

ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Годованюк Сергій Петрович

УДК 658:355.588.2 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ Й МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИМИ
ОПЕРАЦІЯМИ НА МОРІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

05.13.03 – Системи і процеси керування

15 – Автоматизація і приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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



Годованюк С. П.

Науковий керівник Селіванов Станіслав Євгенович, доктор технічних наук,
професор

Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

Годованюк С. П. Моделі й методи управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи і процеси керування». Підготовлена в Херсонській державній морській академії, подана до захисту в Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

У дисертації вирішено актуальну науково-практичну задачу розроблення моделей і методів управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення оперативності управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності через скорочення часу на подолання відстані між рятувальними засобами (авіаційними або морськими) та судном, що потерпає лихо.

Визначено, що забезпечення оперативності управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах раптового виникнення аварійних ситуацій є однією з найбільш перспективних дослідницьких задач в області безпеки судноплавства, розв'язання якої дозволяє значно розширити функціональні можливості та підвищити загальну якість управління.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження розроблено концепцію управління процесом ПРМ, основою реалізації якої є моделі й методи, що забезпечують багаторівневе управління скороченням часу на подолання відстані між рятувальними та аварійним суднами.

Наведено математичний опис моделі системи «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» як динамічної системи управління процесом ліквідації аварії та її наслідків.

Показано, що скорочення часу на подолання відстані між рятувальним і аварійним суднами, забезпечується оптимізацією вибору відповідно до обстановки, що склалася на морі, методу їх зближення та часу обробки інформації

і прийняття рішення. Описано ієрархічну інтегровану схему управління процесом пошуку і рятування аварійного судна та людей, що потрапили в результаті аварії у воду.

Кількісним показником оперативності управління процесом ПРМ, обрано час, що витрачається на успішне виконання операції порятунку людей з води, аварійного судна та майна в результаті аварійної події.

Запропоновані в дисертаційній роботі методи й підходи, використані під час виконання науково-дослідної роботи кафедри судноводіння і безпеки життєдіяльності на морі в Херсонській державній морській академії за темою: «Підвищення ефективності керування єдиною системою пошуку і рятування на морі в Україні» (державний реєстраційний номер 0116U006308), у якій здобувач був виконавцем.

Результати досліджень запроваджено й підтверджено актами:

– у перспективну програму підвищення ефективності навчально-методичного центру цивільного захисту і безпеки життєдіяльності Херсонської області;

– у роботу служби капітана Херсонського морського порту з питань теоретичної й практичної підготовки осіб керівного складу й фахівців з подальшим розвитком навчання з питань керування, організації, планування, досягнення злагодженості зі службами «Дельта-лоцман» і морського аварійно-рятувального загону;

– у навчальний процес Херсонської державної морської академії.

Ключові слова: структура, система, управління, час, модель, метод, пошук, рятування, успішність.

ANNOTATION

Godovaniuk S. P. Models and methods of controlling search and rescue operations at sea in the conditions of uncertainty. – Manuscript.

Scientific thesis for the Candidate Degree in Technical Sciences (Ph.D.), specialty 05.13.03 «Systems and Processes of Control». It has been prepared at Kherson

State Maritime Academy and submitted for defense at National Aviation University, Kyiv, 2019.

The actual and scientific task of developing models and methods for controlling search and rescue operations at sea in conditions of uncertainty has been solved in the thesis.

The purpose of the dissertation research is increasing the efficiency of controlling search and rescue operations at sea in the conditions of uncertainty by reducing the time to overcome the distance between the rescue facilities (aviation or marine) and the ship which is in distress.

It is determined that providing efficiency of controlling search and rescue operations at sea in the conditions of unexpected emergency situations is one of the most perspective research tasks in the field of navigation safety. This allows to significantly expand the functionality and improve the quality of control.

To achieve the aim of the dissertation research, a concept of controlling search and rescue process at sea based on models and methods that provide multilevel control of time reduction to overcome the distance between rescue ship and the vessel which is in distress has been developed.

The mathematical description of the model "search and rescue service – ship – crew – external conditions – unusual situation" system as a dynamic system of controlling the accident liquidation process and its consequences is given.

It is shown that time reduction to overcome the distance between the rescue ship and the vessel in distress is provided by the efficiency of the choice according to the current situation at sea, the method of their approaching and the time for data processing and decision making. Hierarchical integrated scheme for controlling search and rescue process of an emergency ship and people who got into the water due to the accident has been described.

The time spent for successful completion of the operation to rescue people from the water, vessel in distress and the property in an emergency situation has been identified as a numerical indicator.

The methods and approaches proposed in the dissertation have been used during

the scientific and research work of the Department of Navigation and Safety of Life at Sea at Kherson State Maritime Academy on the theme: «Increasing the operation efficiency of the Unified system of search and rescue at sea in Ukraine» (state registration number 0116U006308), in which the aspirant was an executor.

The results of the research have been implemented and confirmed by the acts:

- in the perspective program of increasing the efficiency of the educational and methodical center of civil protection and safety of life of Kherson region;
- in the work of the captain's service of Kherson Sea Port on theoretical and practical training of the leadership personnel and specialists with the further development of training in operation, organization, planning, achievement of coherence with the services of "Delta-Pilot" and the maritime emergency rescue squad;
- in the studying process of Kherson State Maritime Academy.

Key words: structure, system, control, time, model, method, search, rescue, efficiency.

Список публікацій здобувача:

Розділи монографій

1. Годованюк С. П. Определение и учёт дрейфа судна с застопоренными машинами / С. П. Годованюк // Monographia. Wybrane zagadnienia szeroko pojętej inżynierii procesowej pod redact Andrzeja Gawdzika. State University. – Opole: Poland, 2015. – 79 – 94 Page. (Google Scholar)

Статті в наукових фахових виданнях

2. Годованюк С. П. Исследования структурных свойств морской поисково-спасательной системы в зоне ответственности Украины / С. П. Годованюк, С.Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – № 1 (10). – С. 4 – 15.(Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

3. Годованюк С. П. Деятельность экипажа в экстремальных производственных ситуациях на морском судне, профессиональный отбор и подготовка / С. П. Годованюк. Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. –

Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – № 2 (11). – С. 14 – 21. (Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

4. Годованюк С. П. Определение местоположения судна с неработающим двигателем при ветровом дрейфе в Черном море / С. П. Годованюк // Науковий вісник ХДМА : науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2015. – № 1 (12). – С. 17 – 26. (Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

5. Годованюк С. П. Расчет местоположения судна с застопоренными машинами при воздействии на него течения в Черном море / С. П. Годованюк, С.Е. Селиванов. – К.: Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ» // Журнал «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». Вип. 8. 2015. – С. 55 – 62. (Index Copernicus, РИНЦ)

6. Годованюк С. П. Использование теории массового обслуживания для оценки эффективности функционирования национальной морской системы поиска и спасения / С. П. Годованюк // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: 2015. № 2 (13). – С. 25 – 33. (Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

7. Годованюк С. П. Структура единой системы поиска и спасения на море с управлением / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. – № 1 (16). – С. 18 – 24. (Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

8. Годованюк С. П. Концептуальная модель формирования облика управляемой единой системой поиска и спасения на море / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Вісник інженерної академії України: Бюлетень 4, 2017. Науковий журнал. – К.: 2017. – С. 84 – 88.

Статті в наукових виданнях

9. Годованюк С. П. Использование CALS-технологий в управлении инновационной деятельностью на казенном предприятии «Морская поисково-спасательная служба» / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016. – № 1 (14). – С. 26 – 34. (Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

10. Годованюк С. П. Формирование облика единой системы поиска и спасения / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016. № 2(15). – С. 10. (Google Scholar, РИНЦ, Research Bible)

Матеріали конференцій

11. Годованюк С. П. Казенное предприятие «Морская поисково-спасательная служба» / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Київ, 15 – 16 травня 2014), НАУ. – С. 68 – 71.

12. Годованюк С. П. Обеспечение высокой эффективности обслуживания морской поисково-спасательной службы в условиях возникновения массовых морских аварий / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // I Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 18 – 19 сентября 2014). ХГМА. – С. 47 – 51.

13. Годованюк С. П. Трудовые действия экипажа при дрейфе судна с остановленными двигателями и расчет местоположения судна во время ветрового дрейфа / С. П. Годованюк // VII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» (Херсон, 26 – 28 мая 2015). – С. 48 – 52.

14. Годованюк С. П. Изменение условий труда экипажа при дрейфе судна с застопоренными машинами и расчёт местоположения судна при воздействии на него течения / С. П. Годованюк // II Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 17 – 18 сентября 2015). – С. 267 – 275.

15. Годованюк С. П. Использование CALS-технологий в единой системе поиска и спасения на море / С. П. Годованюк // VIII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» (Херсон, 24 – 26 мая 2016). – С. 219 – 222.

16. Годованюк С. П. Проведение компьютерных комплексных учений в интересах единой системы поиска и спасения на море / С. П. Годованюк // III Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 13 – 15 сентября 2016). – С. 77 – 80.

17. Годованюк С. П. Роль системного анализа в решении задач управления единой системы поиска и спасения на море / С. П. Годованюк // IV Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 14 – 16 сентября 2017). – С. 77 – 80.

18. Годованюк С. П. Оценка структурной эффективности казенного предприятия «Морская поисково-спасательная служба» / Годованюк С. П., Селиванов С. Е., Рева А. Н. // V Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 13 – 15 сентября 2018). – С. 149 – 155.

19. Годованюк С. П. Моделирование устойчивости линейной структуры управления / Селиванов С. Е., Самсонкин В. Н. // V Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 13–15.09.18). – С. 13 –18.

20. Годованюк С. П. «Mathematical model the vessel as the element of the system «vessel - crew - search and rescue system at sea - accident situation - external weather conditions» / С. П. Годованюк // XIV Міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2019» (Київ, 23-25 квітня 2019). – С. 18.26 – 18.28.

21. Годованюк С. П. Анализ методов сближения морских средств спасания с судном, терпящим бедствие и алгоритмов траекторного управления ими /Селиванов С. Е. // XI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні і інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 28 – 30 травня 2019). – С. 166 – 169.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	12
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПОШУКУ І РЯТУВАННЯ НА МОРІ.....	20
1.1. Тенденцій в створенні систем пошуку і рятування на морі.....	20
1.2. Визначення моделі вигляду системи пошуку і рятування на морі в умовах невизначеності.....	26
1.3. Підходи до забезпечення стійкого управління системою пошуку і рятування на морі в нештатних ситуаціях.....	32
1.4. Постановка задач дисертаційного дослідження.....	39
Висновки до розділу 1.....	42
РОЗДІЛ 2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ПОШУКУ І РЯТУВАННЯ НА МОРІ В УМОВАХ НЕШТАТНОЇ СИТУАЦІЇ	43
2.1. Розробка концепції управління процесом пошуку і рятування на морі.....	43
2.2. Параметризація прямих ознак причин нештатних ситуацій на морі.....	46
2.3. Аналіз структурно-топологічних характеристик системи пошуку і рятування на морі.....	53
Висновки до розділу 2.....	69
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ Й МЕТОДИ СКОРОЧЕННЯ ВИТРАТ ЧАСУ НА ПРОВЕДЕННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЇ НА МОРІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	70
3.1. Аналіз стійкості, керованості та спостережуваності судна, що рухається, в умовах аварійної ситуації.....	70
3.2. Математична модель пошуково-рятувальної системи управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація».....	75
3.3 Модель прогнозової оцінки місця знаходження судна із застопореною машиною при впливі на нього вітру і течії в Чорному морі.....	81

3.4. Математична модель руху судна в умовах виникнення незаштатної ситуації на морі.....	87
3.4.1. Сили та моменти, що викликають зміну курсу судна при перекладанні керма.....	89
3.4.2. Сили і моменти, що діють на судно під час несталого криволінійного руху по траєкторії пропорційного зближення.....	90
3.4.3. Сили і моменти, що діють на судно в умовах нештатної ситуації на морі.....	92
3.5. Модель керованого руху засобів пошуку і рятування на морі по траєкторії зближення з аварійним судном.....	93
3.5.1. Синтез методів зближення авіаційних засобів рятування із судном, що потерпає від лиха, та алгоритмів траєкторного керування ними.....	94
3.5.2. Синтез методів зближення морських засобів рятування на воді та алгоритмів траєкторного керування.....	100
Висновки до розділу 3.....	106
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА УСПІШНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОЮ ОПЕРАЦІЄЮ З ПОРЯТУНКУ ЛЮДЕЙ І СУДНА, ЩО ПОТЕРПАЮТЬ ЛИХО НА МОРІ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ.....	108
4.1. Методика прогнозування району пошуку аварійного судна під час його дрейфу в невизначених умовах.....	108
4.2. Шляхи зменшення витрат часу на проведення пошуково-рятувальних операцій на морі в умовах невизначеності.....	112
4.2.1. Модель вироблення рішень про проведення пошуково-рятувальної операції.....	113
4.2.2. Математична модель оцінки успішності управління пошуково-рятувальною операцією порятунку судна, що потерпає лихо.....	118
4.3. Математична модель пошуково-рятувальної операції з порятунку людей в морі.....	125

	11
4.4. Розробка рекомендацій щодо отриманих результатів дослідження.....	134
Висновки до розділу 4.....	139
ВИСНОВКИ.....	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	144
ДОДАТОК А Акт впровадження результатів дисертаційної роботи В роботу служби капітана херсонського морського порту, зі службами «Дельта-лоцман» та морського аварійно-рятувального загону.....	158
ДОДАТОК Б Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальну програму підготовки матросів рятувальників навчально-методичного центру цивільного захисту та безпеки життєдіяльності херсонської області.....	160
ДОДАТОК В Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес херсонської державної морської академії.....	162

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЄСПРМ – єдина система пошуку та рятування на морі;

СПРМ – служба пошуку та рятування на морі;

САР (SAR) – пошук і рятування;

ІМО – Міжнародна морська організація;

ІКАО – Міжнародна організація цивільної авіації;

IAMSAR – Міжнародного посібника з авіаційного та морського пошуку і рятування;

ГМЗЛБ (GMDSS) – глобальна морська система зв'язку при лисі і для забезпечення безпеки мореплавства;

КП «МПРС» – казенне підприємство «Морська пошуково-рятувальна служба»;

ДМРКЦ – державний морський рятувально-координаційний центр;

МРПЦ – морський рятувальний підцентр;

БРС – берегова радіостанція;

ПС – повітряне судно;

АС – аварійне судно;

ПРМ – пошук та рятування на морі;

НС – нештатна ситуація;

КМ – концептуальна модель.

САК – система автоматичного керування

ШК – шляховий кут

АІС – автоматична ідентифікаційна система

ПРС – пошуково-рятувальне судно

ПС ЗСУ – Повітряні сили Збройних сил України

МНС – міністерство надзвичайних ситуацій

АР – автоматичне регулювання

КЗ – кут зміщення

ВСТУП

Актуальність теми. Функції транспортної системи будь-якої країни залежить від рівня технічного й соціального розвитку, що своєю чергою потребує істотного підвищення інтенсивності транспортних перевезень на морських і річкових водних шляхах. Збільшення кількості й розмірів, швидкості й типів суден, щільність розподілу суден на маршрутах, підвищує ймовірність виникнення аварійних ситуацій на морі, наслідком яких є втрати технічних засобів і людського життя.

Убезпечення безпеки людини на морі завжди було найважливішою проблемою судноплавства. Серед різних сфер людської діяльності однією з найнебезпечніших є та, яка пов'язана з необхідністю перебування людей у морі.

Небезпека життю людини на морі спричинена аварійною ситуацією, яка може виникнути на судні в будь-який момент часу, починаючи з виходу його в рейс і закінчуючи поверненням у порт, а також обмеженням часу перебування людини у відкритому морі.

Як на цьому етапі, так і в цілому величезна роль у збереженні людського життя на морі належить системі пошуку й рятування. Саме в цій галузі можуть бути вжиті заходи щодо вдосконалення управління, необхідних як оперативна реакція на збільшення втрат морських суден і людського життя, які відбуваються останніми роками.

У вирішення проблем керування складними динамічними системами зробили свій внесок українські і закордонні вчені, зокрема: Еткін Б., Калман Р.Е., Кунцевич В. М., Куржанський А. Б., Черноусько Ф. Л., Коваленко І. М., Красовський О. А., Кротів В. Ф., Чикрий А. О., Блинцов В. С., Тунік А. А., Асланян А. Є., Бідюк П. І., Блохін Л. М., Казак В. М., Скурихін У. І., Кондратенко Ю. П., Павлов В. В., Харченко В. П., Цимбал М. М. Значний внесок у вдосконалення системи пошуку і рятування на морі зробили: Басанець М. Г., Вагущенко Л. Л., Грець І. С., Іванов Б. Г., Колегаєв М. О., Позолотін Л. А., Репетей В. Д., Торський В. Г. та ін.

Діюча національна єдина морська система пошуку і рятування в умовах інтеграції національної транспортної системи у світову потребує підвищення ефективності управління на рівні сучасних вимог до реагування на надзвичайні події, аварії або потенційно небезпечні ситуації на морі. Тільки в такому випадку морська пошуково-рятувальна система України буде гармонізована з міжнародними концепціями й стане зрозумілою для морських держав.

Розглядаючи систему пошуку і рятування на морі як динамічну систему управління, на відміну від раніше опублікованих робіт зі створення таких систем, дана робота спрямована на розв'язок головного завдання – підвищення оперативності управління процесом пошуку і рятування на морі за рахунок скорочення часу на подолання відстані між рятувальними засобами (морськими або авіаційними) та судном, що потерпає лихо.

Тому, питання науково-технічних та перспективних досліджень з метою розроблення моделей і методів координування дій і управління процесом рятування на морі в аварійних ситуаціях є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані в рамках Міжнародної Конвенції з пошуку і рятування на морі 1979 р. (SAR-79) (International Convention on Maritime Search and Rescue (SAR), 1979.), Постанови КМ України про Морську доктрину на період до 2035 р. від 21.10.2009 № 1307, Постанови КМ України від 24.02.2016 №158 «Про відновлення єдиної системи пошуку і рятування на морі» і реорганізації казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба» України в плані перспектив розвитку Морської пошуково-рятувальної служби України та рамках виконання науково-дослідної роботи кафедри судноводіння й безпеки життєдіяльності на морі в Херсонській державній морській академії за темою «Розробка науково-методичних основ обґрунтування вигляду морської пошуково-рятувальної служби» (державний реєстраційний номер 0116U006308), у яких здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення оперативності управління пошуково-рятувальними операціями на

морі в умовах невизначеності через скорочення часу на подолання відстані між рятувальними засобами (морськими або авіаційними) та судном, що потерпає лихо.

Поставлена мета досягається розв'язками таких завдань:

- проведення порівняльного аналізу і систематизація наукових досліджень щодо розробки і удосконалення моделей і методів пошуку і рятування на морі в умовах невизначеності, обґрунтування показників підвищення ефективності процесу пошуку і рятування на морі, визначення функціональних особливостей системи управління розподіленими об'єктами для вибору управління системою «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація»;

- обґрунтування та розробка концепції управління процесом пошуку і рятуванням на морі;

- синтез методів мінімізації часу на подолання відстані між рятувальними засобами (морськими або авіаційними) та аварійним судном;

- обґрунтування та розробка математичної моделі системи управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація»;

- розробка і обґрунтування моделі ієрархічної інтегрованої системи управління, спрямованої на організацію і управління процесом ліквідації надзвичайної ситуації на морі;

- створення моделі оцінки успішності управління процесом пошуку і рятування на морі в умовах раптового виникнення нештатної ситуації;

- розробка рекомендацій щодо використання отриманих результатів дослідження в планах удосконалення та підвищення ефективності проведення пошуково-рятувальних операцій на морі.

Об'єкт дослідження – процес ліквідації нештатних ситуацій та їх наслідків на морі в умовах істотної невизначеності.

Предмет дослідження – методи й моделі підвищення успішності управління системою «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» на морі в умовах невизначеності.

Методи дослідження. Методологічною основою дисертації є системний

підхід до розгляду динаміки управління в системі пошуку і рятування на морі, а методами дослідження є:

- методи, засновані на принципах системності, відкритості, сумісності, стандартизації, спостережуваності для відновлення цілісності системи пошуку і рятування на морі;

- методи зближення рухомих об'єктів з використанням положень теорії наведення;

- топологічні методи з використанням положень теорії графів для наочності інформації про зв'язки, склад і структуру морської пошуково-рятувальної системи;

- методи параметричного синтезу на основі положень теорії масового обслуговування для оцінки оперативності управління шляхом скорочення часу проходження інформації про надзвичайну ситуацію та прийняття відповідних рішень.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше розроблено модель управління витратами часу на збір і обробку інформації, прийняття рішень щодо проведення операції пошуку й рятування та на подолання відстані між рятувальними засобами й аварійним судном, яка надає можливість скоротити витрати часу на проведення пошуково-рятувальної операції.

- запропоновано нові методи керування траєкторним зближенням рятувального судна з судном, що потерпає лихо, які враховують відповідний до ситуації, що склалася на морі, метод зближення та дозволяє вводити необхідні корекції траєкторного руху рятувального судна.

- дістав подальшого розвитку метод вдосконалення інформаційно-комунікативних засобів підтримки прийняття в реальному часі рішень щодо управління проведенням операції пошуку та рятування на морі, що дозволяє виконувати прогнозування координат місця зустрічі та витрат часу на подолання відстані до точки зустрічі в умовах, що швидко змінюються у часі.

- удосконалено математичну модель руху судна, що зазнає лиха, яка на

– відміну від існуючих ураховує досвід дій у типових аварійних та катастрофічних ситуаціях, що відбувались на морі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

– запропоновано і доведено можливість коригувати час, що витрачається на зближення з точкою зустрічі суден за рахунок введення в алгоритм управління судном-рятувальником додаткової інформації щодо обраної і введеної автоматично або капітаном судна траєкторії зближення;

– розроблена модель параметричного синтезу системи може бути використана в практичних установах при визначенні кількісних значень показників: максимальної пропускної спроможності обробки заявок служби пошуку й рятування в умовах екстремальних ситуацій при проведенні масових пошуково-рятувальних робіт; мінімізації часу перебування людей у воді у наслідок катастрофи судна; своєчасності приймання і передачі повідомлень (заявок) для координації і керування проведенням пошуково-рятувальних операцій;

– розроблено рекомендації щодо оптимізації кількості підрозділів, пунктів їх базування і засобів рятування для підвищення зони перекриття берегової лінії, що дає можливість підвищення ефективності пошуково-рятувальних операцій, які можуть бути використані під час розробки перспективного плану розвитку і вдосконалення казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба».

Теоретичні і практичні результати роботи використані:

– у перспективній програмі підвищення ефективності навчально-методичного центру цивільного захисту і безпеки життєдіяльності Херсонської області;

– у роботі служби капітана Херсонського морського порту з питань теоретичної й практичної підготовки осіб керівного складу й фахівців з подальшим розвитком навчання з питань керування, організації, планування, досягнення злагодженості зі службами «Дельта-лоцман» і морського аварійно-рятувального загону;

– в навчальному процесі Херсонської державної морської академії на

кафедрі судноводіння та електронних навігаційних засобів під час викладання відповідного курсу лекцій і проведення практичних занять.

Упровадження підтверджені відповідними актами (додаток А, В, С).

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в самостійному проведенні практичних досліджень структурних властивостей ЄСПРМ [7, 11]; використання нових технологій [15] та обґрунтування концептуальної моделі формування вигляду СПРМ [8; 10]; теоретичних досліджень з уведення графа мобільних зв'язків у структуру СПРМ [2, 18] та моделювання стійкості лінійної структури керування [19]; застосування методу Монте-Карло в розрахунках імовірного місця знаходження судна [5]; аналіз методів зближення морських засобів рятування з судном, яке потерпає лихо та алгоритмів траєкторного управління ними [21]; оцінювання ефективності функціонування системи пошуку й рятування з використанням методів масового обслуговування [6, 12].

Роботи [1, 3, 4, 9, 13, 14, 16, 17, 20] написані без співавторів.

Усі положення, що виносяться на захист, отримані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи та основні її положення доповідалися й обговорювалися на шести міжнародних і всеукраїнських конференціях: XIII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Київ, 2014); I, II, III, IV, V Міжнародні науково-практичні конференції «Безпека життєдіяльності на транспорті й виробництві – освіта, наука, практика» (Херсон, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018); VII, VIII, XI Міжнародні науково-практичні конференції «Сучасні інформаційні й інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 2015, 2016, 2019), XIV Міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2019» (2019).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю, з яких 1 публікація у закордонному виданні, 9 статей у виданнях України, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях України, з яких 6 включені до міжнародних наукометричних баз, 11 матеріалів Міжнародних науково-технічних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота має таку структуру: вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел.

Повний обсяг дисертації становить 163 сторінки, з яких основна частина – 143 сторінки. У дисертаційній роботі наведено 35 рисунків, 14 таблиць; список використаних джерел містить 157 найменувань, які викладені на 14 сторінках; 3 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ПОШУКУ І РЯТУВАННЯ НА МОРІ

1.1. Тенденції в створенні систем пошуку і рятування на морі

Останні десятиліття характеризувалися для судноплавної галузі зниженням кількості аварійних подій у морі, хоча трагедії усе ще відбуваються. За даними аналітичної організації IHS Markit Maritime&Trade (M&T), за останні 37 років кількість затонулих суден скоротилася на 74 %. Наприклад, у 1980 р. таких випадків було 369 (тобто більше одного на день), а в 2017 р. – усього 96. Що стосується людських втрат, то в 1980 р. загинуло або пропало безвісти 528 членів екіпажів тільки торговельного флоту, а в 2017 р. – лише 98 [1].

Аналіз причин морських катастроф дозволив зробити висновок, що нульової аварійності неможливо досягти, оскільки море являє собою середовище, яке піддається впливу різних стихійних факторів, тобто, небезпечне середовище, сполучене з безліччю ризиків, а надійність і живучість суден бажає бути кращою. Крім того вплив людського фактору на безпеку судноплавства залишається неприпустимо високим.

У зв'язку із цим постає питання удосконалення служби пошуку і рятування на морі, а саме її оперативність, цілісність і безперервність. Здійснення операцій з пошуку і рятування суден і людей, що терплять лихо на морських і океанських просторах, тривалий час було переважно завданням тих, хто опинився поблизу події морських суден і, звичайно, – «справою самих потопаючих».

Бурхливий розвиток науково-технічного прогресу, а саме розвиток новітніх нано-біо-інформаційно-когнітивних технологій (NBIC) позитивно вплинув на ситуацію і викликав потребу у розробці нових концепції і створення у всесвітньому масштабі ефективної системи пошуку і рятування (САР від англійського SAR *search and rescue*).

Так, 27 квітня 1979 р. в Гамбурзі було укладено Міжнародну конвенцію з

пошуку і рятування на морі (SAR-79), згідно з якою створено міжнародну систему пошуку і рятування з метою забезпечення, незалежно від району Світового океану, у якому судно потерпає аварію, дій з пошуку і рятування людей, що у наслідок аварії опинилися у воді, координацію дій між розташованими в цьому районі службами САР [2].

Питанням безпеки авіаційного й морського транспорту з погляду управління системою пошуку і рятування займаються дві спеціалізовані установи Організації Об'єднаних Націй – Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) [3] і Міжнародна морська організація (ІМО) [4, 5].

Подальший розвиток інформаційних технологій та засобів зв'язку, а також технічних можливостей авіаційного і морського пошуку і рятування, необхідність більш тісної співпраці обох галузей у цій області привели до спільного написання ІМО і ІКАО Міжнародного посібника з авіаційного та морського пошуку і рятування (ІАМСАР) [6], яким на цей час користуються всі повітряні і морські судна.

Мета керівництва ІАМСАР полягає в наданні повноважним органам держав економічної допомоги у створенні ефективних систем і служб пошуку і рятування. Урядам було рекомендовано використовувати вказівки, що містяться в Керівництві при створенні, розвитку й експлуатації своїх пошуково-рятувальних систем і підрозділів (Резолюція А.894(21)) [7].

Аналіз досвіду забезпечення зв'язку при проведенні пошуково-рятувальних операцій показав, що всі судна, які підпадають під дію Міжнародної Конвенції про безпеку життєдіяльності на морі, повинні цілковито відповідати вимогам Глобальної морської системи зв'язку під час лиха (ГМЗЛБ) (GMDSS англ. Global Maritime Distress and Safety System). Міжнародна система, що використовує сучасні наземні, супутникові і судові засоби радіозв'язку, являє собою істотне вдосконалення способів аварійного зв'язку і забезпечує такі функції [8; 9; 10]:

- передача оповіщень про аварію;
- приймання і передача повідомлень для координації пошуку і рятування;
- приймання і передача повідомлень на місці аварії;

- приймання і передача сигналів для місця визначення й самонаведення;
- приймання і передача інформації з безпеки на морі;
- приймання і передача повідомлень загального призначення через берегові системи або мережі зв'язку;
- приймання і передача повідомлень «місток-місток».

Загальний принцип побудови ГМЗЛБ показано на рис. 1.1.

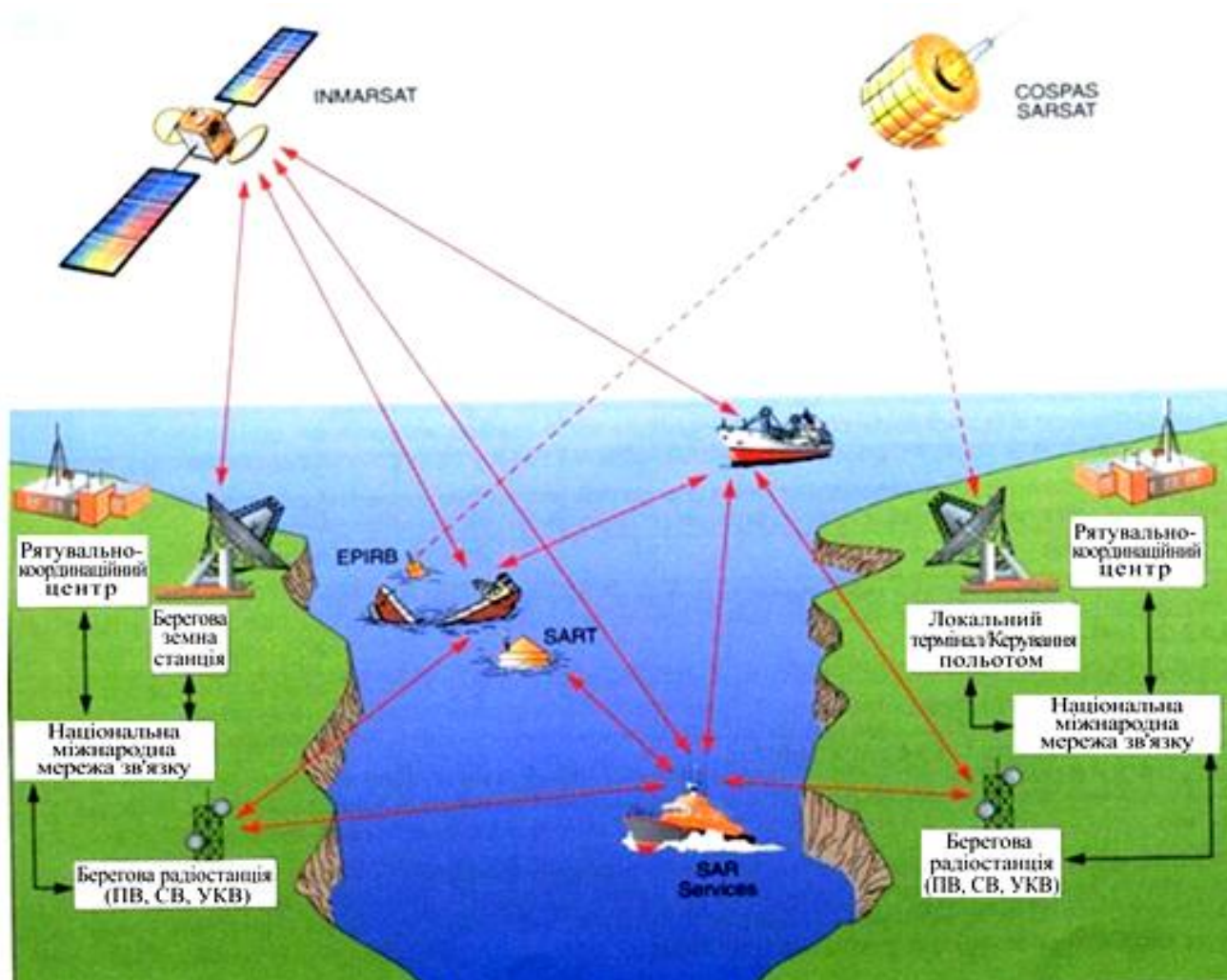


Рис. 1.1. Загальний принцип побудови ГМЗЛБ

Україна як учасник Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (SOLAS-74/78 – *Safety of Life at Sea*) [11], Міжнародної конвенції з пошуку і рятування на морі 1979 р. (SAR-79) зобов'язується виконувати вимоги цих конвенцій. На виконання вимог IAMSAR щодо покращення координації керування пошуком і рятуванням людей, що терплять лихо на морі, незалежно від

їхнього статусу, місцезнаходження, громадянства або обставин, також авіаційного і морського пошуку і рятування суден, літальних апаратів, що терплять лихо на морі, і ліквідації аварійних розливів нафти на морі, Україна створила єдину систему пошуку і рятування людей на морі (ЄСПРМ) [12].

ЄСПРМ – це система органів, організацій і підприємств, які забезпечують організацію й здійснення операцій з пошуку і рятування людей, суден та інших матеріальних об'єктів під час лиха на морі [13], вона реалізує у сфері своєї діяльності пошук і рятування у певній морській зоні відповідальності (рис. 1.2).

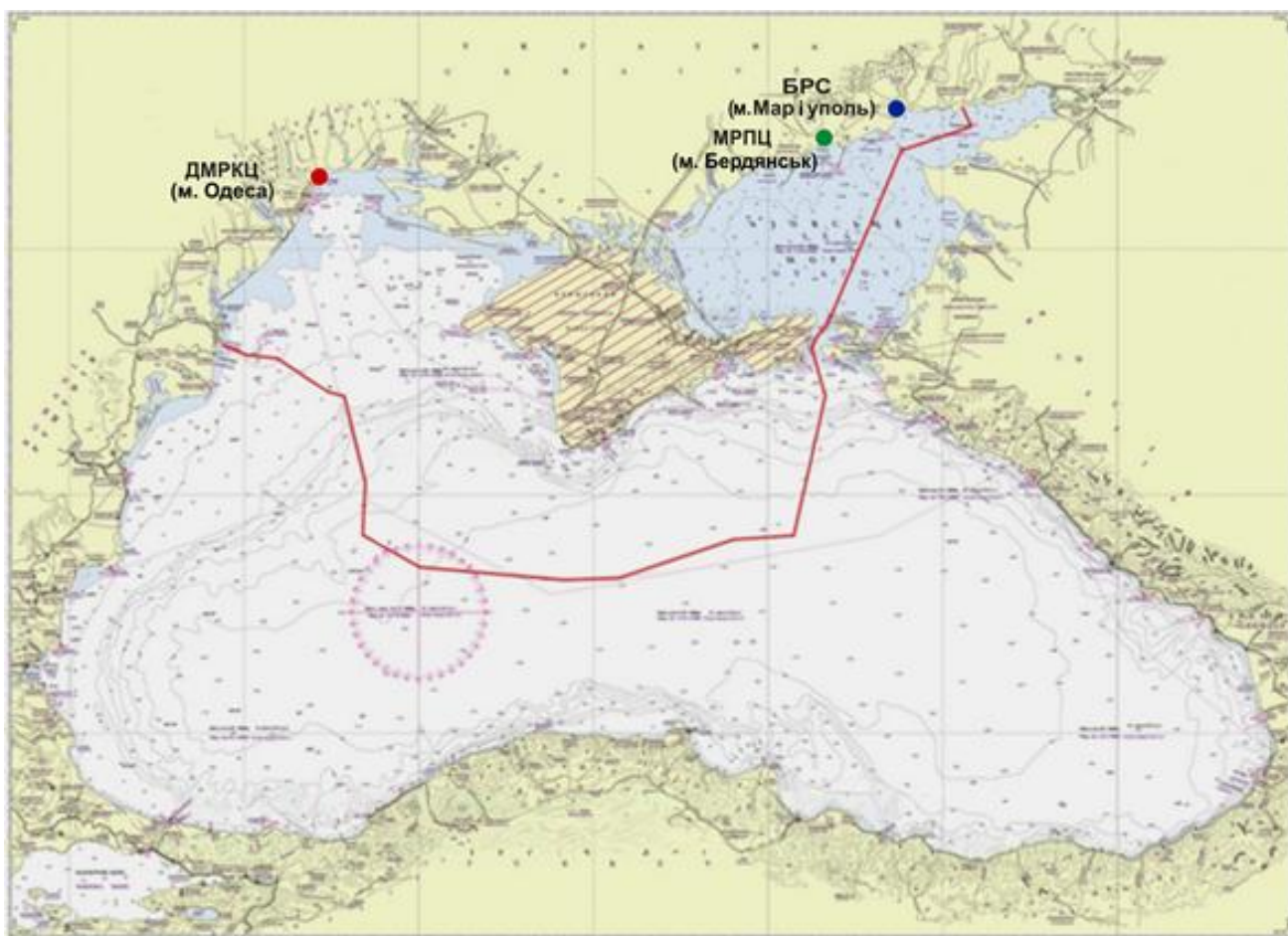


Рис. 1.2. Морська зона відповідальності України (райони пошуку і рятування)

Це частина морської акваторії, у межах якої пошуково-рятувальні сили України згідно з міжнародними зобов'язаннями держави повинні забезпечити пошук і рятування людей, суден та інших об'єктів, які терплять лихо на морі [14, 15, 16]. ЄСПРМ як і будь-яка інша система, складається з окремих компонентів,

які повинні функціонувати для забезпечення ефективної роботи служби загалом [17].

