДП при функціонуванні поліергатичної системи в нормальних умовах експлуатації РОВТ втрачається і носить суто теоретичний характер. Дослідження 1 ОСДП має сенс в позаштатних умовах здійснення ДП. А також може бути перспективним при дослідженні функціонування вахти в загальному навігаційному режимі (не в режимі ДП), де згідно з СУБ 1 офіцер-судноводій несе вахту.

Поставимо в фокус імовірність  $\tilde{P}_{BI}$ , а також дослідимо імовірність  $\tilde{P}_B$ , яка буде виступати в ролі контролю. Контроль буде в тому, що комплексна імовірність не буде мати різкого значного падіння на досліджуваному проміжку. Досліджуваний проміжок виберемо від 0 до 25.

Визначимо, що ТБС УТ 733-2 виконує технологічну роботу з постачання матеріалів, які не є небезпечними вантажами. Тому в якості критерію можна використовувати критерій « $1,96\sigma$ », тобто імовірність 97,50%. Проведемо моделювання на проміжку і представимо результати в графічному виді.

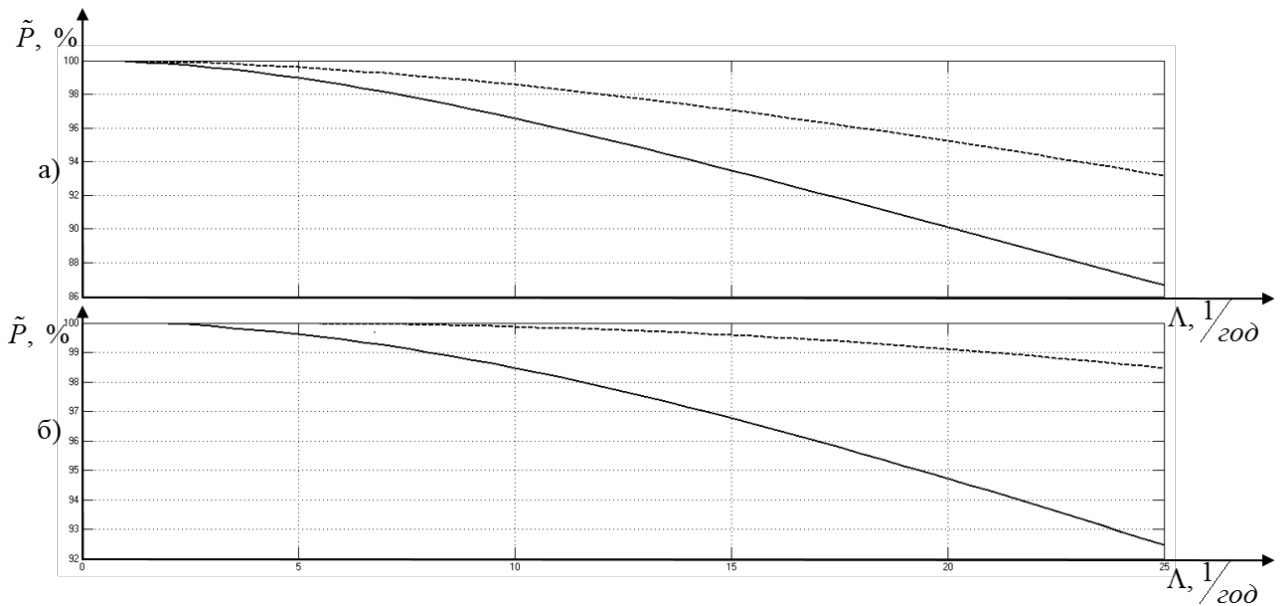


Рисунок 6.22 - Імовірнісні характеристики безпеки функціонування поліергатичних систем під впливом потоків збурень:

а) для двох ОСДП; б) для трьох ОСДП; -  $\tilde{P}_B$ ; ---  $\tilde{P}_{BI}$

При  $\Lambda=13,7 \text{ 1/год}$  ми отримаємо граничний результат моделювання для поліергатичної системи з 2 ОСДП, що функціонує в умовах ідентифікованих гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК. Отримані в результаті моделювання значення імовірностей для досліджуваних систем наступні:

$$\begin{cases} \tilde{P}_{B_2} = 94,33\%, \\ \tilde{P}_{BI_2} = 97,50\%, \\ \tilde{P}_{B_3} = 97,26\%, \\ \tilde{P}_{BI_3} = 99,68\%. \end{cases} \quad (6.20)$$

Таким чином, при  $\Lambda=13,7 \text{ 1/год}$  (на рисунку відмічено штрихом) поліергатична система, яка складається з 2 ОСДП знаходиться на межі

встановленої границі імовірнісної безпеки за параметром імовірності безпеки

$$\tilde{P}_{BI} = 97,50\%.$$

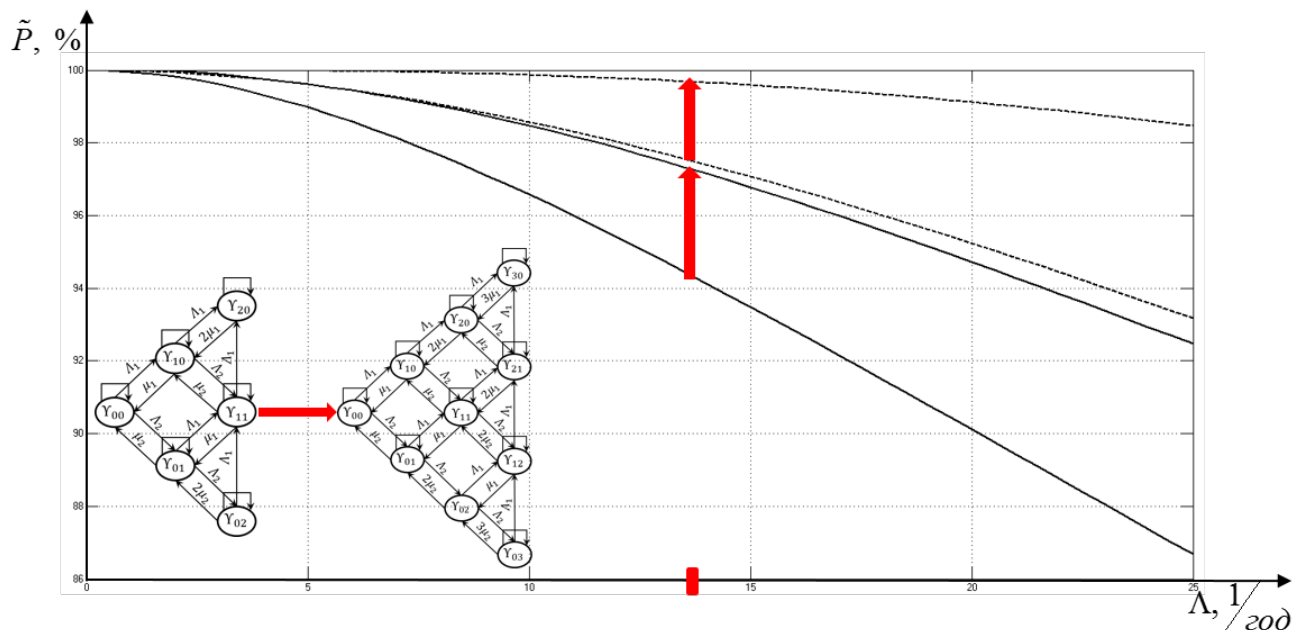


Рисунок 6.23 - Принциповий інфографік функціонування поліергатичної системи на прикладі ТБС проекту УТ 733-2 з поверненням з потенційно небезпечної зони у безпечну зону шляхом коректування складу професійних вахтових осіб

Резервом безпеки методології динамічного програмування являється наявність одного ОСДП, що практично для ТБС проекту УТ 733-2 зводиться до виклику капітана/старшого ОСДП на місток. При цьому в просторі  $\ddot{\Pi}$  відбувається перехід складної динамічної системи на інший рівень безпеки. Тоді марківські процеси протікатимуть згідно з нового алгоритму, де перехід між розміченими графами марківських процесів та імовірнісними характеристиками безпеки позначено стрілками. Це зумовлює функціонування поліергатичної системи в безпечному режимі.

Таким чином поліергатична система перетворюється і продовжує функціонувати в безпечному режимі. Як видно з обох рисунків для



поліергатичної системи з трьох ОСДП безпечне функціонування буде гарантовано за обраним критерієм до кінця досліджуваного проміжку.

### **6.10 Засоби навігації та управління рухом в тренажерному комплексі напрацювання досвіду динамічного програмування безпеки при підготовці операторів систем динамічного позиціонування**

Як було зазначено вище, ОСДП (на прикладі ОСДП ТБС) має бути кваліфікованим відповідно до МК ПДМНВ, а також мати кваліфікацію оператора СДП [178, 45]. Основним недоліком можна вважати недостатній рівень підготовки з використання радіолокатора при ДП для визначення загроз. Саме це не дає змогу мати завчасне попередження про шквали та інші метеорологічні чинники, а також про наближення інших РОВТ та реагувати відповідним чином. Для цього необхідно впровадження в програму підготовки ОСДП додаткових тренажерних ТС [194], які було розроблено на базі відомих [193, 195]. ТС необхідно застосовувати при підготовці ОСДП, а самі ТС мають використовувати ПЗ для адекватного відтворення функціонування СДП РОВТ в умовах гетерогенних збурень акваторії ТПК.

Відомий багатофункціональний тренажер СДП [320], що включає змонтовані і функціонально зв'язані між собою компоненти тренажеру для гарантування отримання необхідних навичок при учбово-тренувальному процесі. Компоненти становлять: АРМ ОСДП (робоче місце курсанта), обчислювально-моделюючий комплекс тренажера, робоче місце інструктора, систему візуалізації з можливістю користування нею курсантом та інструктором, систему електроживлення. Інший відомий тренувальний комплекс СДП [240] включає змонтовані і функціонально зв'язані між собою учбово-тренувальним процесом компоненти СДП РОВТ.

Недоліком зазначених тренажерів є недостатня ефективність в системі підготовки ОСДП через недостатню універсальність моделювання реальних умов локально обмеженого простору акваторії ТПК в процесі експлуатації РОВТ. Вирішення задачі по гарантуванню достатньої ефективності тренувального процесу є створення комплексного тренажера ОСДП РОВТ з розширеними функціональними можливостями завдяки устаткуванням його радіолокаційним обладнанням, з урахуванням аналізу реальної експлуатації РЛС та СДП РОВТ [77, 94, 95]. Що дозволить підвищити ефективність тренажерної підготовки ЛО, зокрема за рахунок набуття ним знань та навичок при виконанні вправ, вміння вірно аналізувати радіолокаційну інформацію для виконання цільових дій в локально обмеженому просторі ДП.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що комплексний тренажер ОСДП РОВТ, що обладнаний робочим місцем оператора, робочим місцем інструктора, модулем управління тренажером, модулем формування завдань вихідних параметрів, причому додатково містить інформаційно-аналітичний модуль, а АРМ ОСДП додатково оснащено комплектом обладнання бортової радіолокаційної станції, який з'єднаний через модуль управління тренажером з робочим місцем інструктора. Модуль формування завдань вихідних параметрів включає в себе блок вибору параметрів РОВТ, блок вибору параметрів зовнішнього навколишнього оточуючого середовища та блок вибору параметрів цільового об'єкту. Інформаційно-аналітичний модуль містить систему управління базами даних, бази даних параметрів та бібліотеку операційних процедур.

Наявність модуля бортової радіолокаційної станції на АРМ оператора підвищує рівень інформативності та обізнаності ОСДП про навколишнє середовище шляхом забезпечення ОСДП панорамним оглядом акваторії незалежно від завад оптичної видимості, а також підвищує результативність цільових дій ОСДП при виконанні завдання за рахунок здобуття навичок застосування радіолокаційного обладнання в комплексі з системою управління процесом ДП. Також формуються вміння адекватно сприймати, обробляти

інформацію, а також ефективно маневрувати РОВТ в умовах різноманітних перешкод з високим темпом зміни явищ у акваторії техноприродного комплексу.

Поєднання модуля бортової радіолокаційної станції через модуль управління тренажером з робочим місцем інструктора забезпечить інструктору можливість впливати в ході виконання ОСДП цільового завдання, змінюючи або моделюючи динаміку об'єктів з метою набуття навичок курсантом-ОСДП РОВТ у використанні радіолокаційного обладнання при ДП та вміння правильно зчитувати, інтерпретувати показники обладнання бортової радіолокаційної станції в різних складних ситуаціях та управляти вектором стану РОВТ, з метою удосконалення прогностичної функції ОСДП до вимог кваліфікаційного рівня.

Реалізація модуля формування завдань вихідних параметрів, що включає в себе три складові - блок вибору параметрів РОВТ, блок вибору параметрів зовнішнього навколишнього оточуючого середовища та блок вибору параметрів цільового об'єкту, що дає можливість моделювати динаміку об'єктів. Це веде до напрацювання ефективних дій ОСДП, вироблення автоматизму ЛО з фіксацією процедурних етапів (коли етапи досягають швидкісного цільового результату).

Технічний результат досягається за рахунок розширення функціональних можливостей комплексного тренажера ОСДП шляхом використання також програмних компонентів, а саме: бази моделей динамічних ситуацій, бази даних вправ, картографічної бази даних районів моделювання, бази даних візуальних параметрів РОВТ, бази даних звукових параметрів об'єкта, бази даних експлуатаційних параметрів РОВТ, бази даних параметрів метеорологічної обстановки, бази даних навігаційної обстановки в районі моделювання, бази даних відмов бортового обладнання комплексу ББКНО РОВТ, бази даних стандартних географічних моделей, бази даних робочих моделей, бібліотеки типових програмних модулів для обчислення координат, розрахунків режимних параметрів та координації режимів управління для цільового функціонування комплексного тренажера ОСДП згідно завдань отриманих від модуля управління тренажером та системи управління базами даних.

Суть моделі пояснюється кресленням, де на рисунку зображено схему комплексного тренажера ОСДП РОВТ.

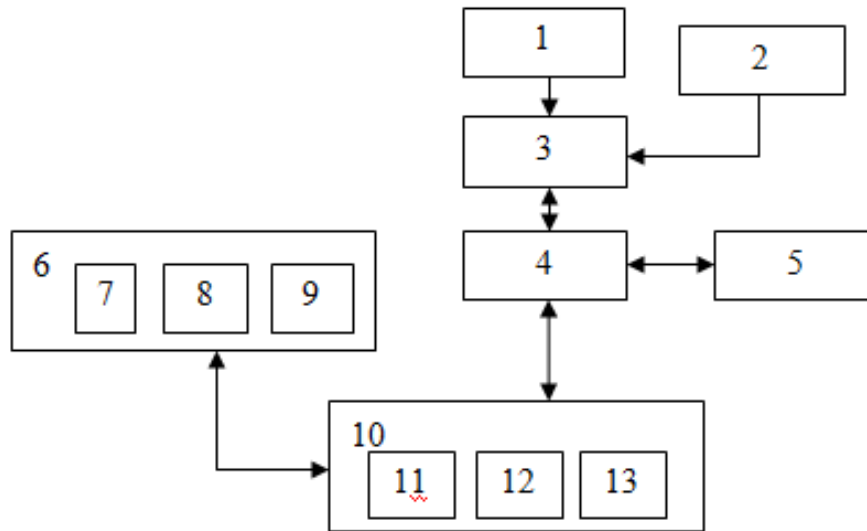


Рисунок 6.24 - Схема комплексного тренажера ОСДП РОВТ

Комплексний тренажер ОСДП РОВТ містить робоче місце оператора 3, обладнане системою візуалізації 1 та комплектом обладнання бортової радіолокаційної станції (екран радару) 2, робоче місце інструктора 5 з системою візуалізації (екраном), модуль управління тренажером 4, інформаційно-аналітичний модуль 6, що включає систему управління базами даних 7, бази даних 8 та бібліотеку операційних процедур 9, модуль формування завдань вихідних параметрів 10 з блоком вибору параметрів РОВТ 11, блок вибору параметрів зовнішнього навколишнього оточуючого середовища 12 та блоком вибору параметрів цільового об'єкту 13.

АРМ місце ОСДП 3 зв'язане з робочим місцем інструктора 5 через модуль управління тренажером 4. До робочого місця інструктора 5 під'єднано інформаційно-аналітичний модуль 6 та модуль формування завдань вихідних параметрів 10. Інформаційно-аналітичний модуль 6 містить підсистеми

управління: систему управління базами даних 7, базу даних 8, бібліотеку операційних процедур 9. Модуль формування завдань вихідних параметрів 10 містить блок вибору параметрів РОВТ 11, блок вибору параметрів зовнішнього навколишнього оточуючого середовища 12 та блок вибору параметрів цільового об'єкту 13. На робочому місці оператора 3 встановлена система візуалізації 1 та екран радару 2.

Комплексний тренажер ОСДП РОВТ використовують наступним чином. Інструктор з робочого місця інструктора 5 використовуючи інформаційно-аналітичний модуль 6, через блок управління тренажером 4 формує завдання ОСДП шляхом вибору відповідних параметрів з баз даних 8 (метеорологічний стан, географічне місцезоположення, візуальні параметри РОВТ і т.д.), бібліотеки операційних процедур 9 (експлуатаційні параметри РОВТ, можливі відмови компонентів ББКНО РОВТ або інших ТС, моделі динамічних ситуацій і т.д) та через модуль формування завдань вихідних параметрів 10 через блок управління тренажером 4 передає на робоче місце оператора 3 ситуативні завдання у вигляді відображеної інформації в системі візуалізації 1 та екрані радару 2.

Інструктор використовує Інформаційно-аналітичний модуль 6 і має можливість забезпечувати індивідуальні тренажерні завдання ОСДП згідно поточного стану рівня кваліфікації шляхом обрання вправ з відповідної бази даних, введення відповідних вихідних даних, введення і зняття симуляції відмов, а також складних і аварійних ситуацій, введення конкретних підказок стосовно уваги ЛО до ознак складної динамічної системи (зміни параметрів РОВТ, використовуючи блок 11, параметрів зовнішнього навколишнього оточуючого середовища 12 та параметрів цільового об'єкту 13) з метою розуміння сутності, особливості та специфіки кожної конкретної фази управління РОВТ. Інструктор скеровує дії в ході виконання ним цільового завдання, змінює або моделює динаміку об'єктів.

Отримавши завдання ОСДП переходить безпосередньо до виконання завдання, переданого через модуль управління тренажером 4 та відображене на екрані на робочому місці інструктора 5. ОСДП виконує, а інструктор спостерігає

та оцінює дії ЛО по здійсненні ним нормальних процедур при підготовці до ДП; виконання дій за сценарієм обстановки реального ДП в збуреному локально обмеженому просторі; виконання дій по гарантуванню безпеки ДП при попаданні РОВТ в умови шквалу; визначення ОСДП дійсного положення РОВТ в просторі, визначення параметрів високоточної навігації на момент потрапляння РОВТ в складне просторове положення та застосування найбільш оптимальних та безпечних дій з виведення РОВТ з зони небезпечної зони навігації у зону безпечної навігації; виконання ОСДП регламентованих дій і маневрів при спрацьовуванні відповідного компонента САПСЗР, або сигналу зближення ЗАРП; визначення ОСДП виду відмови системи РОВТ і виконання дій спрямованих на ситуативну зміну плану реалізації високоточної навігації у збуреному локально обмеженому просторі; застосування процедур дій в аварійних ситуаціях; виконання ОСДП маневрів і дій для запобігання зіткнення з МСП або іншим РОВТ за інформацією ЗАРП.

У процесі виконання завдань, пов'язаних з відображенням на приборах, ОСДП здійснює загальне орієнтування по радіолокаційному зображенню на екрані РЛС, відпрацьовуючи навички експлуатації бортових систем в комплексі з радіолокаційним обладнанням та ЗАРП, виконує цільові тренувальні дії за приладами вдень або вночі в простих і складних метеоумовах, визначає місце РОВТ щодо упізнаних орієнтирів (сторони МСП, ПБУ, НПБУ, СПБУ, FPSO та ін.) і спеціальних засобів (ГМ, рефлекторів лазерної системи) визначає навігаційні елементи, відпрацьовує дії в складних і аварійних ситуаціях з урахуванням вимог МППЗС-72.

Якщо ОСДП необхідно виявити цільовий об'єкт, визначити його координати, відстежити його траєкторію або виконати супровід об'єкту – то за допомогою відображення радіолокаційної обстановки на екрані бортової РЛС 2 за допомогою ЗАРП ОСДП повинен демонструвати швидкість та точність адекватного реагування відповідно до ситуативного переліку. Якщо завдання виконується при складних погодних умовах (дощ, сніг, град) – необхідно ввімкнути регулятор придушення перешкод, що є відповідальним за придушення

відображених сигналів від різних опадів для очищення відображення на екрані апаратури радіолокаційного комплексу, що було досліджено у [19, 27, 28, 81, 89, 100, 102]. Якщо оператору необхідно виміряти відстань до об'єкту – необхідно використати клавішу рухомого кільця дальності для відображення відстані до об'єкту на екрані радару; для оцінки руху об'єкта і можливості зіткнення – необхідно використовувати ЗАРП або ввімкнути функцію «сліди ехо-сигналів», що виводить на екран рух інших об'єктів у вигляді післясвічення.

Залежно від умов реалізації високоточної навігації комплексний тренажер ОСДП РОВТ дозволяє організувати вирішування ряду тренувальних завдань. Інструктор має можливість здійснювати вибір завдання і вводити відповідні вхідні дані, визначати часові графіки введення і зняття симуляції тренажерними засобами відмов, а також складних і аварійних ситуацій, скеровувати дії шляхом введення конкретних підказок стосовно уваги до ознак складної динамічної системи і виконання ОСДП конкретних цільових дій, здійснювати візуальний контроль зовнішнього середовища локально обмеженого простору акваторії ТПК в системі візуалізації, візуально контролювати поточний стан приладів, устаткування і органів керування, оцінювати динаміку дій ОСДП унаслідок реагування на ситуативні завдання [96].

ОСДП РОВТ виконує цільові дії в ході заданої вправи, здійснює маневрування РОВТ, запобігає зіткненню з МСП або іншими РОВТ з урахуванням оточуючого середовища ТПК та вимог МППЗС-72, набуває вміння коректно ідентифікувати інформацію отриману під час радіолокаційного зондування та діяти, тобто управляти РОВТ в умовах перешкод, набуває вміння сприймати підказки стосовно уваги до ознак складної динамічної системи та діяти в динамічних умовах із застосуванням конкретної фази управління РОВТ.

Набуті за рахунок тренажерної підготовки знання та навички використання радіолокаційного обладнання та вміння застосувати поточну ситуативну радіолокаційну інформацію, дані ЗАРП дозволять підвищити здатність ОСДП швидше приймати рішення в складних динамічних ситуаціях за рахунок тренування на нових образах та виконання завдань в різних ситуаціях. Це

докорінно покращить умови судноводіння і повноту досягнення цільових результатів при виконанні подібних завдань в різній навігаційній обстановці, набагато підвищить його точність і надійність.