Для забезпечення узгодженості дій центральних і місцевих органів влади, підприємств, установ і організацій з питань, пов'язаних з функціонуванням і розвитком системи пошуку і рятування в морському пошуково-рятувальному районі України, КМ України 16 листопада 2016 р. № 830 створив міжвідомчий дорадчий орган уряду – Координаційний комітет з пошуку і рятування в морському пошуково-рятувальному районі України, основними завданнями якого є [18]:

- сприяння забезпеченню координації дій органів виконавчої влади з питань, що ставляться до його компетенції;

- підготовка пропозицій щодо забезпечення удосконалення і розвитку системи пошуку і рятування на морі, зокрема з підвищення ефективності діяльності органів виконавчої влади, удосконалювання нормативно-правової бази відповідно до питань;

- визначення шляхів, механізмів і способів розв'язку проблемних питань, пов'язаних з функціонуванням і розвитком системи пошуку і рятування в морському пошуково-рятувальному районі України;

- підвищення ефективності дії морської пошуково-рятувальної служби.

Організаційно-технічне забезпечення діяльності Комітету здійснює Мінінфраструктури через казенне підприємство «Морська пошуково-рятувальна служба» (КП «МПРС») [19], на рис. 1.3 показано скорочену структуру КП «Морська пошуково-рятувальна служба» [20, 21].

Таким чином, морська пошуково-рятувальна система, як об'єкт керування повинна мати ієрархічну інтегровану структуру, яка забезпечує здійснення таких функцій, що зазначене в статуті КП «Морська пошуково-рятувальна служба» [22].

- приймання, підтвердження приймання, обробка і прийняття рішень по ним та передача повідомлень і рішень про ліквідацію лиха;

- координація заходів реагування на надзвичайні морські ситуації, включаючи аварійні розливи нафти у відкритому морі;

– організація управління і координація проведення пошукових і рятувальних операцій суден і людей, що потерпають лихо на морі.

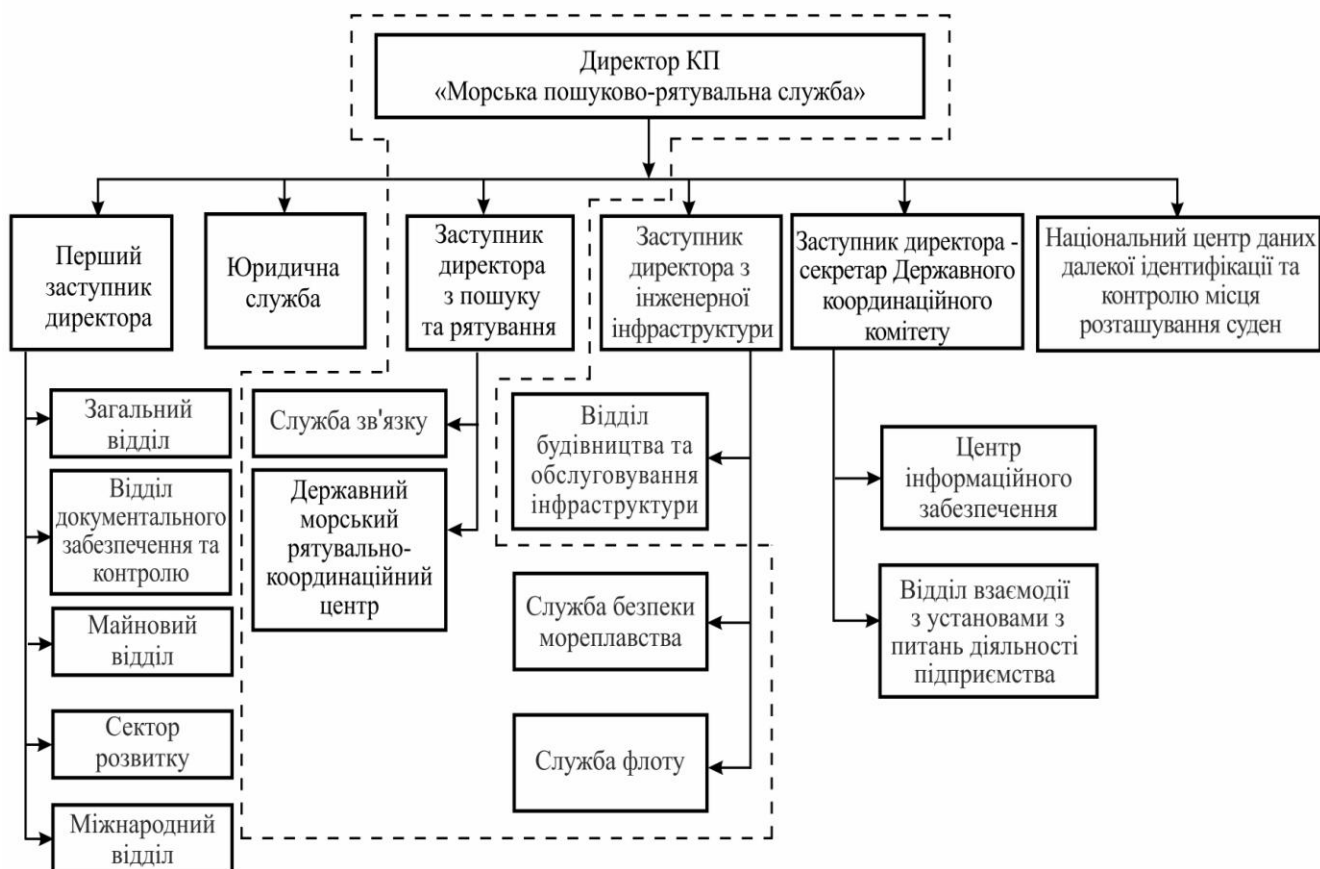


Рис. 1.3. Скорочена структура КП «Морська пошуково-рятувальна служба»

З наведеного аналізу можна зробити висновок, що система пошуку і рятування суден і людей на морі являє собою складну ієрархічну структуру, яка потребує також ієрархічної інтегрованої системи управління з наявністю таких властивостей [23]:

- чим вище рівень підсистем, тим менша їх кількість;
- значущість усіх команд підсистеми верхнього рівня більше, ніж команди підсистем на нижньому рівні;
- кількість команд на нижчих рівнях більша, ніж на верхньому;
- звітна інформація при русі «нагору» повинна агрегуватися – звертатися і стискуватися.

Отже, забезпечити наведені властивості можливо тільки при автоматизації

всіх процесів в ієрархічній системі управління.

У роботі [24] показано, що необхідною умовою нормального функціонування системи є керування. Специфіка системи визначається різноманітністю взаємозв'язків, модульністю і ієрархічністю, стандартизацією устаткування, підвищеною надійністю й поруч інших властивостей. Залежно від ступеня участі людини в процесі керування впливає застосування різних видів систем керування (ручного, автоматичного, автоматизованих систем керування).

1.2. Визначення моделі вигляду системи пошуку і рятування на морі в умовах невизначеності

На різних життєвих етапах осмислювання поняття «модель» привело до розробки численних її визначень. Модель виступає як певний інструмент пізнання, який дослідник ставить між собою й об'єктом, і за допомогою якого вивчає зацікавлений об'єкт [25, 26, 27]. Аналіз визначень моделі виявив, що під моделлю розуміють уявний логічний, графічний або математичний опис системи.

Поняття «концептуальна модель» (КМ) запропонував англійський психолог А. Т. Велфорд у 1961 р. КМ – це абстрактна модель, що виступає як глобальний образ, що формується в уяві оператора. У розумінні А. Т. Велфорда концептуальна модель дає операторові в людино-машинній системі керування цілісну картину й тому забезпечує можливість співвідносити різні частини процесу із цілим, а відповідно, і діяти ефективно [28].

Б. Ф. Ломов визначив концептуальну модель як деякий динамічний синтез наявної інформації, який сприймається у цей момент [29]. На думку Б. Ф. Ломова, концептуальна модель формується в результаті взаємодії вхідних до її складу структурних і статистичних компонентів. Структурні компоненти пов'язані з аналізом проблемної ситуації, статистичні – з використанням апріорної інформації. Таким чином, концептуальна модель – це опис властивостей предметної галузі, сукупність яких дає змогу спростити розуміння властивих й закономірностей, істотних для заданих цілей застосування [30].

Формування вигляду системи ПРМ ґрунтується на дослідженні моделей, одержаних за допомогою різних методів опису досліджуваного об'єкта [31, 32].

Отже, концептуальна модель формування вигляду системи пошуку і рятування на морі є одним зі способів пізнання системи. Її побудова полягає у виділенні найбільш істотних сторін об'єкта з погляду проведеного аналізу [33].

Аналіз структури й складу діючої СПРМ показує, що її можна розглядати як складну ієрархічну систему. ЄСПРМ як складна система характеризується значною кількістю ланок і, що найбільш важливо, великою кількістю погоджених взаємодій цих ланок.

Кількість зв'язків між ланками в системі зазвичай наводять як можливу їхню комбінацію [34]:

$$S = g(g - 1),$$

де g – кількість ланок (елементів), вхідних в систему.

Дійсні зв'язки в системі найбільшою мірою проявляються при її застосуванні за цільовим призначенням, тобто в процесі її функціонування й відносяться в нашому випадку до динамічних. Поняття динамічної системи виникає тоді, коли з'являється необхідність досліджувати те, як система розвивається в часі [35, 36, 37].

Найважливішими властивостями динамічних систем є їхня стійкість, керованість і спостережуваність, тобто збереження системою своєї базової структури й основних функцій, що виконуються протягом певного проміжку часу (t_0, t_k) , а також за відносно невеликих і різноманітних зовнішніх впливах і внутрішніх збурюваннях [38]. Стійкість є внутрішньою властивістю системи, а не результатом зовнішнього впливу [37].

Аналіз [35, 36, 37, 38] показує, що сучасна теорія динамічних систем є збірною назвою для досліджень, де широко використовуються й ефективно сполучаються методи з різних розділів математики: топології і алгебри, алгебричної геометрії і теорії міри, теорії диференціальних форм, теорії особливостей і катастроф. На цій підставі формувався вигляд системи пошуку і рятування на морі.

Система пошуку і рятування на морі в Україні створена не як заново спроектована система, а на основі вдосконалювання раніше створеної системи за вимогами IAMSAR. Тому одним із завдань цієї роботи є розроблення концептуальної моделі формування вигляду автоматизованої системи ПРМ, виходячи з основних положень і принципів системного підходу, коли досліджуваний об'єкт перебуває в певній взаємодії з елементами, що включають у себе інші складові системи [39].

Відповідно до принципів системного підходу до складних систем для проведення досліджень використані такі види опису системи: структурний, функціональний і функціонально-структурний. Кожний вид опису формує відповідні типи моделей.

Моделювання стійкості лінійної структури керування наведено в роботі [40].

Для розв'язку практичних завдань використана модель структури [41].

У моделі структури (змістовна модель) описувалися всі елементи системи ПРМ, зв'язки між ними всередині системи й зв'язки деяких елементів з навколишнім середовищем (входи і виходи системи), вказувалися напрямки і типи зв'язків (інформаційний, матеріальний).

У нашому випадку ієрархічна структура розроблена як спосіб організації цілого зі складових частин. Приклад: структура з рятувально-координаційним центром, рятувально-координаційним підцентром, береговими радіоцентрами, постами оповіщення ще не єдина система пошуку і рятування в морській зоні відповідальності України. Щоб цей набір центрів та підцентрів став єдиною системою, необхідно встановити між цими елементами певні зв'язки-відносини.

Такий принцип дає змогу приділити увагу структурі системи, провести дослідження взаємозв'язків усередині системи методами структурного аналізу.

Математично структурні властивості СПРМ можуть бути подані графом структури комплексу або у вигляді матриці відносин між його елементами [42].

Для відображення властивостей і зв'язків, наочної інформації про склад і структуру системи найбільше поширення одержали теоретико-графові моделі [43, 44, 45].

Уведення теоретико-графових моделей дозволяє дати наочну інформацію про структуру морської пошуково-рятувальної системи в зоні відповідальності України [46]. Застосування ймовірнісних структурно-топологічних характеристик графів зв'язків між елементами структури в різних умовах її функціонування дозволяє вирішувати широке коло завдань системи пошуку і рятування із заданими показниками ефективності та якості [47, 48, 49].

Порівняльний аналіз різних варіантів структури СПРМ дав змогу виділити різні рівні її структурного опису як системи, виявити істотні зв'язки між основними структурними елементами з певним ступенем спрощення. Однак графічні структурні моделі СПРМ не дають досить повного уявлення про зв'язки і відносини в структурі системи, що виникають у процесі його функціонування. Річ у тім, що структура є «кістяком» системи і відбиває тільки найбільш явні і незмінні зв'язки в ній.

Дійсні зв'язки в системі найбільшою мірою проявляються при її застосуванні за цільовим призначенням, тобто в процесі її функціонування. Оскільки ці зв'язки є динамічними, то їх опис потребує введення тимчасових функцій. Можливості опису динамічних властивостей значно розширюються при функціональному описі СПРМ.

Функціональний опис може проводитися за допомогою тимчасових діаграм, функціональних схем, алгоритмів роботи системи, функціональних моделей [50].

Маючи уявлення про процеси функціонування СПРМ, такі функціональні моделі не дозволяють чітко визначити властивості кожної ланки функціональної моделі і не повною мірою відображають усі істотні зв'язки в системі.

Більш докладну характеристику функціональних зв'язків, з урахуванням логічної взаємодії окремих елементів системи, дають спеціальні методи дослідження функціонального аналізу систем: метод професійного аналізу, метод логічного ланцюга, метод «чорного ящика».

Метод професійного аналізу є найбільш давнім і апробованим способом визначення функцій системи, при якому за допомогою таких відпрацьованих методів, як аналіз, абстрагування і використання професійного досвіду фахівців у

даних і суміжній областях досліджень, виявляються функції аналізованої системи [51].

Функціональні моделі, на відміну від структурних, імітують функціонування оригіналу. Функціональні моделі СПРМ розроблялися для того, щоб одержати загальне уявлення про процес порятунку на морі. Типовим прикладом функціональної моделі може слугувати так званий «чорний ящик» – об’єкт, функціонування якого визначається станом його виходу залежно від стану входу в різні моменти часу [52, 53].

В якості смислового прикладу, для системи ПРМ під час рятування судна, що терпить лихо, не обов’язково знати склад самої системи й механізм впливу її компонентів на систему, а важливо те, що при цьому відбулося рятування людей, вантажу й судна.

Метод «чорного ящика» у цьому випадку ґрунтується на аналізі відмінностей між вхідною позицією в динаміці розвитку системи й вихідною позицією, тобто станом системи в момент застосування або після виконання певних цільових завдань. З аналізу відмінностей між двома станами системи виявляється основна функція об’єкта досліджень як цілеспрямованої системи.

Метод логічного ланцюга ґрунтується на поступовому розкритті всієї послідовності зв’язаних функцій, які характеризують структуру аналізованої системи. При такому підході проводиться опис логічних функцій і їх систематизація в процесі функціонування системи [54].

Прикладом такого підходу в дослідженні систем слугує методика систематизованого аналізу функцій (Functional Analysis System Technique FAST), запропонована Чарльзом Байтуеєм в 1965 р. [55].

Процедура систематизованого аналізу функцій FAST ґрунтується на застосуванні детермінованої логіки і передбачає побудову діаграм функцій, що нагадують мережеві графіки. У такій системі лінію критичного шляху становлять ті функції, які дозволяють перевірити правильність формулювання і класифікації функцій за допомогою системи логічних тестів. Однією з найважливіших особливостей побудови діаграми FAST є виявлення функцій критичного шляху.

«Мозкова атака» – метод активізації творчого мислення, використовується для одержання великої кількості оригінальних ідей за короткий проміжок часу. Процедура «мозкової атаки» проводиться за спеціальними правилами, тривалість одного сеансу – 40–60 хв. Використовується для вирішення проблем різного рівня структуризації. Метод універсальний і застосовується для розв'язку будь-якого завдання організації [56, 57].

Найбільш цілковите відбиття процесу функціонування системи дає функціональна модель (ФМ) [58]. Функціональна модель системи/об'єкта являє собою логіко-графічне зображення складу і взаємозв'язків функцій системи, об'єкта, одержуване шляхом їхнього формулювання й установлення порядку підпорядкування. Саме при розробці ФМ виявляються основні причинно-наслідкові зв'язки об'єкта функціонального аналізу, визначаються пошуки функції.

Функціональна модель, що містить тільки корисні функції, є відпрацьованою функціональною моделлю. Така модель являє собою ідеальну структуру аналізованого об'єкта без прив'язування до яких-небудь носіїв (операцій виробничих процесів, підрозділів організації тощо).

Функціональна модель може мати кілька ієрархічних рівнів. Перший рівень – зовнішні функції, другий і наступні рівні – внутрішні функції.

Кожен рівень, що знаходиться нижче, визначає сукупність дій, зумовлених технологією реалізації функцій вищих рівнів. Ступінь деталізації окремих функцій на функціональній моделі по рівнях ієрархії може бути різним. Отже, при формуванні функціональної моделі необхідно перевіряти, щоб кожна виділена функція мала конкретну цілеспрямованість і визначеність змісту, враховувалися би внутрішньосистемні відносини кожної частини системи, у змісті (формулюванні) повинні відбиватися характерні ознаки самої системи і системи більш високого рівня, тому для вирішення нашого завдання вона менш дієва.

Порівняльний аналіз спільного використання структурних і функціональних методів під час опису великих систем різного призначення дав змогу виявити основні закономірності формування вигляду єдиної системи пошуку і рятування

на морі, дослідити взаємозв'язок усередині цієї системи, як мережевої структури, використовуючи теоретико-графові моделі.

1.3. Підходи до забезпечення стійкого управління системою пошуку і рятування на морі в нештатних ситуаціях

Синтез і оптимізація автоматизованої системи пошуку і рятування на морі проводяться з урахуванням властивої їй нестійкості, яка потребує постійного втручання, у межах морського пошуково-рятувального району України, державного морського рятувально-координаційного центру (ДМРКЦ, м. Одеса) і морського рятувального підцентру (МРПЦ, м. Бердянськ), а також контролю ними всіх органів керування процесом під час виконання пошукових і рятувальних маневрів.

Внутрішні процеси, що викликають нестійкість процесів в системі рятування на морі, зумовлені двома видами керування: адміністративним й оперативним [6]. Фактори, що викликають нестійкість адміністративного управління, можна подати такими внутрішніми процесами: нечітке планування, погана організаційна робота, несумлінний добір, підготовка й розміщення кадрів, недостатнє фінансування, неадекватна оцінка СПРМ [59].

До внутрішніх процесів, що знижують стійкість оперативного керування, можна віднести: нечіткі поточні й екстрені дії з підтримки операцій СПРМ (нечіткі плани операцій, пошуку, рятування; неточні інформаційні моделі тощо) [60, 61, 62].

Зовнішні фактори, що викликають дестабілізуючі дії на процес розв'язку завдання пошуку і рятування на морі, умовно можна згрупувати так:

- вплив зовнішнього середовища;
- вплив технічного стану судна, що потерпає лихо;
- вплив людського фактору.

Збуджуючі дії зовнішнього середовища мають різний характер і за цією ознакою їх можна розділити на гідродинамічні сили водного середовища,

аеродинамічні сили повітряного середовища, вплив течії та мілководдя тощо [63, 64].

Усі вони впливають на процес пошуку і рятування на морі, змінюючи потрібний для рятування час, що є одним з показників ефективності СПРМ.

Систему пошуку і рятування на морі розглянемо на прикладі катастрофи т/х «Ванесса» в Азовському морі, що сталася 3 січня 2008 року, судно було під прапором Болгарії.

Аналіз матеріалів розслідування аварійної морської події та загибелі членів екіпажу т/х «Ванесса» в Азовському морі [65] в умовах урагану переконливо підтверджує (мапа події – рис. 1.4), що успішність проведення пошуково-рятувальної операції на морі в умовах стійного лиха залежить від наступних основних чинників:

- час, витрачений на встановлення зв'язку СПРМ з аварійним судном обробки інформації, прийняття рішення та розповсюдження його по відповідним службам, транспортним засобам, що проходять повз аварійну зону та аварійному судну (з урахуванням втрат зв'язку);

- час на подолання відстані між рятувальним засобом та судном, що потерпає лихо, з урахуванням початкової відстані між ними та стану аварійного судна (час знаходження його на плаву);

- час допустимого перебування людини у воді з урахуванням стану моря, атмосфери та засобів подовження граничних умов перебування у воді (рятувальні жилети, гідротермоізолюючі захисні костюми ГТЗК, плоти та уміння їх правильно одягати і використовувати);

- логіко-психологічний та психофізичний стан членів екіпажу (психологічний) шок, викликаний швидкоплинністю затоплення судна в штормових умовах при низькій температурі морського середовища і у нічний час і т. ін.)

- узгодженість дій людей служби ПРМ, членів екіпажу аварійного судна, судна-рятувальника та узгодженість дій між наведеними об'єктами та людьми.

Отже, виходячи з наведеного аналізу робимо висновок, що головним

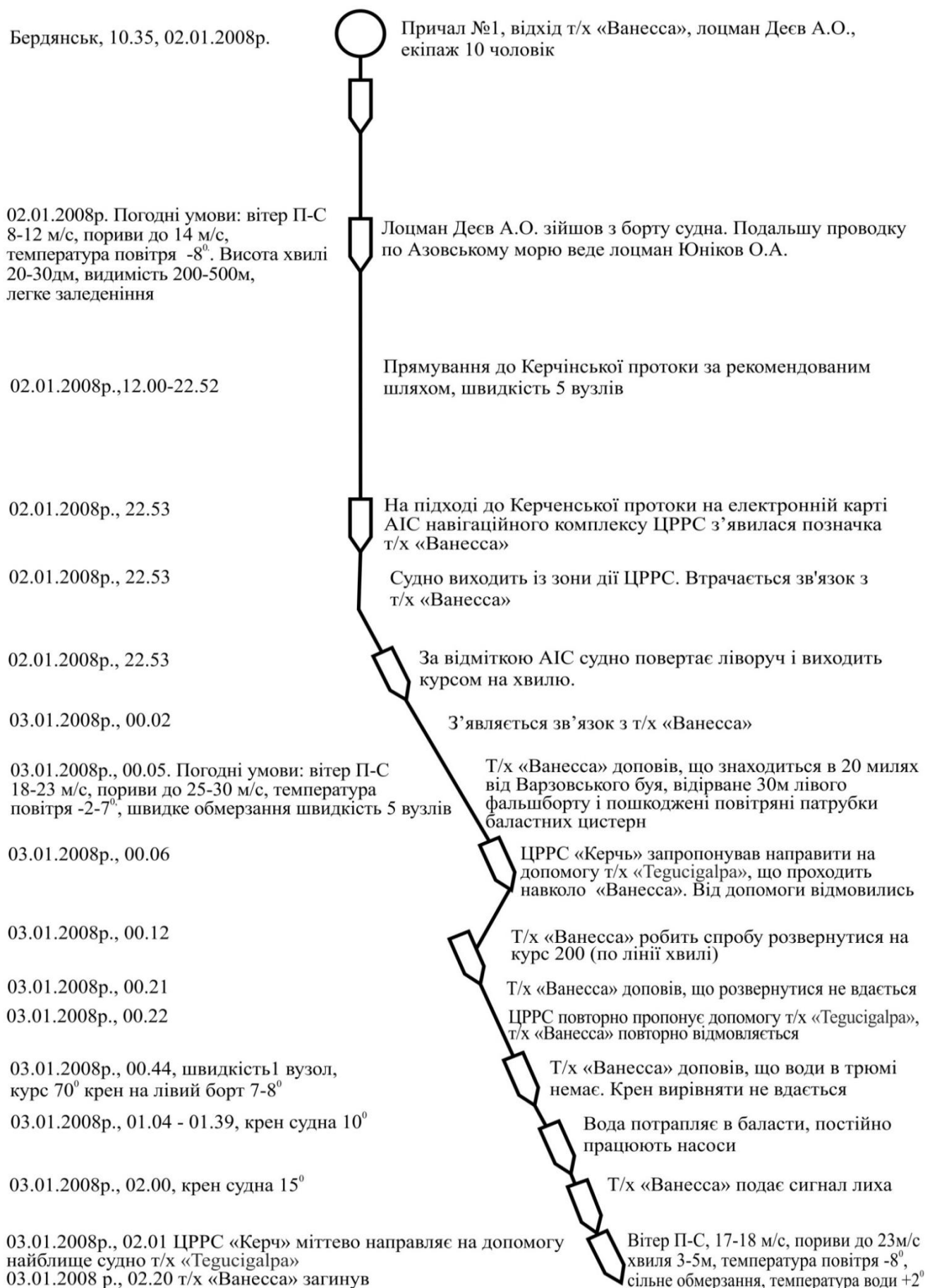


Рис. 1.4. Мапа подій загибелі т/х «Ванесса» у Азовському морі 03.01.2008 р.

чинником, який визначає успішність і ефективність проведення пошуково-рятувальних операцій є час. В дисертаційній роботі розглядаються перші три чинника часу та розробляються моделі та методи скорочення цих чинників часу за рахунок автоматизації управління процесами.

Так, якщо через якусь із наведених вище причин втрачена стійка керованість процесом рятування, то в цьому конкретному випадку стабілізуючим функціоналом може слугувати час відновлення характеристик керованості [66]:

$$J_1 = \int_{t_2}^{t_1} dt = t_1 - t_{\text{Від}}, \quad (1.1)$$

де $t_{\text{Від}}$, t_1 – час втрати й відновлення керованості відповідно.

Вплив морських і океанічних течій характеризується тим, що вони спричиняють тільки плоскопаралельне знесення як судна-рятувальника, так і аварійного судна і не впливають на їхній обертальний рух, стійкість і керованість. Водночас, неправильні течії, зумовлені місцевими причинами, за напрямком не збігаються із загальним ходом води та можуть бути обертальними і обертально-поступальними [64]. У цих випадках завдання стабілізації системи ускладнюються.

Питання стабілізації процесу управління рятуванням в умовах дії вітру в разі виникнення аварійної ситуації в різних районах особливо актуальні для суден, що мають більшу парусність (автомобіле- й контейнеровозів), а також суден типу ріка-море. Вітер являє собою повітряний турбулентний потік, швидкість якого має пульсаційний характер і загалом формується із двох складових: середньої швидкості, що суттєво не впливає на стійкість управління процесом, й змінної складової, вплив якої істотний [66, 67, 68, 69].

Залежно від висоти над рівнем моря у приводному шару атмосфери, середня швидкість вітру змінюється і описується залежністю [70, 71, 72]:

$$V = V_{h_0} + \frac{\partial V}{\partial(\lg h)} \lg \left(\frac{h}{h_0} \right), \quad (1.2)$$

де V_{h_0} – швидкість вітру на фіксованому рівні, висотою h_0 метрів.

Похідна від швидкості вітру по логарифму висоти (логарифмічний вертикальний градієнт) є змінною величиною, що залежить від динамічної й термічної турбулентності.

Причиною дрейфу суден є вітер, що діє під кутом до діаметральної площини. У більшості випадків точка прикладення сили тиску вітру не збігається із центром маси судна, що є причиною виникнення моменту, який прагне розвернути судно за вектором вітру. Цей момент складається з моментом гідродинамічної сили, що виникає на корпусі судна при його русі з кутом дрейфу.

Наведені впливи на характер руху судна вимагають постійної корекції керуючих дій [64].

Аналіз робіт [6, 73, 74, 75] показує, що проблему реконфігурації керування маневруванням судна, що рятує, та судна, що терпить лихо, необхідно досліджувати за трьома напрямками: розробка методів координації дій служби пошуку і порятунку на морі за всіма трьома рівнями координації (координація пошуку і порятунку, координація пошуково-рятувальних операцій, координація на місці проведення операції); розробка методів автоматичного підстроювання; розробка концепції реконфігурації керування як у прямому ланцюзі, так і в ланцюзі зворотного зв'язку системи керування.

Запропоновано реконфігурацію керування рятуванням на морі як у прямому ланцюзі, так і в ланцюзі зворотного зв'язку автоматизованої системи керування, будувати її на принципах попереднього розрахунку коефіцієнтів зворотного зв'язку як для нормального функціонування системи, так і для кожної типової аварійної ситуації, й надалі використовувати їх у процесі виконання рятувальних робіт відносно конкретної аварійної ситуації. При цьому коефіцієнти зворотного зв'язку визначають у вигляді матричної функції аварійного стану в такому вигляді [76, 77]:

$$G(v) = \sum_{i=0}^{n_j} G_i(v_i^{(j)}) \quad (1.3)$$

де G_0, G_{ij} – коефіцієнти зворотнього зв'язку справної системи і такої, що зазнала ij -ї аварійної ситуації;

$v_i^{(j)}$ – коефіцієнти, що характеризують ступінь втрати ефективності відповідного керуючого органу.

Функція (1.3) будувалася так, щоб забезпечити стабілізацію набору з m дискретних лінійних моделей:

$$X_j(k+1) = A_j X_j(k) + B_j U_j(k) + \Omega_j(k), \quad x_j \in R^n \quad (1.4)$$

$$Y_j(k) = C_j X_j(k) + V_j(k), \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad y_j \in R^p. \quad (1.5)$$

де $\Omega_j(k)$ – випадковий r -вимірний вектор дестабілізуючих внутрішніх процесів і зовнішніх впливів;

$V_j(k)$ – випадковий m -вимірний вектор гаусівських шумів вимірів.

Величини $\Omega_j(k)$ і $V_j(k)$ у виразах (1.4), (1.5) визначались при початкових умовах:

$$\begin{aligned} M\{W_j(k) W_j^T(P)\} &= W_j \delta_{KP}; \\ M\{W_j(k) W_j^T(P)\} &= 0; \quad i \neq j; \\ M\{V_j(k) W_j^T(P)\} &= V_j \delta_{KP}; \\ M\{V_i(k) W_j^T(P)\} &= 0, \quad i \neq j. \end{aligned} \quad (1.6)$$

де W – випадковий r -вимірний вектор гаусівських шумів збурень;

V – випадковий m -вимірний вектор гаусівських шумів вимірувань.

Умови мінімізації цільової функції, що визначає якість керування для типових аварійних моделей процесу пошуку і рятування на морі наступні [64]:

$$J(u) = \int_t^{t_k} (Y^T Q Y + U^T G U) dt = \min. \quad (1.7)$$

Вплив людського фактору. Під людським фактором (ЛФ) зазвичай розуміють сукупність особистих, медичних, біологічних, логіко-психологічних і психофізіологічних, професійних і соціальних факторів, що визначають умови експлуатації морських суден і обслуговування їх руху [78]. Також це поняття

поєднує безліч причин подій на морі, зумовлених діяльністю людини [79, 80].

Розглянемо механізми виникнення причин помилкової дії СПРМ.

Ці причини можна розділити на такі групи:

- надзвичайно складна аварійна ситуація, що виникла на морі;
- ергономічна недосконалість ДМРКЦ, МРПЦ, БРС і морських суден;
- несприятливі умови праці працівників служб рятування та членів екіпажів;
- недостатньо високий рівень професійної підготовки;
- відсутність у більшості працівників явних вроджених логіко-психологічних, психофізіологічних задатків і здібностей до високоякісного виконання покладених на них функцій;
- порушення принципів і порядку виконання робіт у процесі рятувальних операцій тощо.

Аналіз наведених факторів, що впливають на наслідки управлінської діяльності людини-оператора (працівників служби рятування), можна досліджувати на основі динамічної моделі системи «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація».

Дотепер службами ДМРКЦ, МРПЦ і БРС накопичений значний матеріал про характеристики людини-оператора в наведеній вище системі, що дає змогу виконувати динамічне моделювання її діяльності в різних аварійних ситуаціях. На підставі цих даних людина-оператор приблизно може бути «подана» у вигляді сукупності чотирьох ланок (рис. 1.5), які відображають характер зв'язків [81]:

- сприймаючі органи (рецептори);
- центральна нервова система (ЦНС);
- рухові органи (ефектори);
- ланцюги зворотного зв'язку (33).

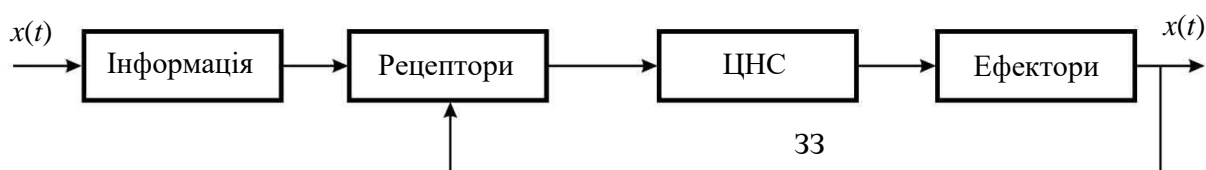


Рис. 1.5. Схема діяльності людини-оператора

Людина-оператор, присутня у контурі керування, в дисертаційній роботі врахована як динамічна система, здатна пристосовуватися до динамічних характеристик керованого об'єкта (служба порятунку на морі) і має властивість навчатися.

Ця динамічна система являє собою систему зі змінними параметрами і апостеріорною наближеною передатною функцією [82, 83, 84]:

$$w(p) = k \frac{(\alpha \tau_1 \rho + 1)}{(\tau_1 \rho + 1)(\tau_2 \rho + 1)} \exp[-\tau \rho], \quad (1.8)$$

де k – коефіцієнт передачі;

α – коефіцієнт сенсорної реакції оператора;

ρ – оператор диференціювання;

τ – час запізнювання відповідної реакції на сигнал, що поступив;

τ_1 – стала часу сенсорної реакції оператора;

τ_2 – стала часу, що характеризує інерцію в моторній дії.

Отже, із проведеного аналізу випливає, що на ефективність рятувальних робіт істотно впливають зовнішні деградуючі фактори, внутрішні процеси, правильність і швидкість обробки інформації та прийняття рішень у процесі організації рятувальних робіт а також інші причини, що знижують оперативність дій.