У процесі отримання і обробки радіолокаційної інформації вирішують такі основні завдання: виявлення цільових об'єктів, вимірювання параметрів їх руху, виявлення та супроводження траєкторій об'єктів [103, 288]. Інформація, яка використовується для розпізнавання, міститься в сукупності прийнятих ехо-сигналів під час радіолокаційного зондування. Використання вірно обробленої інформації радіолокаційного розпізнавання в РЛС дозволяє істотно підвищити ефективність виконання дій оператором в гетерогенно збуреній акваторії техноприродного комплексу [29, 31, 108] з урахуванням можливих маневрувань відповідно до МППЗС-72.

Для інформаційного забезпечення тренажерів даними про вимірювання координат і характеристик вектору стану радіолокаційних цільових об'єктів, прийняті сигнали в РЛС підлягають подальшій обробці для детермінування необхідних корисних сигналів в умовах просторових шумів та перешкод та подання інформації про НС під час радіолокаційного зондування шляхом ергатичного управління удосконалення методики роботи пари «інструктор-оператор» для формування адаптивних ситуативних фільтрів, які отримуються у поточних умовах, що є метою навчання оператора і будуть відображені на екрані радару 2.

Практичне використання чітко формалізованих покрокових дій за принципами ітераційного методу навчання, напрацювання автоматизму дозволить ОСДП РОВТ вирішити разом з радіолокаційним комплексом завдання оптимального виявлення цільових об'єктів на фоні ситуативних змін і дозволить поліпшити експлуатаційні характеристики ергатичного управління з метою подання інформації про НС для підвищення продуктивності роботи ОСДП в екстремальних умовах ризику та невизначеності.

Використання комплексного тренажера ОСДП РОВТ для підготовки та навчання операторів дозволить підвищити результативність цільових дій ЛО при



виконанні ДП за рахунок здобуття навичок застосування радіолокаційного обладнання в комплексі з СДП та вмінь коректно сприймати, аналізувати інформацію отриману під час радіолокаційного зондування та діяти, тобто ефективно управляти цільовими маневрами РОВТ відповідно до вимог МППЗС-72 в умовах різноманітних перешкод з високим темпом зміни явищ у гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК.

### 6.11 Оцінювання безпеки застосування засобів управління динамічним позиціонуванням в позаштатних ситуаціях за оцінками безпеки та особливостей технологічної роботи

При настанні нештатної ситуації управління переводиться у ручний режим. При цьому ОСДП має здійснювати управління і компенсувати збурення чинників НС.

Для моделювання керування ОСДП процесом ДП в ручному режимі скористаємось дослідженням американських вчених [323]:

$$Y_P = K_P e^{-j\omega\tau} \frac{(T_L j\omega + 1)}{(T_I j\omega + 1)} \frac{1}{\left( \left( \frac{j\omega}{w_N} \right)^2 + \frac{2\zeta_N j\omega}{w_N} + 1 \right) (T_{N1} j\omega + 1)} \quad (6.21)$$

де  $K_P$  – коефіцієнт підсилення;

$\tau$  – затримка часу реакції, с;

$\frac{(T_L j\omega + 1)}{(T_I j\omega + 1)}$  - характеристика вирівнювання;

$\frac{1}{\left( \left( \frac{j\omega}{w_N} \right)^2 + \frac{2\zeta_N j\omega}{w_N} + 1 \right) (T_{N1} j\omega + 1)}$  - характеристика нейром'язової системи.

При виконанні роботи з постачання іншого об'єкта при деяких обставинах РОВТ притискаються одне до одного, використовуючи кранцевий захист. При цьому важливо, щоб сили чинників НС було компенсовано, а також не допущено надмірного тиску на кранцевий захист і борт РОВТ. Для цього необхідно розробити модель кранцевого захисту РОВТ. Розроблена модель корпусу РОВТ, що є об'єктом дослідження (проект UT 733-2) представлено нижче.

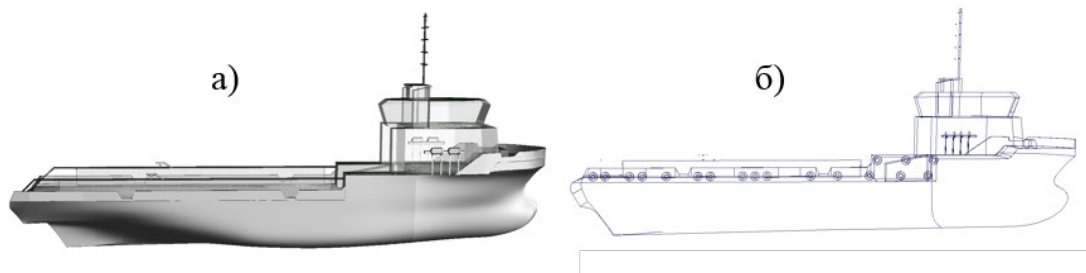


Рисунок 6.25 - Розроблена модель корпусу з кранцевим захистом UT 733-2

а) – модель корпусу; б) – схема кранцевого захисту

Представлений рисунок відображує корпус без кранцевого захисту в просторі та схему розташування кранців на корпусі. Для подальшого дослідження необхідно промодельовувати сам процес технологічної роботи.

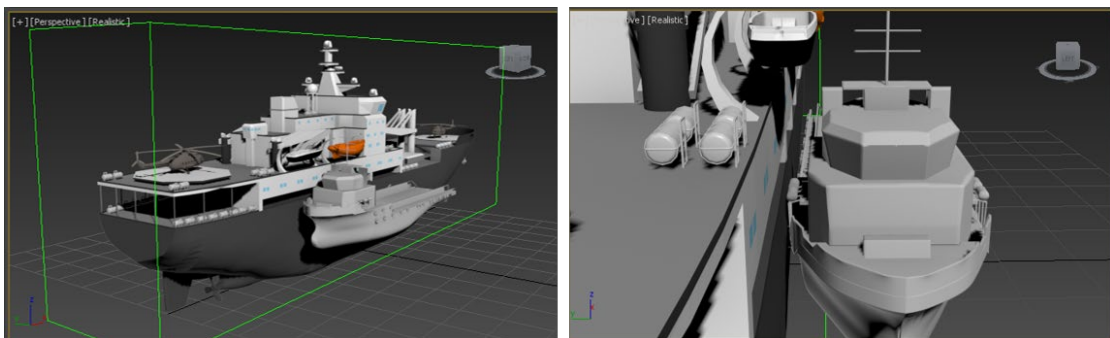


Рисунок 6.26 - Розроблене візуальне моделювання процесу виконання підходу до набагато більш масивного об'єкту в програмному середовищі 3D Max

Саме для того, щоб правильно розрахувати сили та тиск, необхідно відтворити, з яких кранців створена система, що приймає силовий тиск. З практичного боку слід зауважити, що необхідно планувати роботу таким чином,

щоб як можна більше кранців працювало, тим самим РОВТ може витримати більший тиск.

Для розрахунку тиску необхідно детермінувати чинники НС, які діють в локально обмеженому просторі акваторії техноприродного комплексу технологічної роботи. Таким чином, далі ми отримуємо необхідні сили. Далі необхідно розрахувати сили реакції і перевести ці сили з алгоритму розподілу сил у процентні навантаження. Потім ці навантаження ми маємо пропустити через модель ОСДП і отримати значення сил.

Умови моделювання: Об'єкт дослідження – РОВТ УТ 733-2. Курс РОВТ = 50 град. Напрямок хвиль = 120 градусів. Напрямок течії = 20 градусів. Швидкість течії = 2 вузла. Швидкість вітру = 15 м/с. Напрямок вітру = 310 градусів. Значна висота хвиль = 1,3 м. Спектр хвилювання – JONSWAP. Об'єкт, до якого РОВТ проекту УТ 733-2 виконує підхід, є більш масивним і може бути вважатися стаціонарним. Результати моделювання наведено нижче.

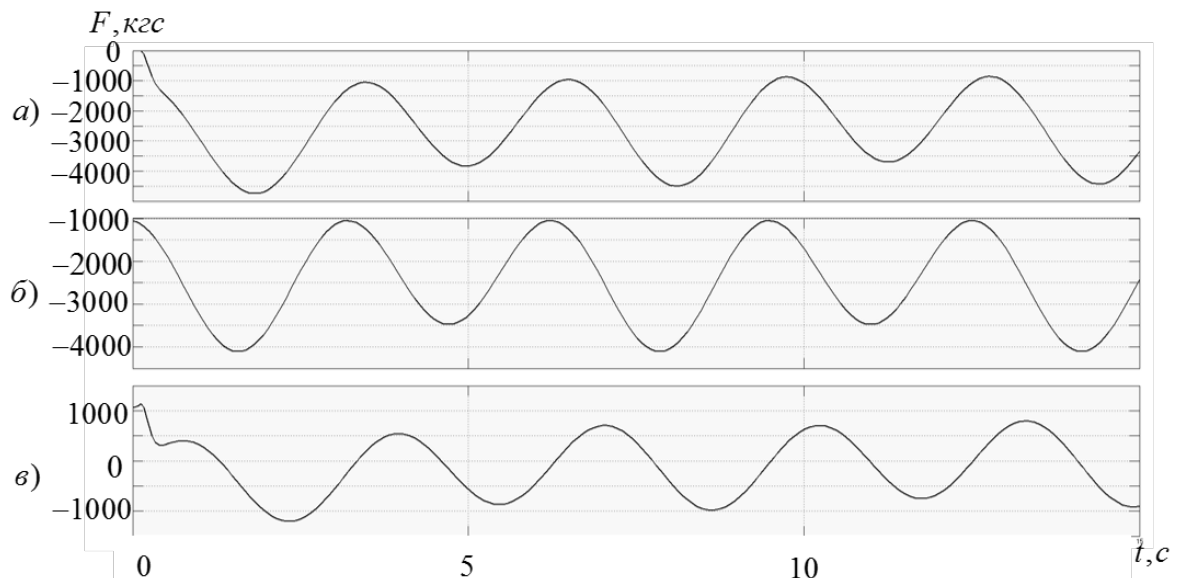


Рисунок 6.27 - Результати моделювання по маневруванню в ручному режимі:

а) результат ручного керування; б) необхідна сила; в) різниця

З точки зору гарантування безпеки нас цікавить крива різниці сил між необхідною силою реакції і силою, що створена як результат керування ОСДП. Саме навантаження від цієї різниці і є тими навантаженнями, що діють на РОВТ.

$$F_{\Delta y}(t) < F_{\text{Корп max POBT}}, \quad (6.22)$$

де  $F_{\Delta y}(t)$  - це різниця, що є розподіленою в часі, між необхідною силою реакції і силою, що створена як результат керування ОСДП, кгс;

$F_{\text{Корп max POBT}}$  - максимальна сила навантажень, що може витримати корпус РОБТ, кгс.

Безпека буде гарантована і в позаштатних ситуаціях при своєчасному переході на ручне керування ОСДП за допомогою джойстика і при виконанні умови, яка сформована вище. В інших практичних випадках, маючи значення сил можна зробити оцінку зміщень РОБТ.

## **6.12 Узагальнення процесів динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в умовах акваторій техноприродних комплексів**

Методологія дискретного динамічного програмування має на меті гарантування необхідного рівня безпеки полієргатичного управління динамічним позиціонуванням РОБТ в гетерогенно збуреному локально обмеженому просторі акваторії ТПК за критеріями, що згорнуті до показників імовірнісної безпеки за оцінкою функціональної стійкості для надійності технічної складової полієргатичної системи і для виконання безпечного управління процесом реалізації високоточної навігації та виконання технологічної роботи людською складовою. Характерною рисою є те, що обидві досліджуваних складові мають наявний запас безпеки, який буде за необхідністю використовуватися при покроковому просуванні по етапах методології та створенні відповідних алгоритмів [98].

На верхньому рівні вкладеної ієрархії при застосуванні методології динамічного програмування ми маємо дві системи. Перша система  $S_{СПС}$  представляє собою складну полієргатичну систему, яка знаходиться під впливом гетерогенних факторів  $S_{ЛОП}$  – системи локально обмеженого простору акваторії ТПК. Локально обмежений простір характеризується тим, що динамічні характеристики його чинників змінюються однаково в усьому просторі, з урахуванням техноприродної складової, що відрізняє його від акваторії, яка значно ширша і включає в себе різні райони (наприклад акваторія Азовського моря, Перської затоки та ін.). Як було зазначено, локально обмежений простір для потреб методології забезпечення адекватності моделей збурень визначено як 500 метрову зону.

Враховуючи характер технологічної роботи в перспективних для України акваторій Чорного та Азовського морів, можна зробити висновок, що існують обмеження за швидкістю вітру, висотою хвиль, швидкістю течії при яких гарантовано безпечно ДП РОВТ та виконання конкретної технологічної роботи не можливо.

Користуючись досвідом проведення технологічних робіт та доброю морською практикою можна ввести два критерії, які найчастіше зустрічаються – це критерій по максимальній швидкості вітру  $\chi_{W_{max}}$  та критерій по середній швидкості вітру  $\chi_{\bar{W}}$ , м/с. Саме характер технологічної роботи часто виставляє пріоритет при встановленні критерію по швидкості вітру.

Щодо висоти хвиль – характерний критерій  $\chi_{h_0}$  буде залежати від обраної забезпеченості хвиль, або від максимального значення висоти хвиль  $\chi_{h_{max}}$ . При обиранні критерієм забезпеченість хвилі, радянській практиці, а також частково у вітчизняній практиці найбільш часто користуються 3% забезпеченістю висоти хвилі  $h_{3\%}$  в локально обмеженому просторі акваторії ТПК. А у світовій практиці найбільш поширена значна висота хвиль  $h_S$  (забезпеченість - 13,5%). При

моделюванні було використано спектр JONSWAP, тому використання значної висоти хвиль  $h_s$  є більш зручним і рекомендується.

Обмеження по швидкості течії  $V_T$  накладаються при виконанні досить вузького кола технологічних робіт. Це насамперед водолазні роботи, роботи з використанням ТБПА, а також в меншій мірі роботи, які характеризуються наявністю гнучкого зв'язку з дном або роботи з постачання. Тому визначенню  $\chi_{V_T}$  має бути приділено увагу в контексті особливостей технологічної роботи.

Щодо льодових загроз – то вони є малоімовірними в сучасних умовах акваторій Чорного та Азовського морів, які є перспективними для подальшої розробки енергетичних ресурсів. Проте для врахування можливостей роботи в інших акваторіях можна виділити фактори льодової взаємодії, а саме – товщина льоду  $h_l$ , згуртованість льоду  $C_l$ , вік льоду  $T_l$  – самого товстого  $T_{lA}$ , менш товстого  $T_{lB}$  та третього за товщиною  $T_{lC}$ . Практично, згідно з СУБ конкретної компанії, що експлуатує РОВТ з динамічними принципами позиціонування, можуть бути додатково введено критерії  $C_{lA}, C_{lB}, C_{lC}$ , а також  $h_{lA}, h_{lB}, h_{lC}$ . Характерними параметрами виступають відповідно  $\chi_{h_l}, \chi_{C_l}, \chi_{T_l}$ . Таким чином, можна записати першу індикаторну функцію виду:

$$I_{S_{лоп}}(\{S_{лоп}\}) = \begin{cases} 1, S_{лопi}(t) \in \{U_{\chi_i}\}, \\ 0, S_{лопi}(t) \notin \{U_{\chi_i}\}, \end{cases} \quad (6.23)$$

де  $\{S_{лоп}\}$  - множина станів системи локально обмеженого простору;

$i \in [1; 4]$ .

Ця індикаторна функція має сенс виконання умови (2.4), яку тепер можна переписати наступним чином:

$$\begin{aligned}
S_{ЛОП}(t) \in \{U_{\chi_{ЛОП}}\} &= (S_w(t) \in \{U_{\chi_{\bar{w}}}\}) \wedge (S_h(t) \in \{U_{\chi_{h_s}}\}) \wedge \\
&\wedge (S_T(t) \in \{U_{\chi_{V_T}}\}) \wedge (S_l(t) \in \{U_{\chi_l}\}) \wedge \\
&\wedge (S_{\lambda_{РОВТ}}(t) \in \{U_{\chi_{\lambda_{РОВТ}}}\}) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
f(\chi_{\bar{w}}) = \inf \{U'_{\chi_{\bar{w}}}\}, \\
f(\chi_{h_s}) = \inf \{U'_{\chi_{h_s}}\}, \\
f(\chi_{V_T}) = \inf \{U'_{\chi_{V_T}}\}, \\
f(\chi_{h_l}) = \inf \{U'_{\chi_{h_l}}\}, \\
f(\chi_{c_n}) = \inf \{U'_{\chi_{c_n}}\}, \\
f(\chi_{T_n}) = \inf \{U'_{\chi_{T_n}}\}, \\
f(\chi_{\lambda_{РОВТ11}}) = \inf \{U'_{\chi_{\lambda_{РОВТ11}}}\}, \\
f(\chi_{\lambda_{РОВТ22}}) = \inf \{U'_{\chi_{\lambda_{РОВТ22}}}\}, \\
f(\chi_{\lambda_{РОВТ33}}) = \inf \{U'_{\chi_{\lambda_{РОВТ33}}}\},
\end{array} \right. \quad (6.24)
\end{aligned}$$

де  $S_{ЛОП}$  - система локально обмеженого простору;

$S_w, S_h, S_T, S_l$  - 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;

$\chi_{h_s}$  - критерій по значній висоті хвиль, м;

$\chi_{V_T}$  - критерій по швидкості течії, м/с;

$\chi_{h_l}$  критерій по товщині льоду, м;

$\chi_{c_n}$  - критерій по згуртованості льоду, вимірюється від одного до десяти;

$\chi_{T_n}$  - критерій по віку льоду, вказується вік та стадія розвитку;

$\chi_{\lambda_{POBT}}$  - критерій по приєднаним масам POBT, позначення 11, 22, 33 відповідають приєднаним масам по вісям x та у зв'язаної системи координат, кг, а 33 – приєднаний момент інерції навколо вісі z,  $кг \cdot м^2$ ;

i – індекс, який відповідає поточним характеристикам величини;

t – час, год.

На початковому етапі обидві системи мають початковий стан:  $S_{СПС0}$  та  $S_{ЛОП0}$ . Обидві системи мають бути досліджені на проміжку проведення технологічної роботи та ДП.

$S_{ЛОП}$  впливає на  $S_{СПС}$ , при цьому  $c_{POBT} \propto d_{зб}$ . Як було показано вище приєднані маси впливають на керованість POBT. Тому важливе не допущення їх збільшення біль ніж на 30%, тобто можна ввести критерій  $\chi_{\lambda_{POBT}}$ .

$$\chi_{\lambda_{POBT}} = \begin{cases} \chi_{\lambda_{POBT11}} = \frac{\lambda_{POBT11H}}{\lambda_{POBT11}}, \\ \chi_{\lambda_{POBT22}} = \frac{\lambda_{POBT22H}}{\lambda_{POBT22}}, \\ \chi_{\lambda_{POBT66}} = \frac{\lambda_{POBT66H}}{\lambda_{POBT66}}; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\lambda_{POBT11H}}{\lambda_{POBT11}} \in [1;1,3], \\ \frac{\lambda_{POBT22H}}{\lambda_{POBT22}} \in [1;1,3], \\ \frac{\lambda_{POBT66H}}{\lambda_{POBT66}} \in [1;1,3], \end{cases} \quad (6.25)$$

де  $\chi_{\lambda_{POBT}}$  - характерний критерій по приєднаним масам POBT;

$\lambda_{POBT11}, \lambda_{POBT22}, \lambda_{POBT66}$  - приєднані маси POBT по вісям x та у, кг; а також момент інерції навколо вісі z в зв'язаній системі координат на глибокій воді,  $кг \cdot м^2$ ;

$\lambda_{POBT11H}, \lambda_{POBT22H}, \lambda_{POBT66H}$  - приєднані маси POBT по вісям x та у, кг; а також момент інерції навколо вісі z в зв'язаній системі координат на мілководді,  $кг \cdot м^2$ .

Приєднані маси POBT являються динамічними показниками, проте враховуючи швидкість та приливні процеси в акваторії техноприродного комплексу можна стверджувати, що їх динаміка повільніша за пориви вітру або



виникнення значної хвилі або надходження значної суперпозиції системи хвиль. Індикаторну функцію можна записати в наступному вигляді:

$$I_{S_\lambda}(\{S_\lambda\}) = \begin{cases} 1, S_\lambda(t) \in \{U_{\chi_{\lambda_{POBT}}}\}, \\ 0, S_\lambda(t) \notin \{U_{\chi_{\lambda_{POBT}}}\}, \end{cases} \quad (6.26)$$

де  $\{S_\lambda\}$  - множина станів комплексу приєднаних мас навколо трьох відповідних вісей зв'язаної системи координат РОВТ.

Таким чином, якщо один з критеріїв на досліджуваному часовому проміжку виходить за встановлені границі і індикаторна функція дорівнює нулю, то РОВТ не може здійснювати безпечне ДП та виконувати технологічну роботу, якщо РОВТ вже здійснює ДП та виконує технологічну роботу - необхідно припинити ДП та технологічну роботу і вивести РОВТ з потенційно небезпечного локально обмеженого простору.

Динамічні перевищення середньої швидкості вітру та заданої висоти хвиль на досліджуваному інтервалі часу формують додаткові потоки загрозованих подій.

Процес гарантування безпеки шляхом динамічного програмування проводиться на основі стратегічного планування операцій ДП та технологічної роботи. Сам процес потребує комплексного підходу та аналізу.

Свої особливості має просування по наступних етапах, а саме:

- Аналіз техноприродного комплексу щодо можливості проведення конкретної технологічної роботи.
- Підготовка РОВТ до реалізації безпечного ДП відповідно до вимог МКУБ.
- Аналіз DP Capability Plot Diagrams.

Для виконання поставлених вище завдань необхідна побудова моделей чинників НС, а також досліджуваного РОВТ. Просування по цих етапах має бути за стратегічним алгоритмом, де тільки виконання вимог МКУБ, ІМСА М 140, ІМСА М 182, а також процедур СУБ мають бути необхідною умовою для гарантування безпеки та подальшого дослідження системи щодо безпеки ДП.

Наступний етап аналізу наявності комплексного запасу керуючих реакцій рушійного комплексу, а також розрахунок сектору безпечних та небезпечних курсів з урахуванням особливостей технологічної роботи. На цьому етапі можна скористатись індикаторною функцією наступного виду:

$$I_{\Delta F_{кер}}(\{\Delta F_{кер}\}) = \begin{cases} 1, \Delta F_{кер}(t) \in \{U_{кер}\}, \\ 0, \Delta F_{кер}(t) \notin \{U_{кер}\}, \end{cases} \quad (6.27)$$

де  $\Delta F_{кер}$  - запас керуючих впливів, %;

$\{U_{кер}\}$  - обрана з СУБ множина допустимих запасів керованих реакцій, %.

На наступних етапах динамічного програмування постає необхідність формування математичних моделей потоків збурень  $\Lambda$ . Вибір критерію імовірнісної оцінки результатів реалізації математичних алгоритмів.

Далі необхідно провести біфуркацію алгоритмів, бо алгоритми є незалежними і результати також. Для технічної системи необхідне просування по наступних етапах: декомпозиція РОВТ; побудова схем функціональної стійкості технічних систем РОВТ; визначення параметрів розподілу; визначення запасу технічної складової і адекватних рівнянь; визначення імовірності безпечного функціонування; корегування функціональної стійкості ТС при необхідності.

При дослідженні людської складової необхідно забезпечити просування наступними етапами: формування математичної моделі реакції людської складової полієргатичної системи; формування математичних моделей потоків реакцій  $\mu$ ; корегування проводиться при необхідності з метою гарантування безпеки (а також оптимізації, при необхідності).

На цих етапах для розрахунку імовірнісних характеристик необхідно застосовувати ПЗ «Інспектор полієргатичних систем», який було розроблено в рамках даного дослідження. На цьому етапі також іде формування бібліотеки

існуючих об'єктів, які потім можуть бути використано для полегшення майбутніх розрахунків. Складна полієргатична система, яка поділяється на технічну та людську складові, які формують відповідно системи  $S_{TC}$  та  $S_{СОСДП}$ , що мають початкові стани стосовно безпеки  $S_{TC0}$  та  $S_{СОСДП0}$ , які відповідають обраним критеріям  $U_{TC\Phi(x)}$  та  $U_{ОСДП\Phi(x)}$  безпеки, які залежать від характеру технологічної роботи, характеристик локально обмеженого простору ТПК, а також результатів аналізу ризиків згідно з СУБ Компанії, яка експлуатує конкретний РОВТ відповідно до символів класу КТ.

Множина допустимих значень для  $\Phi(\tilde{\chi})$  формулюється згідно з фундаментальними математичними твердженнями теорії імовірності, на основі яких в методології динамічного програмування було сформовано вираз вигляду  $U_{\Phi(x)} \geq \Phi(\tilde{\chi})$ . Для практичного застосування обраних критеріїв в конкретних умовах на конкретному просторово-часовому проміжку експлуатації конкретного типу РОВТ необхідно проводити оцінку наслідків в поточних умовах експлуатації. Оцінка має бути проведена на борту РОВТ капітаном/СОСДП. Також оцінка може бути проведена на березі, у разі аналізу можливості застосування РОВТ під час конкретної технологічної роботи в акваторії ТПК, для прийняття комерційно обґрунтованого рішення безпечної експлуатації РОВТ в межах символу КТ. Умова, при якій РОВТ знаходиться у безпечному стані на просторово-часовому проміжку записується наступним чином:

$$\begin{aligned}
 I_{\tilde{P}_b}(\tilde{P}_{BCmi}) = 1, \Rightarrow & \left( \tilde{P}_{BC1}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_1)}\} \right) \wedge \left( \tilde{P}_{BC2}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_2)}\} \right) \wedge \dots \\
 \dots \wedge \left( \tilde{P}_{BCm}(t) \in \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)}\} \right) \Leftrightarrow & \begin{cases} \forall \left( \tilde{P}_{BC1i} \in \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_1)}\} \right) \left[ \tilde{P}_{BC1i} \geq \sup \{U'_{\tilde{\chi}_1}\} \right], \\ \forall \left( \tilde{P}_{BC2i} \in \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_2)}\} \right) \left[ \tilde{P}_{BC1i} \geq \sup \{U'_{\tilde{\chi}_2}\} \right], \\ \dots \\ \forall \left( \tilde{P}_{BCmi} \in \{U_{\Phi(\tilde{\chi}_m)}\} \right) \left[ \tilde{P}_{BC1i} \geq \sup \{U'_{\tilde{\chi}_m}\} \right]. \end{cases} \quad (6.28)
 \end{aligned}$$

де  $\tilde{\chi}_1 \dots \tilde{\chi}_m$  - обрані критеріальні змінні для систем;

$t$  – час, год;

$$\Phi(\tilde{\chi}) - \text{функція Лапласа, } \Phi(\tilde{\chi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\tilde{\chi}}^{\tilde{\chi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Ключовим фактором розробленої поетапної інфологічної моделі (рисунок 6.28), який характеризує стан системи в умовах гетерогенних збурень в акваторії ТПК є рівень безпеки в імовірнісному просторі Колмогорова  $\tilde{P}_B$ . А безпеку поліергатичної системи управління процесом ДП вахтовим складом професійних осіб можна представити в двох іпостасях – як  $\tilde{P}_{\text{БЮСДП}}$ , що відображає гарантування безпеки з огляду на найбільш небезпечні події I категорії важливості, а також як  $\tilde{P}_{\text{БЮСДП}}^{\text{I}}$ , що відображає гарантування безпеки з огляду на найбільш небезпечні події II категорії важливості, які є менш загрозливими, ніж I категорії. З урахуванням цього рівняння можна переписати наступним чином:

$$\begin{aligned} & \left( \tilde{P}_{\text{БТСі}} \in \{U_{\text{ТС}}\} \right) \wedge \left( \tilde{P}_{\text{БЮСДП}}^{\text{I}} \in \{U_{\text{БЮСДП}}\} \right) \wedge \left( \tilde{P}_{\text{БЮСДП}}^{\text{II}} \in \{U_{\text{БЮСДП}}\} \right) \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} \forall \{U_{\text{ТС}}\} \in [\Phi(\tilde{\chi}_{\text{ТС}}); 1], \\ \forall \{U_{\text{БЮСДП}}^{\text{I}}\} \in [\Phi(\tilde{\chi}_{\text{БЮСДП}}^{\text{I}}); 1], \\ \forall \{U_{\text{БЮСДП}}^{\text{II}}\} \in [\Phi(\tilde{\chi}_{\text{БЮСДП}}^{\text{II}}); 1], \end{cases} \quad (6.29) \end{aligned}$$

де  $\tilde{P}_{\text{БТСі}}$  - імовірнісний рівень безпечного функціонування технічної системи  $S_{\text{ТС}}$  на  $i$ -му кроці;

$\tilde{P}_{\text{БЮСДП}}^{\text{I}}$ ,  $\tilde{P}_{\text{БЮСДП}}^{\text{II}}$  - імовірнісні рівні безпечного поліергатичного управління

в умовах збурень подій першої та другої категорій;

$i$  – крок моделювання взаємодії систем;

$n_{\text{ОСДП}}$  - кількість ОСДП, що приймає участь в управлінні процесом ДП РОВТ,  $\{n_{\text{ОСДП}} \in \mathbb{N} \mid n_{\text{ОСДП}} > 0\}$ .

Множина  $\{\mathbb{N} \mid n_{\text{ОСДП}} > 0\}$  позначає множину натуральних чисел без нуля. Індикаторна функція для завдання динамічного програмування алгебраїчної моделі матиме наступний вид:

$$I_{\tilde{P}}(\tilde{P}) = \begin{cases} 1, \tilde{P} \in \{U_{\Phi(\tilde{x})}\}, \\ 0, \tilde{P} \notin \{U_{\Phi(\tilde{x})}\}, \end{cases} \quad (6.30)$$

де  $\tilde{P}$  - досліджувана розрахована імовірність,

$U_{\Phi(x)}$  - множина допустимих значень.

Якщо в процесі моделювання індикаторна функція обертається в нуль – це означає, що не вся множина станів систем є в безпечній зоні:

$$I_{\tilde{P}}(\tilde{P}) = 0 : \Leftrightarrow \tilde{P} \notin \{U_{\Phi(x)}\} \Rightarrow \left\{ S_{\text{СПС}\tilde{P} \notin \{U_{\Phi(x)}\}^i} \right\} \neq \emptyset. \quad (6.31)$$

де  $\left\{ S_{\text{СПС}\tilde{P} \notin \{U_{\Phi(x)}\}^i} \right\}$  - множина станів складної поліергатичної системи, де виконується умова  $\tilde{P} \notin \{U_{\Phi(x)}\}$ .

Сенс функціонування поліергатичної системи в умовах гетерогенних збурень локально обмеженого простору акваторії ТПК при  $\tilde{P}_{\text{БПОСДП}} \notin \{U_{\text{БПОСДП}}\}_{n_{\text{ОСДП}}}$  полягає в тому, що поліергатична система буде безаварійною, проте вона втрачатиме ефективність. Потенційно небезпечний стан поліергатичної системи можна виразити наступним виразом:

$$I_{\tilde{p}} = 0 : \Leftrightarrow \left( \left\{ \tilde{P}_{TCi} \right\} \notin \left\{ U_{BTC} \right\} \right) \vee \left( \left\{ \tilde{P}_{\text{БЮОСДП}i}^{n_{\text{ОСДП}}} \right\} \notin \left\{ U_{\text{БЮОСДП}} \right\} \right) \vee \left( \left\{ \tilde{P}_{\text{БЮОСДП}i}^{n_{\text{ОСДП}}} \right\} \notin \left\{ U_{\text{БЮОСДП}} \right\} \right). \quad (6.32)$$

При виявленні потенційно небезпечних станів системи необхідно провести оцінку ризиків та наявність джерел резерву безпеки. Та призвести систему на підвищений модернізований рівень. Тобто  $S_{СПС} \longrightarrow {}^*S_{СПС}$ , де  ${}^*S_{СПС}$  - модернізована залученням резервів складна поліергатична система. Враховуючи декомпозицію  $S_{СПС}$  припустимо, що в результаті аналізу  $\left\{ S_{СПС\tilde{p} \notin \{U_{\Phi(\tilde{z})}\}i} \right\}$  і відповідних резервів встановлено необхідність того, що к компоненти ТС  $S_{ТС}$  мають бути дубльовані і має бути виведено  $S_{ОСДП}$  на новий рівень. Тоді можна записати:

$$S_{СПС(i-\kappa)} \longrightarrow {}^*S_{СПСi} \Leftrightarrow \begin{cases} S_{ТС(i-\kappa)} \xrightarrow{{}^*1p} {}^*S_{ТСi}, \\ S_{ОСДП(i-\kappa)} \xrightarrow{{}^*(n_{ОСДП}+1)} {}^*S_{ОСДПi}. \end{cases} \quad (6.33)$$

Таким чином ми повертаємось до початку алгоритму і для оновленої складної поліергатичної системи  ${}^*S_{СПС}$  має не відбуватись наступна умова:

$$\left\{ {}^*S_{СПС\tilde{p} \notin \{U_{\Phi(\tilde{z})}\}i} \right\} = \emptyset. \quad (6.34)$$

Для отримання адекватних результатів необхідно сформувані адекватні моделі систем НС і складної поліергатичної системи. Якщо умова не виконується – то необхідно перейти до наступного етапу, а саме до дослідження функціонування системи у позаштатних режимах.

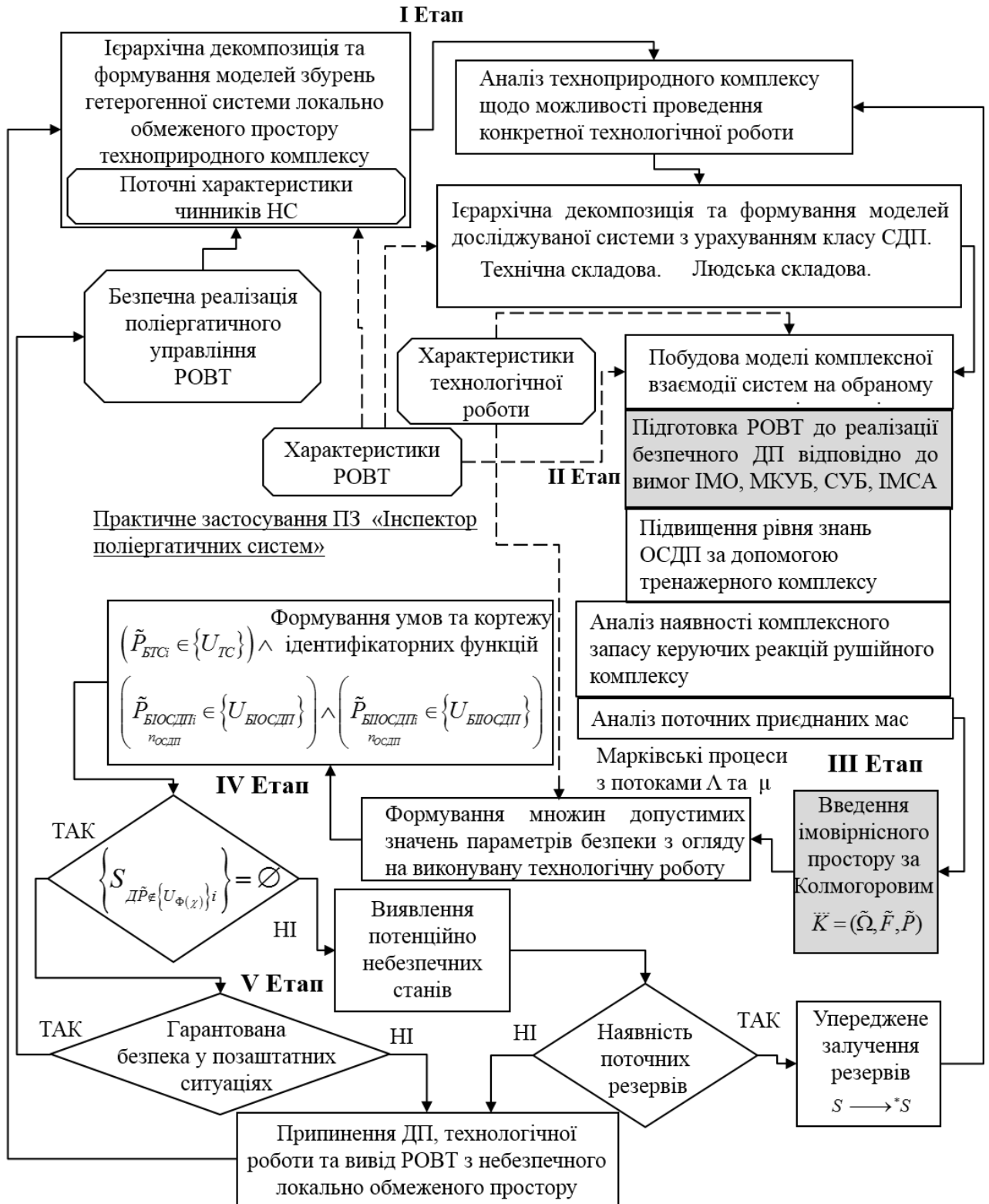


Рисунок 6.28 - Інфологічна модель динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів

Це дослідження виконане у цьому розділі (а саме у 6.11). Якщо система поліергатичного управління може функціонувати безпечно у позаштатному режимі – то можна приступати до реалізації гарантованої безпечної навігації РОВТ та виконанні технологічної роботи в детермінованих умовах ТПК. Необхідність дослідження у позаштатному режимі виходить з того, що імовірність настання позаштатної ситуації при практичній реалізації методології дискретного динамічного програмування принципово не можна відкидати. Також таке дослідження необхідне не тільки для виведення системи на новий рівень безпеки, а й для можливого подальшого вдосконалення протоколів дій у позаштатних ситуаціях для покращення СУБ. Саме тому одним з основних етапів є перевірка функціонування у цьому режимі з урахуванням характеру технологічної роботи, яка виконується в локально обмеженому просторі акваторії ТПК.

Введений в другому розділі  $n$ -вимірний функціонально стійкий простір  $\ddot{F}^n$  може бути використано для дослідження складових локально обмеженого простору - тобто складові  $S_w, S_h, S_T, S_d$ , і кількість вимірів тоді може дорівнювати 7.

При дослідженні комплексної синергетичної взаємодії систем та їх характеристик стосовно безпеки РОВТ в  $\ddot{F}^n$  ми матимемо динамічний склад базису  $\eta_{\ddot{F}}^{(n+1)}$ , який залежить від конкретного практичного завдання оцінки функціональної стійкості, що може бути визначено характером технологічної роботи в локально обмеженому просторі акваторії конкретного ТПК. Таким чином базис буде змінним на просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ.

В конкретному дисертаційному дослідженні розглянуто приклад ТБС. Для кожного типу РОВТ, локально обмеженого простору кожної акваторії ТПК і видів технологічних робіт мають бути розроблені власні базиси, що може бути перспективою подальших наукових досліджень. Результати подальших наукових досліджень формуватимуть базу даних готових рішень для потреб методології динамічного програмування.



Перспективними напрямками для подальших наукових досліджень можуть бути дослідження особливостей функціонування інших типів РОВТ з метою формалізації адекватних математичних моделей. Аналогічні подальші наукові дослідження будуть перспективними в напрямках створення математичних моделей різного виду технологічних робіт з різним складом поліергатичного управління. Дослідження акваторій ТПК з метою вибору відповідних спектрів для хвилювання, а також урахування інших особливостей для формування точних моделей являється також перспективою подальших наукових досліджень.

Як приклад, за виділеними з фазового простору  $\ddot{F}$  показниками безпеки для людської складової, що складається з 2 ОСДП  $\tilde{P}_2$  та технічної складової безпеки функціонування  $\tilde{P}_{БТС}$  для ТБС проекту УТ 733-2 з СДП другого класу, який виконує технологічну роботу постачання, зобразимо наочну фазову траєкторію функціонування поліергатичної системи. На рисунку представлено результати імовірності функціонування поліергатичної системи, яка керує процесом ДП на проміжку у 40000 годин, при умові що технічна система функціонувала без відмов 3000 годин. Всі розрахунки і моделі наведено в цьому розділі вище.

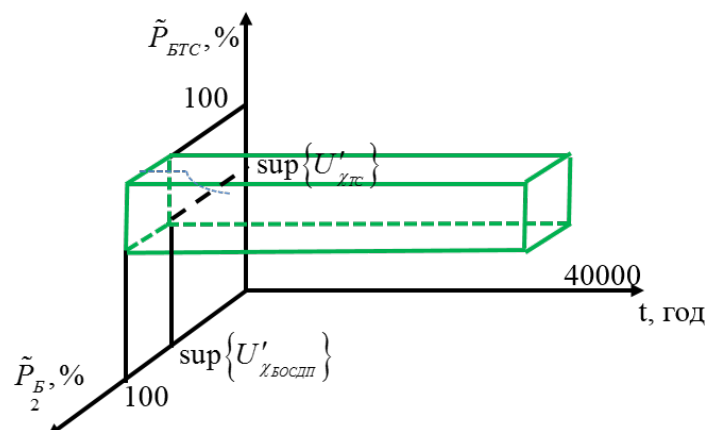


Рисунок 6.29 - Фазова траєкторія безпечного функціонування складної поліергатичної системи в умовах гетерогенних збурень ТПК

Тривимірний фазовий простір представляє собою дві вісі імовірності для технічної і людської складових складної поліергатичної системи, а також стрілу часу. Як видно з рисунку, зеленим відмічено просторово-часову тривимірну фазову зону безпечної реалізації ДП РОВТ в умовах гетерогенних збурень акваторії ТПК. А результати моделювання зображено пунктиром, синім кольором. Система не виходить за встановлені межі на протязі всього часу моделювання.

Дослідження імовірності безпечного виконання технологічної роботи в конкретних умовах і при конкретному стані РОВТ необхідно проводити виходячи з аналізу технологічної роботи в умовах локально обмеженого простору акваторії ТПК. Дослідження функціонування поліергатичної системи в позаштатних режимах має бути проведено з урахуванням технологічної роботи.

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

### **Висновки до шостого розділу**

1. Вперше автором сформовано методологію динамічного програмування безпеки поліергатичного управління, яка має кількісні оцінки в якості динамічних критеріїв для моделі порогового типу, яка реалізує стратегію гарантування безпеки поліергатичного управління на всьому часовому проміжку шляхом залучення додаткових ресурсів. Методологія може бути використана для РОВТ з СДП будь-якого класу.
2. Програмним чином реалізовано сформовані математичні моделі систем поліергатичного управління процесом ДП РОВТ у середовищі програмування MATLAB за допомогою пакету Simulink. Забезпечено їх синергетичну взаємодію та гнучкість налаштування за допомогою модульного принципу. Визначено та обґрунтовано уніфіковані типові моделі.

3. Сформовано технологію упереджених прогнозних розрахунків із застосуванням розробленого автором ПЗ «Інспектор поліергатичних систем» (Авторське свідоцтво № 64517) при проведенні попередньої оцінці ризиків при плануванні ДП в акваторії можливої експлуатації РОВТ. Що дозволяє оптимальним чином підібрати структуру і склад професійних осіб, що виконують управління процесом високоточної навігації, а також визначити структуру і рівень резервування технічної складової в умовах гетерогенних збурень акваторії ТПК.
4. Удосконалений метод структурного аналізу і синтезу динамічних складних систем дозволив на кожному етапі динамічного програмування наступного дискретного кроку алгоритму реалізації гарантованої безпеки, завчасно враховувати пріоритет покращення ситуації за рахунок додаткової мобілізації наявних ресурсів.

Матеріали розділу 6 висвітлені у працях автора [19, 27, 28, 29 31, 70, 74, 77, 81, 89, 91, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 108, 148, 194, 288, 288, 307, 308, 309] та у Додатку Д.

## 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 полієргатичної 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 полієргатичного управління в умовах ризиків техноприродного комплексу, заздалегідь враховує необхідність покращення ситуації шляхом залучення ідентифікованих резервів полієргатичної 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 полієргатичних 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Абрамов С.М. Методы метавычислений и их применение. / С.М. Абрамов // Издание второе, дополненное и переработанное, Переславль-Залесский, Издательство «Университет города Переславля имени А.К.Айламазяна», 2006. —128 с.
2. Авдудевский В.С. Надежность и эффективность в технике. / В. С. Авдудевский // Справочник в 10 т. Под ред. А.И.Рембезы. - М.: Машиностроение, 1989. - 224 с.
3. Алексейчук М.С. Использование системного подхода для описания процесса судовождения//Материалы 54 научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава и курсантов. 23-24 апреля 2002 г.- Одесса: ОНМА, 2002. – С. 26-28.
4. Алексейчук М.С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов // Судовождение: Сб. научн. трудов /ОГМА. – Одесса: Латстар, 2000.- Вып. 1.- С. 7-14.
5. Алексишин А.В. Разработка метода формирования безопасной зоны и её применение в судовождении: Дис. кандидата технических наук: Одесса, 2007. – 172 с.: ил.- Библиогр.: С. 162-172.
6. Алексишин А.В. Формирование судовой безопасной зоны с учетом поворотливости судна / А.В. Алексишин, В.Г. Алексишин // Судовождение: Сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2007.- Вып. 14.- С. 3-8.
7. Алексишин В.Г. Обеспечение навигационной безопасности лавания: учебное пособие / Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. – Одесса: Феникс; М.: ТрансЛит, 2009. – 518 с.
8. Анисимова Н. И. Позиционные гидродинамические характеристики судов на произвольных углах дрейфа. – Л.: Судостроение 1968. – №5 . – С.13-17.
9. Атаманюк Ю. С. Имитационное моделирование комбинированной системы операторного и автоматического управления подводным роботом / Ю. С. Атаманюк // Экстремальная робототехника: Материалы 11 научно-технической

- конференції, Санкт-Петербург, 18-20 апр., 2000. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. - С. 106-111.
10. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. – Л. : Судостроение, 1985. – 320 с.
11. Бабак В.П. Безпека авіації. / В.П. Бабак // К.: Техніка, 2004. – 583 с.
12. Бабак В. П. Супутникова радіонавігація / В. П. Бабак, В. В. Конін, В. П. Харченко.– К. : Техніка, 2004.– 328 с. : іл.
13. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах / Бабич О.А. – М.: Наука, 1991. – 512 с.
14. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 244 с.
15. Баранов Г.Л. Р-моделювання складних динамічних систем / Баранов Г.Л., Брайловський М.М., Засядько А.А. // та інші. – К.: ДУИКТ, 2008. – С. 131.
16. Баранов Г.Л. Аналітична модель траєкторії електронного курсу транспортного засобу у зонах з підвищеним ризиком плавання / Баранов Г.Л., Тихонов І.В. // «Системи управління, навігації та зв'язку». Наукове періодичне видання Центрального науково-дослідного інституту навігації і управління. – К: ЦНДІНіУ, 2007. – Вип. 4 – С. 11-14.
17. Баранов Г.Л. Аналітичний зв'язок навігаційних параметрів стану і сигналів адаптивного управління на програмних траєкторіях руху високошвидкісних транспортних засобів / Баранов Г.Л., Тихонов І.В., Банішевський С.А. // «Системи управління, навігації та зв'язку». Наукове періодичне видання Центрального науково-дослідного інституту навігації і управління. – К: ЦНДІНіУ, 2008. – Вип. 3(7). – С. 19-23.
18. Баранов Г.Л. Аналітичні співвідношення між навігаційними параметрами термінальних умов руху високошвидкісних транспортних суден / Баранов Г.Л., Тихонов І.В., Банішевський С.А. // «Системи управління, навігації та зв'язку». Наукове періодичне видання Центрального науково-дослідного інституту навігації і управління. – К: ЦНДІНіУ, 2008. – Вип. 4 – С. 8-11.