Отримані в цьому підрозділі теоретичні результати будуть використані під час дослідження конкретних ситуацій на морі та дії у них людини-оператора (керуючого персоналу СПРМ та членів екіпажів аварійного та рятувального суден).

1.4. Постановка задач дисертаційного дослідження

Світова практика проведення пошуково-рятувальних операцій на морі свідчить про низьку ефективність їх виконання в різних нештатних ситуаціях, що виникають на морі. Значна частина аварій виникає через відмову бортового

обладнання або двигунів силової установки; пробоїни корпусу судна при зіткненні із сторонніми механічними об'єктами; крім того, море являє собою середовище, яке піддається впливу різних стихійних факторів, тобто, небезпечне середовище, сполучене з безліччю ризиків. Традиційні підходи до проведення операцій пошуку та рятування в умовах, що склалися на морі, не дозволяють у повній мірі задовольнити ряд вимог щодо вчасного надання допомоги суднам та людям що зазнають лихо.

Пошук нових компромісних рішень відбувається в напрямках скорочення часу прибуття рятувальних засобів на місце аварії; злагодженості дій служби пошуку і рятування на морі; збільшення щільності покриття зони відповідальності України сигналами берегових радіостанцій; оптимізації кількості та місць дислокації пошуково-рятувальних одиниць. При цьому розробки йдуть по шляху як вдосконалення процедур виявлення суден, що зазнають лихо, так і процедур їх рятування а також рятування людей. Суттєво стримує прогрес у цій галузі необхідність у суттєвих додаткових витрат на підвищення щільності покриття зони відповідальності України, на придбання нових засобів пошуку і рятування та збільшення кількості пошуково-рятувальних підрозділів та особового їх складу.

Таким чином, актуальність науково-технічних та перспективних досліджень в дисертаційній роботі визначається у першу чергу потребою підвищення оперативності пошуково-рятувальних робіт на морі причому в умовах впливу різних дестабілізуючих чинників, що спричиняють невизначеність ситуації. Це зумовлює необхідність розв'язання наукової задачі, яка полягає в метою розроблення моделей і методів управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно вирішити такі часткові завдання:

– виконати аналіз публікацій щодо розробки і удосконалення моделей і методів пошуку і рятування на морі в умовах невизначеності стану оточуючого середовища, аварійного судна та кількості суден, що проходять через його акваторію для вибору управління в системі «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні

умови – нештатна ситуація»;

- розробити концепцію управління процесом пошуку і рятування на морі;
- створити і дослідити моделі й методи скорочення часу на підготовку і прийняття рішення та доведення його до виконавців та подолання відстані між рятувальними засобами (морськими і авіаційними) та судном, що потерпає лихо, а також перебування людей у воді;

- розробити і обґрунтувати модель ієрархічної інтегрованої системи управління, спрямованої на організацію і управління процесом ліквідації надзвичайних ситуацій на морі;

- розробити рекомендації та впровадити результати дисертаційного дослідження у профільних організаціях, науково-дослідних та дослідно-конструкторських підприємствах, та навчальному процесі морської академії.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Виконано критичний аналіз літературних джерел, присвячених питанням підвищення ефективності системи пошуку і рятування на морі, що дало можливість обґрунтувати доцільність застосування системного підходу при формуванні вигляду системи пошуку і рятування на морі, а також установити взаємозв'язки усередині цієї системи як мережевої структури.

2. Проведено аналіз характеристик системи пошуку і рятування на морі як динамічної системи керування, а також визначені і обґрунтовані основні вимоги до її структури, властивостей і виконуваних функцій.

3. Сформульовано задачі дисертаційного дослідження, визначено підхід до забезпечення управління в системі пошуку й рятування на морі, на підставі аналізу реальних подій в Азовському морі, визначено основні чинники, які суттєво впливають на успішність проведення пошуково-рятувальної операції, звернено увагу на роль людського фактору в підвищенні ефективності системи пошуку і рятування на морі.

РОЗДІЛ 2

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ПОШУКУ І РЯТУВАННЯ НА МОРІ В УМОВАХ НЕШТАТНОЇ СИТУАЦІЇ

2.1. Розробка концепції управління процесом пошуку і рятування на морі

Одним з найважливіших факторів розвитку судноплавства в Україні є ефективне опанування та застосування досягнень науки і техніки. Звертаючи увагу на активний розвиток судноплавства слід розуміти, що без забезпечення безпеки на морі таке завдання виконати не можливо.

Аналіз публікацій [85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92] і результатів розслідування аварій, що трапились в акваторії Чорного і особливо Азовського морів відносяться до вкрай тяжких (з осені до весни), а логіко-психологічний і психофізичний стан членів екіпажу в умовах виникнення катастрофічних обставин – катастрофічними. Використовуючи досвід проведення пошуково-рятувальних операцій в умовах жорстких зимових штормів в роботі розроблена концепція забезпечення безпеки життєдіяльності на морі. Під поняттям концепція будемо розуміти:

- систему поглядів на розвиток і удосконалення СПРМ;
- певний спосіб розуміння, трактування явищ, точки зору, керівна ідея для їх пояснення;
- певна система пов'язаних між собою та впливаючих одне з одного поглядів, способи розуміння і трактування явищ на морі, процесу пошуку і рятування, та досягнень поставленої мети.

Таке трактування концепції передбачає:

- інноваційність що напрямлена на розробку нових технологій і методів ПРМ;

- удосконалення ерготичної системи керування процесом пошуку й рятування на морі;
- пошук шляхів суттєвого скорочення часу виконання операцій пошуку й рятування;
- цілеспрямоване осмислення процесів, що відбуваються в аварійних ситуаціях на морі.

Ключовою особливістю пропонованої концепції є те, що процес пошуку і рятування на морі та його учасники, розглядаються системно, тобто весь процес пошуку і рятування зводиться в єдину динамічну агреговану систему управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація».

Така агрегація дозволяє визначати головну мету в конкретно утвореній на морі ситуації, а після сепарації визначити шляхи підвищення успішності операцій щодо пошуку і рятування та виявляти найбільш слабкі ланки цього процесу, досліджувати вплив кожної складової і на цій основі удосконалювати систему. Для більш детального дослідження процесу розвитку нештатної ситуації на морі у часі, формування необхідних керуючих впливів та визначення шляхів суттєвого скорочення втрати часу на збір, обробку інформації, прийняття рішень та доведення їх до виконавців, на подолання відстані між аварійним судном та засобом спасіння, на своєчасну евакуацію людей розроблена концептуальна модель системи управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» (рис. 2.1).

Для аналізу якості функціонування цієї системи управління, а також опису динамічних процесів в контурах керування в умовах негативного впливу зовнішніх дій і внутрішніх процесів, необхідно мати математичну модель яка розглянута далі у роботі [136].

Головною метою створення концепції є інноваційна діяльність [93, 94] щодо розробки моделей і методів суттєвого скорочення витрат часу на інформаційну підтримку пошуково-рятувальних операцій, на подолання відстані між рятувальними засобами та аварійним судном (людьми на воді) а також перебування людей у воді.

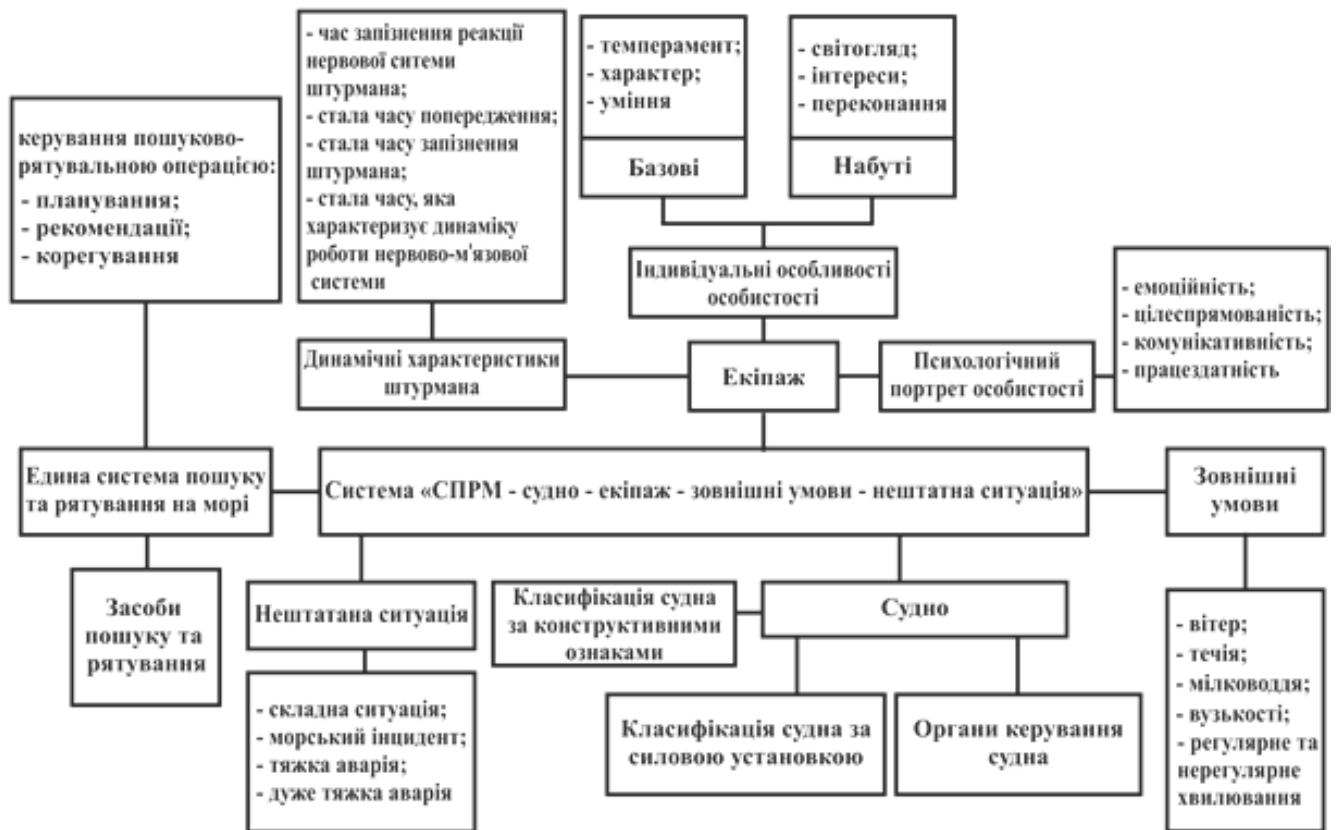


Рис. 2.1. Концептуальна модель системи управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація»

Це має відповідати основним задачам системи пошуку й рятування на морі [91]:

- рятування людей, що знаходяться у воді, на пошкоджених морських об'єктах та таких, що гинуть, повітряних суден (ПС), що привелись;
- надання допомоги аварійним об'єктам (у тому числі береговим) в гасіння пожеж, веденні боротьби за живучість, утриманні на плаву та буксируванні;
- проведення водолазних глибоководних, суднопідйомних та інших підводних робіт;
- проведення науково-дослідних робіт у галузі пошуково-рятувальних операцій, моніторингу проектування можливих аварійних об'єктів, складної рятувальної техніки та майна;
- проведення комп'ютерних комплексних навчань в інтересах єдиної системи пошуку й порятунку на морі [95].

2.2. Параметризація прямих ознак причин нештатних ситуацій на морі

Нештатна ситуація (НС) в контексті забезпечення функціонально стійкого управління в системі «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» розглядається як невизначена подія, обумовлена невизначеністю моменту її появи, місця виникнення у морі і на судні, наявність в акваторії аварійного судна суден, що проходять навколо (повз) та їх відстані від аварійного судна, гідро- аеродинамічні умови на траєкторію руху судна, логіко-психологічний і психофізичний стани екіпажу, належність до класу і конкретного виду ситуацій та ін. Для формування керуючих дій щодо нейтралізації нештатної ситуації та її наслідків необхідно кожній прямій ознаці нештатної ситуації поставити у відповідність параметр, що характеризує появу причин відповідної нештатної ситуації. Прямі ознаки – це ознаки виду, класу, місця, характеру і наявності самої НС. Для параметризації прямих ознак визначено основні причини НС та їх наслідків, до яких у роботі віднесено:

- аеро-, гідро- метеорологічні умови на момент події;
- технічний стан судна та його систем;
- інформаційне забезпечення прийняття рішення та доведення до виконавців, його відповідність до ситуації, що склалася на морі;
- стан системи пошуку й рятування на морі;
- логіко-психологічний та психофізичний стан екіпажу та інше.

Аеро-, гідродинамічні та метеорологічні умови характеризуються такими параметрами:

- вітер – напрямлення й швидкість, характер (постійний, поривчастий);
- видимість – прозора, хмарна, туман, снігові хмари;
- температура повітря та морської води;
- хвилювання моря – висота та крутизна хвиль, напрям і періодичність, резонансні явища, розташування судна відносно гребнів хвиль тощо;
- наявність течій, приливів, відливів.
- атмосферні опади – дощ, град, снігові заряди (замети), обмерзання.

Технічний стан судна та його систем:

Аналіз фактичного технічного стану конструкцій корпусу, механічної установки, механізмів, пристроїв, систем і електроустаткування судна, систем та засобів зв'язку представляючи собою інструмент, що дозволяє якісно оцінити судно і його елементи незалежно від віку відповідно до встановленої системою рейтингу щодо забезпечення таких морехідних якостей судна як плавучість, остійність, непотоплюваність, керованість, ходкість, водонепроникливість корпусу судна.

До основних елементів морехідності судна слід віднести [96]:

- технічну придатність судна до плавання;
- укомплектування судна екіпажем;
- спорядження та забезпечення судна всім необхідним;
- придатність до прийняття вантажу для перевезення.

Технічний стан судна та його систем (зношування судна, порушення цілісності корпусу судна, несправності й ушкодження різних судових обладнань, відсутність засобів зв'язку);

Втрата судном остійності (здатності судна зберігати рівновага навіть при сильному впливі зовнішніх сил).

Інформаційне забезпечення прийняття рішення та доведення до виконавців, його відповідність до ситуації, що склалася на морі відбувається за рахунок:

- налагодження зв'язку між учасниками пошуково-рятувальної операції на основних та запасних частотах;
- використанням системи АІС, яка надає можливість: отримати знання позицій судів і їх відображення на екрані в зоні відповідальності ДМРКЦ, а також їх найменування, характеристик, наявності небезпечного вантажу і навігаційних даних (місце розташування, курс, швидкість і ін.), що сприяє більш повній оцінці ситуації при наданні допомоги в разі лиха;
- в аварійній ситуації кожне судно матиме інформацію про найменування, розташування і навігаційних даних інших судів в радіусі дії УКХ-радіозв'язку, що сприяє швидкому наданню допомоги;

- завдяки безперервній роботі транспондера на судні створюється можливість передачі найближчому судам і береговим службам, включеним в АІС, сигналів лиха або терміновості, що містять відомості про подію;

- можливість взаємодії (обміну інформацією) з вертольотами, які беруть участь в пошуково-рятувальних операціях, і іншими судами в районі лиха.

Це надає можливість:

- планувати пошуково-рятувальних операцій та приймати ефективних рішень в ході проведення операції ;

- виявляти та попереджувати помилки на ранніх стадіях;

- визначати відповідність можливостей ресурсів задіяних у ході пошуково-рятувальної операції поставленим задачам.

В свою чергу використання виконавцями пошуково-рятувальної операції стандартної форми донесення про обстановку, що сталась на морі, у ході ліквідації НС забезпечує зворотній зв'язок з координатором ДМРКЦ, що дає можливість:

- дотримуватись стандартного порядку дій;

- приймати рішення у нестандартній ситуації.

Помилкове інформаційне забезпечення прийняття рішення, збій в одержанні достовірної інформації може привести до НС відповідно до ситуації, яка склалась на морі, наприклад, зіткненню суден та інше.

Стан системи пошуку й рятування на морі:

Залежно від обстановки, що склалася в межах морської зони відповідальності може бути встановлений один з режимів функціонування СПРМ:

- режим повсякденної діяльності;

- режим підвищеної готовності.

У режимі повсякденної діяльності здійснюються:

- моніторинг Чорного і Азовського морів;

- моніторинг руху суден в морському пошуково-рятувальному районі України;

- спостереження за українськими судами в будь-якому місці земної кулі;

- пошук і проведення рятувальних операцій на морі в режимі on-line;
- створення і підтримання в готовності сил і засобів з пошуку і рятування;
- вдосконалення підготовки та перепідготовки спеціалістів із забезпечення безпеки судноплавства тощо.

У режимі підвищеної готовності здійснюється:

- припинення обслуговування суден, плавзасобів, авіаційних засобів, технічних засобів, засобів зв'язку в разі лиха, берегових підрозділів, в тому числі в період ремонту;
- приведення в стан готовності сил і засобів для здійснення пошуку й рятування у морській зоні відповідальності України;
- можливе здійснення заходів по залученню повітряних суден для авіаційного пошуку в морському пошуково-рятувальному районі України;
- виявлення причин погіршення обстановки безпосередньо в районі можливого лиха, вироблення пропозицій по її нормалізації;
- посилення чергово-диспетчерських служб, посилення спостереження і контролю та ін.

Таким чином, основними компонентами системи ПРМ морі є:

- засоби забезпечення зв'язку в межах всього пошуково-рятувального району і з зовнішніми службами реагування на надзвичайні морські ситуації;
- державний морський рятувально-координаційний центр (ДМРКЦ);
- один або кілька допоміжних центрів пошуку і рятування для підтримки Державного морського рятувально-координаційного центру в межах морської зони відповідальності України;
- засоби пошуку й рятування, включаючи пошуково-рятувальні команди зі спеціалізованим обладнанням і навченим персоналом та інші ресурси, які можуть бути використані для реагування і проведення пошуково-рятувальних операцій;
- координатор на місці проведення операції, який призначається в залежності від необхідності для координації дій всіх учасників засобів на місці проведення операції;
- допоміжні засоби, які забезпечують обслуговування в підтримку пошуково-

рятувальних операцій.

Відзначимо, що існуюча система має недоліки, які полягають у наступному:

– в правовому відношенні, на практиці буває складно відокремити рятування людей від рятування майна, проте, ці інститути значно відрізняються один від одного;

– створення системи пошуку і рятування неможливо без аналізу маршруту руху суден, аналізу ступеня ризику і визначення найбільш небезпечних районів плавання. Для цього необхідно залучати службу управління рухом суден, капітана порту і лоцманську службу Дельта-лоцман;

– світова практика показує, що для максимально ефективного ведення морських рятувальних операцій необхідний тандем – спеціалізовані катера плюс вертольоти. Особливо в екстремальних погодних умовах. Це найнадійніший і швидкий вид порятунку. До цієї пори в Україні, на жаль, відсутні спеціалізовані рятувальні вертольоти. А вертольоти МНС і ПС ЗСУ не пристосовані до роботи в жорстких погодних умовах над морем, до того ж мають обмеження щодо використання в темний час доби;

– відсутність криголамного судна з осадкою до 5 метрів і потужністю 4 мВт. Як показала одна з зим в Одеському порту, коли судна були скуті льодом;

– відсутність загальної інтеграції чорноморських держав з метою об'єднання зусиль не тільки на основі двосторонніх угод.

Стан системи пошуку й рятування на морі визначає результат НС, а саме: екстреним реагуванням системи на виникнення НС, організацією ефективної розвідки, приведенням у готовність органів керування, сил і засобів, своєчасним висуванням їх у зону НС, розгортанням системи керування, розгортання необхідних сил і засобів (вертольотів, літаків), призначених для ліквідації НС.

Логіко-психологічний та психофізичний стан екіпажу:

Здатність екіпажу судна до виконання поставлених задач забезпечується особистими психічно-пізнавальними процесами, такими як сприйняття, пам'ять, уяву, мислення, забезпечення розвитку комунікативних здібностей, які є

необхідними в умовах колективної роботи членів суднового екіпажу, умінням підтримувати високий рівень особистої загальної психофізичної та професійної працездатності тощо.

Реалізація організації членів команди у злагоджений екіпаж забезпечується завдяки компетентнісному підходу до організації процесу професійної підготовки сучасного моряка, що передбачає формуванню та удосконаленню їх індивідуальної психічної культури, формуванню у них умінь свідомого психічного самовпливу з метою оптимізації психофізичного стану.

Тому сучасні члени екіпажу повинні відповідати наступним компетенціям:

– здатність осіб рядового та керівного складу до виконання звичайних обов'язків стосовно несення вахти, виконання робіт, розуміння сутності команд, що пов'язані з цими обов'язками:

– уміння керувати своїми психічними пізнавальними процесами, емоційно-вольовими станами, здійснювати контроль за особистими професійними діями на підставі відповідальності та цілеспрямованості.

– здатність до аналізу та синтезу – уміння самостійно знаходити принципово нову інформацію на підставі активізації розумових дій, а саме аналізу, синтезу, порівняння, індукції, дедукції, моделювання, інше;

– здатність керувати діями під час аварії – уміння швидко приймати вірні рішення під час аварійних ситуацій та надавати відповідні накази, організувати роботу підлеглих у напрямку подолання ситуації;

– здатність виживання в морі у випадку залишення судна – уміння забезпечувати високий рівень емоційно-вольової стійкості, приймати професійно доцільні рішення у напрямку подолання екстремальної ситуації;

– здатність до дотримання якості в роботі.

Корені більшості аварій і подій на морському транспорті криються в психологічному й психофізичному стані екіпажу й, відповідно, потрібні як психологічні підходи до розв'язку проблеми безпеки мореплавання, так і спеціальна психологічна підготовка плавскладу, члени екіпажу повинні мати відповідальність, ретельність уважністю, урівноваженістю, стресостійкістю.

Отже, для систем і підсистем ПРМ визначається своя кінцева множина причин нештатної поведінки судна, які структуруються в ієрархічну структуру. В морській галузі ця ієрархічна структура є найбільшою за кількістю елементів та зав'язків і тому є найбільш представницькою, що відображає гранично важливу глибину причинно-наслідкових зав'язків можливих нештатних ситуацій на морі.

Параметризація причин і класів НС взаємозв'язані завдання, оскільки клас формується з великої кількості причин, які можна умовно звести у підкласи, що покриваються одним параметром, а причини параметризуються в номінальній шкалі за допомогою інтервалізації параметра класу, виходячи з можливості подальшого парировання причин НС за допомогою залучення додаткових засобів рятування на морі.

Наведене переконливо підтверджується на прикладі загибелі т/х «Ванесса» (прапор Болгарії) в Азовському морі 03.01.2008 року.

Основними причинами, що створили НС, стали:

А – аерометеорологічні умови на момент аварійної події – погода хмура, снігові хмари; прозорість – видимість 40 каб; вітер, напрямлення і швидкість – північний, північно-східний, поривчастий, 20 – 30 м/с.

В – гідрометеорологічні умови на момент події – температура морської води $0 + 2$ °С; хвилювання – висота хвиль від 20 – 50 дм, – бокові гідродинамічні удари, обмерзання, крен на лівий борт 5 – 15 градусів; температура повітря – 7 °С.

С – наявність на борту колективних та індивідуальних засобів рятування:

– шлюпки, надувні плоты (типу ПРН) – 3 шт.;

– рятувальні жилети, гідротермоізолюючі захисні костюми (ГТЗК);

Д – логіко-психологічний і психофізіологічний стан членів екіпажу та екіпажу у цілому:

– отримання травм при аварійному покиданні судна в умовах наявного крену і жорсткого моря;

– психологічний шок, боязнь, невпевненість;

– психологічний шок, викликаний швидкоплинним затопленням судна в штормових умовах при низьких температурах води в умовах ночі;

– відсутність у членів екіпажу необхідних навичок користування колективними та індивідуальними засобами рятування і виживання; – неможливість в умовах шторму і обмерзання покинути судно та скористатися рятувальними надувними плотами.

Наведені прямі ознаки причин НС можна згрупувати у чотири-п'ять великі параметричні групи і представити наступними кортежами:

$$\langle \text{Параметризація НС} \rangle = \langle A, B, C, D \rangle \quad (2.1)$$

$$\langle \text{Відношення між параметрами НС} \rangle = \langle U, V, P, \pi, T \rangle \quad (2.2)$$

де $U = \{1, 2, \dots, j, \dots, U\}$ – множина вузлів (вершин) графу; $V = \{V_1, V_2, \dots, V_j, \dots, V_u\}$ – множина відповідних їм змінних; $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots\}$ – набір значень, що їх набуває j змінна; $f_i \in F$ – щільність вірогідності розподілу змінної; $\pi_j \in \Pi$ – функція належності; $D = \{d_1, d_2, \dots\}$ – різноманіття ребер, що сполучають вузли; A – вектор ребер предцесорів; B_i – вектор ребер саксесорів; P_{ij} – вектор заходів можливостей або вірогідностей переходу між i та j ; T_{ij} – вектор змін ресурсів (часу) при переході з вузла i у вузол j .

Отже, запропонована параметризація прямих ознак НС на морі являє собою ієрархічну схему параметризації, в яких множина параметрів формується в різнотипних шкалах.

2.3. Аналіз структурно-топологічних характеристик системи пошуку і рятування на морі

Застосування принципів системного підходу дозволяє виявити структурні характеристики системи.

Розглянемо основні характеристики стійкості зв'язків між елементами структури СПРМ в різних умовах її функціонування.

Зазначимо, що морські рятувально-координаційні мережі належать до класу топологічно зв'язаних об'єктів, тому їх працездатність багато в чому визначається структурними особливостями. Структурний аналіз дає змогу виявити ці

особливості, їх переваги і недоліки. Під час проведення структурного аналізу СПРМ зазвичай потрібно мати у своєму розпорядженні методичку, що дозволяє визначати основні структурні характеристики системи і кількісно їх оцінювати [97].

Доцільність визначення таких характеристик полягає в тому, що вже на ранній стадії створення і модернізації з'являється необхідність оцінювати якість структури системи і її складових з позицій складної ієрархічної ергатичної структури.

Наведемо основні структурно-топологічні характеристики:

- зв'язність структури;
- структурна надмірність;
- структурна компактність;
- структурна живучість;
- ступінь централізації в структурі – індекс центральності.

Для кількісного оцінювання основних структурно-топологічних характеристик розглянемо деякі властивості даних структур на прикладі графа зв'язків для чотирьох територіально розосереджених об'єктів – морських рятувально-координаційних центрів (підцентрів РКЦ) на Чорному й Азовському морях у зоні відповідальності України.

Для чотирьох об'єктів проведемо дослідження у різних видах топологічних структур на прикладі чотирьох елементів: лінійну (послідовну) структуру, кільцеву, радіальну, структуру «повний граф»:

Послідовно розглянемо види топологічних структур

Лінійну структуру представимо на рис. 2.2.

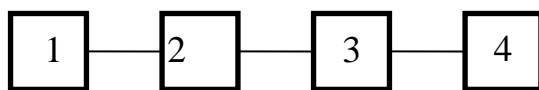


Рис. 2.2. Лінійна структура графа

Для даної лінійної структури m – число ребр у неорієнтованому графові – 3, а n – число вершин – 4.

Якщо для будь-яких двох вершин графа існує хоча б один з'єднувальний шлях, граф називається зв'язним. Зв'язність одна з найважливіших характеристик графа мобільних зв'язків може бути не тільки якісною характеристикою графа, але й кількісною.

Кількісна оцінка зв'язності характеризує кількість зв'язків між вершинами графа. Для орієнтованого графа число зв'язків не може бути меншим ніж $n-1$, у супротивному випадку деякі вершини виявляться ізольованими від інших вершин графа. Для визначення числа зв'язків у графі використовується матриця зв'язності. Ця характеристика графа важлива для оцінювання безперервності і стійкості зав'язків між підрозділами СПРМ.

Для неорієнтованих графів зв'язність усіх елементів у структурі відповідає виконанню умови [98]:

$$\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} a_{ij} \right] \geq n-1, \text{ при } i \neq j. \quad (2.3)$$

У співвідношенні (2.3) a_{ij} – елементи матриці суміжності вершин графа.

Матрицею суміжності є квадратна матриця $A[i, j]$.

$$A = A[i, j] = \begin{cases} 1, \text{ вершина з номером } i \text{ суміжна з вершиною з номером } j \\ 0, \text{ вершина з номером } i \text{ не суміжна з вершиною з номером } j \end{cases} \quad (2.4)$$

Виходячи з вищесказаного лінійній структурі графа відповідає наступна матриця суміжності.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Співвідношення (2.3) можна привести до вигляду

$$\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} a_{ij} \right] = m, \quad (2.5)$$

тобто, це не що інше, як число ребр у неорієнтованому графі.

Скориставшись співвідношеннями (2.3) і (2.4), одержимо вираз для структурної надмірності СПРМ

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} a_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1; \quad (2.6)$$

$$R = \frac{m}{n-1} - 1 \quad (2.7)$$

де R – структурна надмірність;

m – число ребр у неорієнтованому графі;

n – число вершин.

Структурний параметр R , що відбиває перевищення загального числа зв'язків над мінімально необхідним числом зв'язків, є важливою характеристикою графа мобільних зв'язків СПРМ – структурною надмірністю [99].

Структурна надмірність визначається виразом (2.6) [100, 101].

Величина показника структурної надмірності має таку інтерпретацію:

$$R = \begin{cases} R > 0 & \text{– система має максимальну} \\ & \text{надмірність;} \\ R = 0 & \text{– система має мінімальну} \\ & \text{надмірність;} \\ R < 0 & \text{– система нез'язана.} \end{cases} \quad (2.8)$$

Структурну надмірність визначимо згідно (2.6), одержимо

$$R = \frac{m}{n-1} - 1 = \frac{3}{4-1} - 1 = 0.$$

Таким чином, система з більшою структурною надмірністю R потенційно більш надійна, безперервність більш висока однак у деяких випадках вона повинна бути наближена до мінімальної $R=0$ (з метою підвищення оперативності і економічності).

Також з (2.7) видно, що досліджуваний граф є зв'язаним.

Рівномірний розподіл зв'язків у структурі неорієнтованого графа, що має m ребр і n вершин, характеризується середнім ступенем усіх вершин графа

$$\rho_{\text{сер}} = 2 \frac{m}{n}. \quad (2.9)$$

У цьому співвідношенні множник 2 указує, що кожне ребро графа з'єднує дві вершини, і тому рахується двічі. Тоді середній ступінь усіх вершин графа

$$\rho_{\text{сер}} = 2 \frac{m}{n} = 2 \frac{3}{4} = 1,5. \quad (2.10)$$

Позначимо дійсний ступінь i -ї вершини графа (число ребр, пов'язаних із цією вершиною) через ρ_i . Тоді ввівши поняття відхилення $(\rho_i - \rho_{\text{сер}})$, можна визначити середньоквадратичне відхилення ε^2 заданого розподілу ступенів вершини від рівномірного.

Нерівномірність зв'язків ε^2 у графі мобільних зв'язків може бути охарактеризована виразом:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{i=n} (\rho_i - \rho_{\text{сер}})^2. \quad (2.11)$$

За формулою (2.10) визначимо показник ε^2 урахувавши матрицю суміжності, з якої випливає, що $\rho_1 = 1$, $\rho_2 = \rho_3 = 2$, $\rho_4 = 1$:

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\text{сер}})^2 = (\rho_1 - 1,5)^2 + (\rho_2 - 1,5)^2 + (\rho_3 - 1,5)^2 + (\rho_4 - 1,5)^2 = \\ &= (1 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + (1 - 1,5)^2 = 2(1 - 1,5)^2 + 2(2 - 1,5)^2 = 1. \end{aligned}$$

Для кількісної оцінки структурної компактності СПРМ введемо параметр, який відображає близькість елементів між собою, тобто структурна компактність Q , яка відображає близькість вершин α_i і α_j графа одна до одної, яку можна визначити через мінімальну довжину шляху d_{ij} для орієнтованого графа. У цьому випадку сума всіх мінімальних шляхів (ланцюгів) між усіма складовими СПРМ відображає загальну структурну близькість елементів в аналізованій структурі [102].

Відповідно до визначення будемо мати:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} d_{ij}, \text{ якщо } i \neq j \quad (2.12)$$

Запишемо матрицю відстаней для послідовної структури (лінійного графа):

$$\|d_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{vmatrix},$$

Тоді структурна компактність (2.4) неорієнтованого графа лінійної структури:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} d_{ij} = 20 - \text{сума всіх елементів матриці відстаней рівна } 20.$$

Число зв'язків у структурі графа $Q_{\text{п.г}} = n(n-1) = 4(4-1) = 12$.

Більш наочною характеристикою структурної компактності графа мобільних зв'язків в СПРМ може слугувати його відносна компактність $Q_{\text{від}}$, зумовлена таким співвідношенням:

$$Q_{\text{від}} = \frac{Q}{Q_{\text{п.г}}}, \quad (2.13)$$

Відносна компактність графа лінійної структури:

$$Q_{\text{від}} = \frac{20}{12} - 1 = 0,67.$$

Ще простіше структурну компактність можна охарактеризувати іншим параметром – діаметром структури:

$$d = \max_{i,j} d_{ij}. \quad (2.14)$$

Діаметр графа лінійної структури, максимальна відстань між вершинами

$$d = \max_{i,j} d_{ij} = 3.$$

Ураховуючи переважний інформаційний характер зв'язків у мережах СПРМ, можна стверджувати, що величини $Q_{\text{від}}$ і d інтегрально оцінюють інерційність інформаційних потоків у системі, а за рівних значень ε^2 і R їх зростання відображає збільшення числа поділяючих зв'язків у структурі, характеризуючи тим самим зниження загальної надійності або втрати безперервності, отже й ефективності системи ПРМ.

Наступною важливою характеристикою оцінки ступеня централізації в структурі є поняття індексу центральності δ [103].

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)}, \quad (2.15)$$

$$z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}, \quad (2.16)$$

де d_i – сума елементів рядка з номером i .

$\max \frac{Q}{2d_i}$ утворюється, коли d_i мінімальне.

Мінімальним є сума елементів третього рядка матриці відстаней, тому $d_3 = 6$.

$$\text{Тоді } z_{\max} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{20}{2 \cdot 6} = 1,67.$$

Ступінь централізації графа лінійної структури

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 3(5-4) \frac{1}{1,67 \cdot 2} = 0,9. \quad (2.17)$$

Отримані значення основних структурно-топологічних характеристик для лінійної структури наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри основних структурно-топологічних характеристик для лінійної структури

Структура	Характеристики				
	R	ε^2	$Q_{\text{від}}$	d	δ
Лінійна	0	1	0,67	3	0,9

Розглянемо кільцеву структуру й визначимо значення основних структурно-топологічних характеристик.

Кільцеву структуру представимо на рис. 2.3.

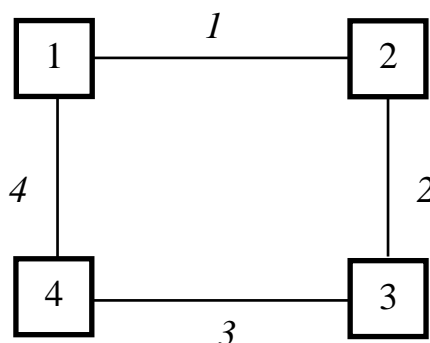


Рис. 2.3. Кільцева структура

Для цієї структури матриця суміжності має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{matrix}$$

Матриця відстаней для графа кільцевої структури має такий вигляд:

$$\|d_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 4 \\ 4 \\ 4 \\ 4 \end{matrix}.$$

Проведені обчислення основних структурно-топологічних характеристик для кільцевої структури з урахуванням наведених матриць і наведеним вище формулам (2.8; 2.12; 2.14; 2.15; 2.16).

Отримані значення наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Параметри основних структурно-топологічних характеристик для кільцевої структур

Структура	Характеристики				
	R	ε^2	$Q_{\text{від}}$	d	δ
Кільцева	0,33	0	0,33	2	0

Розглянемо радіальну структуру й визначимо значення основних структурно-топологічних характеристик.

Радіальну структуру представимо на рис. 2.4.