19. 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.
20. 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.
21. Баранов Г.Л. Эффективность интеллектуализации интегрированных систем навигации и управления подвижными транспортными средствами / Баранов Г.Л., Тихонов И.В. // Научное периодическое издание Центрального научно-исследовательского института навигации и управления. – К: ЦНДІНіУ, 2010. – Вип. 1 – С. 13-20.
22. Баранов Г.Л. Интеграция технологий навигации, наблюдения, телекоммуникации для защиты от критических угроз окружающей среды // 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.
23. Баранов Г.Л. Комплексная интеграция информационных процессов интеллектуальных транспортных систем для качественного гарантирования безопасного движения в нестационарной среде / Г.Л. Баранов, И.В. Тихонов, Р.А. Габрук, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренко / Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. Научно-технический журнал. - К.: НТУ, 2015. - Випуск 3. – С. 85-93.
24. Баранов Г.Л. Концепция построения функционально устойчивой навигационной системы обслуживания объектов водного транспорта в зонах повышенного риска судоходства / Баранов Г.Л., Тихонов И.В. // «Системы управления, навигации и связи». Научное периодическое издание Центрального научно-исследовательского института навигации и управления. – К: ЦНДІНіУ, 2009. – Вип. 2(10). – С. 17-21.
25. Баранов Г.Л. Методика оценки эффективности операционного плана и функциональной устойчивости навигационной системы обслуживания подвижных объектов /

- Баранов Г.Л., Тихонов І.В. // Наукове періодичне видання Центрального науково-дослідного інституту навігації і управління. – К: ЦНДНіУ, 2009. – Вип. 4(12). – С. 2-6.
26. Баранов Г.Л. Оптимізація траєкторного управління та безпеки руху об'єктів наземних транспортних засобів на базі структурного аналізу складних динамічних систем / Г.Л. Баранов, В.Л. Міронова, О.М. Прохоренко / Управління проектами, системний аналіз і логістика. - Київ: НТУ, 2013 - Випуск №12. - С. 7-16.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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 третьої міжнародної науково-технічної конференції «Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления», 11 – 12 апреля 2013 г.- Киев: НТУ, 2013. - С. 60.

31. 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.
32. Баранов Г.Л. Узгодження точності навігації та прогнозування параметрів траєкторії руху транспортних засобів на водних шляхах / Баранов Г.Л., Тихонов І.В. // «Системи управління, навігації та зв'язку». Наукове періодичне видання Центрального науково-дослідного інституту навігації і управління. – К: ЦНДІНіУ, 2007. – Вип. 3. – С. 8-10.
33. Баранов Г.Л., Макаров А.В. Структурное моделирование сложных динамических систем / Баранов Г.Л., Макаров А.В. – Киев: Наукова думка, 1986. – 272 с.
34. Барахта А.В. Оценка безопасности выполнения динамического позиционирования бурового судна методами математического моделирования. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Мурманский государственный технический университет. — Мурманск, 2011. — 202 с.
35. Барахта, А. В. Структура и принципы работы систем динамического позиционирования / А. В. Барахта, Ю. И. Юдин // Вести. МГТУ : Труды Мурман. гос. техн. ун-та. - 2009. - Т. 12, № 2. - С. 255-258.
36. Беллман Р. Динамическое программирование. / Р. Беллман // М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 395 с.
37. Беляєвський Л.С. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті. Навчальний посібник для ВУЗів транспортного профілю / [Беляєвський Л.С., Ткаченко А.М., Левковець П.Р. та інші.]. – К.: В-во «Даж Бог», 2009. – 216 с.
38. Беляєвський Л.С. Основи радіонавігації / Беляєвський Л.С., Новиков Б.С., Олянюк П.В. – М.: Транспорт, 1997. – 316 с.

- 39.Беляєвський Л.С. Теоретичні основи радіонавігації та радіонавігаційних систем / Беляєвський Л.С. // – К.: КМУЦА, 1997. – 408 с.
- 40.Бень А. П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія / А. П. Бень // Матеріали другої науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010)» (25–27 травня 2010 р., Херсон, ХДМІ.) – Т. 1. – С. 8-10.
- 41.Блауберг И. В. Системный подход в современной науке / И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин // Проблемы методологии системных исследований. — М.: Мысль, 1970. — С. 7-48.
- 42.Бондарь В.М. Научная направленность кафедры – проблема безопасности мореплавания / В.М. Бондарь, В.Г. Сизов // Материалы международной научно-технической конференции «Современное судоходство и морское образование» Часть I. – Одесса: 2004.- С. 114-118.
- 43.Бронников А. В. Проектирование судов / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1991. – 320 с.
- 44.Бурмака И.А. Безопасное расхождение судов с учетом их инерционности: Дис. кандидата технических наук: Одесса, 2007. – 184 с.
- 45.Бюллетень изменений и дополнений 2017 года к Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (МК ПДНВ-78) с поправками (консолидированный текст): – СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2017 - 80 с.
- 46.Вагущенко Л.Л. Повышение информативности судовых систем предупреждения столкновений / Л.Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко // Судовождение: Сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2007.- Вып. 16.- С. 14-17.
- 47.Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал; 2-е изд., перераб. и доп.- Одесса: Латстар, 2002.- 310 с.

- 48.Вагущенко Л.Л. Электронные системы отображения навигационных карт / Вагущенко Л.Л., Данцевич В.А., Кошевой А.А. – 2-е изд. – Одесса: ОГМА, 2000. – 120 с.
- 49.Вайнберг М.М. Теория ветвления решений нелинейных уравнений / Вайнберг М.М., Треногий В.А. – М: Наука, 1969. – 24 с.
- 50.Ван Гиг Дж. Прикладная общая теория систем.- М.: Мир, 1981. - 732 с.
- 51.Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 129 с.
- 52.Васильев А.В. Управляемость судов. / А.В. Васильев- Л.: Судостроение, 1989.- 328 с.
- 53.Васильев В.В. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/SIMULINK. / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова // Учебное пособие. — Киев: Национальный авиационный университет, 2008. — 91 с.
- 54.Вашедченко А.Н. Автоматизированное проектирование судов. / А.Н. Вашедченко - Л.: Судостроение, 1985.-164 с.
- 55.Вентцель Е.С. Исследование операций. / Е.С. Вентцель // М.: Советское радио, 1972.— 552 с.
56. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. / Е.С. Вентцель // 2-е изд. — М.: Наука, 1988. — 208 с.
- 57.Вентцель Е.С. Прикладные задачи теории вероятностей. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // М.: Радио и связь, 1983. — 416 с.
- 58.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. / Е.С. Вентцель // ISBN 5-06-005688-0, 10-е изд. — Москва: Высшая школа, 2006. — 575 с.
- 59.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Задачи и упражнения. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // Изд. 2-е, стер. — М.: Наука, 1973. — 365 с.
60. Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования / Е.С. Вентцель // М.: Наука, 1964. — 176 с.

61. Войткунский Я. И. Сопротивление воды движению судов. - Л.: Судостроение, 1988. — 288 с.
62. Войткунский Я.И. Гидромеханика / Я.И. Войткунский, Ю.И. Фаддеев, К.К. Федяевский.- Л.: Судостроение, 1982.- 456 с.
63. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля / Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов.- Л.: Судостроение, 1973.- 511 с.
64. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля: В 3 т. / Я.И. Войткунский, А.А. Русецкий, В.В. Луговский, Е.Б. Юдин.- Л.: Судостроение, 1985.-1752 с.
65. Воробьёв Ю.Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере. – С. Петербург: Судостроение, 1992. – 224 с.
66. Воробьёв Ю.Л. К вопросу о навигационных запасах глубины под килем судна при плавании в каналах и на мелководье / Ю.Л. Воробьёв, В.Т. Соколов, Г.Д. Журавицкий, Э.В. Коханов, Н.А. Кубачев, А.И. Лабин // Мор. трансп. Сер.: Судовождение и связь.- Экспресс-информация В/О "Мортехинформреклама", 1986.- Вып. 9(194).- С. 1-18.
67. Воробьёв Ю.Л. Экспериментальное определение безопасных расстояний при расхождении судов / Ю.Л. Воробьёв, В.Н. Кирилов // Теория корабля и гидромеханика: Сб. научн. тр. / НКИ, Николаев. – 1973. - №74. – С. 61-65.
68. Воробьёв Ю.Л. Экспериментальные исследования изменений посадки моделей морских судов при движении на мелководье и в канале/ Ю.Л. Воробьёв, Ю.М. Гулиев, В.К. Лабазников, Я.М. Элис // Судостроение и судоремонт/ ОИИМФ, 1967.- Вып. I.- С. 45 - 61
69. 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 судноплаванні» 19-20 листопада 2015 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2015. - С. 14-16.
70. Габрук Р. А. Гарантування безпеки процесу динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація» 16-17 листопада 2017 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2017. - С. 29-30.

71. 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.
72. Габрук Р. А. Оценка безопасности мореплавания судов, осуществляющих динамическое позиционирование / Р.А. Габрук // Системы управления, навигации и связи.- К.: ЦНИИ НиУ, 2011. – Вып. 2(18). – С. 19-21.
73. 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.
74. 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.
75. 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.
76. 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.
77. 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.
78. 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.
79. 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.
80. 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.
81. 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.
82. 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.
83. 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.
84. 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.
85. 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.



86. 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.
87. 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.
88. Габрук Р.А. Ергатична інтеграція потокових 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.
89. Габрук Р.А. Использование совместной оптимизации сигнала и фильтра в морских радарах на судах с системами динамического позиционирования // Р.А. Габрук / Сучасні інформаційні технології 2017 (MIT-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.
90. Габрук Р.А. Исследование влияния динамически сложных условий влияния моря на работу морской РЛС / Р.А. Габрук // Современные информационные технологии 2015 (MIT-2015) / Материалы восьмой Международной конференции студентов и молодых ученых, 23-25 мая 2018.– Одесса: ОНПУ, 2018. - С. 130-132.
91. 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.
92. Габрук Р.А. Математическая модель количественной оценки безопасности функционирования полиэргатической системы при динамическом

- позиционировании / Р.А. Габрук, Н.Н. Цимбал // Судовождение: Сб. научн. трудов/ НУ «ОМА». – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. - Вып. 26. - С. 65-71.
93. Габрук Р.А. Навігаційна безпека динамічного позиціонування в умовах мілководдя // IX 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.
94. Габрук Р.А. Оптимизация обработки сигналов при динамическом позиционировании / Р.А. Габрук // Сучасні інформаційні технології 2015 (MIT-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.
95. Габрук Р.А. Оптимизация процесса обработки полученных радиолокационных сигналов при динамическом позиционировании / Р.А. Габрук // Сучасні інформаційні технології 2016 (MIT-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.
96. 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.
97. 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.

98. 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.
99. 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.
100. 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.
101. 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.
102. 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.
103. 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.
104. Гальчук В. Я. Техника научного эксперимента / В.Я. Гальчук, А.П. Соловьев. - Л.: Судостроение, 1982.- 255с.
105. Габрук Р.А. Методика гарантування безпеки динамічного позиціонування за рахунок визначення комплексного запасу керованих реакцій рушіїв : Дис. кандидата технічних наук: Київ, 2012. – 191 с.: іл.- Бібліогр.: с. 162-191.

106. Герасимов Б.М. Системы підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. / Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Субач І.Ю. // Севастополь: Изд. Центр СНИЯЭ и П, 2004. – 318 с.
107. Гермейер Ю.Б. Задачи по исследованию операций. / Ю.Б. Гермейер, В.В. Морозов, А.Г. Сухарев, В.В. Федоров // Учебное пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та., 1979 .- 167 с.
108. 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. 132-134.
109. Горішна І.Я. Тренажерне забезпечення моделювання адаптивного радіолокаційного зондування в умовах перешкод. : Дис. кандидата технічних наук: Київ, 2018. – 185 с.: іл.- Бібліогр.: с. 165-185.
110. ГОСТ 13641—80. Элементы металлического корпуса надводных кораблей и судов. Конструктивные термины и определения. – Москва: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 1980. – 34 с.
111. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. / Надежность в технике: Сб. ГОСТов. -75 с.
112. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – Взамен РД 50–650–87 ; введ. 01.01.92. – Москва : Издательство стандартов, 1991. – 27 с.
113. ГОСТ 27.004–85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 22954–78 ; введ. 01.07.86. – Москва : Издательство стандартов, 1985. – 13 с.
114. ГОСТ 27.202–83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. – Взамен ГОСТ 23641–79, ГОСТ 16467–70, ГОСТ 16304–74 – ГОСТ 16306–74 ; введ. 01.07.84. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 50 с.

115. ГОСТ 27.203–83. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности. – Взамен ГОСТ 22955–78 ; введ. 01.07.84. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 6 с.
116. ГОСТ 27.204–83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. – Введ. 01.01.85. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 37 с.
117. Гофман-Велленгоф Б. Навігація. Основні визначення місцеположення та скеровування / Б. Гофман-Велленгоф, К. Легат, М. Візер / пер. с англ. за ред. Я.С. Яцківа. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. – 443 с.
118. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. Изд. 2-е, переработанное – СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2004. – 208 с.
119. Доронин В.В. Радионавигационные приборы и системы / Доронин В.В. Учебное пособие. – К: КГАВТ, 2006. – 472 с.
120. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. / Г.В. Дружинин //М.: Энергоатомиздат, 1989. – 458 с.
121. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. — К.: Держстандарт України, 1994. — 36 с.
122. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення.
123. ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.
124. ДСТУ 3021-95 Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення — К.: КНДІРВА, 1995. — 74 с.
125. Дьяконов В.П. МАТЛАВ. Анализ, идентификация и моделирование систем. / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов // Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. — 448 с.
126. Железный Г.М. Судоводителям. Практическое пособие / Железный Г.М., Задорожный А.И. – Одесса: Изд-во КП ОГП, 2004. – 436 с.

127. Железный Г.М. Судоводителям. Что должен знать судоводитель. Практическое пособие / Г.М. Железный, А.И. Задорожный, В.Н. Щербак–Одесса: Изд-во КП ОГП, 2005. – 444 с.
128. Железный Г.М. Судоводителям: Опыт и знание. Практическое пособие / Г.М. Железный, А.И. Задорожный, В.Н. Щербак – Одесса: Изд-во КП ОГТ, 2008. – 522 с.
129. Забара І. М. Наукові дослідження на континентальному шельфі // І. М. Забара / Українська дипломатична енциклопедія: У 2-х т./Редкол.:Л. В. Губерський (голова) та ін. — К.:Знання України, 2004 — Т.2 — 812с. ISBN 966-316-045-4
130. Закон України «Про державний кордон України». – Київ: Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992 – № 2, С. 5.
131. Зараковский Г.М. Введение в эргономику. / Г.М. Зараковский, Б.А. Королев, В.И. Медведев, П.Я. Шлаен //– М.: Сов. радио, 1974. – 349 с.
132. Зараковский Г.М. Закономерности функционирования эргатических систем. / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов // – М.: Радио и связь, 1987. – 231 с.  
И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков // Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
133. Исикава К. Японские методы управления качеством / К. Исикава Сокр.пер. с англ. / Под. Ред. А. В. Гличева. — М: Экономика, 1988. — 214 с.
134. Казак В.Н. Методы учета инженерно-психологических факторов авиационных комплексов / В.Н. Казак, А.В. Казак // Вісн. КМУЦА. – 1999. – №1. – С. 241–245.
135. Калиткин И.И. Численные методы. / И.И. Калиткин //– М.: Наука, 1978.- 512 с.
136. Карапетян Г.С. Предупреждение неблагоприятных событий в полете, обусловленных человеческим фактором. / Г.С. Карапетян, А.И. Прокофьев // М.: Транспорт, 1989. – 170 с.
137. Карбовец Н. В. Прогнозирование вероятности возникновения критической ситуации в эргатической системе на примере швартуемого судна / Н. В. Карбовец // Сборник научных трудов НГМА. – 2004. – Выпуск 9. – С. 71-77

138. Катханов М. Н. Теория судовых автоматических систем.- Л.: Судостроение, 1985.- 376 с.
139. Кацман Ф.М. Теория и устройство судов / Ф.М. Кацман, Д.В. Дорогостайский, А.В. Коннов, Б.П. Коваленко; Учебник. – Л.: Судостроение, 1991. – 416 с.
140. Кейхилл Р. А. Столкновения судов и их причины / Ричард А. Кейхилл.; пер. с англ. – М: Транспорт, 1987. – 240 с.
141. Климонтович Ю. Л. Энтропия и информация открытых систем / Ю. Л. Климонтович – М. : ТОО Янус, 1999. – 443 с.
142. Кодекс торговельного мореплавства України, Закон України Про морські порти України. Станом на 01 жовтня 2017 р. Офіційний текст. – К: КУ, 2017– 160 с.
143. Кодола В. Г. Система средств подготовки летного состава XXI века / В.Г. Кодола // Вестник МНАПЧАК. – 2003. – № 2. – С. 59-65.
144. Колмогоров А. Н. Введение в теорию вероятностей. / А. Н. Колмогоров, И. Г. Журбенко, А. В. Прохоров //— М.: Наука, 1982. — 160 с.
145. Колмогоров А. Н. Теория вероятностей и математическая статистика. / А. Н. Колмогоров // — М.: Наука, 1986. — 534 с.
146. Колмогоров А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа. / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин— 4-е изд. — Москва : Наука, 1976. — 544 с.
147. Комп'ютерна програма «ДП Помічник»: А.с. 33461 Україна. / Р.А. Габрук - № 33461; Заявл. 29.03.2010; Опубл.15.09.2010, Бюл. № 22.-681 с.
148. 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.
149. Конвенция 2006 года о труде в морском судоходстве (КТМС): часто задаваемые вопросы / Группа технической поддержки по вопросам достойного труда и Бюро МОТ для стран Восточной Европы и Центральной Азии, Департамент международных трудовых норм. ISBN 978-92-2-425995-1 – Москва : МОТ, 2013. – 54 с.

150. Конвенция ООН по морскому праву (UNCLOS 82).- М: Транспорт, 1983.- 369с.
151. Копач З. Система безопасности морской навигации и ее участие в процессе безопасного и эффективного управления судами в море. / The Maritime Navigation Safety System and its participation in the process of safe and efficient conducting the ships at sea / Korpacz Z., Morgas W., Urbanski J. // 4 Российская научно-техническая конференция "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" ("НО-2001"), Санкт-Петербург, 6-9 июня, 2001: Сборник докладов. Т. 1. – СПб.: Изд-во ГНИНГИ, 2001. - С. 53-62.
152. Корн Г. Справочник по математике. / Г. Корн, Т. Корн.- М.: Наука. 1973.- 832с.
153. Короткин А.И. Волновые нагрузки корпуса судна / А.И. Короткин, О.Н. Рабинович, Д.М. Ростовцев.- Л.:Судостроение, 1987.- 236 с.
154. Короткин А.И. Присоединенные массы судна. / Справочник.- Л.: Судостроение, 1986.- 312 с.
155. Короткин А.И. Присоединенные массы судостроительных конструкций. / Справочник.ISBN: 978-5-9900314-7-0- Л.: Мор Вест, 2007.- 448 с.
156. Короткин А.И. Прочность корабля / А.И. Короткин, Д.М. Ростовцев, Н.Л. Сиверс.- Л.: Судостроение, 1974.- 432 с.
157. Корсун В.П. Особенности создания систем динамического позиционирования специальных судов. /В.П. Корсун, В.Н. Куевда // Автоматизация судовых технических средств: научно-технический сборник. - Одесса: ОГМА, 1999. – Вып. 3.- С. 83-88.
158. Костюков А.А. Взаимодействие тел, движущихся в жидкости.- Л.: Судостроение, 1972.- 310 с.
159. Кошевой А.А. Перспективный комплекс навигации и управления движением специального судна / А.А. Кошевой, В.Н. Куевда, Т.М. Трифонова //Автоматизация судовых технических средств: научно-технический сборник. - Одесса: ОГМА, 1999.- Вып. 3.- С. 88-90.



160. Кривдина Л.Н. Справочник по математике. / Л.Н. Кривдина, Г.Л. Шульц // Нижний Новгород: ННГАСУ, 2010 г. - 53 стр.
161. Кринецкий И.И. Основы научных исследований: Учебное пособие для вузов.- Киев-Одесса: Вища школа, 1981. – 208 с.
162. Кушнарев А.Г. Проблемы оценки навигационной безопасности плавания кораблей // А.Г. Кушнарев, В.А. Михальский. – Санкт-Петербург.: Изд-во ГИИТИ. №1(11). - 2016. – С. 51-55.
163. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев // ISBN 966-552-144-6. Учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2005. – 512 с.
164. Лентарев. А.А. Конвенционная подготовка моряков /А. А. Лентарев// - М.: ООО "Моркнига", 2019 г. - 252 с.
165. Лесков М.М. Навигация. 2-е издание / Лесков М.М., Баранов Ю.К., Гаврюк М.И. – Москва: Изд. Транспорт, 1986. – 360 с.
166. Луговский В.В. Динамика моря. / В.В. Луговский //- Л.: Судостроение, 1976.- 200 с.
167. Лукомский Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугунов.- Л.: Судостроение, 1988.- 272с.
168. Лушников Е. М. Системный анализ проблем навигационной безопасности мореплавания / Е. М. Лушников // Управление безопасностью мореплавания и подготовка морских специалистов. SSN'2002: Материалы 3 Международной конференции, Калининград, 27-29 нояб., 2002. - Калининград: Изд-во БГАРФ, 2003. - С. 153-157.  
М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 32 с.
169. Мальцев А.С. Динамічне позиціонування судна при відхиленнях параметру управління, величина якого порівняна з похибками його визначення // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2020. – № 1 (20). – С. 44-54.

170. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. - 208 с.
171. Мальцев А.С. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов / А.С. Мальцев, А.П. Бень, Нгуен Тхань Шон. // Судовождение: Сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2007.- Вып. 16.- С. 97-104.
172. Мальцев А.С. Управление движением судна.- Одесса: Весть, 1995. – 235с.
173. Мальцев А.С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания //Судостроение и ремонт. 1989. -№5.- С. 29-31.
174. Мальцев С.Е. The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity. Навигационное устройство пересчета координат спутниковой антенны судна на центр тяжести./ Мальцев С.Е., Мальцев А.С., Соколенко В.И.// Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып. 28 –Одесса: «ИздатИнформ», 2018. – С. 210 – 221.
175. Матвеев О. В. Система резервирования информационных потоков навигационного комплекса / Матвеев О. В., Пугин Е. А. // Навигация и управление движением: Материалы 8 Конференции молодых ученых: 1 этап, Санкт-Петербург, 14-16 марта, 2006; 2 этап, Санкт-Петербург (в Интернете), 1 июня- 31 окт., 2006; 3 этап, Санкт-Петербург, 25-29 сент., 2006. – СПб.: ЦНИИ "Электроприбор", 2007. - С. 354-358.
176. Машков О. А. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем / Машков О. А., Барабаш О. В. // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2005. – Вип. 1. – С.157-163.
177. Международная ассоциация классификационных обществ. Символика классификации судов. Справочник / Российский Морской Регистр Судоходства. - С-Пб.: РМРС, 2015. - 175 с.
178. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (МК ПДНВ-78) с поправками (консолидированный текст): – СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2016. – 824 с.

179. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года. – СПб: ЗАО ЦНИИМФ, 2002. – 928 с.
180. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973г., измененная протоколом 1978г. к ней (МАРПОЛ-73/78), Книги I и II, - СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2008 г. – 760 с.
181. Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 г. (МППСС-72). – СПб: ЗАО ЦНИИМФ. – 2004. – 118 с.
182. Международная конференция “Спутниковая связь” (2-я) 23-27 сентября 1996 г. – Том II. – Москва: Изд. “Радио и связь”. – 1996. – 332 с.
183. Милн П.Х. Гидроакустические системы позиционирования.- Л.: Судостроение, 1989. - 225 с.
184. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / Мирошник И.В., Никифоров А.Л., Фрадков А.Л. – СПб: Наука, 2000. – 549 с.
185. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т./Ред. совет: В.С.Авдуевский (пред.) и др. Т.2. Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б.В.Гнеденко. - М.: Машиностроение, 1987. - 280 с.
186. Надежность технических систем. Справочник / Ю.К.Беляев, В.А.Богатырев, В.В.Болотин и др. / Под ред. И.А.Ушакова - М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.
187. Наказ 08.09.2017 № 500 «Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних подій із суднами флоту рибної промисловості». – Київ: Офіційний вісник України, 2017 - № 95. - С.53.
188. Наказ 29.05.2006 № 516 «Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами». – Київ: Офіційний вісник України, 2006 - № 32. - С.328.
189. Необитаемые подводные аппараты и гидроакустические системы. // ОАО Тетис ПРО. –Москва, 2014. – 91 с.

190. Нечаев Ю. И. Сценарии развития экстремальных ситуаций в бортовых интеллектуальных системах / Нечаев Ю. И., Дегтярев А. Б. // Искусств, интеллект. – 2004. - № 3. - С. 360-370.
191. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. — М.: Мир, 1979. — 512 с.
192. НПАОП 11.1-1.15-13. Правила безпеки під час виконання робіт з розвідування та розроблення родовищ нафти і газу в акваторіях Чорного та Азовського морів / / Міністерство надзвичайних ситуацій України. Правила, Наказ від 14.12.2012., Київ, 2013 – 53 с.
193. Патент UA 111616 U; G 09 B 9/00; Багатофункціональний вертолітний учбово-тренувальний комплекс / Д.В.Барвінок та ін.; власник Товариство з обмеженою відповідальністю "Науково-виробниче об'єднання "АВІА". – заяв. u201609286, 06.09.2016. – опубл. 10.11.2016, бюл. № 21/2016.
194. 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.
195. Патент UA 16927 U, G 09 B 9/02; Учбово-тренувальний комплекс вертольота / Д.В.Барвінок та ін.; власник Товариство з обмеженою відповідальністю "Науково-виробниче об'єднання "АВІА". – заяв. u200607409, 04.07.2006. – опубл. 15.08.2006, бюл. № 8/2006.
196. Петров Ю.П., Червяков В.В. Система стабилизации буровых судов. –Л: Судостроение, 1996, -256 с.
197. Петухов О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое. / О.А. Петухов, А.В. Морозов, Е.О. Петухова // Учебное пособие. - СПб.: издательство СЗТУ, 2008. - 288 с.
198. Половко А.М. Основы теории надежности. / А.М. Половко, С.В. Гуров // Практикум. СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 506 с.
199. Поспелов Д.А. Ситуационное управление и практика / Поспелов Д.А. – Москва: Изд. Наука. – 1986. – 288 с.

200. Потемкин А.Э. Математическое моделирование в системах динамического позиционирования / А.Э. Потемкин, Р.А. Габрук // Материалы научно-методической конференции «Современные проблемы повышения безопасности судоходства», 7 – 8 октября 2009 г.- Одесса: ОНМА, 2009. - С. 92-93.
201. Потёмкин А.Э. Метод экспериментального исследования точности навигационных приборов // Автоматизация судовых техн. Средств: научн. – техн. сборник.- Одесса: ОГМА. – 2003. – Вып. 5. – С. 70-75.
202. Потемкин А.Э. Охрана окружающей среды и статистический анализ аварийности танкеров / А.Э. Потемкин, Р.А. Габрук // Судоходство: Сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2007. - Вып. 14. - С. 101-107.
203. Потемкин А.Э. Повышение надежности и эффективности систем динамического позиционирования судов / А.Э. Потемкин, Р.А. Габрук //Автоматизация судовых технических средств: науч. техн. сб.- Одесса: ОНМА, 2009. – Вып. 15.– С. 59-68.
204. Потемкин А.Э. Системы динамического позиционирования / А.Э. Потемкин, Р.А. Габрук // Материалы научно-методической конференции «Современные проблемы повышения безопасности судоходства», 19 – 21 ноября 2008 г.- Одесса: ОНМА, 2008.- С. 48-54.
205. Потемкин А.Э. Учет присоединенных масс при расчете крена судна на установившейся циркуляции в условиях широкого мелководья / А.Э. Потемкин, Р.А. Габрук // Судоходство: Сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2009. - Вып. 16. - С. 142-146.
206. Правила классификации и постройки морских судов. Том 1. / Российский Морской Регистр Судоходства. - С-Пб.: РМРС, 2015. - 505 с.
207. Правила классификации и постройки морских судов. Том 2. / Российский Морской Регистр Судоходства. - С-Пб.: РМРС, 2015. - 753 с.
208. Правила классификации и постройки морских судов. Том 3. / Российский Морской Регистр Судоходства. - С-Пб.: РМРС, 2015. - 89 с.

209. Практическое кораблевождение. Книга первая. Адмиралтейский № 9035.1. – Министерство обороны СССР, Главное управление навигации и океанографии, 1989. – 896 с.
210. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Пухов Г.Е. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.
211. Пухов Г.Е. Дифференциальные спектры и модели / Пухов Г.Е. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
212. Пухов Г.Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных T-преобразований / Пухов Г.Е. – К.: Наукова думка, 1988. – 216 с.
213. Ракилов А. И. Философские проблемы науки: Системный подход. // А. И. Ракилов— М.: Мысль, 1977. — 270 с.
214. РД 51-10-98. Организация Службы Динамического позиционирования на судах РАО «Газпром», используемых при освоении морских нефтегазовых месторождений.- М.: РАО «Газпром», 1998. - 24 с.
215. Регистр судоходства Украины. Инструкция по замерам толщин на судах. - Киев.: РСУ, 2013. – 140 с.
216. Регистр судоходства Украины. Общие положения по техническому наблюдению за контейнерами. -Киев.: РСУ, 2016. – 147 с.
217. Регистр судоходства Украины. Правила освидетельствования судов (ПОС). Части I, II, III. Приложения 1, 2 -Киев.: РСУ, 2012. – 360 с.
218. Регистр судоходства Украины. Правила освидетельствования судов (ПОС). Часть IV. -Киев.: РСУ, 2013. – 234 с.
219. Регистр судоходства Украины. Правила освидетельствования судов (ПОС). Часть V. Приложение 3. -Киев.: РСУ, 2012. – 203 с.
220. Регистр судоходства Украины. Руководство по освидетельствованию морских судов в эксплуатации (РОМСЭ) – Киев.: РСУ, 2009. – 552 с.
221. Регистр судоходства Украины. Руководство по техническому наблюдению за плавучими буровыми установками и морскими стационарными платформами (РПБУ) – Киев.: РСУ, 2009. – 128 с.

222. Регістр судоходства України. Руководство по техническому наблюдению за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий -Киев.: РСУ, 2005. – 431 с.
223. Регістр судноплавства України. Загальні положення про діяльність при технічному нагляді. Правила класифікації та побудови суден. Частина I «Класифікація». Том 1 – Київ.: РСУ, 2014. – 205 с.
224. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Том 2 – Київ.: РСУ, 2011. – 694 с.
225. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Том 3 – Київ.: РСУ, 2011. – 616 с.
226. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Том 4 – Київ.: РСУ, 2014. – 656 с.
227. Регістр судноплавства України. Правила по запобіганню забруднення з суден – Київ.: РСУ, 2011. – 288 с.
228. Регістр судноплавства України. Правила обмірювання морських суден і суден змішаного плавання – Київ.: РСУ, 2016. – 43 с.
229. Регістр судноплавства України. Правила про вантажну марку морських суден – Київ.: РСУ, 2020. – 78 с.
230. Регістр судноплавства України. Правила щодо обладнання морських суден – Київ.: РСУ, 2011. – 499 с.
231. Ремез Ю.В. Качка корабля.- Л.: Судостроение, 1983.- 328 с.
232. Ремез Ю.В. О выборе курса и скорости судна при шторме. М.: Морской транспорт, 1957.-135 с.
233. Ремез Ю.В. О криволинейном движении корабля по взволнованной поверхности моря. / Сборник научных трудов Ленинградского кораблестроительного института.- Л.: ЛКП, 1984.- С. 67-73.
234. Ржевська В. С. Континентальний шельф // В.С. Ржевська. Українська дипломатична енциклопедія: У 2-х т. /Редкол.:Л. В. Губерський (голова) та ін. — К: Знання України, 2004 — Т.1 — 760с. ISBN 966-316-039-X.

235. Романов Д.А. Трагедия подводной лодки «Комсомолец». Аргументы конструктора / Д.А. Романов // С. Пб:Издательство РХГИ, 1995. – 138 с.
236. Сазанов А.А. Четырехмерный мир Минковского / А.А. Сазанов // Гл. ред. физ.-мат. лит., М.: Наука, 1988. – 224 с.
237. Сборник резолюций Международной морской организации по вопросам судовождения. – М.: Изд. В/О Мортехинформреклама, 1989. – 68 с.
238. Сизов В.Г. Теория корабля. / В.Г. Сизов // Одесса: Феникс, 2003. – 282 с.
239. Синеглазов В. М. Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления [Текст] : конспект лекций / В. М. Синеглазов ; Киевский международный ун-т гражданской авиации. - К. : КМУГА, 1999. - 134 с.
240. Система Динамічного Позиціонування Конгсберг / Керівництво оператора, Трондхейм: Конгсберг, 2019. – 426 с.
241. Скрипец А.В. Основы авиационной инженерной психологии./ А.В. Скрипец // – Киев., 2002. – 551 с.
242. Снаряжение и оборудование для подводных работ. Издание 4. // ОАО Тетис ПРО. –Москва, 2013. – 126 с.
243. Соболев Г. В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. / Г.В. Соболев // Л.: Судостроение, 1980.- 477с.
244. Соколенко В.И. Система поддержки принятия решения при движении морского судна в стесненных условиях. / В.И.Соколенко // Материалы XX Международной конференции с автоматического управления, 25-27 сентября 2013 г. –Николаев: НУК, 2013. – С. 256.
245. Справочник капитана дальнего плавания. Под ред. Ермолаева Г.Г / [Аксютин Л.Р., Бондарь В.М., Ермолаев Г.Г. и др.]; ил., табл. – Библиогр. 35 назв. – М.: Транспорт, 1988. – 248 с.
246. Справочник по статике и динамике корабля: В 2 т / под ред. С.Н Благовещенского, А.Н.Холодилина // - Л.: Судостроение, 1976.- 512с.
247. Ставицкий С.Д. Повышение безопасности мореплавания судна при осуществлении операций динамического позиционирования / С.Д. Ставицкий, Р.А. Габрук // Актуальні проблеми підготовки кадрів торговельного флоту:



- Тези доповідей міжнародного науково-практичного семінару. - К.: КДАВТ, 2011.- С. 6-7.
248. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ : учебное пособие / Ю. П. Сурмин. – К. : МАУП, 2003. – 368 с.
249. Термины, применяемые в морской индустрии. Русско-английский словарь-справочник. Том 1 «Флот/ Российский Морской Регистр Судоходства. - С-Пб.: РМРС, 2010.- 78 с.
250. Тихонов І.В. Аналітична модель інформаційної технології підвищення безпеки руху на внутрішніх водних шляхах / Тихонов І.В., Баранов Г.Л., Банішевський С.А. // «Автоматика – 2008». Доклади XV Міжнародної конференції з автоматичного управління 23-26 вересня 2008 року. – Одеса: ОНМА. – 2008. – С. 945-946.
251. Тихонов І.В. Методика підвищення ефективності навігаційного забезпечення плавання на внутрішніх водних шляхах / Тихонов І.В. // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». – Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування» – К: 2010. – Вип. № 40. – С. 199-201.
252. Тихонов І.В. Методологічні основи поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом транспортних засобів (цільова технологія безпеки). Дис. доктора технічних наук: Київ, 2018. – 441 с.: іл.- Бібліогр.: С. 356-441.
253. Тихонов І.В. Оцінювання функціональної стійкості навігаційного обслуговування рухомих об'єктів в районах плавання з обмеженими габаритами / Тихонов І.В. // «Розвиток наукових досліджень 2009» Матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції. – м. Полтава, 23-25 листопада 2009 р.: – Полтава: Вид-во «ІнтерГрафіка». – 2009. – Т.8. – С. 82-85.
254. Топалов В.П. Застосування міжнародних конвенцій на борту судна / В.П. Топалов, В.Г. Торський; Навч.-практ. посібник. – Одеса: Астропринт, 2005. – 208 с.

255. Топалов В.П. Повышение безопасности плавания на основе системного подхода / В.П. Топалов, В.Г. Торский, В.В. Торский // Судовождение: Сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса: «ИздатИнформ», 2007.- Вып. 14.- С. 119-129.
256. Трунин В.К. О структуре выражения для поперечно-горизонтальной возмущающей силы.- Научно - технический сборник Регистра СССР, Д.: Транспорт, 1986.- Вып. 15.- С. 32 -36.
257. Трунин В.К. Определение возмущающих сил волнового дрейфа. / Матер. по обмену опытом НТО СН им. акад. А.Н. Крылова, 1983.- Вып. 378.- С. 46-61.
258. Трунин В.К. Силы волнового дрейфа, действующие на неподвижные преграды, пересекающие свободную поверхность. / Труды ЛКИ "Гидродинамика технических средств освоения океана".- Л.,1981.-С. 115-120.
259. Федюкин, В. К. Управление качеством процессов / В. К. Федюкин // СПб.: Питер, 2005. — 202 с.
260. Фролов И. Т. Общая теория систем // Философский словарь / И. Т. Фролов. — 4-е изд. — М.: Политиздат, 1981. — 445 с.
261. Харченко В.П. Аеронавігація [Текст] : навч. посіб. / В. П. Харченко, Ю. В. Зайцев ; за ред. засл. діяча науки і техніки України, лауреата Держ. премії України в галузі науки і техніки В. П. Харченка. - К : Кн. вид-во НАУ, 2008. - 271 с. : кольор. іл. - Бібліогр.: с. 269. - 1000 прим. - ISBN 978-966-598-474-0
262. Харченко В.П. Нелінійне та багатокритеріальне моделювання процесів у системах керування рухом: монографія / В.П. Харченко, О.О. Писарчук . – К.: Інститут обдарованої дитини, 2015. – 284 с.
263. Харченко В.П. Основи практичної аеронавігації [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / В. П. Харченко [и др.] ; Національний авіаційний ун-т. - К. : НАУ, 2004. - 256 с. - Бібліогр.: с. 248-249. - ISBN 966-598-191-9
264. Харченко В.П. Прийняття рішень в соціотехнічних системах [Текст] : монографія / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда ; Нац. авіац. ун-т. - Київ : НАУ, 2016. - 307 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 249-284. - 300 прим. - ISBN 978-966-932-010-0

265. Харченко Л.П. Статистика: Учеб. пособие / Л.П. Харченко, В.Г. Ионин, В.В. Глинский и др.; Под ред. канд. экон. наук, проф. В.Г. Ионина. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 445 с.
266. Хинчин А. Я. Избранные труды по теории вероятностей. / А. Я. Хинчин // М.: Транспорт, 1995. — 552 с.
267. Хинчин А. Я. Избранные труды по теории чисел. / А. Я. Хинчин // М.: МЦНМО, 2006. — 260 с.
268. Хинчин А. Я. Краткий курс математического анализа. / А. Я. Хинчин // М.: Транспорт, 1953. — 624 с.
269. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы. / И.Е. Цибулевский //— М.: Наука, 1981. – 288 с.
270. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов. / Н. Н. Цымбал, Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
271. Цымбал Н. Н. Основные принципы учета навигационных опасностей различных типов при расхождении судов / Н. Н. Цымбал, Е. А. Петриченко // Судовождение : Сб. науч. трудов ОНМА. – Вып. 20. – Одесса : ИздатИнформ, 2011. – С. 238-242.
272. Цымбал Н.Н. Развитие теории и методов предупреждения столкновений судов: Дис. доктора технических наук: Одесса, 2007. – 500 с.: ил.- Библиогр.: с. 470-500.
273. Чепиженко В. Навигация и синергетическое управление сложными динамическими системами / В. Чепиженко, С. Павлова, А. Писарчук, Ф. Захарин, С. Пономаренко (Под общей редакцией В. Чепиженко) – Киев: Национальный авиационный университет, 2018. – 167 с.
274. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. / Г.Н. Черкесов // СПб.: Питер, 2005.- 479 с.
275. Черногор С. А. Введение в синергологию и сложные системы моделирования / С. А. Черногор С. А. // М.: Наука, 2008. — 346 с.
276. Шарлай Г.Н. Управление морским судном: учебное пособие / Г.Н.Шарлай // Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. - 509с.

277. Шмельова Т. Ф. Науково-методологічні основи моделювання підтримки прийняття рішень в аеронавігаційній системі [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.13 / Шмельова Тетяна Федорівна ; Нац. авіац. ун-т. - Київ, 2013. - 417, [7] арк. : табл., рис. - Бібліогр.: арк. 332-373.
278. Шостак В.П. Динамическое позиционирование средств океанотехники. / В.П. Шостак // Уч. пособие.-Николаев: УГМТУ, 1998, -128 с.
279. Шостак В.П. Управление судовыми операциями и процессами. Описания и модели. / В.П. Шостак // М: ГЕОС, 2007, -184с
280. Юдин Ю. И. Проблемы обеспечения функционирования, безопасности и качества при эксплуатации судов с динамическими системами управления / Ю. И. Юдин, А. В. Барахта // Вестн. МГТУ : Труды Мурман. гос. техн. ун-та. - 2009. - Т. 12, № 2. - С. 259-262.
281. Юдович А.Б. Анализ столкновений судов /А.Б. Юдович// ЭИ ЦБНТИ ММФ. Сер. Безопасность мореплавания. М.: Транспорт, 1988 – 224с.
282. Яглом А. М. Корреляционная теория процессов со случайными стационарными параметрическими приращениями / А. М. Яглом // Математический сборник. Москва Т. 37. Вып. 1. — 1955.- С. 141—197.
283. American Bureau of Shipping, Guide for Dynamic Positioning Systems. - Houston: ABS, 2016. - 83 p.
284. American Bureau of Shipping, Rules for Building and Classing. Marine vessels. Notices and General Information. - Houston: ABS, 2020. - 25 p.
285. American Bureau of Shipping. Rules for Building and Classing. Marine vessels. Part 3. Hull and Equipment. - Houston: ABS, 2020. - 556 p.
286. American Bureau of Shipping. Rules for Building and Classing. Marine vessels. Part 5. Specific Vessel Types. - Houston: ABS, 2020. - 1239 p.
287. American Bureau of Shipping. Rules for Survey after Construction. -Houston: ABS, 2020. - 671 p.
288. 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.

289. 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.
290. Behal A. Tracking and regulation control of an underactuated surface vessel with nonintegrable dynamics / Behal A., Dawson D. M., Dixon W. E., Fang Y. // IEEE Trans. Autom. Contr. - 2002. - 47, № 3. - P. 495-500.
291. Bellman R. Applied dynamic programming. / R. Bellman, S. Dreyfus // London : Oxford university press, 1962. – 363 p.
292. Bellman R. Dynamic programming and partial differential equations / R. Bellman, E. Angel // New Yourk: Academic press, 1972. -204 p.
293. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling and applications. /R. Bellman A. O. Esogbue I. Nabeshima // ISBN: 9781483137445, Oxford: Pergamon press, 1982. – 344 p.
294. Bijlsma S. J. A computational method in ship routing using the concept of limited manoeuvrability / Bijlsma S. J. // J. Navig. - 2004. - 57, № 3. – P. 357-369.
295. Bonivento C. Fault-tolerant control of the ship propulsion system benchmark / Bonivento C., Paoli A., Marconi L. // Contr. Eng. Pract. - 2003. - 11, № 5. - P. 483-492.
296. Borisov V. G. Construction of integrated navigation systems for control and operator training based on intelligent control methods / Borisov V. G., Danilova S. K., Chinakal V. O. // 12 Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, 23-25 May, 2005. - St. Petersburg: Elektropribor, 2005. - C. 78-81
297. Bray D.J. Dynamic Positioning Operator Training. / The official guide to The Nautical Institute training standards. 2nd edition. - The Nautical Institute, London, 1999. – 37 p.
298. BT-7000 DP Ultra Deep Water Semi Submersible / Basso Technology AB. – Gotheburg, Sweden, 2014. - 4 p.