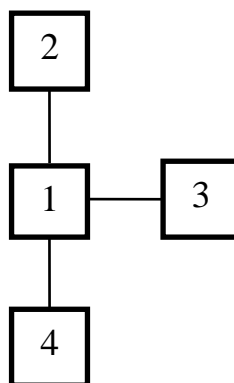


Рис. 2.4. Радіальна структура

Для цієї структури матриця суміжності має вигляд:

$$A = \left\| \begin{array}{cccc|c} 0 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\|$$

Матриця відстаней для графа радіальної структури має такий вигляд:

$$A = \left\| \begin{array}{cccc|c} 0 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\|$$

Проведені обчислення основних структурно-топологічних характеристик для радіальної структури з урахуванням наведених матриць і наведеним вище формулам (2.8; 2.12; 2.14; 2.15; 2.16).

Отримані значення приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Параметри основних структурно-топологічних характеристик для радіальної структури

Структура	Характеристики				
	R	ε^2	$Q_{\text{від}}$	d	δ
Радіальна	0	3	0,5	2	1,0

Розглянемо структуру "повний граф", яка представлена на рис. 2.5. і визначимо значення основних структурно-топологічних характеристик.

Структура "повний граф" представлена на рис. 2.5.

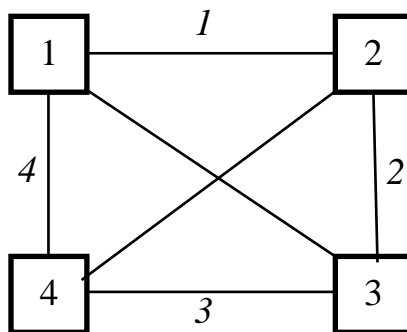


Рис. 2.5. Структура "повний граф"

Для цієї структури матриця суміжності має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix},$$

Матриця відстаней для структури "повний граф" має такий вигляд:

$$\|d_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix}$$

Проведені обчислення основних структурно-топологічних характеристик для структури "повний граф" з урахуванням наведених матриць і наведеним вище формулам (2.8; 2.12; 2.14; 2.15; 2.16). Отримані значення приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Параметри основних структурно-топологічних характеристик для структури "повний граф"

Структура	Характеристики				
	R	ε^2	$Q_{\text{від}}$	d	δ
"Повний граф"	1	0	0	1	0

Результати обчислень топологічних характеристик для типових структур (для випадку 4-х елементів) зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5

Результати обчислень топологічних характеристик для типових структур

Структура	Характеристики				
	R	ε^2	$Q_{\text{від}}$	d	δ
Лінійна	0	1	0,67	3	0,9
Кільцева	0,33	0	0,33	2	0
Радіальна	0	3	0,5	2	1,0
"Повний граф"	1	0	0	1	0

Проведемо порівняльний аналіз топологічних структур.

Аналіз табл. 2.5 показує наступне:

- структурна надмірність R найменша (рівна 0) для лінійної, радіальної й $R > 0$ для кільцевої структури, структури типу “повний граф”, а це, як прийнято, означає, що система з малої R менш надійна, однак у ряді випадків вона повинна бути наближена до мінімальної $R = 0$ (з метою підвищення оперативності й економічності);

- структури (лінійна, радіальна) з $R = 0$ різняться по показникові ε^2 , найбільшу нерівномірність зв'язків має радіальна структура $\varepsilon^2 > 0$, найменшу нерівномірність $\varepsilon^2 = 0$ мають структури кільцева, структури типу “повний граф”;

- найбільшу “близькість” (найбільшу компактність) $Q_{\text{від}}$ має структура типу “повний граф”, напроти лінійна структура найменш компактна, оскільки величина відносної компактності $Q_{\text{від}}$ значна;

- кільцева й радіальна структури, що мають однакове значення $d = 2$ незначно різняться компактністю $Q_{\text{від}}$;

Додатково можна побачити, що магістральна структура по своїх характеристиках еквівалентна структурі типу “повний граф”.

Розглянуті вище структурні характеристики були отримані тільки на основі інформації про склад елементів і їх зв'язках.

Застосування ймовірнісних структурно-топологічних характеристик графів зв'язків між елементами структури в різних умовах її функціонування дозволяє вирішувати широке коло завдань системи пошуку і рятування із заданими показниками ефективності та якості [104; 105; 106].

Порівняльний аналіз різних варіантів структури СПРМ дав змогу виділити різні рівні її структурного опису як системи, виявити істотні зв'язки між основними структурними елементами з певним ступенем спрощення.

Схема будь-якої структури звичайно представляється у вигляді графа [107].

Виходячи з викладеного й опираючись на дані Internet, був побудований граф стану, що наочно відображає структуру СПРМ (рис. 2.6) [108].

Крім того, аналіз графа (рис. 2.6) дозволяє стверджувати, що функціональна структура СПРМ організована за ієрархічним принципом (організація за принципом «дерево стану»), тобто такий, якій властиві специфічні особливості [109]:

- послідовне вертикальне розташування підсистем, які утворюють цю систему, або, точніше, вертикальна співвідповідність;
- пріоритет дій, або право втручання підсистем верхнього рівня в дію підсистем нижнього рівня;
- залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання підсистемами нижніх рівнів своїх функцій.

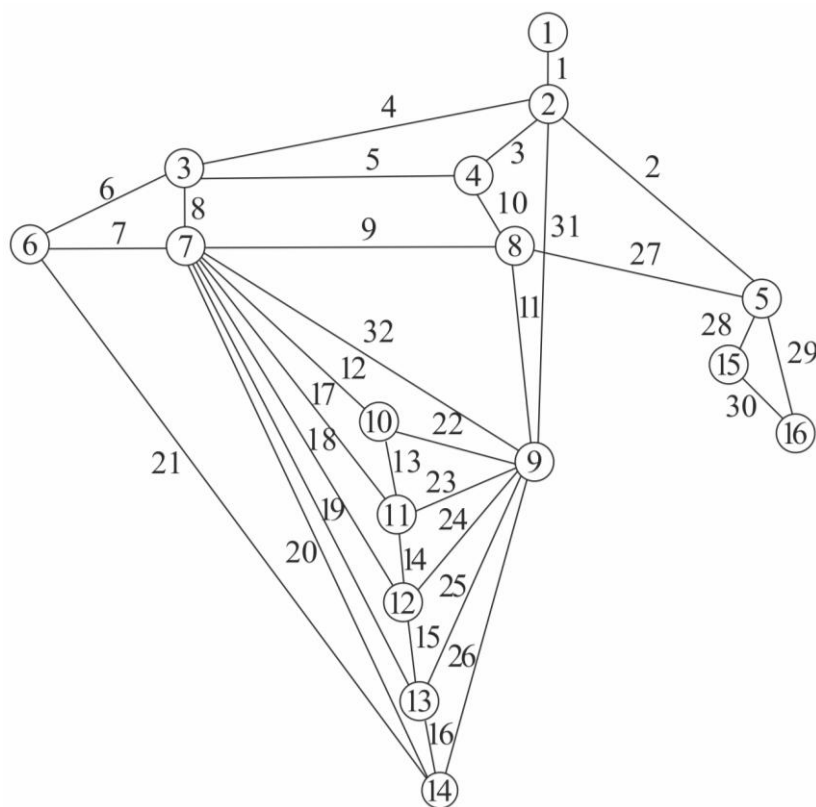


Рис. 2.6. Структурна схема СПРМ у вигляді графа стану:

1 – директор; 2 – заступник директора з пошуку та рятування; 3 – директор Державного морського рятувально-координаційного центру (м. Одеса); 4 – начальник служби зв'язку; 5 – начальник служби безпеки мореплавства; 6 – начальник служби зв'язку; 7 – начальник морського рятувально-координаційного підцентру (м. Бердянськ), 8 – начальник служби флоту; 9 – капітан координатор; 10 – командир маневрової групи катерів (база Усть-Дунайськ); 11 – командир

маневрової групи катерів (база Білгород-Дністровськ); 12 – командир маневрової групи катерів (база Одеса-Чорноморськ); 13 – командир маневрової групи катерів (база Скадовськ); 14 – командир маневрової групи катерів (база Бердянськ); 15 – начальник служби охорони праці; 16 – начальник сектору цивільного захисту та пожежної безпеки.

Отже зрозуміло, що директор служби та заступник директора з пошуку і рятування можуть безпосередньо виходити під час виконання управлінських функцій на будь-який підлеглий підрозділ, або на кожного зі співробітників.

Побудована структурна схема функціональних служб СПРМ у вигляді формальної моделі-графа відображає разом із цілями служби та характеристиками навколишнього середовища існуючу взаємодію її складових елементів з урахуванням відповідного ступеня складності, стандартизованих процедур і централізованого прийняття рішень, що має особливу значущість у сучасних умовах розробки або удосконалення системи пошуку і рятування на морі з метою наукового обґрунтування.

З аналізу комунікаційної структури (рис. 2.6) видно, що всі виконавці (робочі пости) є пов'язаними між собою, що свідчить про відсутність фактора ізольованості робочих постів.

Виявлено що фактична кількість зв'язків в системі перевищує мінімально необхідну, тобто забезпечена така їхня кількість, за якої структура зберігає працездатність у разі втрати одного або навіть більше зв'язків, що вказує на її високу живучість і ступінь безперервності, що є вагомим аргументом, який вказує на те, що комунікативна структура СПРМ має високий рівень живучості.

Аналіз побудованого графа показує, що комунікаційна схем-граф СПРМ містить $n=16$ вершин і $m=30$ ребр. Його матрицею суміжності є квадратна матриця $A[i, j]$ (табл. 2.6).

Відповідно до даних графа (табл. 2.6) і виразу (2.3) маємо:

$$\frac{1}{2}62 = 31 > (16 - 1),$$

тобто досліджуваний граф є зв'язаним.

Структурна надмірність визначається виразом (2.7) і з урахування (2.8) зазначимо, що у випадку суворої підпорядкованості $R=0$, тобто із втратою принаймні одного зв'язку, структура стає непрацездатною, а служба ПРМ як організаційна структура, яка працює на загальний кінцевий результат стає неефективною. Це є недопустимим з погляду забезпечення безпеки функціонування системи, особливо у збійних ситуаціях.

Таблиця 2.6

Матриця інцидентності вершин графа організаційної структури СПРМ

i	Вершина J																$\sum_j a_{ij}$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
3	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
4	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4
6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
7	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	9
8	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	6
10	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3
11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4
12	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4
13	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	4
14	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
$\sum_i \sum_j a_{ij}$																	62	

Згідно з даними табл. 2.6 и формулою (2.7) одержуємо, що

$$R = \frac{1}{2(16-1)} 62 - 1 = 2,05 > 0. \quad (2.18)$$

На підставі умови (2.18) робимо висновок, що граф, поданий на рис. 2.6, має максимальну структурну надмірність.

Визначимо ще одну характеристику – момент групи.

Момент групи характеризує керованість із боку лідера (керівника) або державного центру та обчислюється за формулою [110, 111]:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}{a_{lid.}^2 \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (a_{lid.} - a_i), \quad (2.19)$$

де $a_{lid.}$ – кількість зв'язків керівника.

Виходячи з особливостей функціонування служб СПРМ, формальним лідером у контексті застосування методології організаційної ергономіки й теорії графів є заступник директора з пошуку і рятування, умовно позначений на рис. 2.6 як вузол 2.

Відповідно до даних табл. 2.6 маємо:

$$a_{lid.} = a_2 = \sum_j a_{2j} = 5.$$

Тоді згідно з даними графі 16 табл. 2.6 отримаємо:

$$\begin{aligned} M &= \frac{62}{5^2(16-1)} [1 \cdot (5-1) + 1 \cdot (5-5) + 2 \cdot (5-2) + 3 \cdot (5-3) + 7(5-4) + 1(5-6) + 1(5-9)] = \\ &= \frac{62}{16 \cdot 15} \cdot [4 + 0 + 6 + 6 + 7 - 1 - 4] = 2,79. \end{aligned}$$

Таким чином, визначено, що за інших рівних умов будь-яка структура буде тим ефективнішою, чим більше значення показників R і M .

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. На підставі аналізу стану питання пошуку та рятування на морі у зоні відповідальності України розроблена концепція управління процесом ПРМ, що дало можливість визначити і обґрунтувати основні причини виникнення нештатних ситуацій на морі та провести параметризацію їх прямих ознак.

2. Обґрунтовано і розроблено поняття концептуальної моделі системи «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» як єдиного цілого, яка системно враховує взаємовплив її складових, що дозволяє формалізувати задачу щодо визначення складу та основних характеристик ергатичної системи керування пошуково-рятувальними операціями на морі, оптимізувати за часом увесь процес рятування.

3. Аналіз прямих ознак причин НС на морі дозволив здійснити їх параметризацію, яка являє собою ієрархічну схему, в якій множина параметрів формується в різнотипних шкалах, що дало можливість розробити концепцію управління процесом пошуку і рятування на морі.

4. На основі теорії графів виконано аналіз структурно-топологічних характеристик національної системи пошуку й рятування на морі, обґрунтовано склад основних структурно-топологічних характеристик та їх показників, що дало можливість виявити та формалізувати структурні зв'язки між об'єктами системи з метою її подальшого дослідження формальними методами.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ Й МЕТОДИ СКОРОЧЕННЯ ВИТРАТ ЧАСУ НА ПРОВЕДЕННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ НА МОРІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

3.1. Аналіз стійкості, керованості та спостережуваності судна, що рухається, в умовах аварійної ситуації

Під статичною стійкістю на курсі розуміють здатність судна зберігати заданий режим руху і його напрямок без стороннього втручання.

Стійкість називається автоматичною, якщо судно здатне зберігати попередній курс без маневрування за допомогою обладнання керування [112].

Однак судна статичної стійкості на прямому курсі, як правило, не мають, оскільки змінивши напрямок руху під дією зовнішніх сил, вони мимовільно до вихідного напрямку не повертаються і їх доводиться виводити на попередній курс за допомогою кермового обладнання. Не маючи статичної стійкості на курсі, судна повинні мати експлуатаційну стійкість, тобто здатність швидко вертатися до попереднього напрямку руху під дією кермового обладнання. Експлуатаційна стійкість на курсі більша у того судна, на якому рідше й на менші кути доводиться перекладати кермо, щоб втримати заданий напрямок руху, тобто судно щонайменше й рідше збивається з курсу [112].

Аналіз показує, що судно достатньо стійке на курсі, якщо при дії вітру та хвилюванні моря до 3–5 балів кермовому доводиться для втримання судна на заданому курсі перекладати кермо на кути до 2 – 3 на кожний борт і не частіше 4 – 6 разів за хвилину [113].

Керованістю називають здатність судна втримувати заданий напрямок руху або змінювати його відповідно до потреби судноводія [114].

Таким чином, властивість керованості визначається наявністю у судна двох якостей – стійкості на курсі та повороткості [115].

Поліпшення стійкості на курсі призводить до погіршення повороткості, і навпаки. Тому для забезпечення судну ефективної керованості необхідно встановити деяке оптимальне співвідношення між показниками стійкості на курсі та повороткості.

В Україні теорія керованості судна створена завдяки працям А. М. Васіна, В. М. Лаврентьєва, Г. В. Соболева, Р. Я. Першица, К. К. Федяєвського, Г.А. Фірсова, Л. Л. Вагущенко, М. М. Цимбала, В. С. Блинцова та інших дослідників, що розробили основи розрахунків стійкості на курсі та повороткості судна.

Моделльні експериментальні дослідження проводяться в Херсонській державній морській академії.

Опишемо рух аварійного судна лінійною багатовимірною стаціонарною моделлю у вигляді рівнянь простору станів та спостереження [116]:

$$\begin{aligned}\dot{X}(t) &= AX(t) + BU(t) + Gv; \\ Y(t) &= CX(t),\end{aligned}\tag{3.1}$$

де $X(t)$ – n -вимірний вектор стану; $U(t)$ – r -вимірний вектор керування; $Y(t)$ – k -вимірний вектор виходу (спостережень); Gv – нештатна ситуація на морі; A, B, C – матриці коефіцієнтів розміру $n \times n, n \times r, k \times n$ відповідно.

У разі виникнення на морі НС коефіцієнти зворотного зв'язку змінюються у вигляді матричної функції відмовного стану в системі ПРМ:

$$G(v_{11}, v_{12}, v_{21}, v_{22}, v_{31}, v_{32}) = G_0 + v_{11}G_1 + v_{12}G_2 + v_{21}G_3 + v_{22}G_4 + v_{31}G_5 + v_{32}G_6, \tag{3.2}$$

де G_0, G_{ij} – коефіцієнти зворотного зв'язку справної системи і такої, що зазнала ij -ї аварії; v_{ij} – коефіцієнти, що характеризують ступінь втрати ефективності відповідного керуючого органу.

Система диференціальних рівнянь (3.1) буде повністю керованою, якщо існує такий керуючий вплив $U(t)$, що визначається на кінцевому інтервалі часу $[t_0, t_k]$ і який переводить систему (судно) з будь-якого початкового стану $X(t_0)$ в будь-який заданий кінцевий стан $X(t_k)$.

$$U_j(k) = -G(v^{(j)}) y_i(k), \quad j = 1, 2, \dots, \varepsilon, \quad (3.3)$$

де $v^{(j)}$ – n -вимірний вектор параметрів визначається залежністю функцій G від ситуації, яка склалася на морі.

Мірний вектор параметрів визначається залежністю функції G від ситуації, яка склалася на морі. Функція G повинна задовольняти обмеженню

$$G(v^{(j)}) = \sum_{i=1}^{n_j} v_i^{(j)} G_i, \quad G_i \in \mathbb{R}^{m \times r} \quad (3.4)$$

Матриця G_i визначалася з умов мінімізації цільової функції, що відображає якість управління для всіх n_j моделей кожної з НС:

$$J_j = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2(N+1)} M \left\{ \sum_{t=0}^N X_j^T(t_0) Q_j X_j(t_0) + U_j^T(t_1) R_j U(t_1) \right\}, \quad Q_j > 0, R_j > 0. \quad (3.5)$$

Умови керованості для об'єкта, який описується системою рівнянь (3.1), визначаються критерієм Калмана – критерій керованості в просторі станів, який наведемо у вигляді матриці керованості [117, 118]

$$Q = \begin{bmatrix} B & AB & A^2B & \dots & A^{n-1}B \end{bmatrix}, \quad (3.6)$$

тобто число лінійно незалежних рядків дорівнює розмірності вектора стану $\text{rang } Q = n$.

Як важливий критерій керованості судна на тихій воді в теорії судна використовується залежність відносної кривизни траєкторії від кута перекладання керма $\bar{\omega} = f(\delta_{\text{кер}})$ за встановленої циркуляції.

Графічне зображення (діаграму) керованості показано на рис. 3.1 [64].

Аналіз даних (рис. 3.1) показує, що в такого судна кожному значенню кута перекладання керма (на правий або лівий борт) відповідає єдине значення відносної кривизни траєкторії встановленої циркуляції.

Якщо судно має симетричну керованість праворуч та ліворуч, то крива $\bar{\omega} = f(\delta_{\text{кер}})$ проходить через початок координат. Якщо ж керованість

несиметрична, що інколи трапляється на одногвинтових суднах, то крива $\bar{\omega} = f(\delta_{\text{кер}})$ виявляється зміщеною праворуч або ліворуч, а точка перетину кривої з горизонтальною віссю вказує необхідне середнє положення керма, за якого забезпечується прямолінійний рух судна.

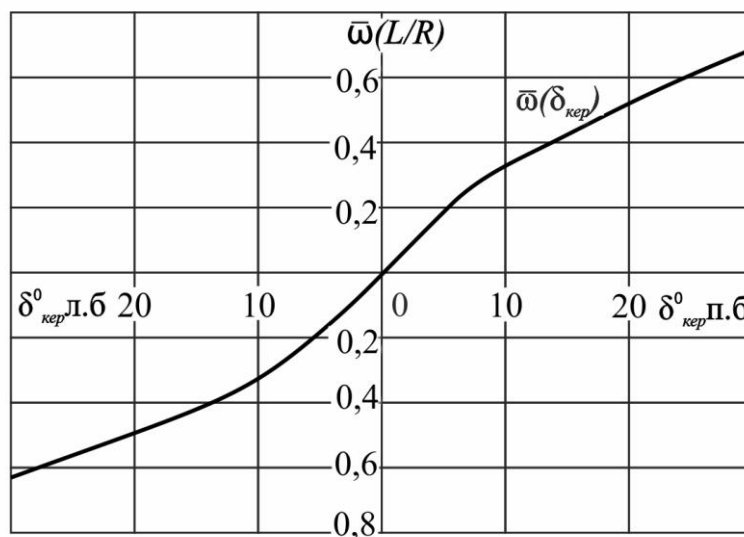


Рис. 3.1. Діаграма керованості судна у нормальному його стані

У випадку виникнення непередбачуваної ситуації, наприклад, втрата власної стійкості на курсі, діаграма керованості судна має вигляд, показаний на рис. 3.2 [64].

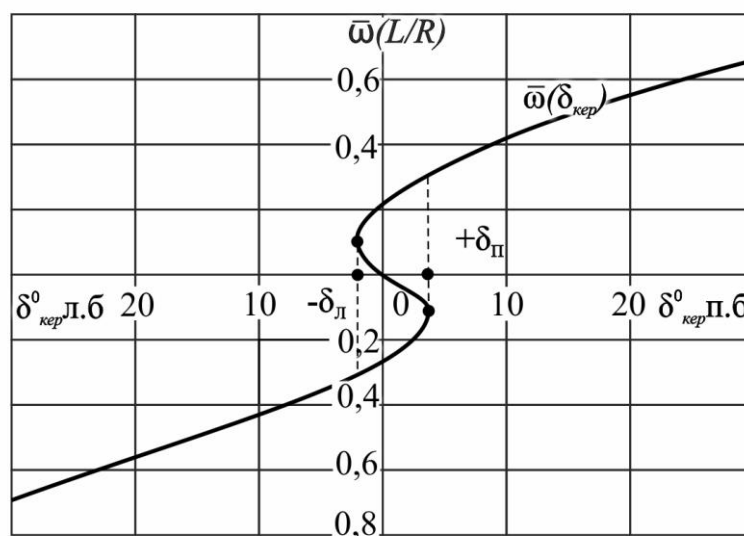


Рис. 3.2. Діаграма керованості судна, що втратив власну стійкість на курсі

Таке судно може вписуватися в мимовільну циркуляцію у разі прямого положення керма. Проаналізувавши діаграму (рис. 3.2) видно, що судно у разі прямого положення керма розвертається праворуч за траєкторією із кривизною $+\bar{\omega}$ або ліворуч із кривизною $-\bar{\omega}$.

Для того, щоб у цьому стані припинити мимовільну циркуляцію, наприклад, праворуч, необхідно перекласти кермо ліворуч на кут $-\delta_{\text{л}}$, а для припинення лівої циркуляції необхідне перекладання керма праворуч на кут $+\delta_{\text{п}}$.

Кути перекладання керма $+\delta_{\text{п}}$ і $-\delta_{\text{л}}$ є граничними кутами зворотної поворотності. При перекладанні керма на зазначені кути напрямок повороту змінюється на зворотний.

Площа під діаграмою керованості, обмежена вертикальними прямими, проведеними через точки $+\delta_{\text{п}}$ і $-\delta_{\text{л}}$, і ділянками гілок діаграми, є зоною нестійкості (рис 3.2). У межах цієї зони кожному куту перекладання керма відповідають дві траєкторії із кривизною різного знаку.

За кожною із цих траєкторій судно здатне виконувати стійкий рух. Кожному куту перекладання в межах зони відповідає ще одна траєкторія, кривизна якої визначається площею, відділеною штриховою лінією (рис. 3.2). Однак рух за цією траєкторією не стійкий. Для його підтримки необхідно безперервне регулювання за рахунок перекладання керма. Таким чином, діаграма керованості надає інформацію не тільки про керованість, яка характеризується кривизною траєкторії, але також і про стійкість курсу.

Система (3.1) називається повністю спостережуваною, якщо за реакцією $Y(t)$ на виході системи на проміжку часу $[t_0, t_k]$ при заданому керуючому впливі $U(t)$ можна визначити початковий стан $X(t_0)$ [66]. Необхідні і достатні умови повної спостережуваності полягають у тому, щоб матриця $R = \begin{bmatrix} C^T & A^T C^T & (A^T)^2 C^T & \dots & (A^T)^{n-1} C^T \end{bmatrix}$ мала ранг, який дорівнює розмірності вектора стану: $\text{rang}R = n$ [66].

Отже, повна стійкість і керованість властива нормально функціонуючим

суднам із цілковитою спостережуваністю, може суттєво змінюватися в аварійних умовах плавання, які найчастіше є наслідком втрати спостережуваності. У цьому випадку змінюється траєкторія руху аварійного судна і для забезпечення його зустрічі за мінімально короткий час із судном-рятувальником необхідно застосувати такий метод зближення, який забезпечить цю мінімальність.

3.2. Математична модель пошуково-рятувальної системи управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація»

Визначальною умовою успішного проведення пошуково-рятувальної операції є потрібний час, що витрачається на отримання, обробку інформації та прийняття рішення щодо проведення пошуково-рятувальної операції, на розгортання сил і засобів й їх прибуття у найкоротших термін у район судна, що потерпає лихо. Виходячи з наведених умов слід виділити два основних фактори, що суттєво впливають на успішність проведення пошуково-рятувальної операції:

1. По-перше, це можливе не виконання деякими судновласниками та екіпажами суден вимог безпеки судноплавства, що виражається у наступному:

- затримання судновласниками інформації про втрату зв'язку із судном безпосередньо рятувальникам;
- неналежне спорядження суден радіобладнанням за вимогами Конвенції СОЛАС–74, невміння членів екіпажів користуватися радіобладнання в аварійних ситуаціях.

2. По-друге, це взаємодія суден з авіаційними засобами проведення пошуково-рятувальних операцій.

Пошук об'єкта, що потерпає лихо з повітряними засобами пошуку й рятування є більш ефективним у порівнянні з морськими за рахунок великих швидкостей та мінімально витраченим на операцію часом. Найбільш бажаним є застосування гелікоптерів. Ці повітряні судна (ПС) можуть у найбільш короткий час прибути у район лиха, обстежити його у мінімально витратний час, порятувати людей або при необхідності повідомити про координати лиха

морським рятувальникам, що знаходяться в районі пошуку. Головним в успішному проведенні пошуково-рятувальної операції – це правильний і швидкий розрахунок району пошуку.

Отже, виходячи з наведеного аналізу робимо висновок, система пошуку й рятування на морі є складною системою управління успішність функціонування якої залежать від великої кількості чинників. Тому доцільним є провести її агрегування у цілому і визначити головну мету – успішне проведення операції пошуку і рятування людей та матеріальних цінностей.

Далі [136] проведена така робота, результатом якої є складна система «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» (рис. 2.1).

Особливістю вище запропонованої концепції управління процесом пошуку та рятування на морі є те, що дана система розглядається як динамічна, багатоконтурна та ієрархічно-інтегрована система з трьома рівнями керування (рис. 3.3).

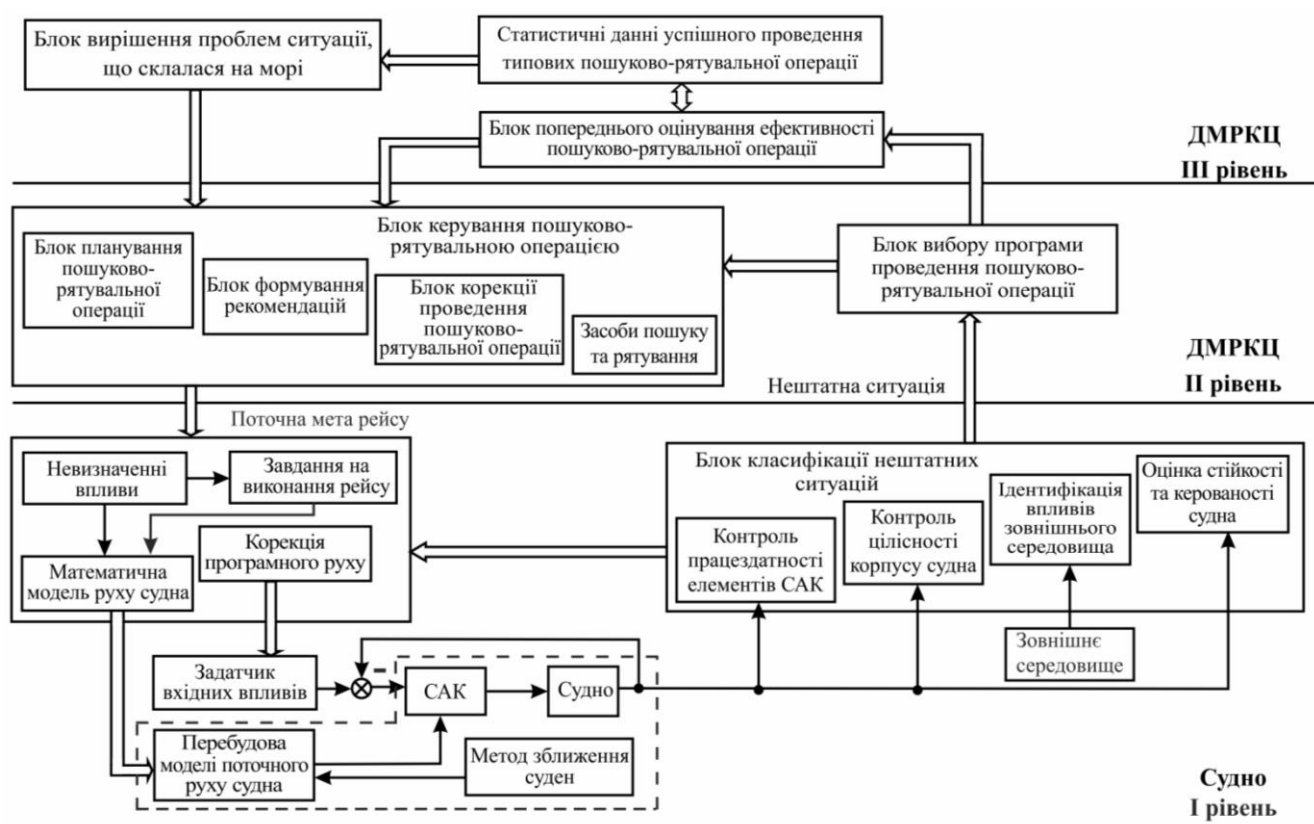


Рис. 3.3. Ієрархічно-інтегрована система управління процесом пошуку й рятування на морі

Відповідно до запропонованої структурної схеми керування рятувальним судном, яка утворює виконавчий (перший) рівень керування, введено два типи зворотних зв'язків – для тактичного та стратегічного рівнів управління процесом пошуку й рятування на морі, а також схема урахування методу траєкторного зближення суден. Таким чином, виконавчий рівень керування містить в собі: інформаційно-вимірювальну систему, блок ідентифікації стану судна і його систем та траєкторного руху, блок забезпечення керування та стабілізації в директорному або ручному режимах, а також двигуни та кермо судна.

Другий рівень керування є надбудований над першим і призначений для планування і реалізації пошуково-рятувальної операції, вибору сил та засобів пошуку й рятування з урахуванням кількості, місця знаходження та віддалення від аварійного судна, а також суден різного призначення, які проходять через зону лиха та аварійних засобів пошуку та рятування з урахуванням їх наявності, розташування та віддаленості.

Третій рівень запропонованої системи містить блок попереднього оцінювання успішності організації пошуково-рятувальної операції, що конкретно склалася у поточний час на морі, а також за необхідності дозволяє скоригувати хід проведення даної операції на підставі аналізу отриманих статистичних даних, аналогічних попередньо успішно проведених рятувальних операцій СПРМ та рекомендувати найбільш ефективний метод траєкторного зближення рятувального і аварійного суден, який враховує стан обладнання судна, що рятує, та характер руху аварійного судна.

Таким чином, запропонована концепція і схема її реалізації, дозволяють формалізувати задачу, щоб суттєво скоротити час, потрібний на успішне проведення пошуково-рятувальних операцій за рахунок:

- оптимізації порядку збирання та обробки інформації, прийняття рішення та його проходження на всі рівні управління та до його виконавців;
- скорочення траєкторного руху під час зближення рятувального судна з аварійним, що досягається за рахунок зменшення кількості перекладань керма рятувального судна, тобто спрямлення траєкторії руху;

– попереднього оцінювання ефективності пошуково-рятувальної операції, що враховує у подібній операції статистичні дані успішного проведення операцій на морі та обрання найбільш ефективної з них.

Такий підхід дозволить об'єктивно оцінити ситуацію, що склалась на морі, і сформулювати необхідні керувальні дії, спрямовані на відновлення керованості та стійкості судна в умовах впливу несприятливих факторів. Узгодження елементів запропонованої системи має бути системним і враховувати цілі виходу у море, наявність часу розвитку нештатної ситуації (НС), очікувані результати реконфігурації керування системою ПРМ, складність поточної НС.

З метою більш детального опису процесу розвитку НС в часі і формування необхідних керувальних впливів, визначається внесок кожного елемента системи «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» окремо.

Для цього почнемо з формального представлення процесів, що відображаються в моделі (рис 2.1) у вигляді кортежів.

Кортежу, що виявляє основні характеристики факторів, які впливають на результат операції, відповідає запис:

$$\langle U, V, \Omega, F, \Pi \rangle, \quad (3.7)$$

де $U = \{1, 2, \dots, j, \dots, u\}$ – множина складових системи;

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_u\}$ – множина змінних, що відповідає складовим системи;

$\Omega = \{w_1, w_2, \dots, w_j, \dots\}$ – набір значень, які приймає j -та змінна;

$f_j \in F$ – щільність розподілу ймовірності змінної;

$\pi_{ij} \in \Pi$ – функція належності лінгвістичної змінної.

Відношення (зв'язки між складовими U) відображаємо кортежом (3.8):

$$\langle D, A, B, P, T \rangle, \quad (3.8)$$

де $D_{ij} = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – множина зв'язків, що описують відношення між змінними i та j .

A_j – вектор, який визначає вплив попередньої змінної $j-1$ на досліджувану змінну j ;

B_j – вектор, визначає вплив поточної змінної j на наступну $j+1$ змінну;

P_{ij} – вектор мір можливостей або ймовірностей впливу змінної i на зміну j ;

T_{ij} – вектор зміни ресурсу (витрат засобів або часу) на підвищення чи пониження впливу змінної i на зміну j .

Введення таких позначень дозволяє формалізувати і однозначно математично інтерпретувати конкретній процес ПРМ, що відбувається в системі «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» та подальшого розвитку подій у даній конкретній нештатній ситуації. У свою чергу, математичне представлення загального процесу дій СПРМ в нештатній ситуації у загальному вигляді може бути представлено наступною металінгвістичною залежністю:

Процес дій в системі в екстремальних умовах:

$$\langle U \wedge V \wedge \Omega \wedge F \setminus \Pi \wedge D \wedge A \wedge B \wedge P \setminus T \rangle \quad (3.9)$$

Очевидно, що між деякими змінними системи відношення можуть бути відсутніми, у цьому ці конкретні відношення перетворюються у порожні множини \emptyset .

Отже, для синтезу моделі (3.7) та аналізу якості її функціонування, а також опису динамічних процесів в ієрархічних контурах керування в умовах невизначених впливів зовнішніх умов і внутрішніх процесів необхідно мати математичну модель системи керування, характер змін параметрів зовнішніх факторів і внутрішніх процесів і СПРМ визначає підхід до вибору математичної моделі системи управління, яка забезпечує успішне проведення операцій пошуку й рятування на морі.

Диференційна система рівнянь, що описує динаміку нелінійної системи управління ПРМ може бути представлена у наступному вигляді [66]:

$$\dot{X}(t) = \varphi[x(t), U(t), g(t), \xi(t), \eta(t), t]; \quad (3.10)$$

де $x(t)$ – вектор змінних стану, розмірності n ;

$U(t)$ – вектор вхідних (керуючих) впливів розмірності m ;

$g(t)$ – вектор збурюючі впливів розмірності m ;

$\xi(t)$ – вектор похибок вимірювань та помилкових дій розмірності k ;

$\eta(t)$ – діагональна матриця варіацій параметрів нестабільних елементів розмірності $S \times S$.

В моделі (3.7) доцільно у явному вигляді відбити залежність змінних стану від параметрів та їх варіацій. Таке можливо за рахунок введення адитивних параметричних збурень лінійних $\eta v(t)$ та нелінійних $\Delta\varphi(v)$ елементів. З урахуванням наведених моделей (3.7) і (3.8) можна представити набір змінних (факторів) та зв'язки між ними у вигляді рівнянь стану та спостережень:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Cf(t) + D\varphi(x); \\ y(t) &= A_1x(t) + B_1U(t) + C_1f(t); \\ v(t) &= A_2x(t) + B_2U(t) + C_2f(t) + D_2\varphi(x); \\ f(t) &= \eta v(t) + \Delta\varphi(v) \end{aligned} \quad (3.11)$$

де $y(t)$ – r -мірний вектор вихідних змінних;

$v(t)$ і $f(t)$ – s -мірні вектори вхідних змінних нестабільних елементів та адитивних параметричних збурювань відповідно;

$\eta v(t)$ і $\Delta\varphi(t)$ – діагональні матриці варіацій параметрів лінійних нестабільних елементів та прирощень, що виникли у наслідок варіацій параметрів нелінійностей, вихідних змінних нелінійних елементів розмірності $S \times S$;

Матриці $A, A_1, A_2, B, B_1, B_2, C, C_1, C_2, D, D_1, D_2$ – матриці постійних коефіцієнтів відповідних змінних та розмірностей.

Таким чином, розроблено математичну модель динамічної системи управління «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» у цілому, тобто агрегована система рівнянь. Для визначення керуючих впливів, що забезпечують виконання головної мети дисертаційних досліджень – скорочення втрат часу на проведення операції пошуку й рятування на морі, проведемо сепарацію моделі (3.8), в результаті чого отримаємо модель для всіх (рис. 2.1) складових систем.

3.3 Модель прогнозу оцінки місця знаходження судна із застопореною машиною при впливі на нього вітру і течії в Чорному морі

Розглянемо судно, що перебуває в Чорному морі, на якому відбулася аварія – зупинка двигунів, а судно потерпає від впливу дії вітру і течії.

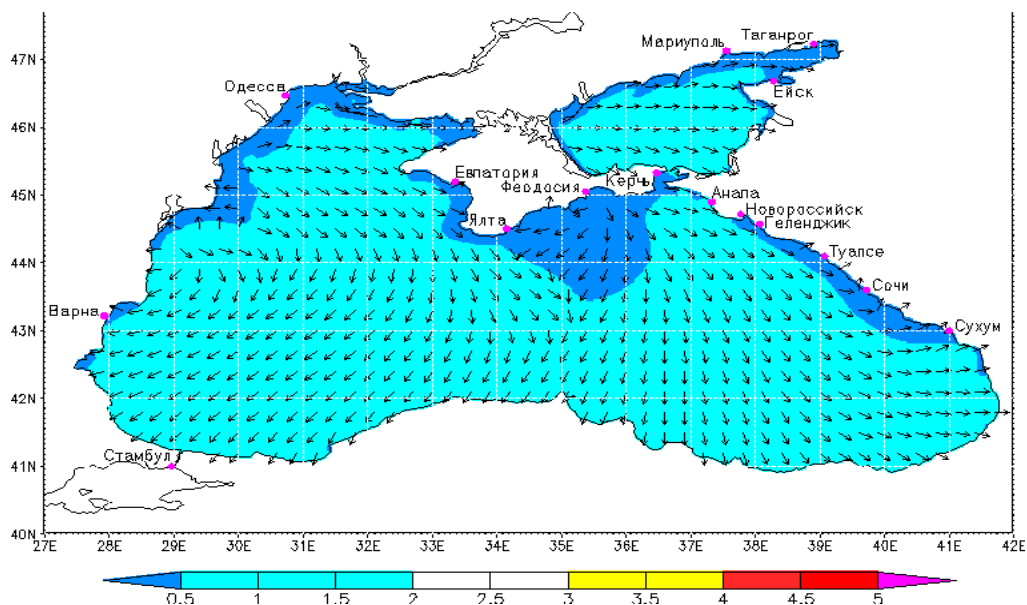


Рис. 3.4. Мапа прогнозу параметрів вітрового хвилювання в Чорному морі на 00 – 00 21.06.2019

Для врахування вітрового дрейфу в даному районі необхідно знати прогноз параметрів вітрового хвилювання, який показаний на мапі (рис. 3.4), скористаємося картами, побудованими за даними прогностичного центру NCEP/NOAA, США [119] або на підставі рози вітрів за картами [120].

На мапі кольором позначено висоту переважних хвиль (м). Окремі хвилі можуть перевищувати наведені значення. Стрілками показано середній напрямок поширення хвиль (тільки для областей з висотою хвиль більш ніж 5 см). Датування відповідає Всесвітньому скоординованому часу (ВСЧ). Інформація оновлюється щодня близько 6 год ВСЧ. За наявності вітру судно в цих умовах дрейфує з деякою швидкістю.

На рис. 3.5 показано узагальнену мапу течії у поверхневому шарі Чорного моря [121, 122].

За наявності вітру [123, 124] та течії [125, 126] судно дрейфує з деякою швидкістю, тобто відстань від точки виникнення аварії збільшується.

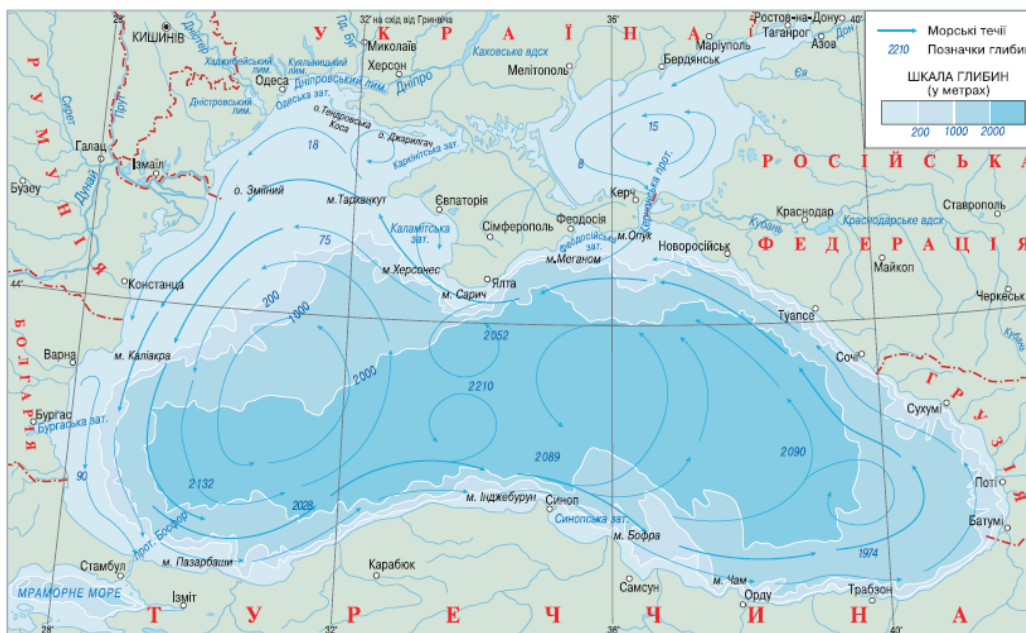


Рис. 3.5. Мапа течії на поверхні Чорного моря

Визначимо місце знаходження судна із застопореною машиною при впливі на нього окремо вітру та течії в Чорному морі.

Вплив вітру.

Для визначення місця знаходження судна візьмемо одну з координат як дрейф судна від точки А до точки D, через точку В (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Дрейф судна від точки А до точки D з урахуванням проходження точки N і точки C

Швидкість вітрового дрейфу судна $V_{др}$ визначимо як: $V_{др} = K_V \cdot V$.

Коефіцієнт K_V залежить від парусності судна й співвідношення надводної та підводної бічних поверхонь.

Коефіцієнта вітрового дрейфу $K_V \in (0,056; 0,062)$ [127].

За час t судно пройде відстань АВ.

Тоді $AB = 0,056 \cdot V \cdot t$. Аналогічно, якщо судно під впливом вітрового дрейфу з'явиться через проміжок часу t у точці D, подолавши відстань AD.

$AD = 0,062 \cdot V \cdot t$. Відстань, яку пройде судно під час дрейфу, є випадковою величиною. Припустимо, що точка С є математичним очікування положень дрейфуючого судна через проміжок часу t (рис. 3.6).

$$\begin{aligned} \text{За правилом додавання векторів визначимо } \overline{AC} &= \frac{1}{2}(\overline{AB} + \overline{AD}) = \\ &= \frac{1}{2}(0,056 \cdot Vt + 0,062 \cdot Vt) \vec{v} = 0,059 \cdot Vt \cdot \vec{v}. \end{aligned}$$

Нехай через певний проміжок часу t після початку дрейфу судно з'явиться в точці N (розрахункова точка). Покладемо $|\overline{CN}| = x$.

Проаналізуємо, наскільки ця випадкова величина відхилиться від математичного очікування.

Застосовано нормальний розподіл. Абсолютна величина її відхилення від математичного очікування не перевищує потрібного середнього квадратичного відхилення, що є правилом трьох σ («трьох сигма») [128] або при круговому розсіюванні можливих точок знаходження аварійного судна – правило «чотирьох E » [129].

Користуючись сценарієм В. Е. Гмурмана [128] і доповненням Е. С. Вентцель [129] визначено ймовірність того, що відхилення є нормально розподіленою випадковою величиною X , а відхилення від її математичного сподівання m по абсолютній величині менше заздалегідь заданого позитивного числа ε на інтервалі: $X \in (\alpha; \beta)$. Імовірність того, що випадкова величина X потрапляє в інтервал від α до β визначимо у вигляді [128, 130]:

$$P(\alpha < X < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - m}{\sigma}\right),$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – функція помилок – функція Лапласа $\Phi(x)$.

Для знаходження значень інтегральної функції Лапласа скористаємось фрагментом табл. [131], звідки: $P(|X - m| < 3\sigma) = 2\Phi(3) = 0,9973$.

Таким чином, імовірність того, що відхилення випадкової величини від математичного очікування за абсолютною величиною буде менше потрібного середнього квадратичного відхилення, дорівнює 0,9973. Отже, судно після зупинки двигунів у результаті вітрового дрейфу буде перебувати в інтервалі (B, D) , відповідає ймовірності $2\Phi(3) = 0,9973$.

З рис. 3.6. $BC = CD$. $BC = AC - AB = 0,003 \cdot V \cdot t$. Тоді $3\sigma = 0,003 \cdot V \cdot t$, $\sigma = 0,001 \cdot V \cdot t$. Для визначення положення точки N застосуємо інструментальний метод Монте-Карло [132, 133]. Розіб'ємо інтервал $(B; D)$ на $2k$ часткові інтервали однакової довжини l . Величину l будемо надалі визначати, виходячи з гарантованої можливості візуального виявлення судна, що терпить аварію, на відстані $0,25 l$. Довжина кожного часткового інтервалу дорівнюватиме: $\frac{BD}{2k}$.

Оскільки $BD = AD - AB$ (рис. 3.6), то $BD = 0,006 \cdot V \cdot t$. Тоді $k \geq \frac{0,006 \cdot V \cdot t}{0,25 \cdot l}$.

$V = |\vec{V}| = 8$ м/с [134]. Нехай t – проміжок часу, по завершенні якого до місця знаходження потерпілого аварію судна може прибути рятувальне судно, дорівнює 10 год. За нормальної видимості в денний час можна покласти $l = 1000$ м., то $k \approx 7$. $2k = 14$.

Розіб'ємо інтервал $(0; 1)$ на $2k = 14$ часткові інтервали. Значення аргументу функції Лапласа з умови $\Phi(x) = 0,475$ знаходимо $x = 1,96$. Звідси випливає, що найменше число випробувань, яке гарантує задану верхню границю помилки δ , дорівнює n : $n = \frac{x^2 \sigma^2}{\delta^2}$. Оскільки $x = 1,96$; $\sigma = 0,001 \cdot V \cdot t = 288$ м; $\delta = 250$ м, то $n \approx 5$.

Для визначення статистичних оцінок шуканих величин виконано машинний експеримент. Знайдемо за допомогою датчика випадкових величин у комп'ютерному середовищі $n = 5$ чисел з інтервалу $(0; 1)$. Отримали величину

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{5} = 0,3027498.$$

Наприкінці, використовуючи рис. 3.6. і знаючи, що відстань $AB = 16128$ м;

$BD = 17856$ м; $AC = 16992$ м. знаходимо $BN = BD \cdot \bar{x} = (AD - AB)\bar{x} = 523$ м.

$NC = BC - BN = (AC - AB) - BN = 341$ м – тобто відстань між точкою N і точкою C – математичним очікуванням, становить: $NC = 341$ м.

$ND = NC + CD = NC + (AC - AB) = 1205$ м.

Таким чином, з певною похибкою, вітровий дрейф судна буде:

$AN = AB + BN = 16651$ м.

Для випадку, коли в районі, де судно зазнало аварію, швидкість вітру становила $V = |\vec{V}| = 8$ м/с [134], час зносу судна до прибуття рятувального судна в точку знаходження судна, яке потерпає лихо, становить 10 год.

Вплив течії.

Для визначення дрейфу некерованого судна, викликаного течією, скористаємося тим самим сценарієм, який запропоновано впливом вітра.

Для визначення місця знаходження судна візьмемо одну з координат як дрейф судна від точки A до точки H, через точки G, точки P і точки F (рис. 3.7).

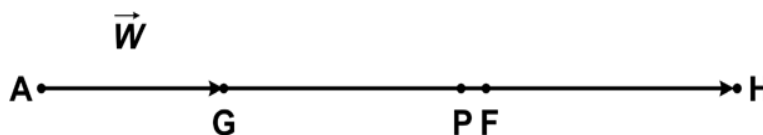


Рис. 3.7. Дрейф судна від точки A до точки H з урахуванням проходження точки G, P і точки F

Швидкість дрейфу судна $W_{др}$, викликаного течією: $W_{др} = K_W \cdot W$,

де K_W – коефіцієнт дрейфу судна під впливом течії; W – величина швидкості течії в зоні розташування судна.

Коефіцієнт дрейфу становить $K_W \in (0,01; 0,04)$ [127].

За час t судно пройде відстань AG. Тоді $AG = 0,01 \cdot W \cdot t$. $AH = 0,04 \cdot W \cdot t$.

Припустимо, що величина швидкості течії в районі розташування судна в цю пору року $W = 1,2$ м/с [122]. Припускаючи, що рятувальне судно прибуде в район аварії через $t = 10$ год., за цей час судно пройде відстань: $AG = 432$ м. $AH = 1728$ м.

Нехай точка F є точкою найбільш імовірного знаходження судна після аварії (математичне очікування положення судна), розташована в інтервалі $(G; H)$ і є серединою інтервалу $(G; H)$, то $\overrightarrow{AF} \uparrow \uparrow \vec{w}$. За правилом додавання векторів маємо: $\overrightarrow{AF} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{AG} + \overrightarrow{AH}) = 1080$ м.

Розрахунковою точкою, у якій виявиться судно, через якийсь час t після початку дрейфу, візьмемо точку P (рис. 3.7). Очевидно, що ця точка з імовірністю близькою до одиниці буде перебувати в інтервалі $(G; H)$. Згідно з рис. покладемо $|\overrightarrow{FP}| = x$; величина x є випадковою.

Продовжуємо із сценарію вітрового дрейфу: $GF = FH = 3\sigma$, тоді згідно з рис. 3.7, маємо: $GF = FH$, а $GF = AF - AG = 648$ м, що становить $3\sigma = 648$, або $\sigma = 216$. Для побудови статистичних оцінок шуканих величин, виконане машинне моделювання.

Розіб'ємо інтервал $(G; H)$ на $2k$ часткових інтервалів однакової довжини l . За рис. 3.7 маємо: $GH = AH - AG$, $GH = 0,04 \cdot W \cdot t - 0,01 \cdot W \cdot t = 1296$ м.

$$\text{Отже, } \frac{GH}{2k} = \frac{1296}{2k}, \text{ як при вітровому дрейфі, } \frac{GH}{2k} = \frac{1296}{2k} \leq 0,125 \cdot l.$$

За нормальної видимості в денний час можна покласти $l = 1000$ м.

Тоді $2k = 20$. Розіб'ємо інтервал $(0; 1)$ на $2k = 20$ часткових інтервалів.

Найменше число випробувань, яке гарантує задану верхню границю помилки δ , дорівнює n . Тоді $n = 12$.

Знайдемо за допомогою датчика випадкових величин у комп'ютерному середовищі $n = 12$ чисел з інтервалу $(0; 1)$. Середня статистична величина

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{12} = 0,479887.$$

$$\text{Відстань } GP: GP = GH \cdot \bar{x} = 1296 \cdot 0,479887 = 622 \text{ м.}$$

$PF = GF - GP = (AF - AG) - GP = 26$ м, тобто відстань між точкою P і точкою F – математичним очікуванням, становить: $PF = 26$ м. $PH = PF + GF = 674$ м.

Таким чином, з урахуванням погрішності, знос судна течією складе:

$$AP = AG + GP = 1054 \text{ м.}$$

Для випадку, коли в районі, де судно зазнало аварію, швидкість течії становила $W = |\vec{W}| = 1,2 \text{ м/с}$ [122], час зносу судна до прибуття рятувального судна в точку знаходження судна, яке потерпає лихо, становить 10 год.

3.4. Математична модель руху судна в умовах виникнення нештатної ситуації на морі

В роботі [136] пропонується поточну морську ситуацію розглядати з позицій системного аналізу, тобто спочатку визначити завдання агрегованої системи «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація», а далі, провівши її сепарацію, проаналізувати гідро- та аеродинамічні характеристики судна, дії екіпажу в контурі керування, особливості функціонування СПРМ, вплив зовнішнього середовища, а також процес розвитку нештатної ситуації. Такий підхід дозволить об'єктивно оцінити ситуацію, що склалася у морі, і сформулювати необхідні керувальні дії, спрямовані на відновлення керованості та стійкості судна в умовах впливу несприятливих факторів. Узгодження елементів запропонованої системи має бути системним і враховувати цілі виходу у море, наявний час розвитку нештатної ситуації (НС), очікувані результати реконфігурації керування судна, складність поточної нештатної ситуації.

Для більш детального аналізу процесу розвитку НС в часі і формування необхідних керувальних впливів, визначають внесок кожного елемента в системі «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація» окремо.

Для синтезу моделі та аналізу якості її функціонування, а також опису динамічних процесів в контурах керування в умовах негативного впливу зовнішніх дій і внутрішніх процесів, необхідно мати математичну модель об'єкта керування.

У загальному вигляді математична модель судна з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів ν може бути виражена рівнянням:

$$\dot{x} = f(x, u, w, q, \xi, v)$$

$$\dot{X} = AX + BU + K\xi + Fw + Sq + Gv \quad (3.12)$$

$$Y = CX + BU + \Delta BU + \lambda \cdot$$

де $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ – вектор об'єкта; $u = \{u_1, \dots, u_m\}$ – вектор керування;

$w = \{w_1, \dots, w_p\}$ – вектор впливу членів екіпажу (людський фактор);

$q = \{q_1, \dots, q_s\}$ – вектор впливу служби пошуку і рятування на морі;

$\xi = \{\xi_1, \dots, \xi_z\}$ – вектор збурень (зовнішні умови);

$v = \{v_1, \dots, v_k\}$ – вектор впливу нештатної ситуації;

$\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_m\}$ – похибка вимірювання параметрів.

Рівняння є нелінійними зі змінними параметрами. Однак, для вирішення базових завдань керування допустимий ряд припущень, які значною мірою спрощують вихідну математичну модель. Під час створення рівнянь беремо до уваги, що аварійне судно, рятувальні засоби являють собою абсолютно жорсткі тіла з постійними масами у тих випадках, коли необхідно проаналізувати вплив рухливих мас рідини на стійкість і динаміку керованого руху. Динаміку руху судна з урахуванням негативного впливу дестабілізуючих факторів описано у наступних розділах.

3.4.1. Сили та моменти, що викликають зміну курсу судна при перекладанні керма

Проаналізуємо діючі на судно сили і моменти, що викликають зміну його курсу з урахуванням методу зближення з аварійним судном (рис. 3.8).

3.4.2. Сили і моменти, що діють на судно під час несталого криволінійного руху по траєкторії пропорційного зближення

Розглянемо вплив сил і моментів, що діють на судно під час його несталого криволінійного руху по траєкторії пропорційного зближення (рис. 3.9) [38].

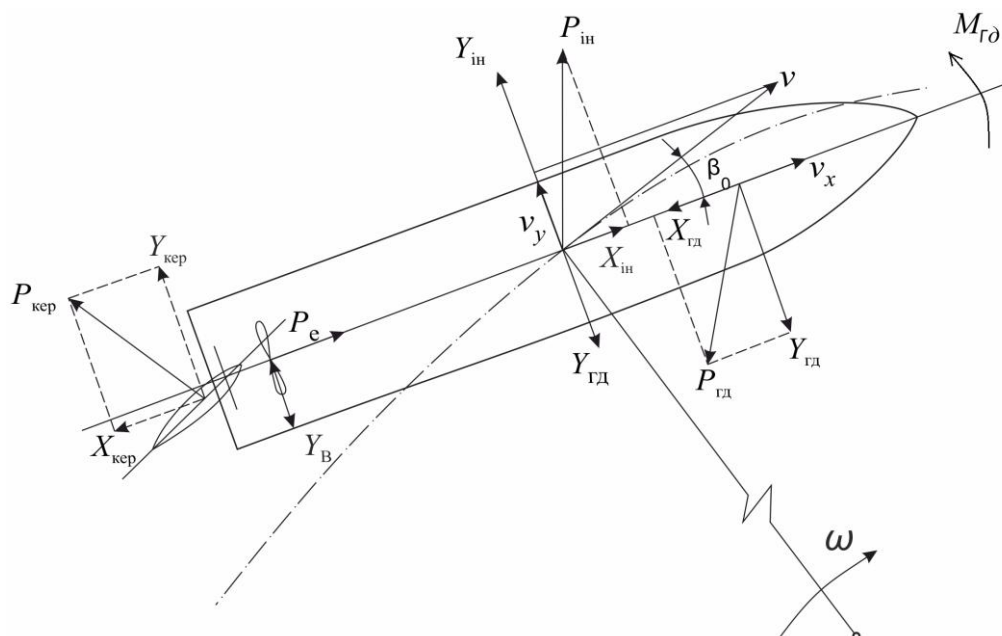


Рис. 3.9. Сили й моменти, що діють на судно під час криволінійного руху по траєкторії пропорційного зближення

Тяга гребного гвинта P_e і бічна сила на гвинті $Y_{ГВ}$, що виникає внаслідок косого натікання потоку на гвинт, спрямована вбік поперечної складової швидкості набігаючого потоку. Також на судно діє гідродинамічна сила $P_{кер}$ на пері керма, яке можна розглядати як крило, розташоване в потоці під деяким ефективним кутом атаки α_{ef} , що відрізняються від кута перекидання керма α .

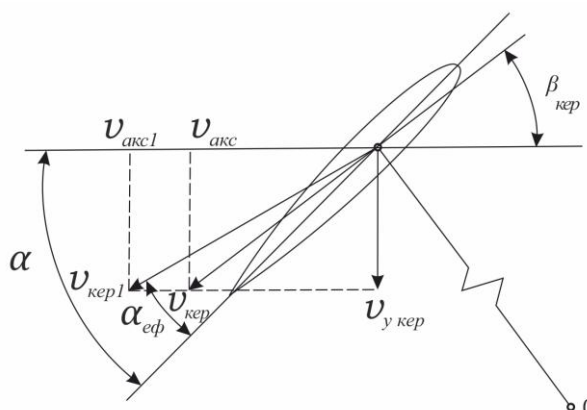


Рис. 3.10. Ефективний кут перекидання керма

Кут α_{ef} визначається методом зближення й залежить від напрямку потоку, який омиває кермо (рис. 3.10), місцевим кутом дрейфу $\nu_{кер}$ в зоні розташування керма, додатковою аксіальною швидкістю $\nu_{акс}$, а також потоку, що відкидається працюючим гребним гвинтом (з урахуванням попутного потоку в місці розташування керма). Позиційна сила $P_{ГД}$ є рівнодіючою гідродинамічних сил, що виникають на підводній поверхні судна під час його руху у певному положенні (позиції) відносно потоку набігаючої рідини. Точка її прикладання за малих кутах дрейфу розташована на деякій відстані вниз від центру ваги судна, яке зменшується в міру зростання кута дрейфу. Демпфіруючий момент $M_{ГД}$ виникає в результаті обертання судна щодо вертикальної осі, яке призводить до зміни характеру обтікання корпусу, зміни місцевих кутів дрейфу по всій довжині судна та появи додаткової (демпфіруючої) гідродинамічної $Y_{ГД}$ сили.

Інерційна сила $P_{ін}$ в проекціях $X_{ін}$ і $Y_{ін}$ на координатні осі, а також інерційний момент $M_{ін}$ визначаються з урахуванням приєднаних мас води. Виразивши перелічені вище сили та моменти через елементи судна і кінематичні параметри його руху, а також урахувавши суму їх моментів щодо вертикальної осі, можна одержати систему диференціальних рівнянь руху судна, які враховують метод зближення.

Інтегрування цієї системи дозволить знайти значення параметрів руху у функції часу й побудувати траєкторію руху судна з урахуванням виникнення та розвитку нештатної ситуації на воді.

3.4.3. Сили і моменти, що діють на судно в умовах нештатної ситуації на морі

Опишемо рух судна в умовах нештатної ситуації через рівняння стану й виміру:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A_0 X(t) + B_0 U(t) \\ Z(t) &= C_0 Y(t) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Суму проекцій сил, діючих на корпус судна, що включає в себе поздовжні P_{il} і поперечні P_{iB} складові, а також моменти цих сил, наведемо так, як це приведено у роботі [136],

$$\begin{cases} \sum P_{il} = P_{\Lambda L} + P_{\Omega L} + P_{KL} + P_{UL} + P_{RL} + P_{aL} + P_{wL} + P_{н.ш.L}; \\ \sum P_{iB} = P_{\Lambda B} + P_{\Omega B} + P_{KB} + P_{UB} + P_{RB} + P_{aB} + P_{wB} + P_{н.ш.B}; \\ \sum M_i = M_H + M_K + M_D + M_U + M_R + M_a + M_w + M_{н.ш.} \end{cases} \quad (3.14)$$

Сили та моменти, що діють на судно в аварійній ситуації, наведемо рівностями (3.14) у яких вплив аварійної ситуації врахований відповідними складовими (останні доданки кожної рівності).

$$\begin{cases} m_L \frac{dV_L}{dt} = P_{\Omega L} + P_{KL} + P_{UL} + P_{RL} + P_{aL} + P_{wL} + P_{н.ш.L}; \\ m_B \frac{dV_B}{dt} = P_{\Omega B} + P_{KB} + P_{UB} + P_{RB} + P_{aB} + P_{wB} + P_{н.ш.B}; \\ J_{\omega} \frac{d\omega}{dt} = M_H + M_K + M_D + M_U + M_R + M_a + M_w + M_{н.ш.} \end{cases} \quad (3.15)$$

Додамо до системи (3.15), крім складових позаштатних ситуацій, рівняння динаміки силових засобів. Тоді, одержимо зміну стану судна, керованого кермом і гвинтом з урахуванням впливу позаштатної ситуації:

$$\begin{cases} \frac{dV_L}{dt} = \frac{1}{m_L} (P_{\Omega L} + P_{KL} + P_{UL} + P_{RL} + P_{aL} + P_{wL} + P_{н.ш.L}); \\ \frac{dV_B}{dt} = \frac{1}{m_B} (P_{\Omega B} + P_{KB} + P_{UB} + P_{RB} + P_{aB} + P_{wB} + P_{н.ш.B}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{\omega}} (M_H + M_K + M_D + M_U + M_R + M_a + M_w + M_{н.ш.}); \\ \frac{d\eta}{dt} = \frac{1}{T\eta} (k_{\eta}(n_3 - n) - \eta); \\ \frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{T\eta} (k_{\Omega}\beta - \Omega), \end{cases} \quad (3.16)$$

де $\frac{d\eta}{dt} = \frac{1}{T\eta} (k_{\eta}(n_3 - n) - \eta)$ – рівняння, що описує перехідні процеси головної енергетичної установки гребного гвинта фіксованого кроку (ГФК);

$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{T\eta}(k_{\Omega}\beta - \Omega)$ – рівняння, що описує динаміку кермового пристрою.

Рівняння (3.16) являє собою систему рівнянь руху судна.

Для опису керованого зближення судна-рятувальника з аварійним судном необхідно систему (3.16) замкнути відповідним до необхідного методу зближення законом керування:

– при зближенні з найвигіднішою точкою зустрічі обраний пропорційно-інтегральний закон вибірки виправлень

$$U_{\text{ін.кр}} = r_{\text{н.кр}}Y_i + r_u \int_{t_1}^{t_2} Y_c \cdot dt ; \quad (3.17)$$

– при зближенні за методом пропорційної навігації система (3.16) замикається таким законом траєкторного керування:

$$U_{\text{ін.п.н}} = r_{\text{п.н}}\dot{Y}_i + r_u \int_{t_1}^{t_2} Y_c \cdot dt , \quad (3.18)$$

де $r_{\text{н.кр}}$, $r_{\text{п.н}}$, $r_{\text{ін}}$ – коефіцієнти зближення з найвигіднішою точкою $U_{\text{ін.кр}}$, пропорційною навігації $U_{\text{ін.п.н}}$ й інтегральною складових закону корекції.

Отримана в такий спосіб замкнена система рівнянь (3.16) і (3.17) або (3.18) може бути використана для моделювання процесу зближення судна-рятувальника з аварійним судном за різними методами зближення.

3.5. Модель керованого руху засобів пошуку і рятування на морі по траєкторії зближення з аварійним судном

Головною метою синтезу моделі є визначення алгоритму траєкторного керування, що забезпечує суттєве скорочення часу на подолання відстані до точки зустрічі засобів рятування з аварійним судном.

Для поліпшення характеристик траєкторії керованого руху рятувальних засобів в точку зустрічі з аварійним судном повітряного або морського судна, в дисертаційній роботі запропоновано вводити в систему керування та стабілізації рятувального судна алгоритм (метод) зближення суден.

3.5.1. Синтез методів зближення авіаційних засобів рятування із судном, що потерпає від лиха, та алгоритмів траєкторного керування ними

Залежність параметра керування траєкторним зближенням U_i від параметрів, що характеризують взаємне переміщення аварійного судна й авіаційного засобу порятунку (літака, вертольота) у процесі їх зближення, окреслюється алгоритмом траєкторного керування. Якщо параметр керування дорівнює нулю, то алгоритм керування переходить у рівняння ідеальних зв'язків. Кожному алгоритму траєкторного керування та відповідному рівнянню ідеального зв'язку відповідає певний метод зближення літака (вертольота) з аварійним судном. Під час руху літака протягом усього часу польоту по траєкторії зближення, для якої виконуються умови ідеального зв'язку для каналів бічного й поздовжнього рухів, можна стверджувати, що літак рухається ідеальною траєкторією, яку в розрахунках можна вважати опорною.

На вибір методу зближення впливають тип об'єкта, який рятують, і характер його руху (дрейфу), а також вид технічних засобів рятування. До прямолінійної опорної траєкторії за обраною гіпотезою про прямолінійний і рівномірний дрейф аварійного судна приводить метод зближення в найвигіднішу упереджену точку зустрічі, для якої характерні розрахунки кутів упередження $\varphi_{Г.Н}^*$, $\varphi_{В.Н}^*$ для площин бічного й поздовжнього рухів літака (вертольота), тобто кутів між проекцією лінії візування й необхідних напрямків вектору повітряної швидкості літака в площині його бічного й поздовжнього рухів.

На вибір певного методу зближення істотно впливають маневрені

властивості літака (вертольота) та судна, яке рятується у дрейфі. Якщо ці судна мають малу маневреність, то траєкторне керування літаком за курсом на етапі зближення з аварійним судном зводиться відповідно до методу прямого наведення. Перевага такого методу полягає в тому, що повітряне судно (ПС) не повинно робити значний маневр у горизонтальній площині. У разі залучення до рятувальних робіт маневрених ПС припустиме його зближення з постійним або змінним за програмою бортовим кутом пеленга $\varphi_{Г.Н}^*$.

Алгоритм прямого зближення при командному керуванні повітряним судном. Параметрами керування $U_{пр.Г}$ й $U_{пр.В}$ ПС для каналів бічного та поздовжнього керування є кути $\varphi_{Г}$, $\varphi_{В}$, які утворюють дві взаємно перпендикулярні проекції кута між поздовжньою віссю ПС і лінією візування в площині, у яких здійснюється керування за курсом і тангажем відповідно до такого алгоритму [66]:

$$U_{пр.Г} = k_{П.М}\varphi_{Г} \quad (3.19)$$

$$U_{пр.В} = k_{П.М}\varphi_{В} \quad (3.20)$$

Основна перевага цього методу полягає в простоті одержання необхідних керувальних сигналів $\varphi_{Г}$ і $\varphi_{В}$.

Істотним недоліком методу прямого зближення є вимога стабілізації поздовжньої осі ПС по лінії візування S_0 (рис. 3.11). Задовольнити цю вимогу можна тільки під час зближення з нерухомим об'єктом порятунку. З аналізу рис. 3.11. випливає, що навіть при ідеальному зближенні, ПС летить у фіктивну точку $O_{ф.АС}$. Тому, рятувальне ПС буде наближатися до судна, що потерпає від лиха, завжди із задньої напівсфери. Із цього аналізу видно, що метод прямого зближення може бути прийнятним під час зближення ПС із нерухомим об'єктом, що терпить лихо на воді.

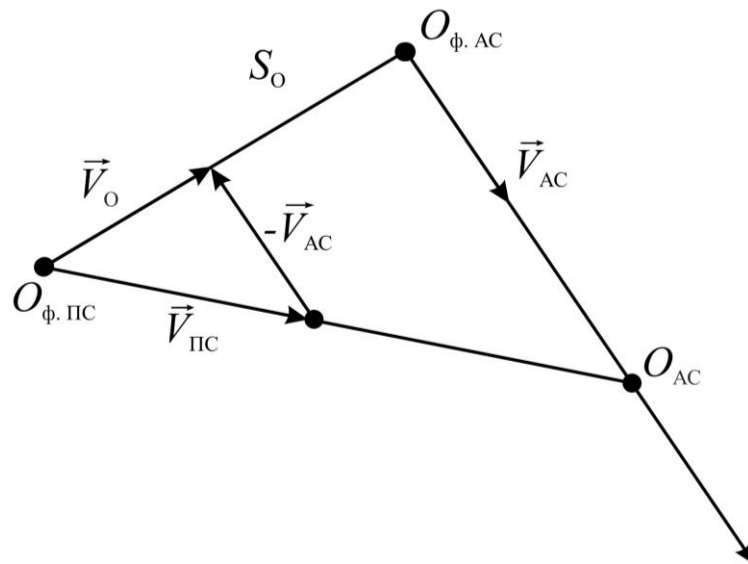


Рис. 3.11. Геометричні співвідношення, що характеризують процес ідеального зближення ПС у горизонтальній площині

Метод зближення з найвигіднішою точкою випередження під час штурвального керування ПС.