299. BT-UDS Ultra Deep Water Drill Ship / Bassoe Technology AB. – Gotheburg, Sweden, 2014. - 6 p.
300. Charnes A., Measuring the Efficiency of Decision Making Units/ A. Charnes, W.W.Cooper, E.Rhodes// European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol.2. – p.p. 429-444.
301. Choi I. Time synchronization module for automatic identification system / Choi Il-heung, Oh Sangheon, Choi Dae-soo, park Chan-sik, Hwang Dong-hwan, Lee Sang-jeong // Wuhan Univ. J. Natur. Sci. - 2003. - 8, № 2B. - P. 725-730.
302. Coelli T. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis/ T. Coelli, D.S.Prasada Rao, G.E. Battese.- Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. – p. 275.
303. Dand I. The development and application of a dynamic marine traffic simulator for the assessment of marine risk / Dand Ian, Colwill Richard D. // The Inaugural International Conference on Port and Maritime R and D and Technology "R and D and Technology for Port and Maritime Excellence", Singapore, 29-31 Oct., 2001 : Proceedings. - Singapore: Marit. and Port Author. and Prof. Activ. Cent., 2001. - P. 869-873.
304. Dynamic positioning accreditation and certification scheme standard / The Nautical Institute, London, 2017. – 156 p.
305. Färe, R.- Measuring the Technical Efficiency and Production/ R. Färe, C.A.Knox Lovell// Journal of Economic Theory, 1978. – Vol.19. – p.p. 150-162.
306. Fossen Thor I. Marine Control Systems.- Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, Norway. 2002.- 528 p.
307. 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.

308. 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.
309. 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.
310. Guidelines for the transport and handling of limited amounts of hazardous and noxious liquid substances in bulk / Offshore support vessels // International Maritime Organization, London. – 2017. – 33 p.
311. Hubert F. Dynamic Positioning Systems. Principles. Design and Applications. / Fay Hubert // Editions OPHRYS. 1990.-189 p.
312. Hwang K. 3D collision-free motion based on collision index / Hwang Kao-Shing, Yi Ju Ming // J. Intell. And Rob. Syst. - 2002. - 33, № 1. - P. 45-60.
313. IMCA D 010. Diving Operations from Vessels Operating in Dynamically Positioned Mode. / Rev. 2. – IMCA, London, 2000.- 22 p.
314. IMCA M 103. Guidelines for The Design and Operation of Dynamically Positioned Vessels. / Rev. 1. - IMCA, London, 2007.- 70 p.
315. IMCA M 117 The Training and experience of Key DP Personnel. / IMCA, London, 2006.- 42 p.
316. IMCA M 140. Specification for DP Capability Plots. / Rev. 1. - IMCA, London, 2000.- 13 p.
317. IMCA M 178. FMEA Management Guide. / IMCA, London, 2005.- 16 p.
318. IMCA M 190. Guidance for Developing and Conducting Annual DP Trials Programmes for DP Vessels. / IMCA, London, 2011.- 58 p.
319. IMO MSC Circular 645.Guidelines for vessels with dynamic positioning systems. / IMO, London, 1994.- 22 p.
320. Integrated Vessel Control Systems / User Manual. Revision A1.0-040318, Navis IVCS, 2004 – 123 p.

321. International code on intact stability. International Maritime Organization, London. – 2019. – 160 p.
322. International Ship and Port Facility Security Code and SOLAS Amendments. / International Maritime Organization. IMO Publication. Sales number 1116E. - IMO, London, 2003.- 161 p.
323. McRuer D. Human pilot dynamics in compensatory systems. / D. McRuer, D. Graham, E. Krendel, W. Reizener // Technical report № affdl-tr-65-15, Air force flight dynamics laboratory research and technology division, 1965. – 194 p.
324. Olubitan O. An investigation and statistical analysis into the incidents and failures associated with dynamic positioning systems / O. Olubitan, S. Loughney, J. Wang // Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World. Proceedings of ESREL 2018, June 17-21, 2018, Trondheim, Norway - Taylor & Francis Group, London, UK. – 2018. - P. 79-85.
325. OSV Code. / Code of safe practice for the carriage of cargoes and persons by offshore supply vessels // International Maritime Organization, London. – 2018. – 14 p.
326. Revised MARPOL Annex VI and NOx technical code. / Regulations for the prevention of air pollution from ships // International Maritime Organization, London. – 2019. – 212 p.
327. Shen Z. General fuzzified CMAC-based model reference adaptive control for ship steering using float-encoding genetic algorithm: International Conference on Intelligent Computing (ICIC'05), Hefei, 23-26 Aug., 2005 / Shen Zhipeng, Guo Chen, Li Hui // Trans. Inst. Meas. and Contr. - 2006. - 28, № 1. - P. 37-51.
328. Standard Marine communication phrases. International Maritime Organization, London. – 2005. – 128 p.
329. Szlapeczynska J. Multicriteria Evolutionary Weather Routing Algorithm in Practice / J. Szlapeczynska // TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2013. – Volume 7, Number 1. – P. 61-65.



330. Wald A. Contributions to the Theory of Statistical Estimation and Testing Hypotheses. / A. Wald // Dans *Annals of Mathematical Statistics*. Vol. 10, no 4. – 1939. - P. 299—326.
331. Wald A. Sequential Tests of Statistical Hypotheses. / A. Wald // Dans *Annals of Mathematical Statistics*. Vol. 16, no 2. - 1945. - P. 117-186.
332. Wang F. A new method for ship classification and recognition: [MIPPR 2005: 4 International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition "Image Analysis Techniques", Wuhan, 31 Oct.-2 Nov., 2005] / Zhao Guangzhou, Wang Fei, Zhang Tianxu // *Proc. SPIE*. - 2005. – 6044. – P. 604416/1-604416/8.
333. Yasukawa H. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions / Yasukawa H., Yoshimura Y. // *Journal of Marine Science & Technology*. – 2015. – P. 37–52.

## ДОДАТОК А

### 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 полиэргатической 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 / Материали 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 потокових 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 (MIT-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 // IX 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.

**ДОДАТОК Б**

**Акти впровадження**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Перший проректор Національного  
університету «Одеська морська академія»  
д.т.н., професор

О.М. Шемякін

2020 р.

## А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи  
здобувача Габрука Ростислава Анатолійовича на тему  
«Методологія динамічного програмування безпеки поліергатичного  
управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних  
комплексів» в освітньому процесі університету

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу Пархоменко М.М. та декан судноводійного факультету д.т.н., професор Цимбал М.М., склали цей акт в тому, що результати дисертації здобувача Габрука Ростислава Анатолійовича на тему «Методологія динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів» впроваджені в освітній процес на кафедрі «Управління судном» в дисципліні «Маневрування та управління судном».

Начальник навчального  
відділу

Пархоменко М.М.

Декан судноводійного факультету,  
д.т.н., професор

Цимбал М.М.

# Overseas logistic

65044, Україна, Одеса, вул. Пироговська 7/9, ОКПО: 41002345  
[www.overseaslogistic.net](http://www.overseaslogistic.net)

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Габрука Ростислава Анатолійовича на тему: «Методологія динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів».

Цей акт підтверджує, що в ТОВ «Оверсіз Лоджистік» були ознайомлені та впровадили наступні результати дисертаційної роботи Габрука Р.А.:

1. Методологію динамічного програмування безпеки управління.
2. Математичну модель імовірнісної оцінки безпеки полієргатичного управління.
3. Впроваджено метод аналізу ризиків з паралельним використанням методу Ісікави.
4. Впроваджено метод декомпозиції складних структур на складові різного рівня ієрархії.
5. Впроваджено запропонований Габруком Р. А. метод побудови схем надійності для визначення загроз та їх усунення.

Розробки автора дисертаційної роботи використовуються на практиці та підтвердили свою ефективність.

Директор ТОВ «Оверсіз Лоджистік»

Горішна І.Я.

17.06.2019.



## Акт

Про впровадження результатів дисертаційної роботи Габрука Ростислава Анатолійовича на тему: «Методологія динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів».

Цим актом підтверджується впровадження наступних результатів дисертаційної роботи на т/х «Заміль 508»:

- впроваджена методика оцінки безпеки функціонування технічних систем;
- впроваджено запропоновані Габруком Р.А. схеми надійності для технічних систем;
- впроваджена комп'ютерна програма «Інспектор поліергатичних систем».

Проведена апробація розробок автора підтвердила практичну цінність наукової роботи Габрука Р.А., яку пропонується використовувати на борту для практичної оцінки безпеки навігації.

Використовувати на борту для практичної оцінки безпеки навігації.

Vessel Name: ZAMIL508  
 Official NO: BN7019  
 Call Sign: A9KS  
 IMO NO: 9715098  
 GRT/NRT: 1826/547  
 Flag: BANGLA

В. К. Трубанов

09.11.2017 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результатів дисертаційної роботи на тему: «Методологія динамічного програмування безпеки поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів», виконану Габруком Ростиславом Анатолійовичем.

Цим актом підтверджую, що на т/х "Заміл 505", обладнаним системою динамічного позиціонування другого класу, було введено розроблені Габруком Ростиславом Анатолійовичем комп'ютерну програму "Інспектор поліергатичних систем", а також методику по поверненню поліергатичної системи в безпечний стан при виявленні потенційних загроз. Введено на практиці запропонований Габруком Р.А. комплексний підхід, який використовується для оптимізації несення безпечної вахти при динамічному позиціонуванні.

Капітан т/х "Заміл 505"

22.12.2018



В. Ланс

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результатів дисертаційної роботи Габрука Ростислава Анатолійовича  
на тему: «Методологія динамічного програмування безпеки  
поліергатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій  
техноприродних комплексів»

Цим актом підтверджую, що на т/х "Заміл-53" проекту UT733-2, який обладнано системою динамічного позиціонування другого класу з травня 2018 року, було впроваджено результати дисертаційного дослідження Габрука Р.А. А саме, комп'ютерну програму «Інспектор поліергатичних систем», яка довела на практиці, що є надійним засобом гарантування безпеки динамічного позиціонування.

Також на т/х "Заміл-53" проводяться додаткові роботи з обслуговування технічних систем, які визначено за відповідною методикою.

Розробки автора дисертаційної роботи використовуються на практиці.




Капітан т/х "Заміл-53"

К. Болл

12.08.2018 р.



## ДОДАТОК В

## Класифікація СДП міжнародними класифікаційними товариствами

Таблиця В. 1 - Класифікація СДП

<b>American Bureau of Shipping (ABS)</b>	
DPS-0 (або 1, або 2, або 3)	DPS – знак обладнання СДП самохідного або несамохідного судна. Цифри 0,1,2,3 – вказують на ступень резервування обладнання згідно з правил ABS.
<b>Bureau Veritas (BV)</b>	
До наведених знаків додається один із знаків нагляду за будівництвом судна.	
DYNAPOS	Знак для суден, обладнаних СДП. До цього символу додаються наступні додаткові знаки:
SAM	СДП з ручним керуванням.
AM	Автоматична СДП.
AT	Автоматична система керування судном по заданій траєкторії руху.
R	СДП з резервуванням компонентів (застосовується в поєднанні із знаками DYNAPOS AM і/або AT).
RS	СДП з резервуванням компонентів. Резервовані вузли розташовано в різних відсіках (застосовується в поєднанні із знаками DYNAPOS AM і/або AT).
<b>China Classification Society (CCS)</b>	
DP-1	Судно обладнано автоматичною СДП з незалежним резервним ручним контролем положення судна.
DP-2	Судно обладнано автоматичною СДП з резервуванням у випадку одиничної відмови.
DP-3	Судно обладнано СДП з резервуванням у випадку одиничної відмови, включаючи пожежу або затоплення одного з відсіків.
<b>Indian Register of Shipping (IRS)</b>	
GS(KK)	Судно обладнано СДП з централізованим ручним дистанційним контролем збереження положення судна.
GS(SK)	Судно обладнано СДП з автоматичним контролем збереження положення судна з ручним резервуванням.
GS(SS)	Судно обладнано СДП з автоматичним контролем збереження положення судна з автоматичним резервуванням.
<b>Korean Register of Shipping (KR)</b>	
DPS(0), (або 1, або 2, або 3)	Судно обладнано СДП. Цифри 0, 1, 2, 3 вказують на ступінь резервування обладнання згідно з правил KR.

Продовження таблиці В. 1

<b>Lloyd's Register of Shipping (LR)</b>	
DP	Знак для суден, обладнаних СДП. Вводиться в знак класу механічної установки.
DP(CM)	Судно обладнано централізованим ручним дистанційним керуванням системою позиціонування, системою визначення положення судна і датчиками визначення зовнішніх характерних параметрів.
DP(AM)	Судно обладнано автоматичним і резервним ручним керуванням системою позиціонування, системою визначення положення судна і датчиками визначення зовнішніх характерних параметрів.
DP(AA)	Судно обладнано згідно зі знаком DP(AM), але резервне управління системою позиціонування-автоматичне.
DP(AAA)	Судно обладнано автоматичними основним, резервним і аварійним керуванням системою позиціонування. Обладнання аварійного керування розміщено в окремому приміщенні. Є система визначення положення судна і датчики визначення зовнішніх характерних параметрів.
PCR...	Додатковий знак, що може додаватися до вищенаведених. Визначається відповідно до правил, означає "Performance Capability Rating", відображає у відсотках час, в якому судно здатне утримуватися на заданому місці і на заданому курсі при стандартних (обумовлених в правилах) зовнішніх умовах.
<b>Nippon Kaiji Kyokai (NK)</b>	
DPS A	Судно обладнано СДП класу А.
DPS B	Судно обладнано СДП класу В.
<b>Registro Italiano Navale (RINA)</b>	
До наведених знаків додається один із знаків нагляду за будівництвом судна.	
DYNAPOS	Знак для суден, обладнаних СДП. До цього символу додаються наступні додаткові знаки:
SAM	СДП з ручним керуванням.
AM	Автоматична СДП.
AT	Автоматична система керування судном по заданій траєкторії руху.
R	СДП з резервуванням компонентів.
RS	СДП з резервуванням компонентів. Резервовані вузли розташовано в різних відсіках.
<b>Russian Maritime Register of Shipping (RS)</b>	
DYNPOS-1 (або - 2, або -3)	Судно обладнано СДП. Цифри 1, 2, 3 вказують на ступінь резервування обладнання згідно з правил RS.

Кінець таблиці В. 1

<b>Shipping Register of Ukraine (PY)</b>	
DP1	СДП із мінімальним резервуванням.
DP2	СДП має резервування, яке забезпечує утримання РОВТ над заданою відповідною координатою позиціонування за умови одиначної відмови, що відбулася у будь-якому активному елементі СДП.
DP3	СДП має резервування, яке забезпечує утримання РОВТ над заданою відповідною координатою позиціонування в умовах одиначної відмови активних і пасивних елементів СДП у можливих сценарних варіантах, які визначено в правилах.

## ДОДАТОК Г

## Схеми функціональної стійкості рухомого об'єкту водного транспорту

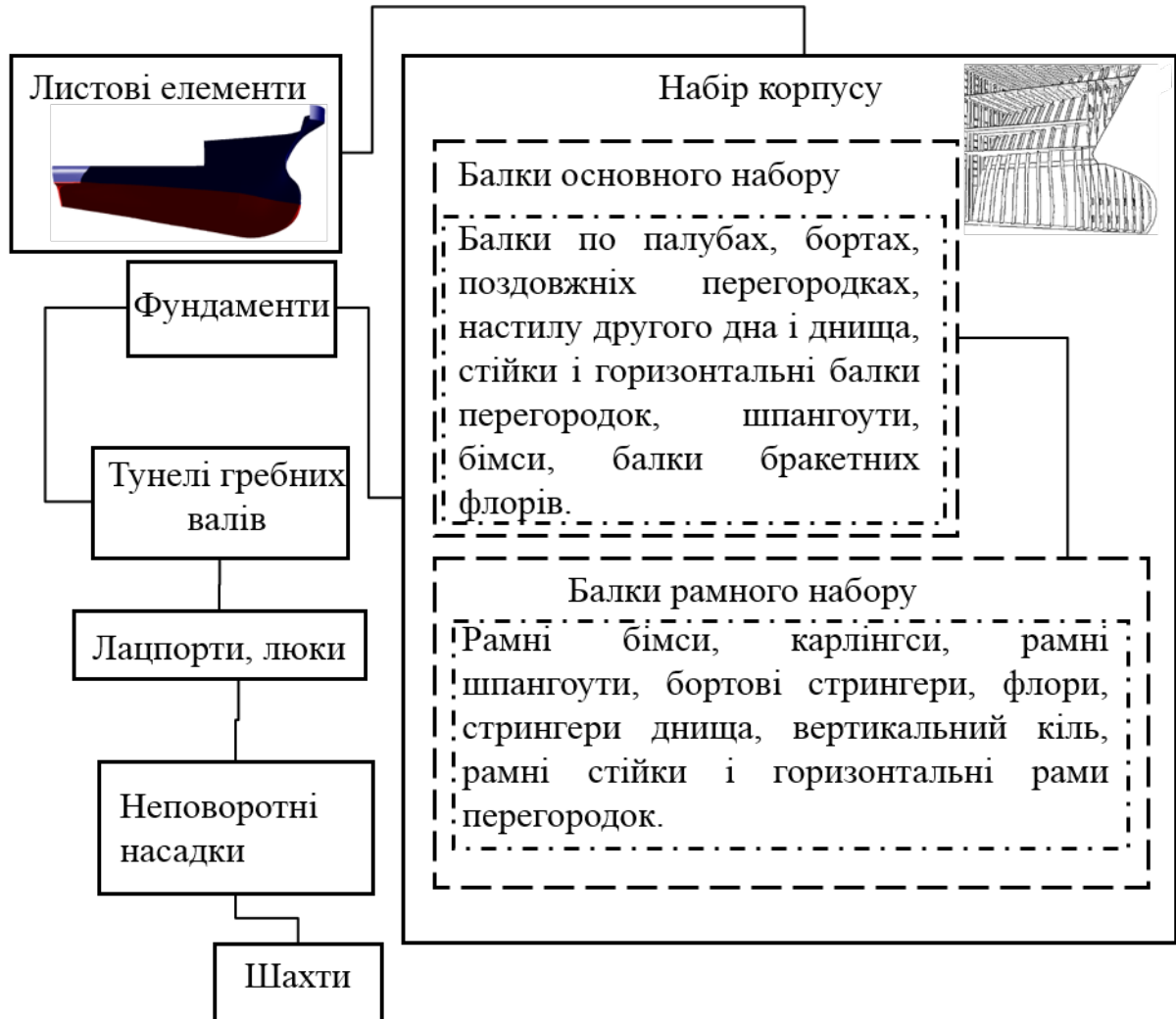


Рисунок Г.1 - Схема функціональної стійкості системи корпусу РОВТ

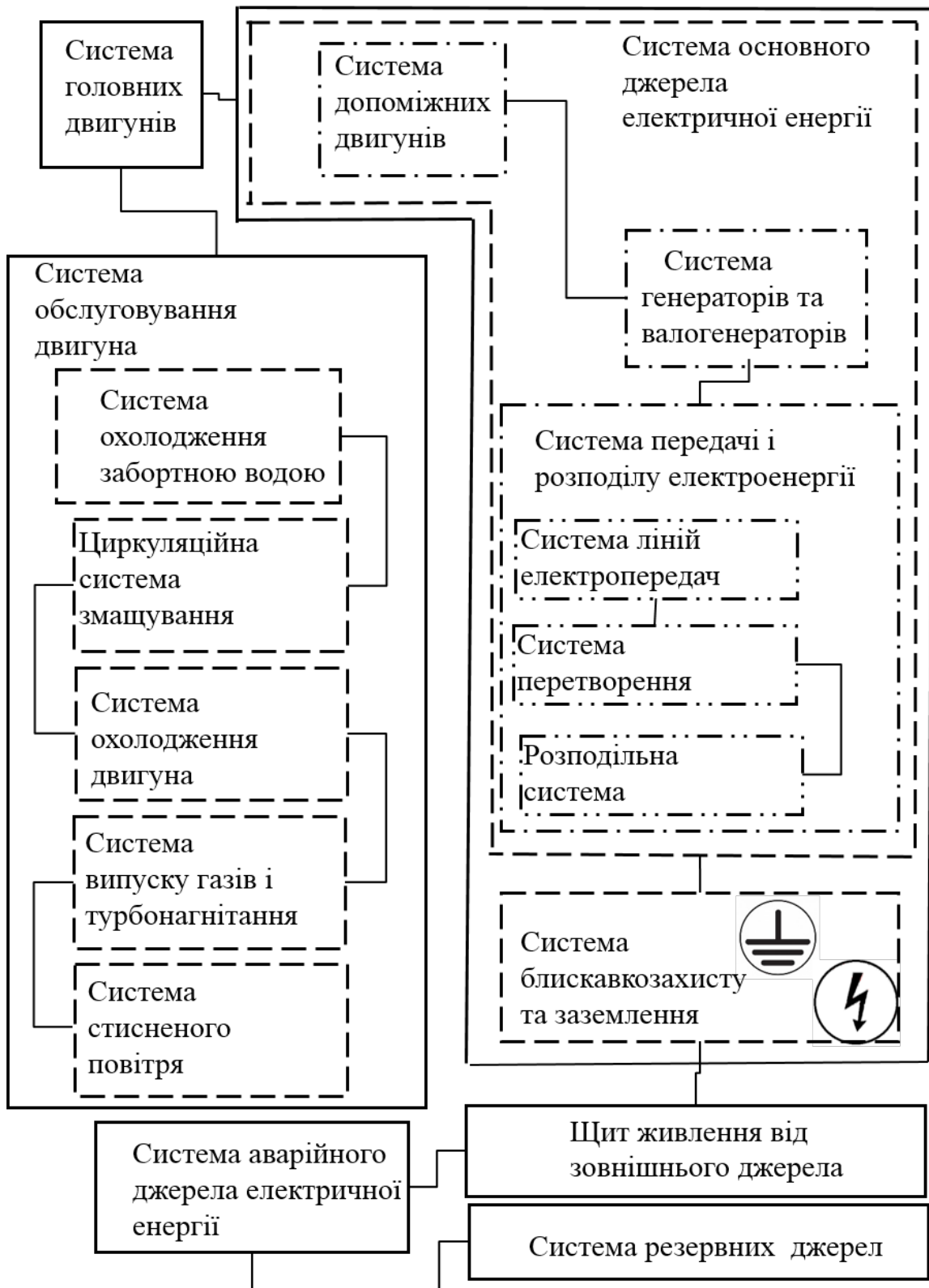


Рисунок Г.2 - Схема функціональної стійкості енергетичної системи РОВТ



Рисунок Г.3 - Схема функціональної стійкості системи надбудов РОВТ



Рисунок Г.4 - Схема функціональної стійкості системи блискавкозахисту та заземлення



Рисунок Г. 5 - Схема функціональної стійкості аварійного джерела електричної енергії