У разі зближення ПС із аварійним судном, використовуючи цей метод зближення, параметрами керування в ручному режимі будуть [64]:

$$U_{\text{НГ}} = k_{\text{Г.М}}(\varphi_{\text{Г}}^* - \varphi_{\text{Г.Н}}^*); \quad (3.21)$$

$$U_{\text{НВ}} = k_{\text{П.М}}(\varphi_{\text{В}}^* - \varphi_{\text{В.Н}}^*), \quad (3.22)$$

де $\varphi_{\text{Г}}^*$ і $\varphi_{\text{В}}^*$ – фактичні кути між лінією візування й вектором повітряної швидкості в площині його поздовжнього й бічного рухів; $k_{\text{Г.М}}$ – масштабний коефіцієнт, аналогічний $k_{\text{П.Н}}$ при методі прямого наведення. Кути $\varphi_{\text{Г}}^*$ і $\varphi_{\text{Г.Н}}^*$ визначаються в горизонтальній площині, а кути $\varphi_{\text{В}}^*$ і $\varphi_{\text{В.Н}}^*$ – у вертикальній.

Припускаючи, що ПС рухається на зближення з аварійним судном на постійній висоті зі сталою швидкістю, побудуємо трикутник їх зближення $OO_{\text{АС}}O_{\text{ТЗ}}$ у горизонтальній площині (рис. 3.12).

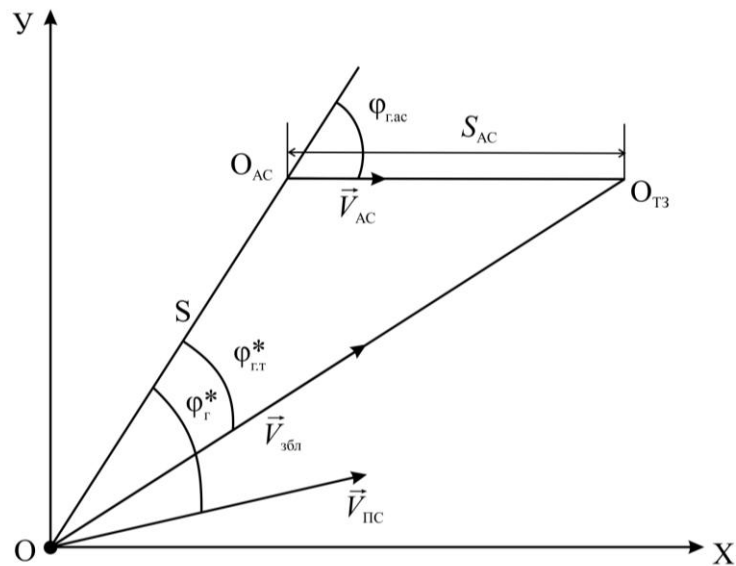


Рис. 3.12. Трикутник зближення ПС з аварійним судном, що дрейфує, у горизонтальній площині

На рис. 3.12. точками $OO_{AC}O_{ТЗ}$ позначено положення ПС, судна, що потерпає аварію та найвигіднішої точки упередження в поточний момент часу. У процесі їх ідеального зближення, ПС рухається прямолінійно в напрямку точки $O_{ТЗ}$, куди само дрейфує аварійне судно.

Для визначення кута упередження $\varphi_{ГТ}^*$, скориставшись трикутником рис.3.11, запишемо:

$$S = V_{c}t_{н} \cos \varphi_{ГТ}^* - V_{AC}t_{н} \cos \varphi_{Гас}^* ; \quad (3.23)$$

$$V_{AC}t_{н} \sin \varphi_{Гас}^* = V_{c}t_{н} \sin \varphi_{ГТ}^* . \quad (3.24)$$

У рівняннях (3.23) і (3.24) V_{AC} – вектор швидкості аварійного судна (його дрейф); $t_{н}$ – час зближення ПС з аварійного судна, S – відстань між ПС і аварійним судном OO_{AC} ; $U_{нГ}$ – кутова похибка зближення, $U_{нГ} = \varphi_{Г} \cdot \varphi_{ГТ}^*$ щодо лінії $OO_{ТЗ}$; $\varphi_{Гас}^*$ – кут між вектором V_{AC} і лінією візування OO_{AC} .

Додамо до динамічних рівнянь кінематичні рівняння:

$$V_{збл} = V_{AC} \cos \varphi_{Гас}^* - V_{c} \cos \varphi_{ГТ}^* ; \quad (3.25)$$

$$S\dot{\epsilon} = V_C \sin \varphi_{Гас}^* - V_{AC} \sin \varphi_{Гас}^*, \quad (3.26)$$

які визначаються як проекції векторів V_{AC} і V_{T3} на лінію візування OO_{T3} і є нормальні до неї. Щоб виразити кут $\varphi_{ГТ}^*$ через параметри взаємного руху ПС і судна, що терпить лихо, досить розв'язати системи рівнянь (3.25), (3.26), (3.23) і (3.24). Насправді, помноживши обидві частини рівняння (3.23) на час t_H і вносячи отриманий результат (3.24), визначимо

$$\sin \varphi_{ГТ}^* = -\frac{StH}{V_{ctc}} + \dot{\epsilon}_H \quad (3.27)$$

на практиці замість (3.23) використовують більш компактне представлення

$$\varphi_{ГТ}^* = -S\omega_{Г} / k_{SV}. \quad (3.28)$$

Необхідний кут φ_{BT}^* визначається за тою самою методикою, що і $\varphi_{ГТ}^*$.

Необхідний кут приблизно можна обчислити

$$\varphi_{BT}^* = -S\omega_{B} / k_{SV}, \quad (3.29)$$

де ω_B , $\omega_{Г}$ – кутові швидкості по лінії візування S у вертикальній і горизонтальній площинах відповідно. Вирази (3.28) і (3.29) являють собою алгоритми роботи бортового обчислювача при визначенні $\varphi_{ГТ}^*$ і φ_{BT}^* .

Таким чином, під час рятування людей з судна, що терпить лихо, доцільно використовувати авіаційні засоби порятунку, що є ефективними в цьому випадку та використовувати технічні засоби порятунку людей. Отже для проведення операції рятування людей на морі можна застосовувати метод прямого зближення. Для надання допомоги судну, що дрейфує та рухається прямолінійно з постійною швидкістю, доцільно використовувати метод зближення з найдоцільнішою точкою зустрічі.

При зближенні з аварійним судном, що маневрує, найвигідніше зближатися методом пропорційної навігації [66].

У цьому випадку керуючі впливи залежать від кутової швидкості обертання лінії візування S :

$$\left. \begin{aligned} U_{\Gamma} &= k_{\text{ПН}} \dot{\phi}_{\Gamma\Gamma}^* \\ U_{\text{В}} &= k_{\text{ПН}} \dot{\phi}_{\text{ВТ}}^* \end{aligned} \right\}, \quad (3.30)$$

де $k_{\text{ПН}}$ – коефіцієнт пропорційної навігації (зближення);

$\dot{\phi}_{\Gamma\Gamma}^*$ і $\dot{\phi}_{\text{ВТ}}^*$ – проекції кутової швидкості лінії S на горизонтальну та вертикальну площини відповідно.

Проекції кутової швидкості лінії візування ω_s вимірюються відповідними датчиками кутової швидкості $ДКШ_{\Gamma}$ і $ДКШ_{\text{В}}$ та вносяться у вигляді виправлень у систему керування та стабілізації (рис. 3.12).

Таким чином, при рятуванні суден, що терплять лихо на морі та дрейфують під впливом зовнішніх факторів, скоротити час прибуття ПС у точку зустрічі можна введенням у закон керування відповідних складових, що коригують рух рятувального ПС по найвигіднішій траєкторії зближення (рис. 3.13).

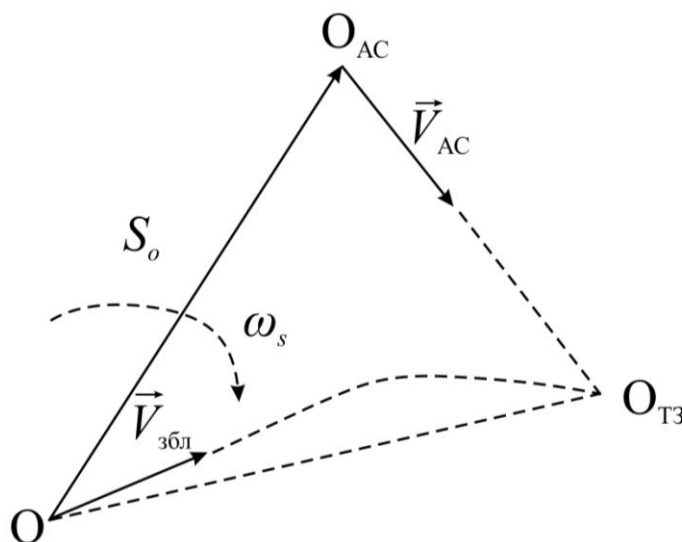


Рис. 3.13. Траєкторія зближення в точку зустрічі O_{T3} методом пропорційної навігації

Типовими методами зближення рятувального повітряного судна з аварійним слід уважати: для неманевреного дрейфу з постійною швидкістю – метод

зближення з найвигіднішою точкою зустрічі; для аварійного судна, що маневрує,— метод пропорційного зближення (навігації).

3.5.2. Синтез методів зближення морських засобів рятування на воді та алгоритмів траєкторного керування

У разі виникнення аварійної ситуації на морі починає працювати єдина система пошуку та рятування на морі. Залежно від обстановки, яка супроводжує аварійну ситуацію та швидкості її розвитку, в процесі порятунку застосовуються авіаційні або морські засоби рятування, а в разі високої динаміки розвитку аварійної ситуації можуть використовуватися і ті й інші засоби одночасно або послідовно. Траєкторне зближення авіаційних засобів і алгоритм керування ним були розглянуті вище (підрозд. 3.5.1).

Проаналізуємо методи зближення морських суден з аварійним об'єктом і виберемо типові з них [137].

У цьому випадку, з урахуванням того, що метод паралельного зближення є окремим випадком методу пропорційної навігації також можуть застосовуватися три методи зближення:

- метод прямого зближення;
- метод зближення з найвигіднішою точкою випередження;
- метод пропорційного зближення (навігації).

Метод прямого зближення суттєво не відрізняється від методу зближення ПС із аварійним судном. Він характерний тим, що капітан судна-рятувальника повинен утримувати поздовжню вісь свого судна постійно спрямованою на судно, яке рятують. Очевидно, такого добитися вкрай складно при зближенні з об'єктом, що рухається. Метод застосовується тільки при зближенні з нерухомим об'єктом (людьми на воді та ін.).

Метод зближення з найвигіднішою точкою зустрічі аналогічний зближенню за цим методом ПС із судном, що терпить лихо. Однак, ураховуючи відносно малу швидкість дрейфу аварійного судна, цей метод застосуємо для зближення з

об'єктом на великих відстанях – рух судна-рятувальника по маршруту на його лінійних відрізках. Вимогою до системи прямування судна по лінійному відрізку маршруту є точне визначення часу початку повороту на новий відрізок. Ця вимога може бути виконана в разі використання сучасних методів прогнозу маневру судна-рятувальника.

Критерієм оптимальності керування курсом є функціонал, що враховує дисперсію рискання та дисперсію перекладання керма [64, 66]:

$$J = V_{ar}(\Psi) + PV_{ar}(\beta) = \min ,$$

де $V_{ar}(\Psi)$ і $PV_{ar}(\beta)$ – дисперсія кута рискання та кутів перекладання керма відповідно; P – ваговий коефіцієнт.

Загалом закон перекладання керма у роботі визначається

$$\beta_u = k_p \Psi + k_d \dot{\Psi} + k_i \int_{t_1}^{t_2} \Psi dt , \quad (3.31)$$

де k_p , k_d , k_i – коефіцієнти підсилення пропорційної, диференціюючої та інтегруючої ланок відповідно.

Аналіз досвіду керування суднами показує, що такий метод зближення використовується при зближенні з неманевреними малорухомими об'єктами.

Пропорційне зближення судна-рятувальника з аварійним маневруючим об'єктом застосовується при маневруванні судна-рятувальника, що зближується з аварійним маневруючим об'єктом задля скорочення часу (шляху) під час зближення t_j .

Рівняння рискання у спрощеному вигляді запишемо так [64, 137, 138]:

$$\tau_1 \dot{\Psi}_{\Psi} \pm \Psi_{\Psi} = k_1 \beta \quad (3.32)$$

або з урахуванням що $\dot{\Psi} \approx \omega_{\Psi}$ маємо

$$\tau_1 \dot{\omega}_{\Psi} \pm \omega_{\Psi} = k_1 \beta , \quad (3.33)$$

де τ_1 – стала часу судна;

k_1 – коефіцієнт передачі за керуючим впливом, знак «плюс» у формулі (3.33) відповідає стійким на курсі суднам, знак «мінус» – нестійким.

Критерій оптимальності для такого закону керування запишемо у вигляді:

$$J = V_{ar}(\Delta U) = \min, \quad (3.34)$$

де $V_{ar}(\Delta U)$ – дисперсія коригувань курсу.

На поточне значення бічного відхилення судна Y від лінії шляху накладається обмеження: $Y < Y_{доп}$.

Крім критерію (3.34), якість корекції траєкторії зближення визначається рівнем статичної похибки утримання судна на маршруті (рис. 3.12). Визначимо маршрутні координати системи. Зв'язок між географічними φ , λ і маршрутними Y , S координатами судна на активному відрізку маршруту AB (рис. 3.14) опишемо залежностями [64]:

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \varphi - \varphi_A; \\ \Delta\omega = (\lambda - \lambda_A) \cos[0,5(\lambda - \lambda_A)], \end{cases} \quad (3.35)$$

де φ_A , λ_A – широта й довгота початкової точки активного відрізка маршруту.

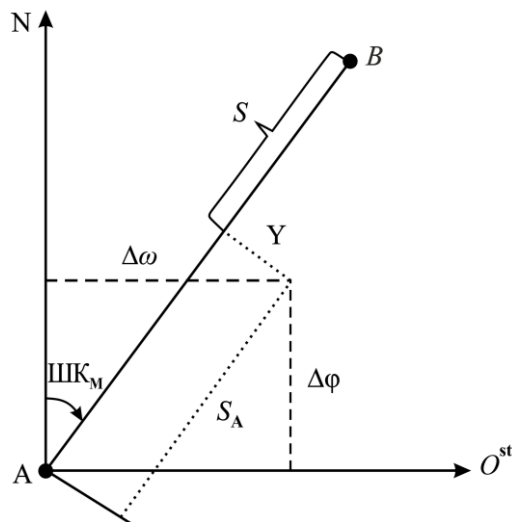


Рис. 3.14. Маршрутні координати судна-рятувальника

Маршрутні координати судна розраховуються по його прямокутних координатах $\Delta\omega$, $\Delta\varphi$

$$\begin{cases} Y = \Delta\omega \cos ШК_M - \Delta\varphi \sin ШК_M; \\ S_A = \Delta\omega \sin ШК_M - \Delta\varphi \cos ШК_M, \end{cases} \quad (3.36)$$

де $ШК_M$ – шляховий кут (магнітний).

Відстань по відрізкові маршруту до шляхової точки B дорівнює

$$S = S_{AB} - S_A,$$

де S_{AB} – довжина відрізка маршруту.

Стабілізацію судна на відрізку шляху можна здійснити двоконтурною схемою (рис. 3.15), яка включає регульовальний курс обладнання (АР) і систему, що керує рухом по траєкторії (Track control system) і відрізняється від відомих схем введенням в неї додаткової корекції, що враховує метод зближення.

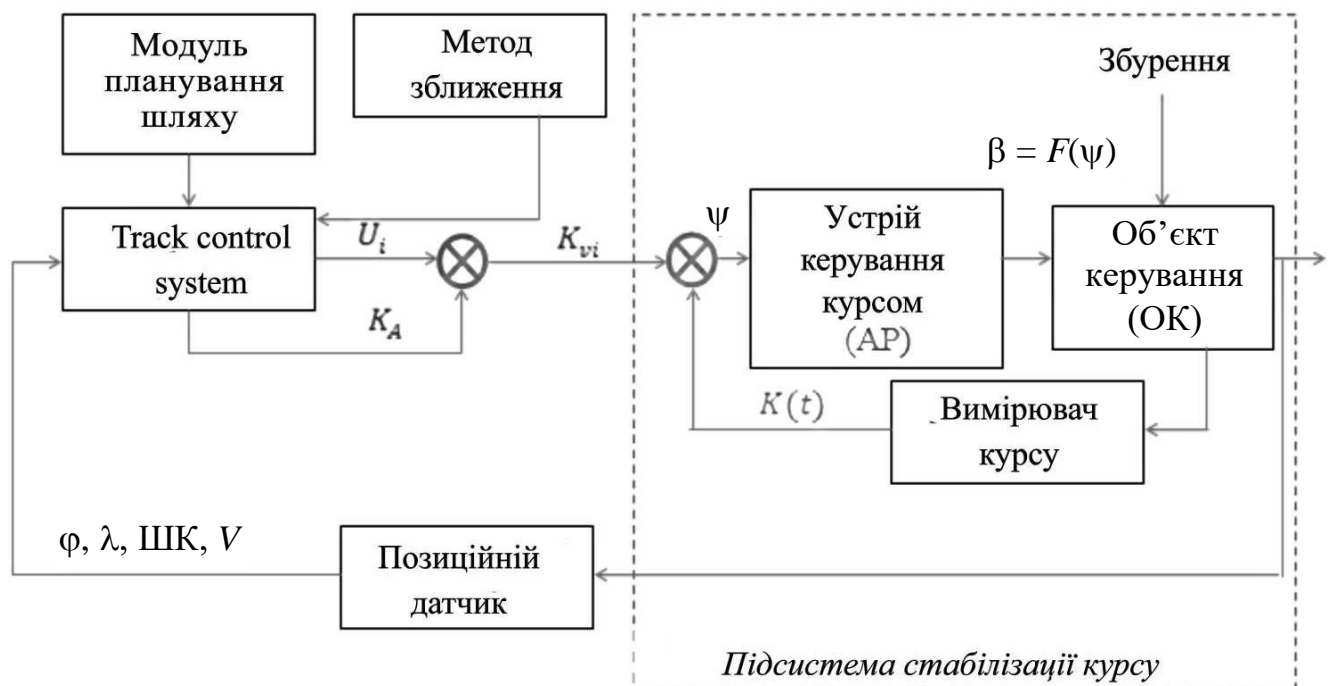


Рис. 3.15. Схема стабілізації судна на відрізках маршруту

Від позиційного датчика (приймач-індикатор однієї із супутникових систем: GPS, Глонас, DGPS, ДГлонас) у Track control system надходять дані про координати судна й параметри руху (φ , λ , ШК, V), також у цю систему від модуля

планування шляхів вводяться дані запланованого маршруту та методу зближення.

У разі втримання судна на відрізку маршруту заданий алгоритм коригування курсу (стабілізації) можна визначити в такий спосіб [64]:

$$k_{ui} = k_A + U_i. \quad (3.37)$$

У виразі (3.37) k_A – ШК_М маршрутний шляховий кут активного відрізка маршруту; U_i – курсова поправка до k_A . Пропорційно-інтегральний закон вироблення виправлень до k_A при пропорційному методі зближення буде таким:

$$U_i = r_n Y_i + r_u \int_{t_1}^{t_2} Y_i dt = U_n + U_k, \quad (3.38)$$

де r_n, r_u – коефіцієнти пропорційної U_n та інтегральної U_u складових закону коригування.

Складова закону коригування (3.38) $U_n = r_n Y_i$ є основним керуванням, що забезпечує пропорційне повернення на лінію шляху. Отже, у разі виникнення аварійної ситуації на морі, залежно від аварії і швидкості та характеру її розвитку, для рятувальних робіт можуть залучатися:

- для порятунку судна – авіаційні й морські засоби рятування, які використовують метод зближення з найвигіднішою точкою упередження при прямолінійному дрейфі з малою швидкістю або методу пропорційної навігації при зближенні з аварійним судном, що маневрує;

- для рятування людей на воді можуть залучатися авіаційні засоби рятування та евакуації, а також найближчі до місця аварії морські засоби, що наводяться за методом прямого зближення.

Ураховуючи швидкоплинність розвитку аварійної ситуації й трудомісткість процесу рятування на морі, усі види робіт з ліквідації наслідків аварії потребують автоматизації, а також скорочення часу, що витрачається на подолання відстані між судном-рятувальником і судном, яке рятують. Останнього можна досягти введенням в закон керування судном, що рятує, корекції, яка враховує відповідно створеної ситуації на морі, метод зближення суден (див. рис. 3.16).

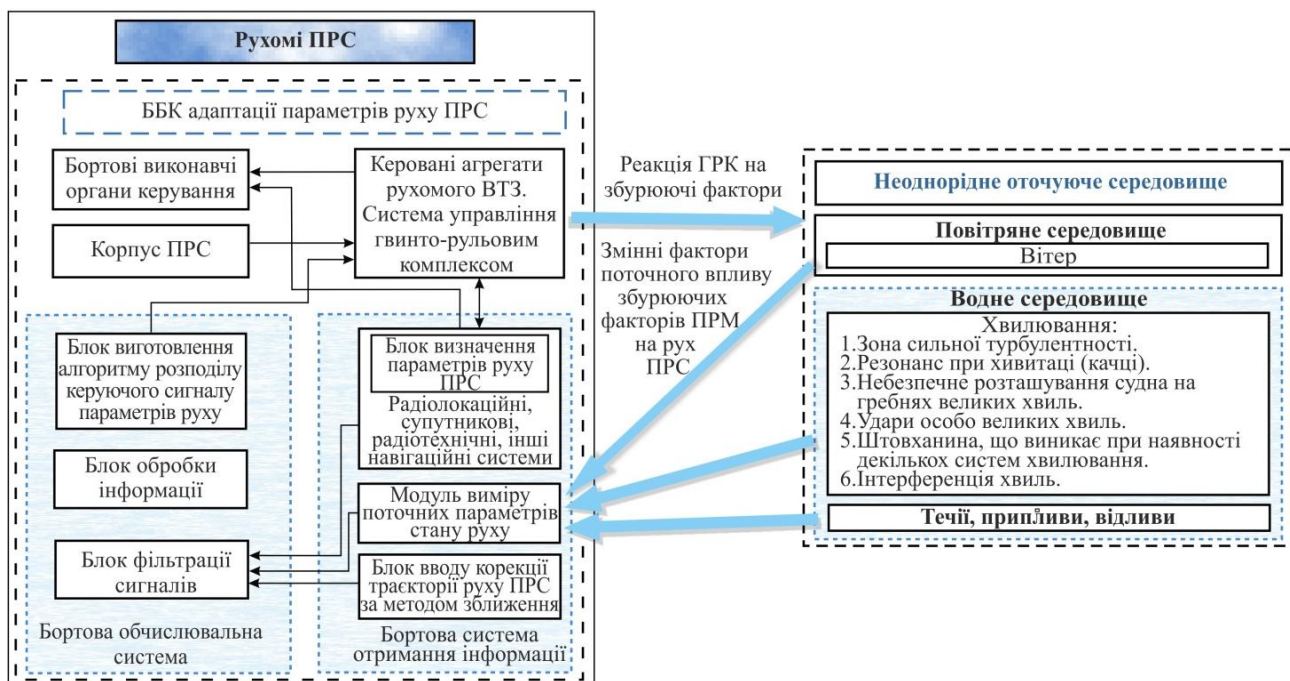


Рис. 3.16. Оперативне реагування в межах пошуково-рятувального району «Рухоме ПРС – нестационарне оточуюче середовище»

У дисертаційній роботі пропонується ці поправки вводити вручну або автоматично в систему керування рухом судна-рятувальника.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. З аналізу статичної стійкості суден, які зазнали деградуючої дії зовнішніх впливів чи внутрішніх процесів або їх сукупності, встановлено що такі судна втрачають статичну стійкість. У таких випадках користуються поняттям експлуатаційна стійкість на курсі, яка визначається числом перекладань керма та кутом його відхилення. Встановлено, що під час дії вітру і хвилювання моря до 3...5 балів стерновому потрібно для утримання судна на заданому курсі перекладати кермо на кути у $2 - 3^\circ$ на кожний борт і не частіше 4 – 6 разів за хвилину. Крім того виявлено, що в багатьох випадках судно, що зазнає деградаційних впливів, втрачає симетричну керованість, тобто виникає мимовільна циркуляція (ліворуч або праворуч), тому для утримання судна на потрібному курсі необхідне постійне регулювання за рахунок частішого перекладання керма, що значно підвищує утомленість кермового та збільшує час на їх зближення.

2. Розроблено замкнену математичну модель керованого руху судна в умовах аварійної ситуації, що сталася на морі, що дозволяє проаналізувати вплив рухливих мас рідини на стійкість і динаміку його руху, а також визначити необхідні керуючі для дії для парирування наслідків аварії судна в морі.

3. Обґрунтовано і розроблено модель в системі «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація», у цілому, яка дозволяє системно розглянути ситуацію, що склалася на морі і оцінювати потрібні керуючі дії успішного проведення пошуково-рятувальної операції. Крім того, для забезпечення скорочення витрат часу на проведення операції модель дозволяє проводити її сепарацію з метою виявлення впливу кожної складової системи на вказані витрати.

4. Розроблено модель прогнозу оцінки ймовірного місця розташування судна, що зазнає лиха, за різних зовнішніх і внутрішніх впливах: вітрова дія, дія течії води, відмова двигуна (двигунів) та їх спільної дії.

Проведено дослідження опису алгоритму прогнозу оцінки ймовірного

місця знаходження судна із застопореною машиною при окремому впливі на нього вітру і течії в Чорному морі.

Для визначення місця розташування судна в довільний момент часу, під час дрейфу, запропонована імовірнісна математична модель. Найвідоміша імовірнісна модель – це закон нормального розподілу який заснований на моделюванні випадкових величин. Для побудови статистичних оцінок шуканих величин використано інструментальний апарат методу Монте- Карло. Головним в якому є випадкові числа і їх генерація. Моделювання здійснювалося за допомогою комп'ютерних програм.

Розрахунки показали, що після аварії (із зупиненими двигунами) судно при вітровому дрейфі у зимовий період з середньої швидкістю 8 – 10 м/с буде віднесено за 10 год від місця аварії на відстань 16651 м., а розрахункова відстань між точкою в яку з'явиться судно після початку дрейфу до точки математичного очікування становить 341 м, з імовірністю $\gamma = 0,95$. Тобто. судно тільки під дією вітру буде віднесено від місця аварії на відстань 16651 ± 341 м.

Якщо прийняти швидкість течії води у цю пору року 1,2 м/с, то виявиться, що тільки під дією течії води у разі відмови двигуна через 10 годин, судно відійде від місця аварії з урахуванням коефіцієнту дрейфу на 1054 ± 26 м.

5. Проведено синтез методів зближення авіаційних та морських засобів пошуку та рятування на морі із аварійним судном та алгоритмів траєкторного керування ними. Встановлено, що найбільш ефективним є зближення за методом пропорційної навігації з аварійним судном, яке зазнає швидкісний дрейф з маневруванням та за методом зближення з найвигіднішою точкою випередження, якщо аварійне судно дрейфує прямолінійно з незначною швидкістю, що дало можливість рекомендувати розробникам систем керування судном додати до таких систем режим автоматизованого вводу метода зближення.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА УСПІШНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОЮ ОПЕРАЦІЄЮ З ПОРЯТУНКУ ЛЮДЕЙ І СУДНА, ЩО ПОТЕРПАЮТЬ ЛИХО НА МОРІ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ

4.1. Методика прогнозування району пошуку аварійного судна під час його дрейфу в невизначених умовах

При плануванні пошуково-рятувальних операцій в умовах, що склались в територіальних водах України перш за все, рекомендується активувати діяльність координаційного комітету з пошуку і рятування в морському пошуково-рятувальному районі України [18] який налагоджує взаємодію у питаннях рятування на морі та ліквідації розливів нафтопродуктів із іншими органами виконавчої влади України, а також з іноземними рятувальними центрами. Без створення правових основ виконати цю вимогу майже неможливо. Тому необхідно вводити в розвиток СПРМ сучасні інноваційні методи та технології.

По-перше, для цього у роботі рекомендується втілення інноваційних ієрархічних інтегрованих автоматизованих систем діяльності морських пошуково-рятувальних центрів.

По-друге, питання полягає в опануванні сучасних інноваційних методик прогнозування району пошуку із використанням автоматизованих систем безпеки мореплавства та інформаційних технологій.

Отже, головним в успішному проведенні пошуково-рятувальних операцій є правильний та швидкий прогноз району пошуку. Такі методи визначення району пошуку повинні бути відомими як робітникам пошуково-рятувальних центрів так і екіпажам морських суден. При проведенні операцій з пошуку й рятування потрібно визначити та нанести на морську мапу місце аварії та з урахуванням дій вітру і течії в районі пошуку направити якнайскоріше повітряні і морські судна,

що розташовані або проходять навколо (повз) цього місця, а також уміти керувати у районі пошуку з урахуванням мінливих зовнішніх умов та внутрішніх процесів на аварійному судні [91].

Отже прогноз здійснюється наступним чином:

1. Складаються вихідні дані та припущення.

а) Припущення:

– у пошуково-рятувальному районі на Азовському та Чорному морях припливно-відливна течія (TC) умовно відсутня;

– при прогнозуванні діюча морська (SC) та вітрова течії є постійно діючими і утворюється вітром;

– швидкість вітрової течії (WC) визначається як 1,5 % від усередненої швидкості вітру;

– визначається напрям течії і додаємо до нього кут, який враховує дію сил Коріоліса у цій частині світу;

б) Вихідні дані:

– об'єкт пошуку;

– час, що пройшов з моменту коли сталася аварія (T);

– останні відомі координати (LKP) – широта і довгота;

– погода на місці події (weather on-scene);

– течія, що діє на аварійне судно (об'єкт пошуку) SC .

2. Розрахунки виконуються у наступному порядку:

Крок перший. З точки LKP (рис. 4.1) шляхом складання векторів течії ($SC + WC$) в масштабі мапи визначається вектор сумарної течії (TWC).

Крок другий. Прогнозується дистанція $TWCdist$ на яку дрейфує судно, якщо на нього буде діяти тільки сумарна течія

$$TWCdist = TWC \times T . \quad (4.1)$$

Крок третій. За графіком залежності швидкості дрейфу судна від потужності вітру визначається швидкість дрейфу судна у підвітряному напрямі (LW).

Крок четвертий. З точки $TWCdist$ прокладається напрям дрейфу судна тільки під

дією вітру LW . LW визначається з таблиці Leeway angles (таб.4.1.) з урахуванням вітрового коефіцієнту W_f

Таблиця 4.1.

Кути дрейфу (Leeway angles)

№	Об'єкт	Вітровий коефіцієнт (W_f), %	LW (град)
1	Людина	(PIW) 2	10
2	Людина в рятувальному костюмі	(PIW) with survival suit) 6	10
3	Обломки об'єкта	(Wreckage) 1	10-15
4	Шлюпка	(Dinghy) 6	20
5	Катер	(Cabin cruiser) 5	35
6	Парусна яхта	(Sealing boat) 4	45
7	Риболовецьке судно	(Fishing vessel) 4	40
8	ПРН з якорем	(Liferaft with drogue) 2,5	20

$$LWdist = [V_1 + (V_2 \times W_f)]T \quad (4.2.)$$

де V_1, V_2 – швидкість дрейфу аварійного судна та вітру відповідно;

W_f – вітровий коефіцієнт;

T – час, що пройшов з моменту виникнення аварії.

Крок п'ятий. З точки $TWCdist$ розхилом циркулю отриманої дистанції роблять засічки на сторонах кута LW . Визначаємо відстань від точки, що вказує на останню відому місцезнаходження аварійного судна LKP до засічок (штрих-пунктир) і отримуємо $Dmin$ і $Dmax$ (рис.4.1.) [91]. $Dmin$ та $Dmax$ помножуються на коефіцієнт достовірності f_c , який характеризує величину похибки визначення розрахункового куту знесення аварійного судна. Коефіцієнт f_c може приймати значення від 0,125 до 0,33.

Як приклад розглянемо аварійну ситуацію, що сталася в Азовському морі з т\х «Ванесса».

Проведемо розрахунок пошуково-рятувального району за наведеною методикою [91].

Вихідні дані:

Об'єкт пошуку – т/х «Ванесса».

Останні відомі координати судна (*LKP*) – $45^{\circ}47'21$ північної широти і $36^{\circ}42'5$ східної довготи.

Час, що пройшов з моменту події (*T*) – 5 годин.

Погода в місті події – вітер NW: 18 – 23 м/с, підсилення до 20 – 30 м/с, висота хвилі 20 – 30 дм, температура $-2-7^{\circ}\text{C}$, швидке обледеніння (обмерзання).

Течія, що діяла на аварійне судно (*SC*) – 0,5 вузла. Припливно-відливні течії у цьому районі відсутні.

Визначається постійно діюча течія (*SC*) та вітрової течію, що створюється постійним вітром. Швидкість вітрової течії (*WC*) визначається як 1,5% від усередненої швидкості вітру. У нашому випадку усереднена швидкість дорівнює 21 м/с, тобто в вузлах $21 \times 1,94 \approx 41$ вузол. Визначимо швидкість вітрової течії $41 \times 1,5\% \approx 0,615$ вузла. Далі визначається напрям течії $315^{\circ} - 180^{\circ} = 135^{\circ}$. враховуємо дію сил Коріоліса, що діють в цьому регіоні та визначаємо вітрову течію $60^{\circ} + 10^{\circ} = 70^{\circ}$ (рис.4.1.). В подальшому виконується покроково визначення змінних за наведеною методикою.

Визначимо вектор сумарної течії (рис.4.1) [91].



Рис. 4.1 Трикутник визначення сумарного вектору течії.

Таким чином, аварійне судно, за 5 годин пошукових робіт віднесло $0,79 \text{ вуз} \times 5 \text{ год} \approx 3,95 \text{ милі}$ під кутом 70 градусів від заданого напрямку руху т/х «Ванесси» тільки за рахунок течії. Але за рахунок течії судна (ударом хвиль відірвало 30 метрів лівого борту) почав зростати його крен і через 2 години досяг

15 градусів, капітан подав сигнал лиха, після отримання від т/х «Ванесса» про відрив фальшборту. ЦКРС «Керч» двічі пропонував допомогу від найближчих суден, але капітан т/х «Ванесса» відмовився обидва рази. Розпочалися активні пошуково-рятувальні роботи. На місці аварії рятувальне судно прибуло тільки через 4 години 35 хвилин коли т/х «Ванесса» вже загинув.

4.2. Шляхи зменшення витрат часу на проведення пошуково-рятувальних операцій на морі в умовах невизначеності

Математичні вирази (3.4, 3.5) модельованого процесу підвищення ефективності дій служб ПРМ записано в цілому. У процесі дослідження залежно від поставлених завдань склад кортежів (3.4, 3.5) може змінюватися за рахунок ранжування характеристик за ступенем важливості досліджуваного питання чи нехтування значеннями другорядних складових.

Головною характеристикою, що визначає успішність дій служби пошуку й рятування на морі є час, витрачений на пошук та ідентифікацію судна, яке терпить лихо, час витрачений засобами рятування на подолання відстані до точки зустрічі, а також потрібний час для проведення операції порятунку людей і майна.

Всі наведені операції представимо у такій математичній формі:

$$T_{\Sigma} = T_{пош} + T_{інд} + T_{рух} + T_{пор} + T_{рят} \quad (4.3)$$

де T_{Σ} – вектор сумарних витрат часу на пошук та рятування людей і судна, що терпить лихо;

$T_{пош}$ – час, витрачений на пошук судна, що терпить лихо;

$T_{інд}$ – час, витрачений на виявлення та ідентифікацію аварійного судна;

$T_{рух}$ – час, витрачений на вихід судна-рятувальника в точку зустрічі з аварійним судном;

$T_{пор}$ – час, витрачений на порятунок людей з води;

$T_{\text{рят}}$ – час, витрачений на рятування судна, що терпить лихо.

Кожна складова виразу (4.3) характеризує успішність проведення відповідної операції за умови виконання жорстких умов – $T_i < T_{\text{дон}}$, де $T_{\text{дон}}$ максимально допустима витрата часу виконання i -ої операції. Знижуючи значення кожної зі складових (4.3), знижується сумарний час T_{Σ} виконання рятувальних робіт і як наслідок збільшується ймовірність успішного виконання рятувальної операції в цілому.

4.2.1. Модель вироблення рішень про проведення пошуково-рятувальної операції

Одним зі шляхів зниження часу на організацію проведення операції пошуку та рятування на морі є зниження витрат часу на збір і обробку інформації, вироблення рішення та проходження команд координації керування рятувальними роботами до кожного виконавця. У дисертаційній роботі це питання вирішується на підставі застосування основних положень теорії масового обслуговування [139, 140].

Розглянемо процес обробки замовлень на рятувальні роботи на морі з використанням положень теорії масового обслуговування (рис. 4.2).

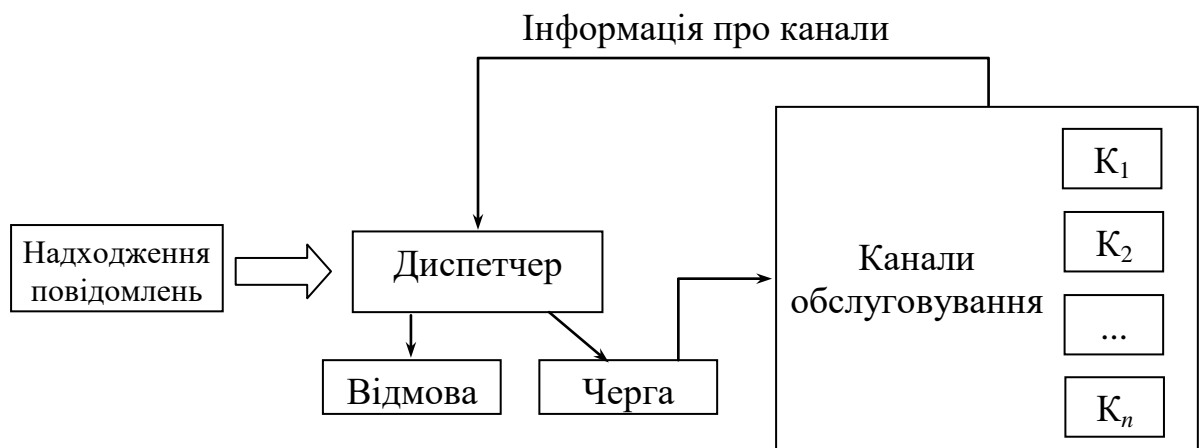


Рис. 4.2. Схема процесу обробки заявок на порятунок з використанням положень теорії масового обслуговування.

Система включає таку послідовність організації пошуково-рятувальних робіт на морі:

- блок збору інформації формує замовлення для служби пошуку та рятування на морі. На його вхід надходить потік інформації заявок від суден, які потерпають від лиха, на порятунок на морі;

- диспетчер (людина або автомат) приймає заявку, формує її черговість і проходження і надсилає заявки до каналів обслуговування (ДМРКЦ, МРПЦ) і за різними причинами може відмовити в обслуговуванні заявки, а в разі екстремальних умов на морі (безліч різних заявок) може встановити чергу їх проходження;

- черга-накопичувач і регулятор проходження заявок. У деяких випадках черга може бути відсутня;

- вузол обслуговування передбачає остаточну кількість каналів обслуговування;

- кожен канал має три стани: «вільний», «зайнятий», «не працює». Якщо всі канали можуть бути зайняті, то необхідно розробити стратегію пріоритетів проходження заявки;

- відмова у обслуговуванні настає, якщо всі канали зайняті або деякі із них перебувають у непрацюючому стані. Структура обслуговування системи визначається кількістю і взаємним розміщенням каналів обслуговування.

В умовах виникнення аварійних ситуацій на морі, в екстремальних умовах функціонування пошуково-рятувальної служби одним з надважливих показників ефективності дій системи пошуку й рятування є своєчасне та ефективне обслуговування повідомлень (заявок) про лихо, швидкодійна координація пошуку та керування процесом порятунку, негайна підготовка до проведення рятувальної операції та рівень злагодженість у роботі підрозділів і безпосередніх виконавців. Виконання усіх наведених умов дозволяє суттєво скоротити витрати часу на проведення відповідних операцій.

Заявки найчастіше надходять у систему випадково й у випадковий час. Крім того, зазвичай тривалість розмови за сигналом про лихо неможливо

спрогнозувати заздалегідь, отже час зайнятості лінії розмовою про лихо є випадковим. Надходження заявки в систему масового обслуговування (СМО) називається *подією*. Послідовність подій, що полягає в надходженні заявок на пошук та рятування у СМО, як відомо, називається *вхідним потоком заявок*. Послідовність подій, що полягає у виконанні зазначених заявок в СМО, називається *вихідним потоком заявок* [141].

Математичний апарат теорії масового обслуговування дає змогу оцінити ефективність обслуговування системою заданого потоку заявок залежно від характеристики потоку заявок та дисципліни їх обслуговування [142; 143].

Із зазначеного видно, що використовувані в теорії масового обслуговування критерії дозволяють оцінювати ефективність системи за усередненими характеристиками упродовж якогось часу. Отримані при цьому оцінки характеризують поведінку системи «у середньому» [144].

Досліджуваний у роботі вхідний потік інформації заявок віднесемо до найпростішого. Річ у тім, що найпростіші потоки частіше трапляються під час пошуку суден, які терплять лихо [145].

Потік заявок називається *найпростішим*, якщо він задовольняє такі умови:

- заявки надходять масово, час надходження чергової заявки не залежить від часу надходження попередньої заявки;
- стаціонарність - кількісні характеристики потоку - інтенсивності потоку $\lambda(t)$;
- середнє число подій (імовірність надходження даного числа заявок), які виникають в одиницю часу, не залежить від зазначеного часового інтервалу.
- кількість заявок на пошук та рятування, що надходять у систему за однакові проміжки часу, приблизно повинна бути постійною. Це потік постійної інтенсивності $\lambda(t) = \text{const}$;
- ординарність, тобто в будь-який момент часу в СМО надходить лише одна заявка (поодинокі), а надходження одночасно двох чи більше заявок доволі малоймовірно.

У праці [146] визначено, що у багатьох випадках можна отримати доволі прийнятні оцінки ефективності систем, замінюючи вхідний потік будь-якої

складної структури найпростішим з тією самою щільністю. Цьому сприяє той факт, що під час підсумовування великої кількості ординарних, стаціонарних потоків з будь-якою післядією отримується потік, близький до найпростішого.

Умови, які повинні при цьому виконуватися, аналогічні умовам центральної граничної теореми: сумарні потоки мають вливати на суму рівномірно мало [147]. Загалом потік вимог до розв'язку складних задач є нестационарним. Властивість нестационарності потоку вимог до розв'язку таких задач найбільш явно може проявитися на початку розвитку, наприклад, масових подій, коли інтенсивність потоку вимог до розв'язку цих задач стрімко зростає [148]. Імовірність такої ситуації може бути найбільш характерною влітку через порятунок людей у відкритому морі за різних причин, у разі шторму – втрати керування судном, порятунок яхти, у наданні термінової медичної допомоги членам екіпажу судна.

Показники успішності дій СПРМ дають змогу сформулювати вимоги до неї з двох частіше протилежних точок зору. Використовують такі показники, як максимальна пропускна спроможність заявок служби при екстремальних ситуаціях, у момент ліквідації масових пошуково-рятувальних подій, найменший час знаходження заявки у черзі.

Для аналізу СПРМ з погляду ефективності її використання застосовані: максимальний коефіцієнт завантаження служби, найбільший прибуток від функціонування служби на заданому інтервалі часу тощо.

Порівняльний аналіз різних СПРМ дозволяє визначити оптимальні параметри служби; рекомендувати найкращий варіант структури або знайти розумний компроміс між протилежними поглядами.

Розглянемо деякі приклади елементарних операцій зі зменшення витрат часу на оброблення заявок, прийняття рішень про виконання пошуково-рятувальних робіт та доведення їх до виконавців. На реалізацію яких впливають випадкові чинники [149, 150].

Нехай, у службу ПРМ у випадковому порядку надходить приблизно дві заявки за 10 годин. Визначити потік імовірності $p_i(t)$ надходження в службу в середньому чотири заявки за 30 годин.

Потік імовірності надходження заявок у проміжок часу t розраховується за формулою:

$$p_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (4.4)$$

У формулі (4.4) введені такі позначення:

λ – інтенсивність надходження заявок: $\lambda = \frac{2}{10}$ год = 0,2 (год)⁻¹;

t – час, упродовж якого надходили заявки: $t = 30$ год;

i – кількість заявок (повідомлень): $i = 4$.

Тоді

$$p_4(t) = \frac{(0,2 \cdot 30)^4}{4!} e^{-0,2 \cdot 30} = \frac{6^4}{24} e^{-6} = \frac{1296}{24} 0,025 \approx 0,134.$$

тобто, потік імовірності надходження чотирьох заявок у службу впродовж 30 год становить $p_4(T) \approx 0,134$.

У другому прикладі передбачається, що в службу ПРМ у разі екстремальних ситуацій у момент масових пошуково-рятувальних дій, надходить приблизно 1,2 заявок за годину. Середня тривалість розмови становить 10 службохвилин.

Визначити основні характеристики СМО та оцінити ефективність її роботи.

Вхідні дані:

– вхідний потік заявок – найпростіший з інтенсивністю $\lambda = 1,2$ (год)⁻¹,

– інтенсивність потоку обслуговування заявок має $\mu = 10$ (хв)⁻¹ = 0,17 (год)⁻¹,

– коефіцієнт завантаження каналів обслуговування: $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1,2}{0,17} = 7,06$.

Імовірність обслуговування заявки $p_{\text{обсл}} = p_0 = \frac{1}{1+\rho} = \frac{1}{1+7,06} = 0,12$.

Імовірність відмови в обслуговуванні $p_{\text{відм}} = p_1 = \frac{\rho}{1+\rho} = \frac{7,06}{1+7,06} = 0,88$.

Таким чином, система обслуговує лише 12 % дзвінків, що є незадовільним.

Абсолютна пропускна спроможність системи

$$A = \lambda p_{\text{обсл}} = 1,2 \cdot 0,12 = 0,144 (\text{год})^{-1},$$

тобто в середньому обслуговується 0,144 заявок на годину.

Таким чином, враховуючи отримані результати можна зробити висновок про те, що діюча система збору та обробки інформації, а також прийняття рішень і доведення їх до виконавців не задовольняє сучасним вимогам та потребує застосування сучасних інноваційних ІТ – технологій.

4.2.2. Математична модель оцінки успішності управління пошуково-рятувальною операцією порятунку судна, що потерпає лихо

Властивості системи як семантичної моделі можна умовно класифікувати за рівнем складності та за приналежності до системоутворюючих структурних або функціональних груп. Згідно із цим, характерні показники істотних властивостей системи керування пошуком та рятуванням на морі можна визначити так:

- загальносистемні властивості: цілісність, неперервність, стійкість, спостережуваність, керованість, детермінованість, відкритість, динамічність;
- структурні властивості: склад, зв'язність, організація, складність, масштабність, просторовий розмах, централізованість, обсяг тощо;
- функціональні (поведінкові) властивості: реактивність, ресурсоємність, оперативність, активність, потужність, мобільність, продуктивність, швидкодія, готовність, працеспроможність, точність, економічність, живучість, відмовоспроможність тощо.

Таким чином, цей набір показників якості можна звести до сфери загальносистемних і структурних властивостей систем.

Властивості, що характеризують процес функціонування – поведінкові властивості системи зазвичай називають операційними властивостями.

Оцінювання операційних властивостей здійснюється для таких аспектів :

- результату операції;
- моделі, яка забезпечує отримання конкретного результату.

Успішність операції пошуку та рятування загалом важко охарактеризувати однією із наведених властивостей окремо, тому застосовується їх сукупна оцінка [151].

$$Y_{ef} = \langle Y_e, Y_R, Y_0 \rangle \quad (4.5)$$

Залежно від конфігурації, типу системи управління, а також внутрішніх та зовнішніх властивостей, операції можуть бути: детермінованими, імовірнісними або невизначеними. Відповідно до цих показників успішність функціонування поділяють на три групи:

- в умовах визначеності, якщо показники завершення операції відображають одне строго визначене завершення детермінованої операції;
- в умовах ризику, якщо показники завершення операції є дискретними або безперервними випадковими величинами з відомими законами розподілу ймовірнісної операції;
- в умовах невизначеності, якщо показники завершення операції є випадковими величинами, закони розподілу яких невідомі.

Далі наведемо критерії успішності функціонування системи [151].

Критерій придатності для оцінювання ефективності детермінованої операції:

$$K^{\text{Прид}} : (\forall i) \cdot (y_i^j \in \delta / \delta_i \rightarrow y_i^{\text{доп}}, \quad i \in \langle E, R, O \rangle), \quad (4.6)$$

визначає правило, за яким операція буде успішною, якщо всі часткові показники завершення операції належать області адекватності.

Критерій оптимальності для оцінювання ефективності детермінованої операції:

$$K^{\text{Опт}} : (\exists i) \cdot (y_i^j \in \delta / \delta_i \rightarrow y_i^{\text{опт}}, \quad i \in \langle E, R, O \rangle), \quad (4.7)$$

визначає правило, за яким операція буде успішною, якщо всі часткові показники

завершення операції порятунку належать області пошуку, а радіус області пошуку за цими показником є оптимальний.

Критерії придатності оцінювання ефективності ймовірнісної операції:

$$K^{\text{ПРИД}} : P_{\text{д.м}}(Y_{\text{еф}}) \geq P_{\text{д.м}}^{\text{ПОТР}}(Y_{\text{еф}}) \quad (4.8)$$

визначає правило, за яким операція буде успішною, якщо ймовірність досягнення мети за показниками ймовірності $P_{\text{д.м}}(Y_{\text{еф}})$ не менше потрібної ймовірності досягнення мети за цими показниками $P_{\text{д.м}}^{\text{ПОТР}}(Y_{\text{еф}})$.

Критерій оптимальності для оцінювання ефективності ймовірнісної операції:

$$K^{\text{ОПТ}} : P_{\text{д.м}}(Y_{\text{еф}}) = P_{\text{д.м}}(Y^{\text{ОПТ}}) \quad (4.9)$$

визначає правило, за яким операція буде успішною, якщо ймовірність досягнення мети за показниками ймовірності $P_{\text{д.м}}(Y_{\text{еф}})$ дорівнює ймовірності досягнення мети з оптимальними значеннями цих показників $P_{\text{д.м}}(Y^{\text{ОПТ}})$.

Головною проблемою оцінювання успішності ймовірнісної операції є невизначеність способу знаходження необхідних ймовірностей. Це пов'язано з відсутністю подібних повторюваностей подій, а отже, і достатньої статистики. Для подолання цих труднощів користуватимемося положеннями теорії графів (розд. 2) і теорією марківського випадкового процесу з дискретними станами і безперервним часом.

Позначимо стан системи пошуку та рятування на морі через X з можливими дискретними станами X_1, X_2, \dots, X_n при цьому система переходить із одного стану в інший у випадковий момент часу. Позначимо ймовірність того, що в момент t системи буде знаходитися в стані X_i , $i = 1, 2, \dots, n$, через $P_i(t)$. Ураховуючи, що X_1, X_2, \dots, X_n становлять цілковиту групу несумісних подій, то сума ймовірностей $P_i(t)$ буде дорівнювати одиниці, тобто:

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1. \quad (4.10)$$

Покажемо, що при пуассонівських зовнішніх потоках, які переводять систему зі стану в стан, і показнику часу знаходження системи в різних станах, процес, що відбувається в СПРМ, буде марківським випадковим процесом. Тоді при пуассонівському зовнішньому потоці подій, що переводить систему зі стану X_i у X_j імовірність:

$$P_{ij}(\Delta t) = 1 - P_o(\Delta t) \quad (4.11)$$

де $P_o(\Delta t)$ – імовірність того, що в інтервалі Δt не відбудеться жодної події зовнішнього потоку переходів.

Оскільки сукупність переходів СПРМ зі стану в стан становить [129]:

$$P_{ik}(t, t + \Delta t) = \lambda_{ik} \Delta t + O(\Delta t), \quad (4.12)$$

де $O(\Delta t)$ – нескінченно мала величина другого порядку малості відносно Δt .

Імовірність того, що СПРМ залишиться в k -у стані становить [130]:

$$P_{kk}(t, t + \Delta t) = 1 - \sum_{j=1, k \neq j}^n P_{kj}(t, t + \Delta t). \quad (4.13)$$

Розділивши обидві частини рівності на Δt та переходячи до границь при $\Delta t \rightarrow 0$, отримаємо систему диференціальних рівнянь Колмогорова [130]

$$\dot{P}_k(t) = \sum_{i=1, k \neq i}^n \lambda_{ik} P_i(t) - P_k(t) \sum_{j=1, k \neq j}^n \lambda_{kj}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (4.14)$$

Скориставшись виразом (3.14) можна визначити динамічні характеристики переходу системи із стану в стан під дією пуассонівських зовнішніх впливів.

Ґрунтуючись на наведених теоретичних положеннях, розглянемо три реальні випадки пошуку та рятування судна, яке терпить лихо та знаходиться під дією трьох зовнішніх чинників:

- вплив вітру на судно, що терпить лихо;
- вплив постійної та вітрової течії на це саме судно;
- одночасна дія на аварійне судно двох зовнішніх чинників: вітру та течії.

Як уже зазначалося, для врахування дії вітру в зоні судна, що терпить лихо, використаємо карти, побудовані на основі рози вітрів або центру NCEP/NEAA [119]. У разі вітру аварійне судно за таких обставин дрейфує з певною швидкістю.

Для розрахунку швидкості дрейфу аварійного судна «Ванесса» в роботі прийнята середня швидкість вітру в зимовий період над Азовським морем $V = |V| = 22 \text{ м/с} = 79,2 \text{ км/год}$ [152].

Тоді швидкість вітрового дрейфу судна (рис. 4.3)

$$(V_{\text{др}} = K_V V), \quad (4.15)$$

де K_V – коефіцієнт швидкості дрейфу судна під дією вітру;

V – модуль швидкості вітру в зоні аварії.

Коефіцієнт K_V зазвичай належить відрізку чисел $K_V \in (0,056; 0,062)$.

Отже, $V_{\text{др}} = 0,062 \cdot 22 \approx 1,364 \text{ м/с}$ або $4,91 \text{ км/год}$, для розрахунків візьмемо $V_{\text{др}} = 4,9 \text{ км/год}$. Під час пошуку та рятування судна, що терпить лихо, задіяні морські засоби порятунку.

Умови і показники успішності операції – прибуття в точку зустрічі суден (т.Д) не пізніше ніж через $t = 5$ год після отримання сигналу про лихо від Одеського або Бердянського центрів, тобто

$$t_{\text{зустр}} \leq t_{\text{доп}}.$$

Під час порятунку людей із води допустимий час істотно обмежується максимально можливим часом перебування людини у воді, який, своєю чергою, залежить від пори року:

$$t_{\text{зустр}} \leq t_{\text{доп}} - t_{\text{доп}}^{\text{люд}}.$$

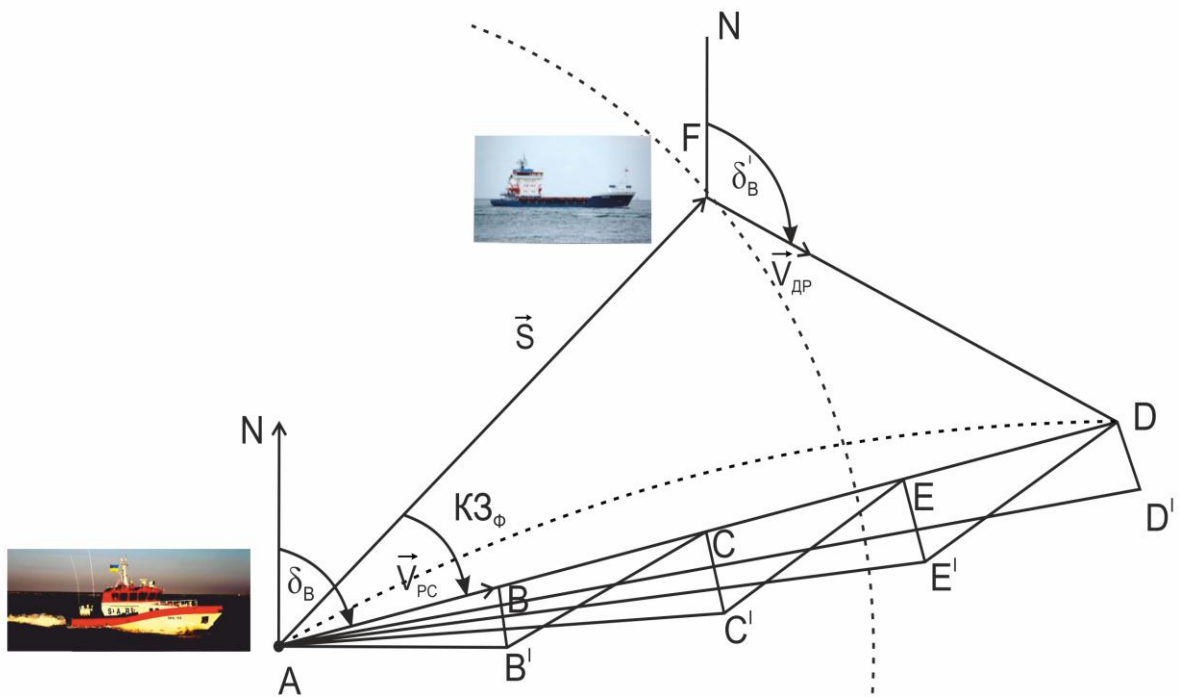


Рис. 4.3. Розрахункова схема руху судна-рятувальника на перехоплення аварійного судна, що дрейфує

Розглянемо три можливих випадки під час пошуку та рятування судна, яке терпить лихо [153]:

1. Капітану, який рятує аварійне судно, повідомлено з СПРМ точні координати аварійного судна, метеоумови в його районі, характер аварії тощо.
2. Капітану надані точні дані, але через збій в курсовій системі судно-рятувальник відхилилося від потрібного напрямку на 45 км.
3. Судно-рятувальник зближалося з аварійним судном за методом прямого зближення, загубило його із виду через шість годин зближення.

Визначити ймовірність успішного виконання операції пошуку та порятунку судна, яке терпить лихо.

Із розрахунку вітрового дрейфу аварійного судна маємо, що дрейф дорівнює

$$L_{др} = 4,9 \text{ км/год} \times 5 \text{ год} = 24,5 \text{ км}.$$

Із тих самих розрахунків відомо, що час дрейфу до прибуття рятувального судна в точку знаходження судна, яке терпить лихо, становить 5 годин.

При швидкості рятувального судна 45 км/год і прийнятних обмеженнях $t_{зустр} \leq t_{дон} \leq 5год$, відстань між точками AD не повинна перевищувати 225 км.

Тоді рятувальне судно укладається в умови порятунку, тобто $t_{зустр} = t_{дон} = 5год$. (перший випадок).

У другому випадку більше значення має відстань від точки D, на якій виявлено відхилення від потрібного положення за даного методу зближення. Для методу зближення з найвигіднішою точкою зустрічі D (рис. 4.4), це можуть бути будь-які точки прямої AD.

Таблиця 4.2

Відхилення судна-рятувальника від заданого курсу та часу, потрібного для подолання відстані до точки зустрічі при різних методах наведення

Відстань виявлення відхилення від лінії заданого шляху, витрата часу Метод зближення з точкою зустрічі	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>D</i>
Зближення з найвигіднішою точкою зустрічі	$\frac{230}{5,11}$	$\frac{234}{5,2}$	$\frac{270}{6,2}$	$\frac{290}{6,44}$
Пропорційне зближення з точкою зустрічі	$\frac{235}{5,22}$	$\frac{232}{5,16}$	$\frac{228}{5,06}$	$\frac{210}{4,60}$

Зведемо точки можливого виявлення відхилень в табл. 4.2 і з'ясуємо як змінюється необхідний час прибуття судна в точку зустрічі з аварійним судном.

Аналіз даних табл. 4.2 показує, що під час збоїв у курсовій системі судна-рятувальника або втрати із виду аварійного судна капітану судна-рятувальника доцільно застосовувати метод паралельного (пропорційного) зближення.

Так як граничне значення часу прибуття судна –рятувальника не повинно перевищувати 5 годин, то тільки метод пропорційної навігації з точкою

трагедії т/х «Ванесса», дає змогу зустрічі суден через 4 год 36 хв , що є меншою за пороговий термін на 8 - 12%.

4.3. Математична модель пошуково-рятувальної операції з порятунку людей в морі

Жорсткі обмеження на наявний час порятунку людей у морі накладає часові умови виживання людини у воді. Ці умови залежать від пори року, погодних умов, стану поверхні моря, підводних та вітрових течій тощо. Тому при моделюванні пошуково-рятувальної операції необхідно, в першу чергу, скласти математичні моделі: зміни температури тіла людини у воді, а також коливання температури по місяцях для Чорного та Азовського морів.

Для побудови математичної моделі зміни температури тіла людини у воді використовувався закон Ньютона-Ріхмана, який запишемо у вигляді диференціального рівняння першого порядку [154]:

$$\frac{dT_b}{dt} = k(T_v - T_b), \quad (4.16)$$

де T_b – внутрішня температура тіла людини;

T_v – температура оточуючої води в морі/океані;

k – коефіцієнт пропорційності, який може бути не завжди постійним для певних діапазонів температур;

Коефіцієнт k може бути визначений як:

$$k = \frac{\alpha S}{C}, \quad (4.17)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, який здебільшого визначається експериментально, а також не завжди є сталою величиною;

S – ефективна поверхня тіла; C – теплоємність тіла.

Розв'язок диференціального рівняння зміни температури тіла людини у воді (4.16) запишемо так:

$$T_b(t) = T_v + (T_{ob} - T_v)e^{-kt}, \quad (4.18)$$

де T_{ob} – початкова внутрішня температура тіла людини.

Ураховуючи формулу (4.17), отримаємо:

$$T_b(t) = T_v + (T_{ob} - T_v) e^{-\frac{\alpha S}{C} t}. \quad (4.19)$$

Для тіла людини візьмемо значення ефективної поверхні тіла людини $S = 1,8 \text{ м}^2$, питома теплоємність тіла $C_{\text{пит}} = 3,47 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, середня маса людини – 80 кг, початкова внутрішня температура тіла людини $T_{ob} = 36,8 \text{ }^\circ\text{C}$ [155].

Використовуючи ці дані, а також за уваги, що за температури тіла $30 \text{ }^\circ\text{C}$ втрачається свідомість, зниження температури тіла до $25 \text{ }^\circ\text{C}$ – небезпечно для життя, а нижче $20 \text{ }^\circ\text{C}$ – настає смерть, знайдемо коефіцієнт тепловіддачі α для значень, наведених в табл. 4.3. Для визначення коефіцієнта тепловіддачі α візьмемо середнє значення температурних та часових інтервалів.

Таблиця 4.3

Середні значення температурних інтервалів

Температура води, $^\circ\text{C}$	Час до настання, год		Допустимий час, хв
	втрата свідомості	імовірної смерті	
10	0,25 – 0,5	0,25 – 1,5	3 – 5
10 – 12	0,5 – 1	1 – 2	10
13 – 15	2 – 4	4 – 6	20
16 – 18	3 – 5	6 – 8	30
19 – 21	4 – 7	8 – 10	40
26	12	Небезпечно для життя	

Побудуємо графіки залежності зміни температури тіла людини у воді для різних температур води при значеннях коефіцієнта тепловіддачі α як функції різниці температур (рис. 4.4).

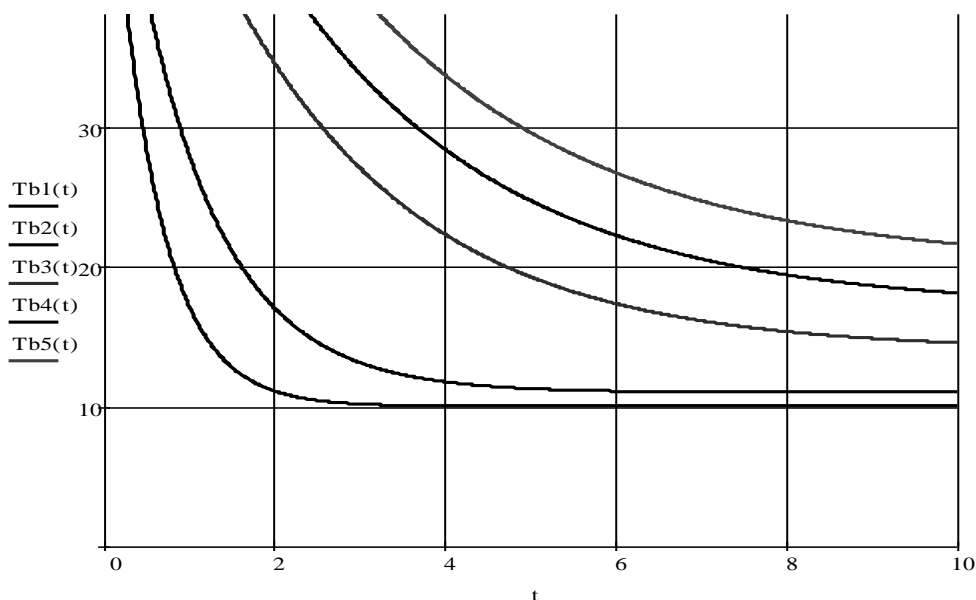


Рис. 4.4. Графіки зміни температури тіла людини у воді залежно від температури води: $T_{b1}(t)$ – для температури води $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{b2}(t)$ – для температури води $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{b3}(t)$ – для температури води $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{b4}(t)$ – для температури води $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{b5}(t)$ – для температури води $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Наведемо помісячний аналіз коливань температури води у Чорному та Азовському морях (табл. 4.4) [156].

Таблиця 4.4

Коливання температури води у Чорному та Азовському морях

Номер з/п	Місяць	Температура морської води T_v , $^{\circ}\text{C}$	
		Чорне	Азовське
1	Січень	+8,9	+3,5
2	Лютий	+7,8	+3,7
3	Березень	+8	+4,1
4	Квітень	+10,4	+9,5
5	Травень	+16,7	+18,4
6	Червень	+22	+23,6
7	Липень	+24,9	+25,7
8	Серпень	+25,9	+25,3

9	Вересень	+23,1	+19,9
10	Жовтень	+18,5	+14
11	Листопад	+14,4	+8,5
12	Грудень	+11,2	+4,5

Аналіз даних табл. 4.4 свідчить, що температура води у Чорному морі упродовж року коливається в діапазоні від +7,8 °С до +25,9 °С, а в Азовському – від +3,5 °С до +25,7 °С. При цьому коливання температури мають сезонний характер, отож мінімальна температура води у Чорному морі спостерігається у лютому, в Азовському – у січні. Максимальна температура води у Чорному морі зазвичай у серпні, тоді як в Азовському – у липні.

На підставі виконаного аналізу побудуємо математичну модель коливань температури води у Чорному і Азовському морях, застосовуючи програмний пакет MS Excel 365. Як часовий інтервал візьмемо інтервал один місяць. Кожному місяцю надаємо порядковий номер згідно з номером в календарному році. За результатами моделювання побудовано графік коливань температури води у Чорному морі, та відповідний апроксимуючий поліном наведено на рис. 4.5.

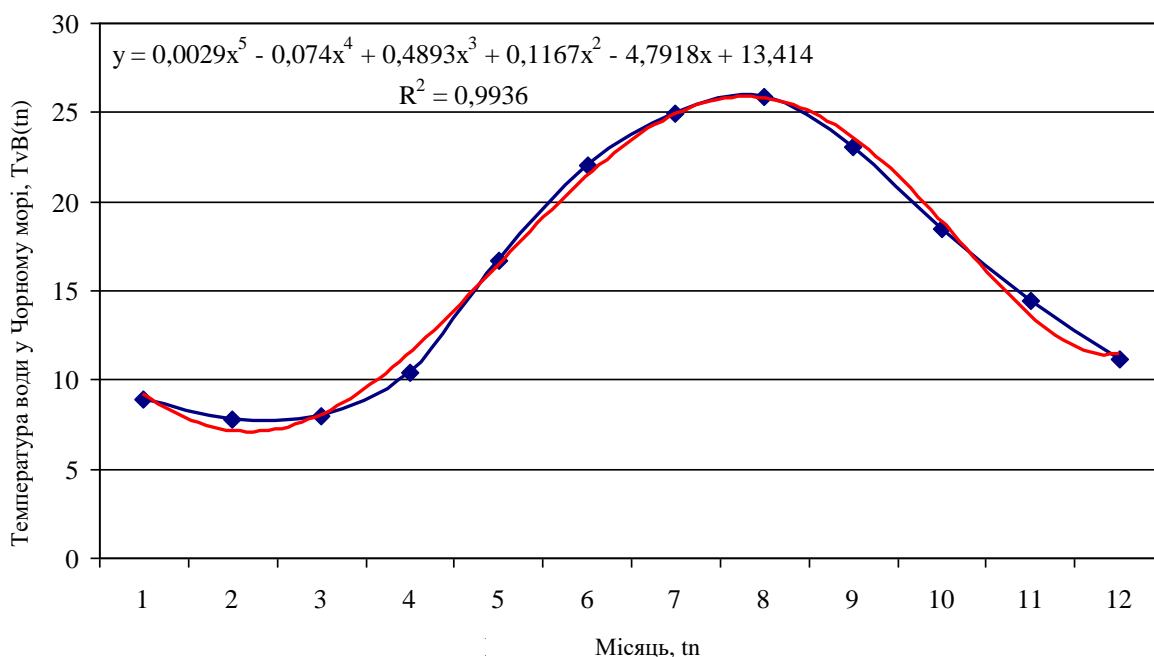


Рис. 4.5. Графік коливань температури води у Чорному морі та відповідний апроксимуючий поліном

Побудований графік коливань температури води в Азовському морі і відповідний апроксимуючий поліном наведено на рис. 4.6.

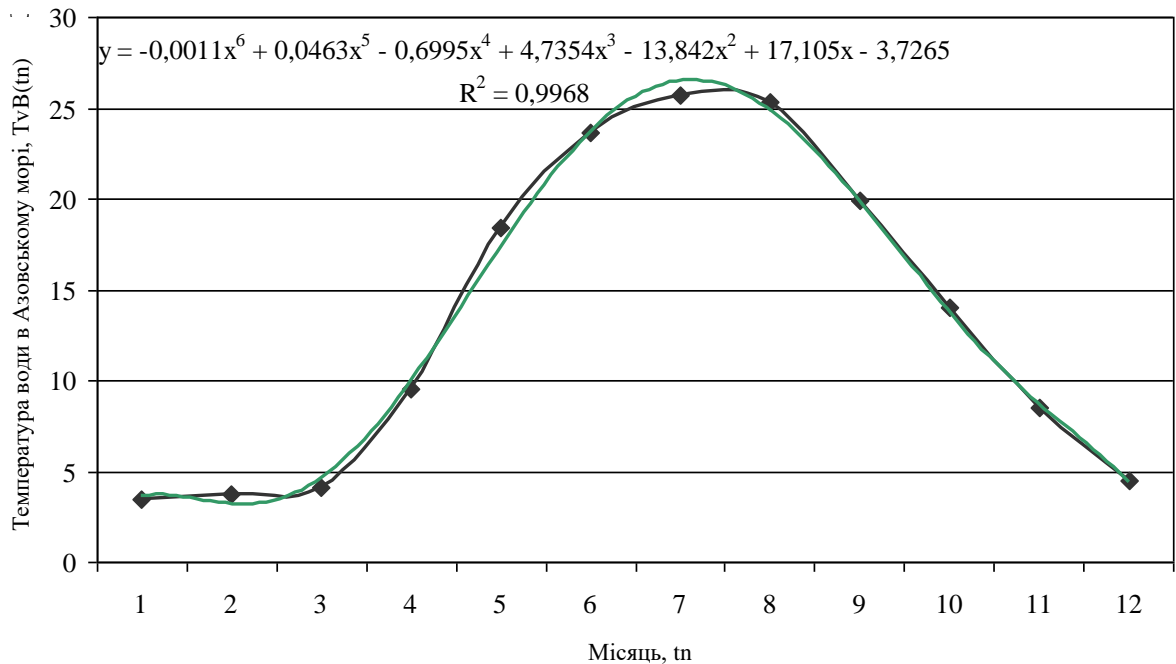


Рис. 4.6. Графік коливань температури води в Азовському морі та відповідний апроксимуючий поліном

З результатами досліджень встановлено, що найкращий ступінь відповідності статистичним даним, згідно з методом найменших квадратів, для коливань температури води у Чорному морі має поліном 5-го порядку (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9936$), а для коливань температури води в Азовському морі – поліном 6-го порядку (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9968$).