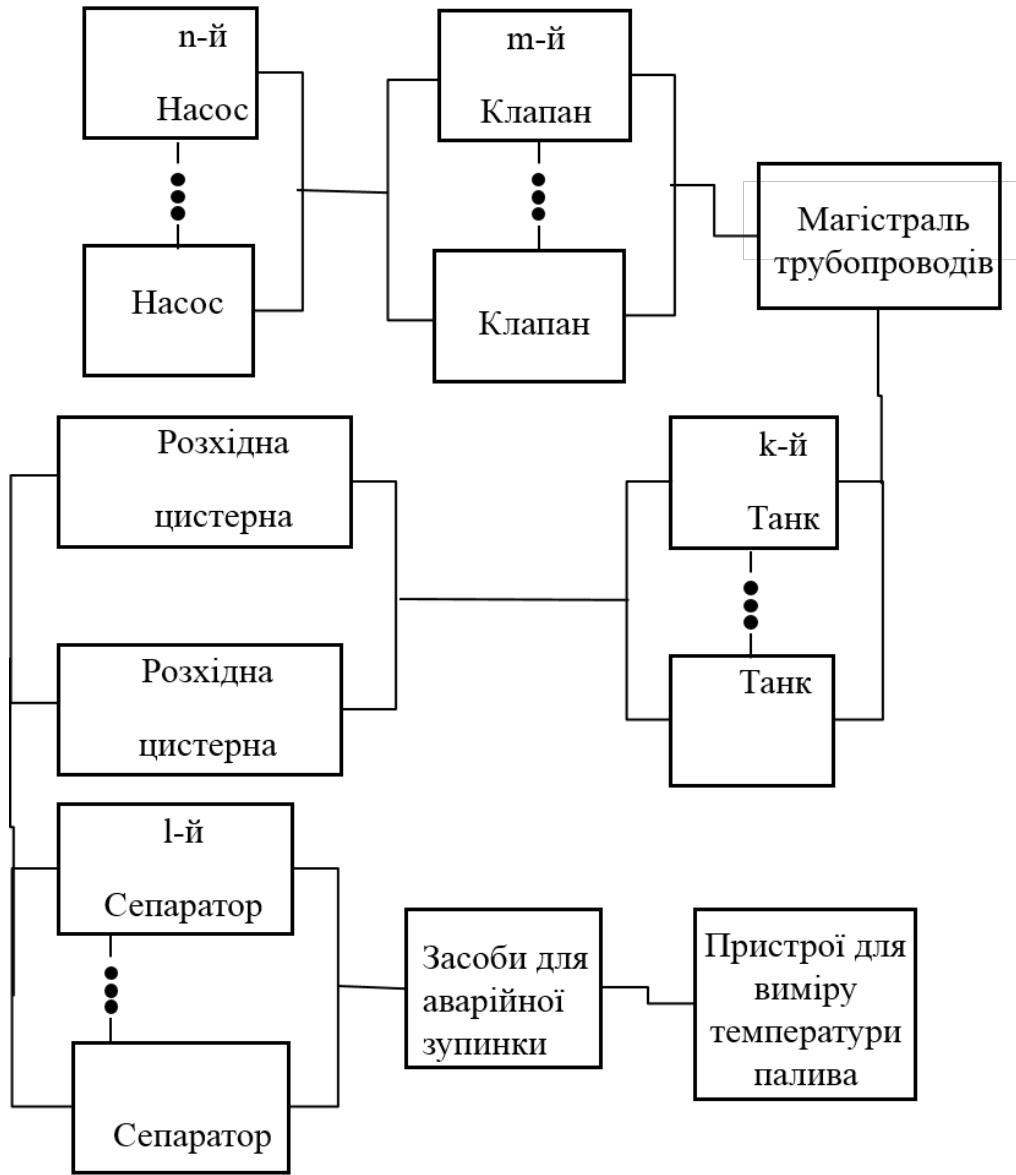


Рисунок Г.6 - Схема функціональної стійкості паливної системи

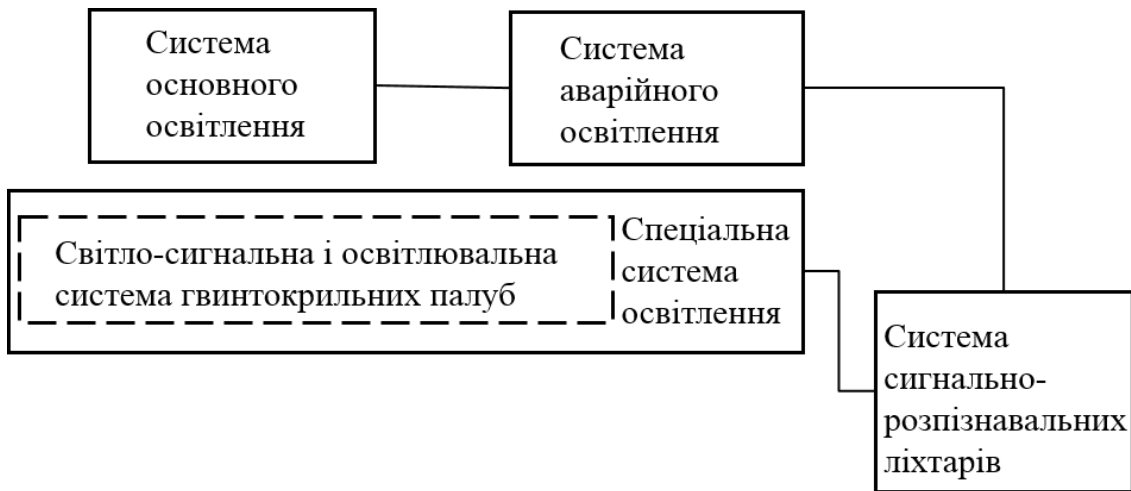


Рисунок Г. 7 - Схема функціональної стійкості системи освітлення





Рисунок Г.8 - Схема функціональної стійкості світло-сигнальної і освітлювальної системи гвинтокрильних палуб рухомого об'єкту водного транспорту

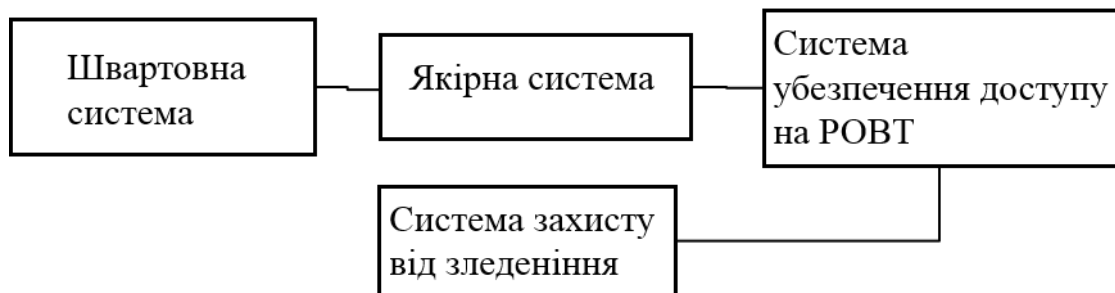


Рисунок Г.9 - Схема функціональної стійкості комплексу допоміжних систем РОБТ

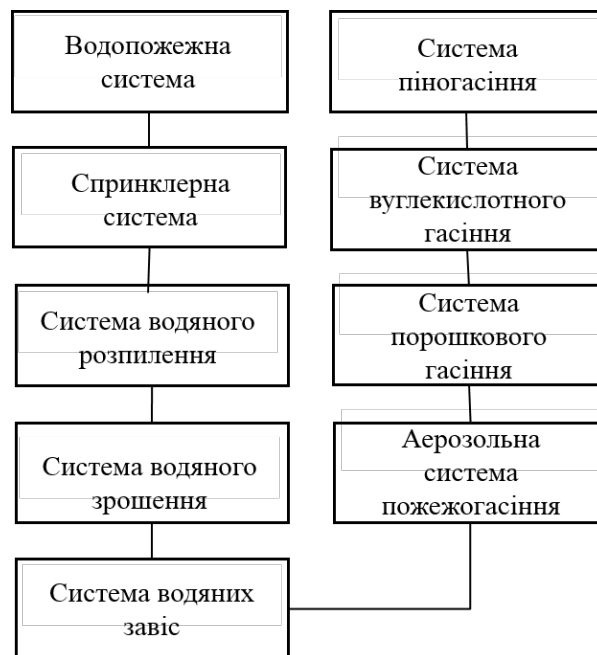


Рисунок Г. 10 - Схема функціональної стійкості системи пожежогасіння

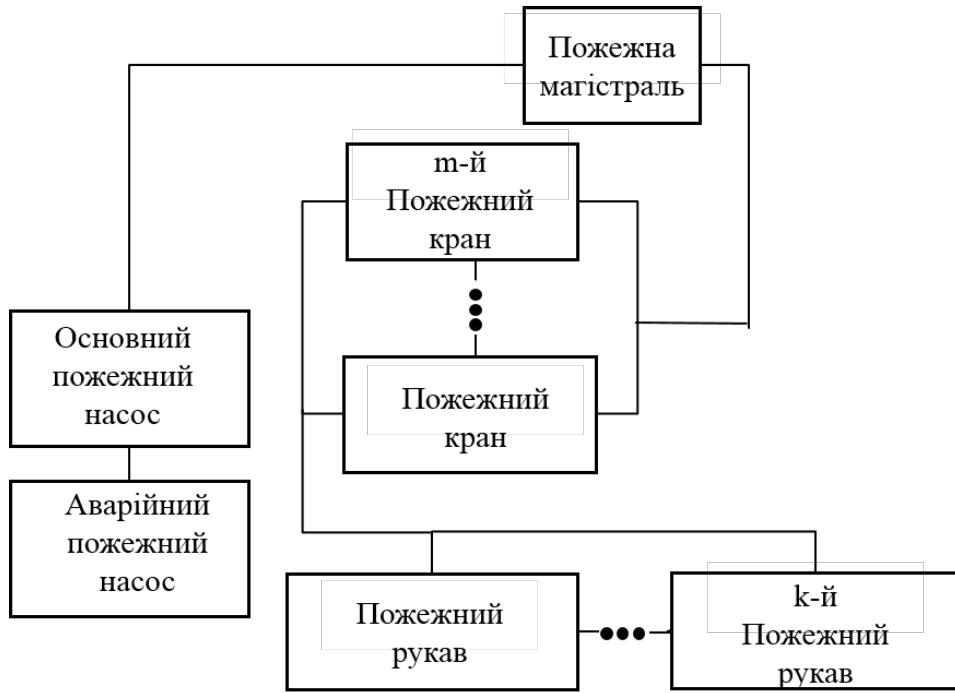


Рисунок Г.11 - Схема функціональної стійкості стаціонарної водопожежної системи

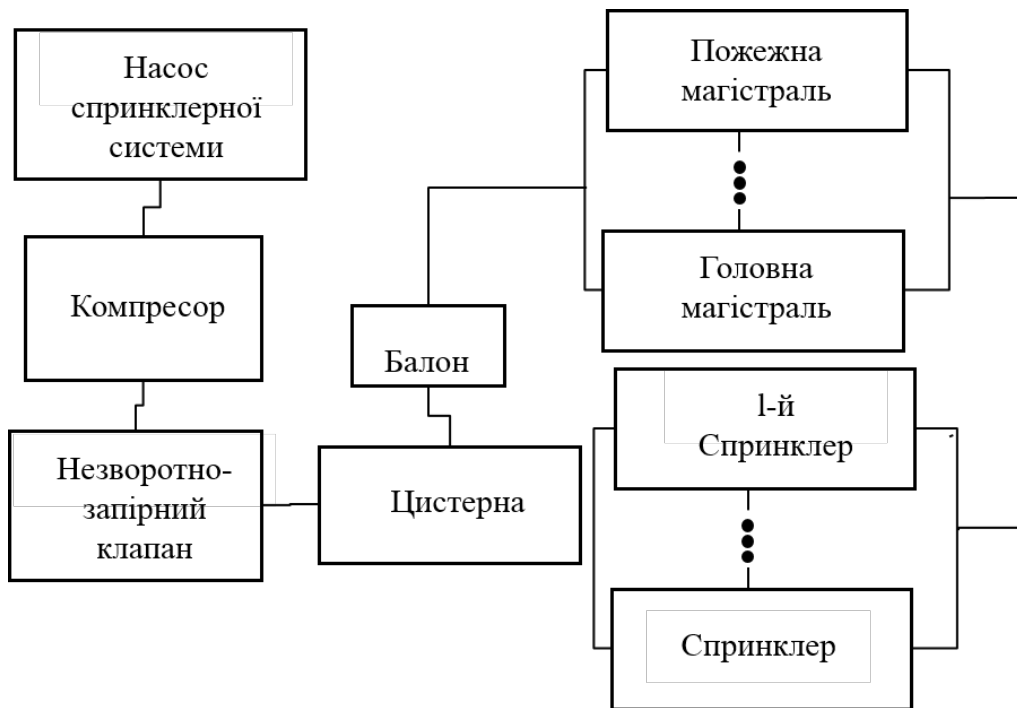


Рисунок Г.12 - Схема функціональної стійкості стаціонарної спринклерної системи

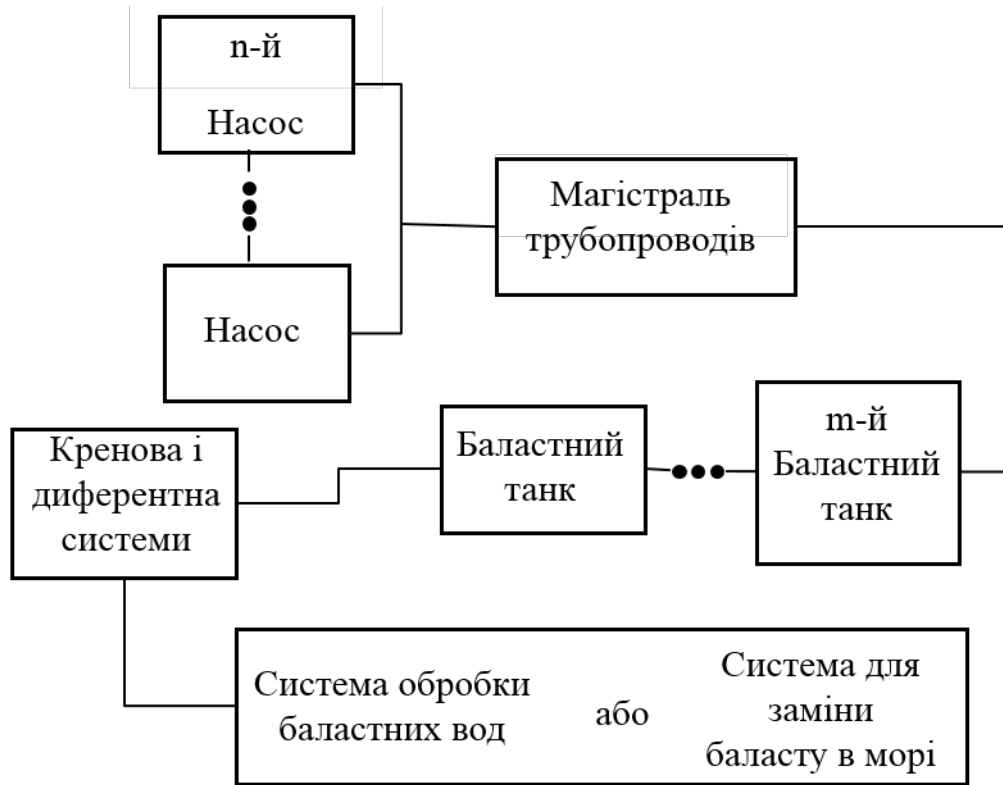


Рисунок Г. 13 - Схема функціональної стійкості баластної системи

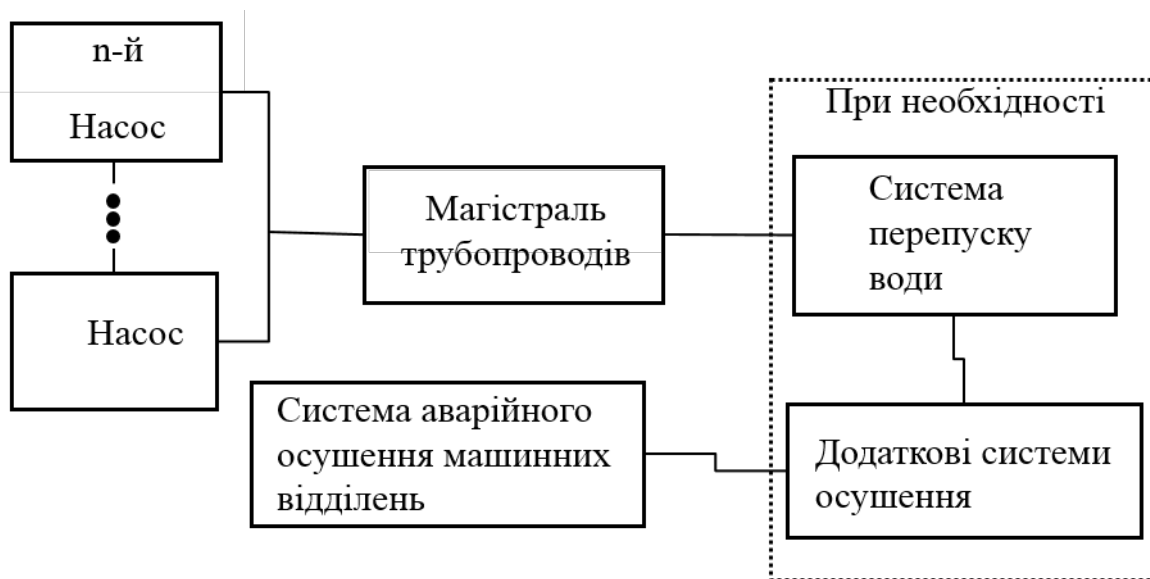


Рисунок Г.14 - Схема функціональної стійкості осушної системи

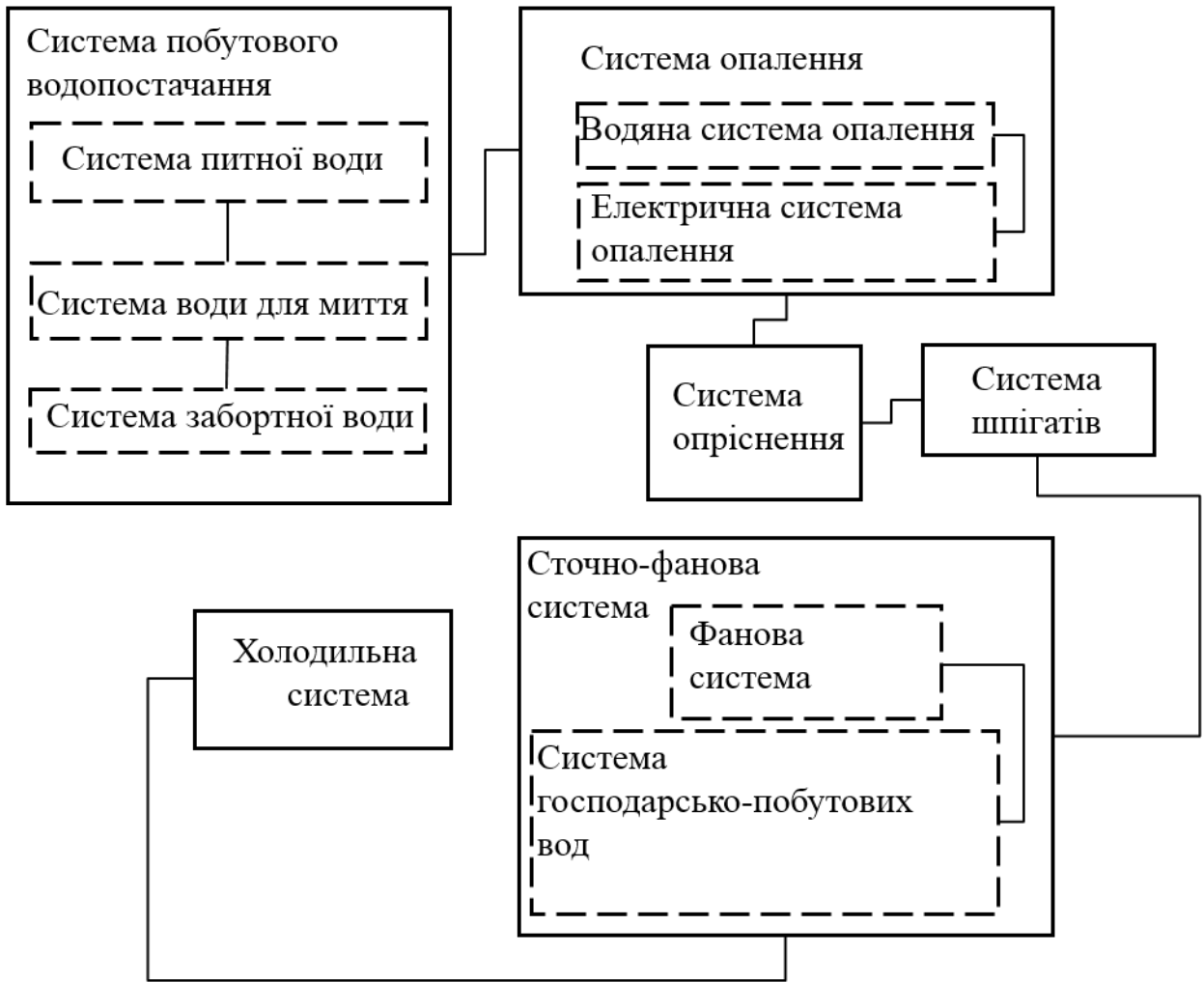


Рисунок Г.15 - Схема функціональної стійкості санітарно-побутової системи



Рисунок Г.16 - Схема функціональної стійкості системи вентиляції

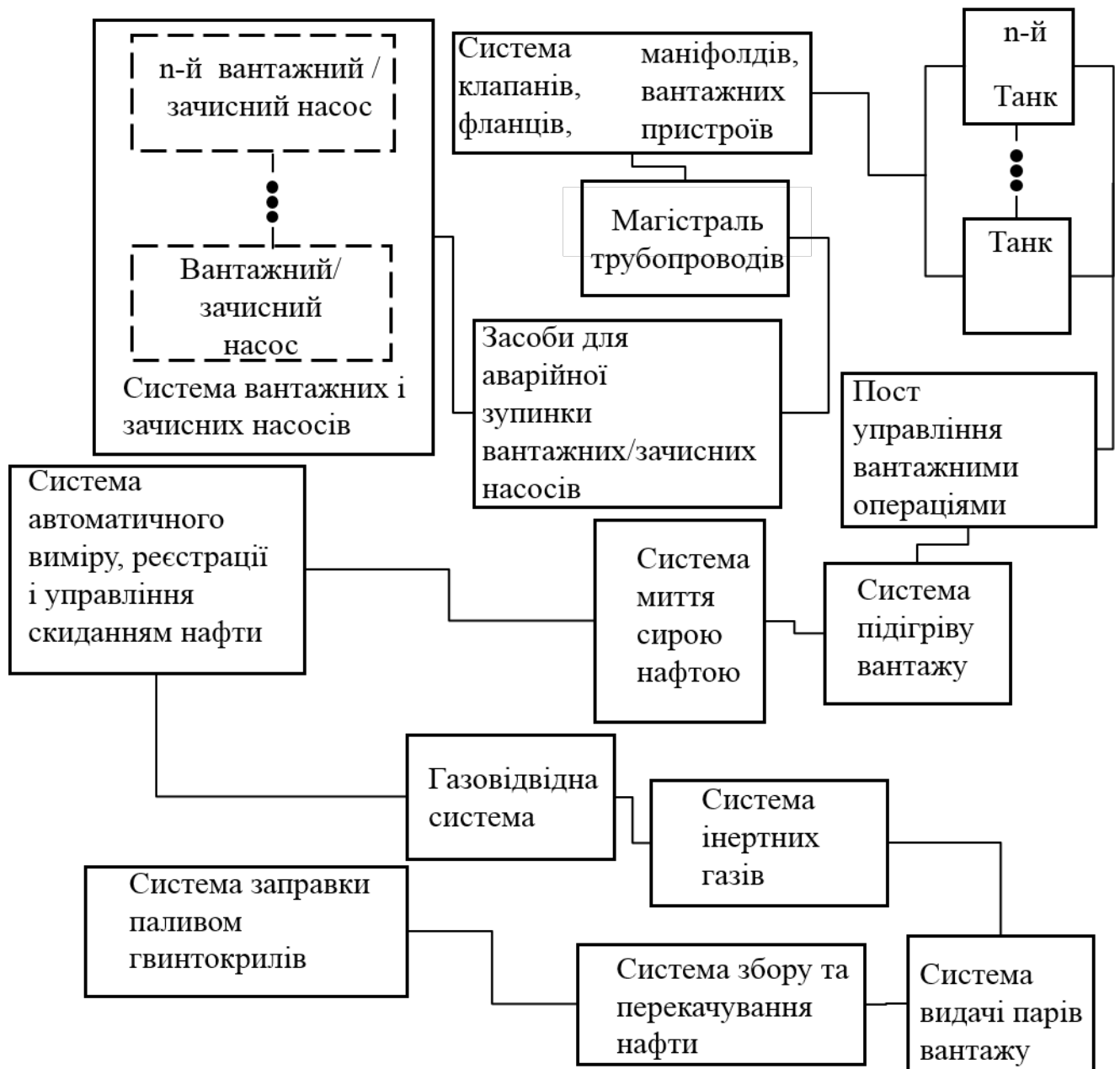


Рисунок Г.17 - Схема функціональної стійкості спеціалізованої вантажної системи

Можна встановити взаємозв'язок між системою вантажних/зачисних насосів і системою миття сировою нафтою. Позначимо такий зв'язок відповідним штрихом (точками) на схемі функціональної стійкості системи миття сировою нафтою.

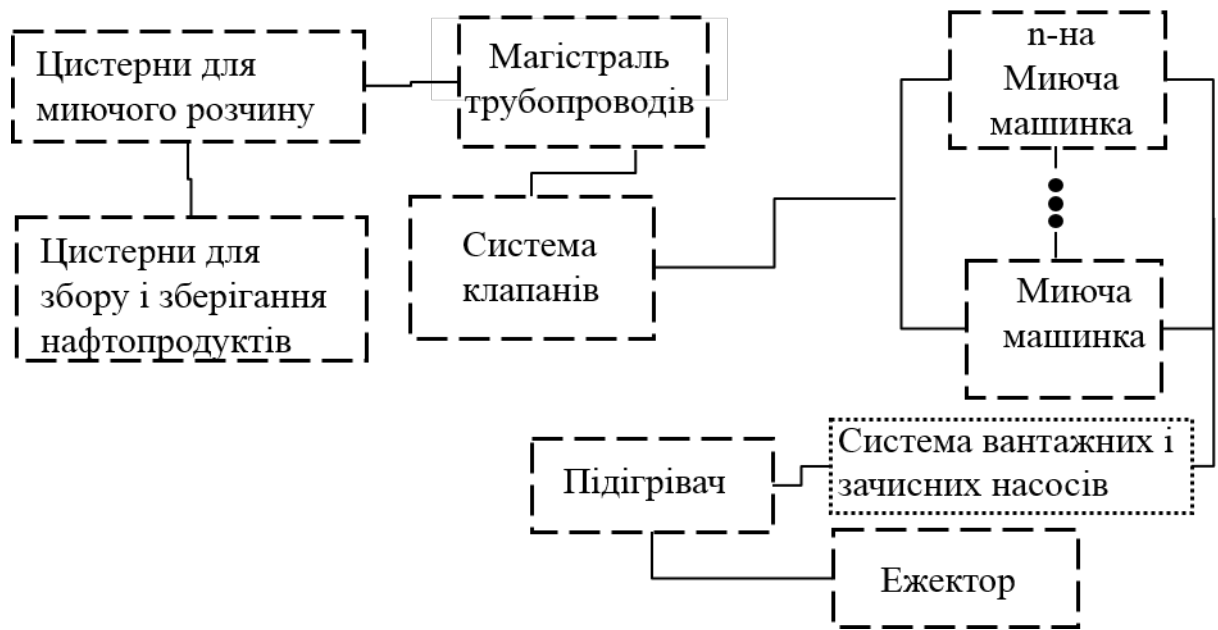


Рисунок Г.18 - Схема функціональної стійкості функціонування системи миття танків сировою нафтою



Рисунок Г.19 - Схема функціональної стійкості функціонування системи автоматичного виміру, реєстрації і управління скиданням нафти з урахуванням функції СЛВ

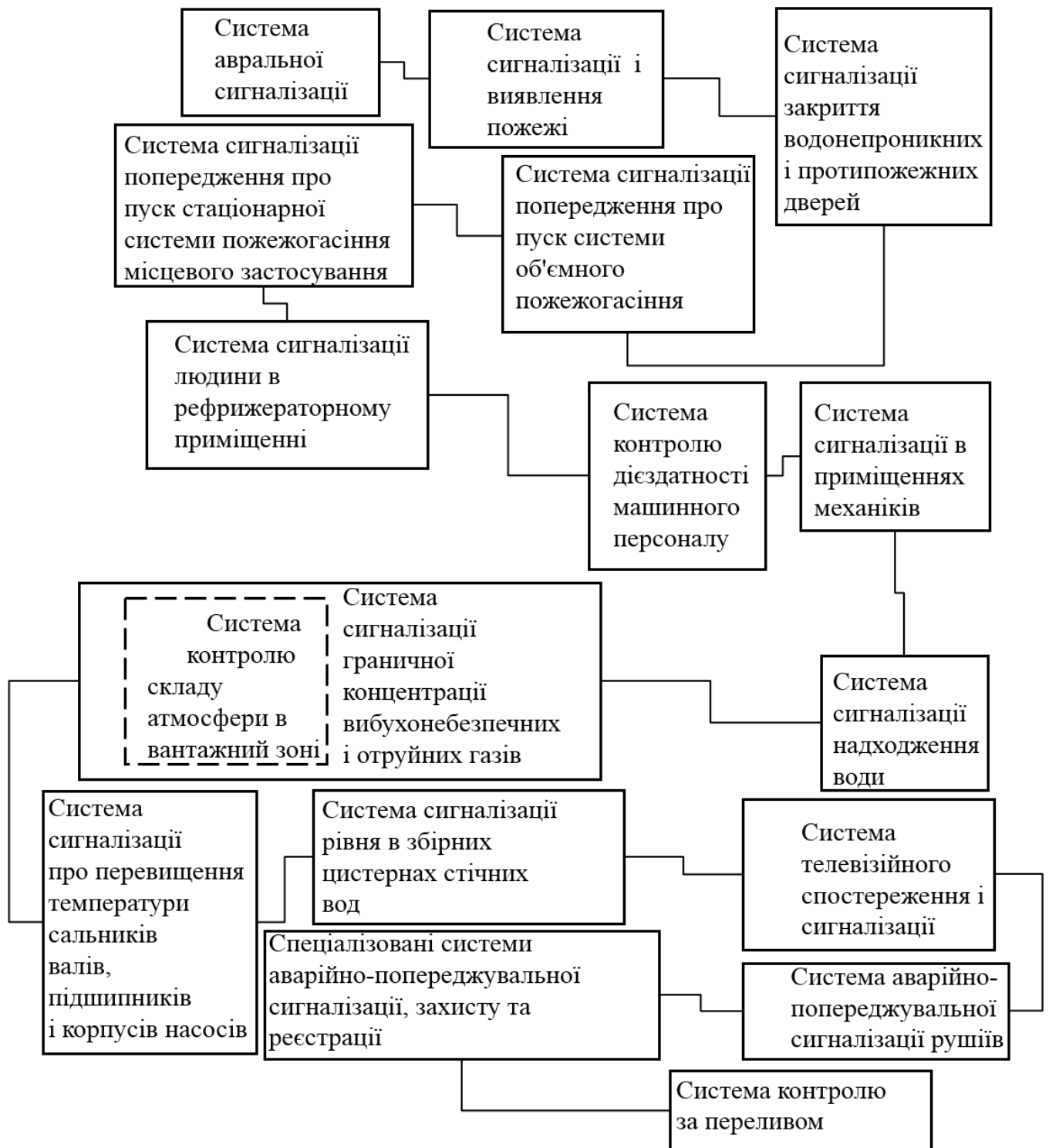


Рисунок Г.20 - Схема функціональної стійкості системи аварійно-попереджувальної сигналізації, захисту та реєстрації



Рисунок Г.21 - Схема функціональної стійкості системи сигналізації і виявлення пожежі



Рисунок Г.22 - Схема функціональної стійкості системи телевізійного спостереження і сигналізації



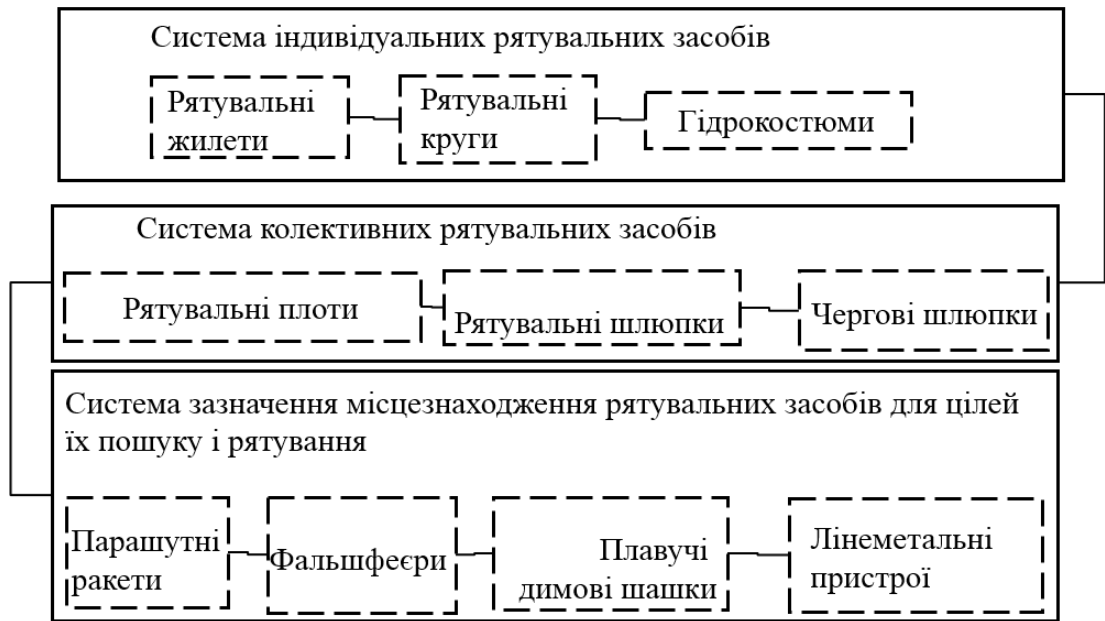


Рисунок Г.23 - Схема функціональної стійкості комплексу рятувальних засобів і сигнальних пристроїв

**ДОДАТОК Д**  
**Характеристики судна проекту UT 733-2**

Таблиця Д 1 – Загальні характеристики ТБС проекту UT 733-2

№	Назва	Значення
1	Довжина найбільша	65 м
2	Ширина	14 м
3	Брутто реєстровий тоннаж	1574 р.т.
4	Нетто реєстровий тоннаж	513 р.т.
5	Водотоннажність	3365 т
6	Дедвейт	1855 т
7	Лебідка (2 барабани)	1 шт
8	Допоміжні лебідки	2 шт
9	2 двигуни Bergen C25:33L9D	7200 л.с.
10	Підрулюючі пристрої	2 шт
11	Потужність приводного двигуна підрулюючого пристрою	815 кВт
12	Якір	2 шт
13	Брашпиль	1 шт
14	Буксирувальні піни (tow pins)	1 пара
15	Пристрій затискання буксирного тросу типу “shark jaw”	1 шт
16	Автономність	30 діб

Таблиця Д. 2 – Обладнання навігаційного містка ТБС проекту UT 733-2

№	Назва	Кількість
1	АРМ ОСДП Rolls-Royce	1
2	Комп'ютер СДП, Rolls-Royce	2
3	ДП станція з RRAS монітором JH 19", процесором в середині консолі, інтегрованими пристроями вводу інформації, Rolls-Royce ICON DP	2
4	ДП пристрій вводу (в кріслі), Rolls-Royce	1
5	ДП трекбол (в кріслі)	1
6	ДП панель-ПК 10,4"10,4" (в кріслі)	1
7	Перемикач режимів керування РОВТ	1
8	ДП Принтер, HP Laser Jet	1
9	Окремий портативний джойстик, Rolls-Royce	1
10	Станція підключення джойстика, Rolls-Royce Marine T101	1
11	Система CyScan	1
12	Система DPS-110	1
13	Система Radius	1
14	Система визначення напрямку та швидкості вітру	3
15	Датчик вертикальної орієнтації, Kongsberg	3
16	Гірокомпас	3
17	джерело безперебійного живлення СДП	2
18	RRAS блок сигналізації, Rolls-Royce Automation	2
19	ECDIS, Transas	1
20	Радар, FURUNO	2
21	Доплерівський лаг, JRC NWZ-164	1
22	Блок керування навігаційними вогнями	1
23	Авторульовий, JRC	1
24	Магнітний компас	1
25	Репітер гірокомпаса з можливістю вимірювання пеленга (на крилі)	1
26	Репітер гірокомпасу, JRC AR78	2
27	Репітер доплерівського лагу, JRC NWW-25	1
28	Ехолот, JRC	1
29	Репітер ехолоту, JRC NWW-58	1
30	Блок відображення обертів рушіїв, Rolls-Royce Engine	2

## Продовження таблиці Д. 2

31	Блок відображення керування рушіями Rolls-Royce Engine	1
32	Блок аварійної зупинки рушіїв Rolls-Royce Propulsion, Unit 40-2	1
33	Ручки керування азимутальними рушіями, Rolls-Royce Propulsion Unit 40	4
34	Блок керування головним рушійним комплексом, дисплей 10,4" РК, Rolls-Royce Propulsion, Unit 40	2
35	Ручки керування ПП (в кріслі), Rolls-Royce Propulsion Unit 40	2
36	Блок індикації ПП та азимутальних рушіїв, RRM Helicon UN 61, UN 41	2
37	Ethernet-комутатор, RRM UN20	1
38	Машинний телеграф, Rolls-Royce Marine MT1-144	2
39	Блок вмикання світла магнітного компасу, RRM 158	1
40	Прожектор носовий Kukdong Elecom	1
41	Прожектори кормові Kukdong Elecom	2
42	Сигнальний прожектор з можливістю подання сигналів азбукою Морзе	2
43	Блок подання загальної тривоги	1
44	Блок подання пожежної тривоги	1
45	Тифон Rolls-Royce Automation	1
46	Блок сигналізації госпіталю та морозильних камер	1
47	Крісло АРМ керування лебідкою, Rolls-Royce Deck Mach	1
48	Панель керування затискного пристосування та буксирних пінів, Rolls-Royce Deck Mach 51B	1
49	Пристрій контролю натягу, Rolls-Royce Deck Mach	1
50	Блок керування лебідкою, Rolls-Royce Deck Mach 51	1
51	Блок керування балковою системою Rolls-Royce	1
52	Блок аварійної зупинки насосів, Rolls-Royce Automation	1
53	Блок керування пожежним обладнанням, FSS WxH	1
54	Джойстик керування пожежними стволами, KVAEVER	1

## Продовження таблиці Д. 2

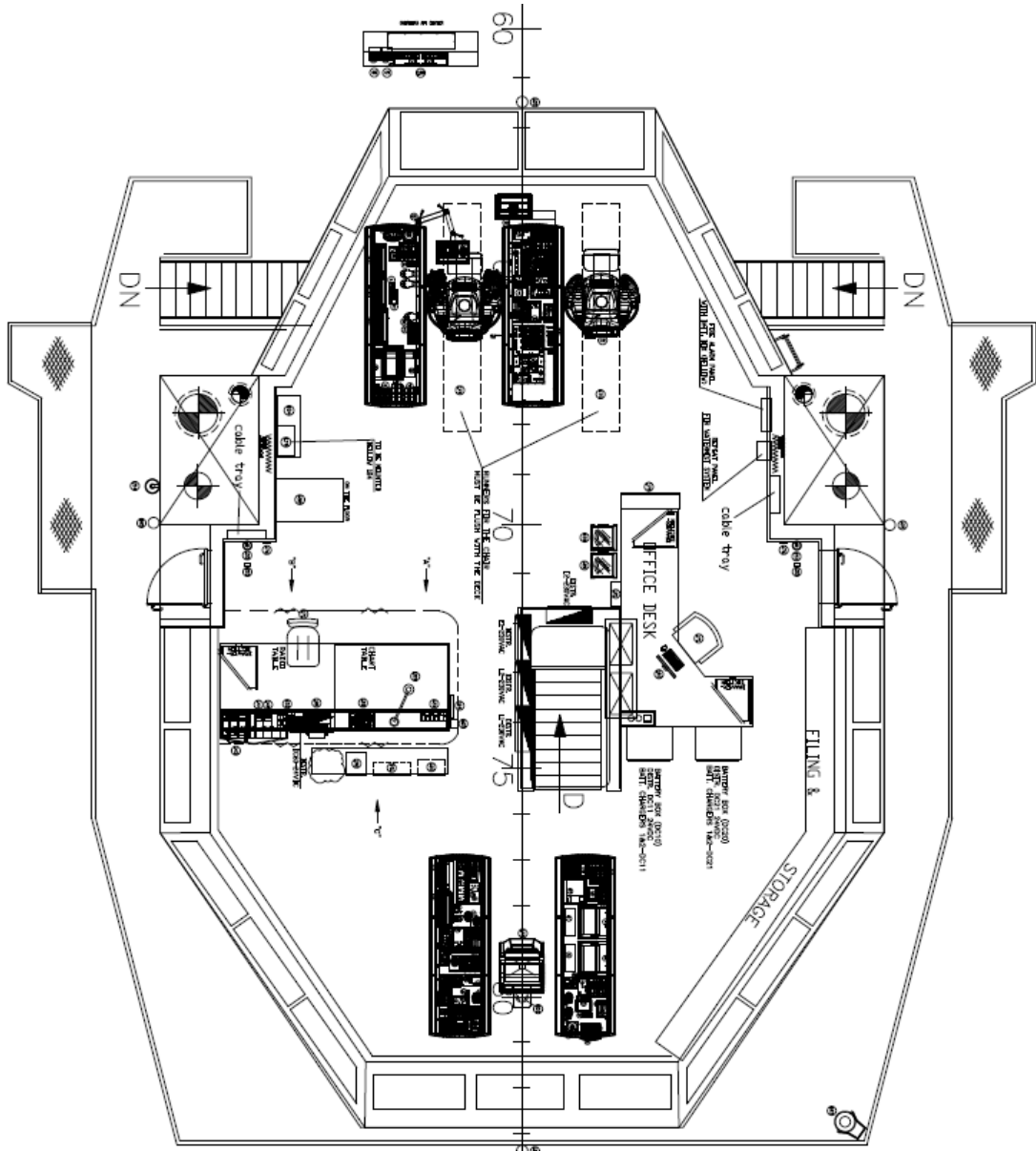
55	Станція підключення джойстика керування пожежними стволами, KVAEVER EF201E	2
56	Блок керування системою виявлення та сигналізації щодо наявності сірководню, RRM	1
57	Блок аварійного закриття клапанів, Rolls-Royce Marine	1
58	Блок керування брашпилем, Rolls-Royce Marine	1
59	Блок вмикання точкового світла, Rolls-Royce Marine	1
60	Блок керування подаванням води, повітря, Rolls-Royce Automation	2
61	Блок керування склоочищувачем, Jung-A Marine Series 804	2
62	Блок керування пожежних та осушувальних насосів, Rolls-Royce Automation	3
63	Блок керування зовнішнім освітленням, Rolls-Royce Automation	1
64	Блок аварійної зупинки вентиляції відсіків, Rolls-Royce Automation	1
65	Блок керування водонепроникними дверима та сигналізації, Sun international Co.,Ltd	1
66	Блок розподілення сигналів керування водонепроникними дверима та сигналізації	1
67	Блок індикаторів звукових сигналів від датчиків водонепроникних дверей.	4
68	Блок запуску та зупинки брашпиля, шпилів, допоміжних лебідок, Rolls-Royce Marine	3
69	BWNAS, Rolls-Royce Marine UN923	1
70	Пристрій внутрішнього зв'язку, Zenitel VMP-603	1
71	Телефон внутрішнього зв'язку, Zenitel VMP 430/221	2
72	Система набору номерів внутрішнього зв'язку, Rolls-Royce Automation	1
73	Телефон, Vingtor VSP-213A	1
74	Система набору номерів внутрішнього телефонного зв'язку	1
75	Гучномовець, Zenitel VMP-603	1
76	Телефон, Zenitel VSP 211-L	1

## Кінець таблиці Д. 2

77	АІС прийомопередавач, Furuno FA-100	1
78	УКВ / ЦВВ радіостанція, Sailor RT 5022	2
79	ПВ/КВ / ЦВВ Приймач, Furuno DSC-60	1
80	ПВ/КВ радіостанція, Furuno, FS-1562/15	1
81	ПВ/КВ трубка, Furuno, HS-600	1
82	Блок заряджання батареї, Furuno BC-6158-SS/6200	1
83	ГМЗЛБ блок живлення, Furuno PR-850A	1
84	ГМЗЛБ блок живлення, Furuno PR-300	1
85	STD C terminal unit, Furuno IB-581	1
86	STD C call unit, Furuno IC-303	1
87	STD C printer unit, Furuno PP-510	1
88	STD C distress alert unit, Furuno IC-302	1
89	STD C communication unit, Furuno IC-212	1
90	SSAS Unit, Simrad	1
91	Демодулятор INMARSAT, Simrad FUGRO 3510LR	1
92	Портативна УКВ радіостанція (ГМЗЛБ)	3
93	Портативна УКВ радіостанція	4
94	SART	2
95	EPIRB	1
96	Приймач НАВТЕКС, FURUNO	1
97	Приймач факсимільних карт погоди, FURUNO	1

## ДОДАТОК Е

План навігаційного містка судна проекту UT 733-2 з постами керування збудованим рухом



**ДОДАТОК Ж**  
**Авторське свідоцтво та патент**



**УКРАЇНА**



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

**СВІДОЦТВО**  
про реєстрацію авторського права на твір

**№ 64517**

**Комп'ютерна програма "Інспектор полізргатических систем"**  
(вид, назва твору)

**Автор(и) Габрук Ростислав Анатолійович**  
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

**Дата реєстрації** 14.03.2016

 Голова Державної служби інтелектуальної власності України  
**В.о. Голови А.А. Малиш**



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 127695

КОМПЛЕКСНИЙ ТРЕНАЖЕР ОПЕРАТОРА ПОВІТРЯНОГО  
СУДНА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.08.2018**.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України

*M.I. Titarchuk*  
М.І. Тітарчук