Отриману математична модель коливань температури води у Чорному морі представимо у такій формі

$$T_{vB}(t_n) = 0,0029 \cdot t_n^5 - 0,074 \cdot t_n^4 + 0,4893 \cdot t_n^3 + 0,1167 \cdot t_n^2 - 4,7918 \cdot t_n + 13,414. \quad (4.20)$$

а математична модель коливань температури води в Азовському морі:

$$T_{vA}(t_n) = -0 \cdot t_n^6 + 0,0463 \cdot t_n^5 - 0,6995 \cdot t_n^4 + 4,7354 \cdot t_n^3 - 13,842 \cdot t_n^2 + 17,105 \cdot t_n - 3,7265. \quad (4.21)$$

Залежності (4.20) і (4.21) можуть бути підставлені у формулу (4.19) з урахуванням коефіцієнта α як функції різниці температур. Із рівняння (4.18) отримано залежність для часу перебування людини у воді:

$$t = -\frac{\ln\left(-\frac{T_v - T_b}{T_{ob} + T_v}\right)}{k}. \quad (4.22)$$

Отримані щомісячні значення допустимого часу перебування людини у воді $t_{\text{дод}}$ для температури тіла становить $T_b = 20^\circ\text{C}$ (настання смерті) для Чорного та Азовського морів зведені в табл. 4.5.

Згідно з даними офіційного сайту КП МПРС (www.sar.gov.ua/ru/) сьогодні на службі перебувають шість катерів: важкі аварійно-рятувальні катери ПРК-01 та ПРК-02 проекту Patrol 150 з максимальною швидкістю 35 вузлів, легкі аварійно-рятувальні катери ПРК-03, ПРК-04 та ПРК-05 проекту Boomeranger C-1100 SAR RIB з максимальною швидкістю 32 вузли, а також катер ПРК-06, дані за технічними характеристиками якого відсутні.

Таблиця 4.5

**Значення максимально допустимого часу перебування
людини у водах Чорного та Азовського морів**

Номер з/п	Місяць	Максимально допустимий час перебування людини у воді (для $T_b = 20^\circ\text{C}$), год	
		Чорне	Азовське
1	Січень	0,75	0,475
2	Лютий	0,68	0,484
3	Березень	0,7	0,502
4	Квітень	0,85	0,789
5	Травень	7,16	9,1
6	Червень	–	–
7	Липень	–	–

8	Серпень	–	–
9	Вересень	–	17,8
10	Жовтень	9,27	2,059
11	Листопад	4,8	0,729
12	Грудень	0,9	0,521

Визначимо ефективну площу (радіус дії) для катерів проекту Patrol 150 та Boomeranger C-1100 SAR RIB, урахувуючи отримані дані виживання людини у водах Чорного та Азовського морів, максимальних потрібних швидкостей, у разі відсутності затримок обробки інформації та вироблення команд на виконання необхідних рятувальних операцій, а також за умов точного знання місцеположення людей.

Максимальна ефективна площа обмежена колом радіуса r з центром у точці знаходження рятувального судна (місце базування). Радіус визначимо з умови:

$$r = V \cdot t_{\text{дод}}; \quad (4.30)$$

$$t_{\text{дод}} \geq t_{\text{зyc}}$$

Попередній прорахунок прямої відстані протяжністю берегової лінії України (не враховуючи тимчасово окупованої АР Крим) на підставі картографічного сервісу Google Maps отримані такі результати: для Чорного моря пряма берегова лінія має протяжність близько 420 км, а для Азовського – близько 290 км.

Разом КП «МПРС» має п'ять швидкохідних рятувальних катерів. Враховуючи ці дані, а також припустивши, що їх пункти базування розташовані на рівномірному віддаленні один від одного, виконаємо розрахунки зміни максимального плеча (подвоєного радіуса r) для катерів кожного із проектів, залежно від $t_{\text{дод}}$, враховуючи також коливання температури води у Чорному та Азовському морях (табл. 4.6).

Розрахунки зміни максимального плеча

Номер з/п	Місяць	Максимальне плече (2 г), км			
		Катери проекту Patrol 150		Катери проекту Boomeranger C-1100	
		Чорне море	Азовське море	Чорне море	Азовське море
1	Січень	97,5	61,75	90	57
2	Лютий	88,4	62,92	81,6	58,08
3	Березень	91	65,26	84	60,24
4	Квітень	110,5	102,57	102	94,68
5	Травень	930,8	1183	859,2	1092
6	Червень	–	–	–	–
7	Липень	–	–	–	–
8	Серпень	–	–	–	–
9	Вересень		2314		2136
10	Жовтень	1205,1	267,67	1112,4	247,08
11	Листопад	624	94,77	576	87,48
12	Грудень	117	67,73	108	62,52

Враховуючи п'ять швидкохідних катерів та прийняте допущення специфіки їх базування, перекриття берегової лінії становитиме (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Перекриття берегової лінії Чорного та Азовського морів

Номер з/п	Місяць	Неперекрита берегова лінія			
		Чорне море		Азовське море	
		в км	в %	в км	в %
1	Січень	285	32,14	114	60,69
2	Лютий	258,4	38,48	116,16	59,94
3	Березень	266	36,67	120,48	58,46
4	Квітень	323	23,10	189,36	34,70

5	Травень	2720,8	Повністю	2184	Повністю
6	Червень		Повністю		Повністю
7	Липень		Повністю		Повністю
8	Серпень		Повністю		Повністю
9	Вересень		Повністю	4272	Повністю
10	Жовтень	3522,6	Повністю	494,16	Повністю
11	Листопад	1824	Повністю	174,96	39,67
12	Грудень	342	18,57	125,04	56,88

Аналіз даних табл. 4.7 свідчить, що в зимові місяці берегова лінія не перекривається повністю для Чорного та Азовського морів. Якщо взяти як критерій успішності функціонування КП «МПРС» величину перекриття берегової лінії, то можна зробити висновок, що в зимові місяці істотно знижується ймовірність вдалого проведення пошуково-рятувальних операцій.

Отже, необхідно переглянути дійсні умови розміщення пунктів базування рятувальних плавальних засобів, а також добитися збільшення кількості швидкісних катерів з метою забезпечення перекриття берегової лінії в зоні відповідальності України в зимові місяці.

Таким чином, під час організації пошуково-рятувальних операцій, крім скорочення часу на збір заявок, їх обробки прийняття рішення на проведення операції, а також скорочення часу, витраченого судном-рятувальником на подолання відстані між ним і аварійним судном, необхідно передусім врахувати наявний час на порятунок людей.

Підвищення успішності рятувальних операцій пропонується досягти за рахунок збільшення відсотка перекриття берегової лінії шляхом створення додаткових пунктів базування засобів рятування та збільшення кількості швидкісних катерів. Абсолютні та відсоткові кількісні значення, на які може бути підвищений рівень ефективності КП «МПРС», наведені в табл. 4.7.

4.4. Розробка рекомендацій щодо отриманих результатів дослідження

Як показує аналіз Admiralty list of signals vol 5 NP 285 2015/16 [157] (рис 4.7) практично всі чорноморські держави забезпечили берегову лінію Чорного та Азовського морів зв'язком району А1 ГМЗЛБ.

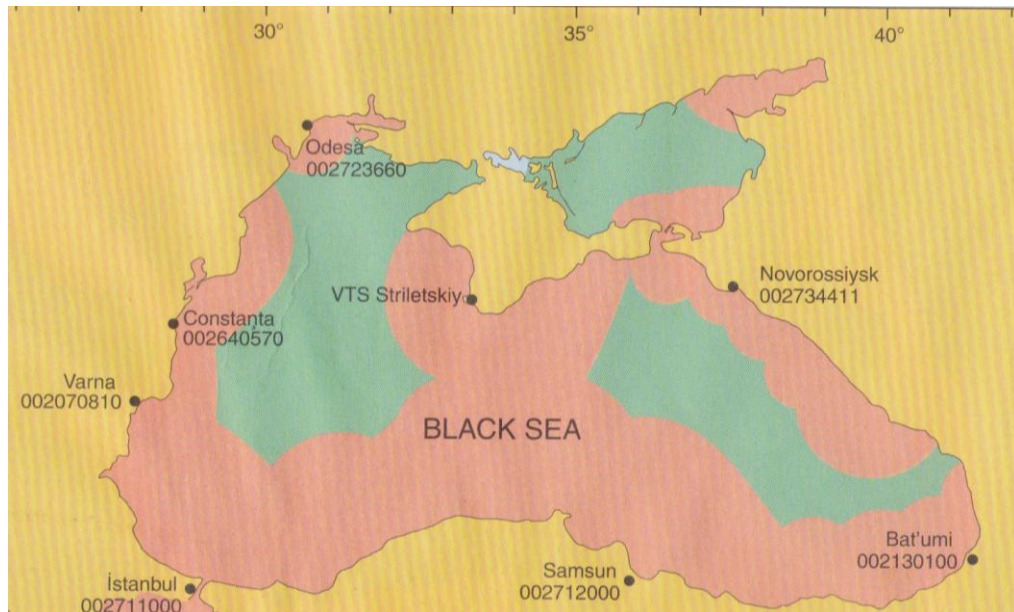


Рис. 4.7. Мапа покриття Чорного та Азовського морів зв'язком морського району А1 (рожевий колір)

Що стосується України, то лише певна частина Чорного моря, що знаходиться в зоні її відповідальності, а це приблизно 30-50 мильна зона в районі порту Одеса покрита зв'язком району А1. Така ж ситуація і в Азовському морі.

У зв'язку з цим, виникає необхідність у збільшенні кількості берегових радіостанцій морського району А1 ГМЗЛБ для підвищення ефективності пошуково-рятувальних операцій з метою повного перекриття берегової лінії Чорного та Азовського морів, в зоні відповідальності України.

1. Рекомендації що кількості місць дислокації берегових радіостанцій морського району А1 глобальної морської системи зв'язку.

Враховуючи що дальність поширення сигналу берегової радіостанції може бути від 20 до 50 миль, для подальших розрахунків візьмемо значення дальності 30 миль. Отже, від берегових радіостанцій морських районів А1, А2 ГМЗЛБ, що діють в Одесі, у бік Румунії необхідно встановити як мінімум одну базу

берегову радіостанцію морського району А1 в біля села Лебедівка, Одеської області, Білгород-Дністровського району. З врахуванням наших рекомендацій, у перспективному плані розвитку КП «МПРС» заплановано будівництво базової станції БРС району А1 в районі села Миколаївка, Одеської області, Білгород-Дністровського району, що знаходиться на північ від села Лебедівки приблизно на 10 км. Також в перспективному плані заплановано будівництво базової станції БРС району А1 на острові Зміїний. (рис. 4.8). Крім того, рекомендується встановити базові станції БРС району А1 на сході від Одеси. Найбільш доцільним місцями розміщення є райони біля Тендрівської коси та острова Джарилгач. Тому найбільш доцільним буде будівництво базової станції БРС району А1 в районі села Чорноморка, Очаківського району, Миколаївської області та в районі пгт. Лазурне, Скадовського району, Херсонської області, що також передбачено в плані перспективного розвитку КП «МПРС» (рис. 4.8). На ньому синім кольором виділені райони БРС А1 ГМЗЛБ КП «МПРС», що діють, а червоним кольором запланованих базових станцій.

Будівництво вище вказаних базових станцій БРС району А1 ГМЗЛБ дозволить повністю покрити всю берегову лінію Чорного моря зв'язком району А1, що істотно підвищить швидкодію, неперервність і надійність пошуково-рятувальних робіт в зоні відповідальності України на Чорному морі.

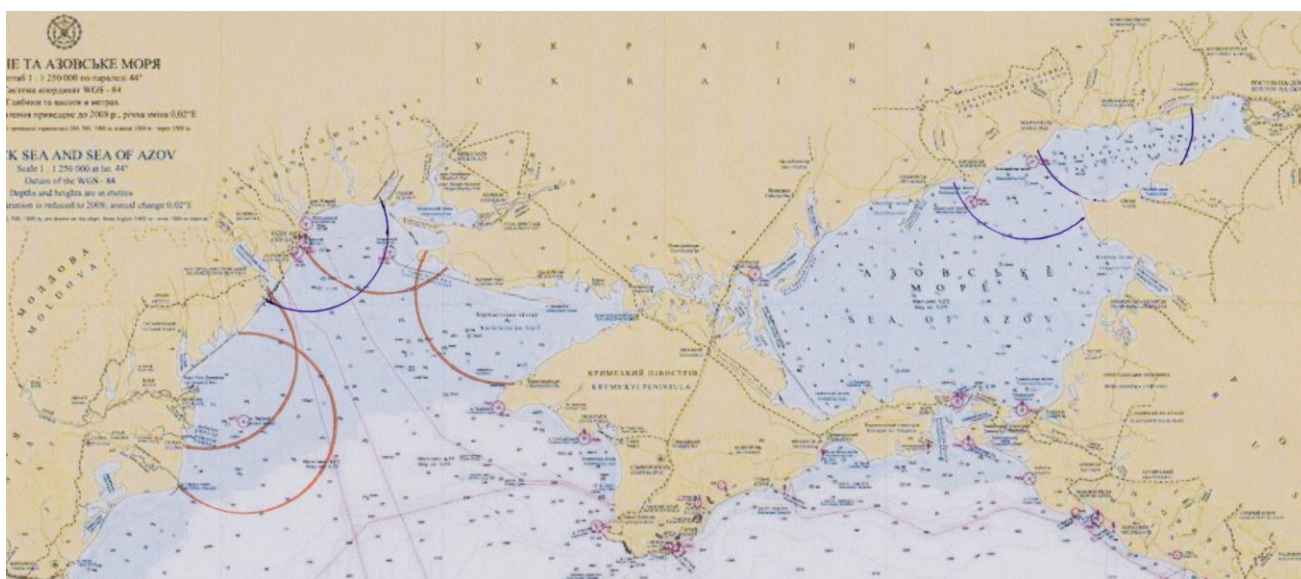


Рис. 4.8. Розташування БРС району А1 ГМЗЛБ тих що діють, та рекомендованих базових станцій

В Азовському морі діють дві БРС району А1 в Маріуполі і Бердянську. Район Азовського моря від Обитічної затоки (р-н м. Приморськ) до Арабатської стрілки не забезпечений зв'язком району А1 ГМЗЛБ, але цей район знаходиться далеко від морських шляхів, при цьому там малі глибини до 10 метрів. Тим не менш доцільним було б будівництво Базової станції БРС району А1 в районі села Кирилівка Якимівського району Запорізької області з метою покриття частини Азовського моря, яка знаходиться в зоні відповідальності України зв'язком району А1 ГМЗЛБ (рис. 4.8).

2. Рекомендації щодо дислокації морських пошуково-рятувальних одиниць (морські судна, які спеціалізовані для функцій SAR).

У розділі 4.3 було визначено, що підвищення ефективності рятувальних операцій пропонується досягти за рахунок створення додаткових пунктів базування засобів рятування та збільшення кількості швидкісних катерів. Діюча дислокація морських пошуково-рятувальних одиниць КП «МПРС» надана в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8.

Діюча дислокація морських пошуково-рятувальних одиниць

Місце дислокації	Морська пошуково-рятувальна одиниця
Усть-Дунайськ	Рятувальний катер ПРК-06
Одеса	Катер ПРК-01 типу PATROL-150 SAR
Чорноморськ	Катер ПРК-02 типу PATROL-150 SAR Морський рятувальний буксир льодового класу «Сапфір»
Білгород-Дністровський	Катер ПРК-04 типу Boomeranger C-1100 SAR RIB
Скадовськ	Катер ПРК-05 типу Boomeranger C-1100 SAR RIB
Бердянськ	Катер ПРК-03 типу Boomeranger C-1100 SAR RIB

З метою підвищення швидкодії, неперервності, надійності та своєчасність виконання пошуково-рятувальних робіт рекомендується:

1). Укомплектувати бази Скадовськ, Бердянськ, Усть-Дунайськ катерами типу PATROL-150 SAR.

Для забезпечення точності, цілісності, неперервності та готовності до роботи ПСУ необхідно безперервно обновлювати інформації про рух суден для того, щоб у випадку лиха:

- скоротити час між моментом втрати зв'язку з судном та початком пошуково-рятувальних операцій у випадку не отримання сигналу лиха;
- швидко визначати, які судна можуть бути залучені для надання допомоги;
- мати можливість встановлювати менші розміри пошукової зони у випадку коли не відомо або не визначено місце судна яке потерпає лиха.

Проведенні дослідження відповідають концепції розвитку КП «Морська пошуково-рятувальна служба», яка визначає майбутній стан системи та ступінь відповідності її функціональних можливостей задачам КП МПРС та співпадають з запланованим капітальним будівництвом з урахуванням наданих рекомендацій.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Розроблена методика прогнозування району пошуку аварійного судна під час його дрейфу під дією стохастичних зовнішніх впливів, визначені шляхи зменшення витрат часу на проведення пошуково-рятувальних операцій на морі в умовах невизначеності зовнішніх впливів та внутрішніх процесів, що дало можливість визначити чинники які потребують часу на їх виконання та розробити моделі вироблення рішення про проведення пошуково-рятувальної операції, математичної моделі оцінки успішності операції. За результатами моделювання зроблено висновок про можливість скоротити витрати часу: на обробку інформації на 12 – 20 %, на подолання відстані між судном-рятувальником та аварійним судном на 8 – 10 % .

2. Розроблена математична модель пошуково-рятувальної операції з порятунку людей на морі, побудовані графіки коливань температури води у Азовському та Чорному морях та відповідно побудовані апроксимуючі поліноми. Визначені значення максимально допустимого часу перебування людини в Азовському та Чорному морях (помісячно), які суттєво залежать від часу року та зони перекриття берегової лінії радіоелектронними засобами.

3. Обґрунтовані рекомендації щодо провадження отриманих результатів дослідження:

- рекомендації щодо кількості місць дислокації берегових радіостанцій морського району А1;
- рекомендації щодо дислокації морських пошуково-рятувальних одиниць (морські судна, які спеціалізовані до функції SAR);
- рекомендації щодо забезпечення точності, цілісності, неперервності та готовності керування пошуково-рятувальними роботами на морі.

Частина рекомендацій впроваджені в ХФ ДП «Адміністрація морських портів України», навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності в Херсонській області, навчальний процес Херсонської державної морської академії. Відповідні акти впровадження додаються.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову задачу розроблення моделей і методів, що забезпечують функціонально стійке управління процесом пошуку і рятування на морі в умовах невизначеності. Основні результати дослідження:

1. На підставі аналізу сучасного стану питання пошуку і рятування на морі, дослідження закономірностей процесів виникнення та розвитку аварійних ситуацій на воді і на судах, а також виявлення шляхів покращення показників успішності проведення операцій з ліквідації наслідків аварійних ситуацій. Виявлено, що на рівень успішності проведення таких операцій суттєвий вплив чинить своєчасність і оперативність організації процесів управління, рівень підготовленості та злагодженості персоналу рятувальних підрозділів, їх місця розташування в береговій зоні та технічна оснащеність, а також ступінь перекриття берегової лінії. Визначені підходи до забезпечення стійкого управління системою пошуку і рятування на морі в умовах невизначеності. Обґрунтовано вибір перспективних шляхів удосконалення процесу управління проведенням пошуково-рятувальних операцій та скорочення витрат часу на їх здійснення. Зазначене дозволило сформулювати постановку актуальної наукової задачі дослідження виходячи із постановки наукової задачі,

2. На підставі аналізу питання управління пошуком та рятуванням на морі у зоні відповідальності України розроблена концепція управління процесом ПРМ, що дало можливість визначити і обґрунтувати основні причини виникнення нештатних ситуацій на морі та провести параметризацію їх прямих ознак, а також здійснити аналіз структурно-топологічних характеристик системи пошуку і рятування на морі та оцінити якість структури і складових її елементів з позиції системного підходу, виявляти структурні характеристики, певні особливості, переваги та недоліки, в режимі реального часу забезпечувати функціонально збалансоване управління пошуком та рятуванням на морі.

3. Введено і обґрунтовано поняття динамічної системи «СПРМ – судно – екіпаж – зовнішні умови – нештатна ситуація», розроблено її математичну модель, яка враховує відповідний до ситуації, що склалася на морі, метод зближення з судном, що потерпає лихо. Це дозволило рекомендувати розробникам систем управління рятувальними операціями на морі оптимізувати за часом траєкторії зближення судна-рятувальника з аварійним судном, заздалегідь передбачивши можливість автоматичного вибору методу зближення та вироблення відповідного корегування керуючих дій. Розроблено схему стабілізації судна на відрізках маршруту, синтезовано закон корегування траєкторії руху судна-рятувальника в умовах дії зовнішніх деградуючих факторів.

4. Розроблено модель прогнозування оцінки ймовірного місця розташування судна, що зазнає лихо, за різних зовнішніх і внутрішніх впливах: вітрова дія, дія течії води, відмова двигуна (двигунів) та їх спільної дії.

Шляхом моделювання процесу пошуку і рятування у наведених ситуаціях виявлено:

– після аварії (із зупиненими двигунами) судно при вітровому дрейфі у зимовий період з середньою швидкістю 8 – 10 м/с буде віднесено за 10 год від місця аварії на відстань 16651 м., а розрахункова відстань між точкою в яку з'явиться судно після початку дрейфу до точки математичного очікування становить 341 м, з імовірністю $\gamma = 0,95$. Тобто. судно тільки під дією вітру буде віднесено від місця аварії на відстань 16651 ± 341 м.

– якщо прийняти швидкість течії води у цю пору року 1,2 м/с, то виявиться, що тільки під дією течії води у разі відмови двигуна через 10 годин, судно відійде від місця аварії з урахуванням коефіцієнту дрейфу на 1054 ± 26 м.

5. Проведено синтез методів мінімізації часу отримання і обробки інформації, прийняття рішення на проведення пошуково-рятувальної операції, а також на подолання відстані між рятувальними засобами (морськими або авіаційними) та аварійними судном, що дало можливість обґрунтовано побудувати модель ієрархічної інтегрованої системи управління, спрямованої на організацію успішного керування процесом ліквідації надзвичайної ситуації на

морі або її наслідків.

6. Проведено синтез методів зближення авіаційних і морських засобів пошуку та рятування на морі із аварійним судном, а також алгоритмів траєкторного керування ними. Встановлено, що найбільш ефективним є зближення з аварійним судном, яке зазнає швидкісний дрейф з маневруванням за методом пропорційної навігації та за методом зближення з найвигіднішою точкою випередження, якщо аварійне судно дрейфує прямолінійно з незначною швидкістю, що дало можливість рекомендувати розробникам систем керування судном додати до їх структури режиму автоматизованого вводу метода зближення.

7. Розроблена методика прогнозування району пошуку аварійного судна під час його дрейфу під дією стохастичних зовнішніх впливів, визначені шляхи зменшення витрат часу на проведення пошуково-рятувальних операцій на морі в умовах невизначеності зовнішніх впливів та внутрішніх процесів, що дало можливість визначити чинники, які потребують часу на їх виконання та розробити моделі вироблення рішення про проведення пошуково-рятувальної операції, математичної моделі оцінки успішності операції. За результатами моделювання зроблено висновок про можливість скоротити витрати часу: на обробку інформації на 12 – 20 %, на подолання відстані між судном-рятувальником та аварійним судном на 8 – 10 % .

8. Розроблена і обґрунтована математична модель пошуково-рятувальної операції з порятунку людей на морі, побудовані графіки коливань температури води у Азовському та Чорному морях та відповідно побудовані апроксимуючі поліноми. Визначені значення максимально допустимого часу перебування людини в Азовському та Чорному морях (помісячно), які суттєво залежать від пори року та зони перекриття берегової лінії засобами рятування, а саме: у Чорному морі з січня по березень імовірність вдалого проведення пошуково-рятувальних операцій знижується від 38 % у лютому і у березні до 32 % у січні; у Азовському морі – від 60 % у січні-березні до 57 % у грудні.

9. Обґрунтовані рекомендації та пропозиції щодо провадження отриманих

результатів дослідження. У роботі пропонується для підвищення успішності операцій рятування людей на воді підвищувати відсоток покриття берегової лінії шляхом створення додаткових пунктів базування засобів рятування і зв'язку та збільшення кількості швидкісних катерів:

- рекомендації щодо кількості місць дислокації берегових радіостанцій морського району А1;

- рекомендації щодо дислокації морських пошуково-рятувальних одиниць (морські судна, які спеціалізовані до функції SAR);

- рекомендації щодо забезпечення точності, цілісності, неперервності та готовності керування пошуково-рятувальними роботами на морі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналитическая организация INS Markit Maritime & Trade (M&T) [Электронный ресурс] / – Режим доступа: www.sur.ru/ru/...01.../bezopasnost-moreplavaniya-uluchshilas-po-avarii-neizbezhny/.
2. Международная конвенция по поиску и спасанию на море 1979 года с поправками САР-79. (Текст на русском и английском языках). – Санкт-Петербург: ЦНИИМФ. 2005. – 555 с.
3. Международное воздушное право / – М.: 1980–1981.
4. Frederic P. Miller, Agnes F. Vandome, John McBrewster. International Maritime Organization. M Verlag Dr. Mueller e.K., 2010 (англ.).
5. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. ИМО. – Лондон: Т. I. – 150 с. Т. II. 2013. – 522 с.
6. Наставление по международному авиационному и морскому поиску и спасанию (ИАМСАР) / – Санкт-Петербург: ЦНИИМФ. Том 1 – 150 с., Том 2 – 552 с. Том 3 – 270 с. 2013.
7. Резолюция А.894(21). Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию (Руководство МАМПС). Принята 25 ноября 1999 г.
8. Шарлай Г. Н. Оператор ГМССБ: Учебное пособие / Г. Н. Шарлай, А. Н. Пузачев. – Владивосток: «Морской государственный университет» имени адмирала Г. И. Невельского, 2008. – 103 с.
9. Шарлай Г. Н. Справочная книжка оператора ГМССБ. Учебное пособие / Г. Н. Шарлай, А. Н. Пузачев. – Владивосток: ДВГМА, 2000. – 126 с.
10. ГМССБ за три недели. Учебное пособие. Морской учебно-тренажерный центр ГМА им. Адм. С.О. Макарова. 2000. – 236 с.
11. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года СОЛАС (текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). Текст на русском и английском языках.– С.-Пб: ЦНИИМФ. 2010. – 992 с.
12. Про відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі : від 24 лютого 2016 р. / Постанова № 158. Кабінет Міністрів України. – К.: 2016.

13. Про виконання заходів з відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі: від 25 березня 2016 р. / Наказ № 119. Міністерство інфраструктури України. – К.: 2016.

14. Про затвердження нормативних актів з пошуку та рятування на морі : від 10 вересня 2002 р. / Наказ № 643. Міністерство транспорту України. – К.: 2002.

15. Про затвердження військово-адміністративного поділу території України : від 5 лютого 2016 р. / Наказ № 39/2016. Президент України. – К.: 2016.

16. Про внесення зміни до військово-адміністративного поділу території України : від 23 січня 2017 р. / Наказ № 12/2017. Президент України. – К.: 2017.

17. Магданов П. В. Система управління организацией: понятие и определение / П. В. Магданов. – Пермь: ГУ. Вестник ОГУ №8 (144). 2012. – С. 56– 62.

18. Про утворення координаційного комітету з пошуку і рятуванню на морі : від 16 листопада 2016 р. / Постанова №830. Кабінет Міністрів України. – К.: 2016.

19. Годованюк С. П. Казенное предприятие «Морская поисково-спасательная служба» / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Київ, 15 – 16 травня 2014), НАУ. – С. 68 – 71.

20. Про забезпечення функціонування єдиної системи пошуку і рятування на морі : від 20 жовтня 2011 р. N 1069 / Постанова Кабінету Міністрів України. – К.: 2011.

21. Морська доктрина України на період до 2035 року : від 7 жовтня 2009 р. N 1307 / Постанова Кабінету Міністрів України. – К.: 2009.

22. Статут казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба» Наказ від «25» березня 2016 року № 119. / Затверджено Міністерством інфраструктури України, – Одеса: 2016.

23. Залож В. Аналіз організаційної структури управління державної прикордонної служби України. Проблемні питання та протиріччя в структурі управління / В. Залож, О. Мейко, В. Серватюк. – Київ: Збірник наукових праць. НАДПСУ, № 2(68). 2016. – С. 29 – 42.

24. Годованюк С. П. Структура единой системы поиска и спасения на море с управлением / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. – №1(16). – С. 18 – 24.

25. Уёмов А. И. Логические основы метода моделирования / А. И. Уёмов. – М.: Мысль, 1971. – 311 с.

26. Чернышев В. Н. Теория системы, системный анализ : учебное пособие / В. Н. Чернышев, А. В. Чернышов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – С. 96.

27. Неуймин Я. Г. Модели в науке и технике. История, теория, практика / Я. Г. Неуймин : под ред. Н. С. Соломенко. – Л.: Наука, 1984. – 192 с.

28. Welford A. T. On the human demands of automation: Mental work conceptual model, satisfaction and training. (англ.) / A. T. Welford Industrial and business psychology. 1961. Vol. 5. – P. 182–193.

29. Ломов Б. Ф. О системном подходе в психологии // «Вопросы психологии», № 2, 1975, – С. 31 – 45.

30. Кирилов Н. П. Концептуальная модель процессов управления функциональными состояниями технических систем и возможности ее прикладного использования / Н.П. Кирилов. – Санкт-Петербург: ИММОД, 2011. – С. 168 – 171.

31. Самохвалов Ю. Я. Формирование технического облика автоматизированных систем. Регистрация, сбережение и обработка данных / Ю.Я. Самохвалов, Е. М. Наumenко, О. И. Бурба. 2011. Т.13, № 3. – С. 51 – 61.

32. Годованюк С. П. Формирование облика единой системы поиска и спасения / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016. – № 2 (15). – С.10 – 19.

33. Годованюк С. П. Концептуальная модель формирования облика управляемой единой системой поиска и спасения на море / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Вісник інженерної академії України: Бюлетень 4, 2017. Науковий журнал. – К.: 2017. – С. 84 – 88.

34. Лапыгин Ю. Н. Теория организации / Ю. Н. Лапыгин. Инфра-М. – М.: 2007. – 311 с.
35. Динамическая_система [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
36. Балаганский И. А. Прикладной системный анализ : учебное пособие / И. А. Балаганский. – Новосибирск: НГТУ, 2013. – 119 с.
37. Анищенко В.С. Динамические системы / В. С. Анищенко Соровский образовательный журнал, № 11, 1997. – С. 77 – 84.
38. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
39. Первозванский А. А. Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация / А. А. Первозванский, В. Г. Гайцгори. – М.: Наука, 1979. – 344 с.
40. Годованюк С. П. Моделирование устойчивости линейной структуры управления / Селиванов С. Е., Самсонкин В. Н. // V Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 13–15.09.2018). – С. 13-18.
41. Воронин А. В. Моделирование технических систем. Учебное пособие / А.В. Воронин. – Томск: Политех. универ. 2013. – С. 130.
42. Зыков А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. – М.: Вузовская книга, 2004. – 664 с.
43. Березина Л. Ю. Графы и их применение / Л. Ю.Березина. – М.: Просвещение, 2009. – 152 с.
44. Домнин Л. Н. Элементы теории графов: учеб. Пособие / Л. Н. Домнин. – Пенза: Изд-во Пен. Гос. ун-та, 2007. – 144 с.
45. Ore Oystein. Theory of Graphs / Oystein Ore. [пер. с англ.] Изд. 2. Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. – 354 с.
46. Белоус И. А. Структурное моделирование. Презентация / И. А. Белоус. – Владивосток: Универ. эконо. и сервиса. 2013. – 28 слайдов.
47. Bollobas B. Modern Graph Theory. Corrected ed. Springer / B. Bollobas. 2013. – 394 p.

48. Steen M. Graph Theory and Complex Networks: An Introduction / M. Steen. 2010. – 300 p.
49. Godsil C., Royle G.F. Algebraic Graph Theory. Springer / C. Godsil, G. F. Royle, 2001. – 443 p.
50. Кузьмина Е. А. Функциональное моделирование / Е. А. Кузьмина, А. М. Кузьмин. – М.: Машиностроитель, 2002. – № 2. – С. 40 – 47.
51. Гульковский А. В. Управленческое консультирование. Вопросы и ответы / А. В. Гульковский, В. Н. Рысюк. – М.: Юркнига, 2004. 288 с.
52. Эшби У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби [пер. с англ. под ред. В.А. Успенского] – М.: ИЛ, 1962. – 432.
53. Сайед М. Принцип «черного ящика». Как превратить неудачи в успех и снизить риск непоправимых ошибок / Мэтью Сайед. – М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2016. – 352 с.
54. Киносита К. Логическое проектирование / К. Киносита, К. Асада, О. Карацу. СБИС. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 310 с.
55. Умбетов Е. С. Функциональный и структурный анализ системы микроГЭС (с использованием методики FAST) / Е. С. Умбетов, К. А. Бакенов. Журнал Современные наукоемкие технологии. № 1, – Алматы: 2014. – С. 52 – 55.
56. Годованюк С. П. Роль системного анализа в решении задач управления единой системы поиска и спасания на море / С. П. Годованюк // IV Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 14 – 16 сентября 2017). – С. 77 – 80.
57. Ефимов В. В. Управление знаниями: учебное пособие / В. В. Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 111 с.
58. Кутышкин А. В. Функциональный анализ систем : учебное пособие / А. В. Кутышкин. – Ханты-Мансийск: ЮГУ, 2015. – 39 с.
59. Грец И. С. Безопасность мореплавания поисково-спасательного флота / И. С. Грец. Порты Украины, № 01 (113) 2012.

60. Бень А. П. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций / А. П. Бень, В. Н. Плющ. Науковий вісник, ХДМА, № 1(2), 2010. – С. 24 – 35.

61. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей / А. Н. Колмогоров. – М.: 1974. – 120 с.

62. Ширяев А. Н. Вероятность / А. Н. Ширяев. – М.: МЦНМО, 2007. – 968 с.

63. Сичкарев В. И. Использование в судовождении гидрометеорологической информации / В. И. Сичкарев. – Новосибирск. ГАВТ, 1999. – 175 с.

64. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – Одесса: Ластар, 2002. – 310 с.

65. Бюлетень Госфлотинспекции Украины. №2-3 (51 – 52). – К.: 2008. 14 с.

66. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті. – К.: НАУ-друк, 2010. – 284 с.

67. Дикий О. П. Моделі турбулентності повітряних потоків / О. П. Дикий, О. А. Пахолюк. – Луцьк.: Містобуд та території плану, 2014. Вип. 54. ЛНТУ, – С. – 151 – 155.

68. Бызова Н. Л. Турбулентность в пограничном слое атмосферы / В. Н. Иванов, Е. К. Гаргер. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 263 с.

69. Соловьев Ю. П. Предварительные результаты измерений атмосферной турбулентности над морем / Ю. П. Соловьев, В. А. Иванов. – К.: Морской гидрофизический журнал. 2007. – С. 42 – 61.

70. Егоров Н. И. Морская гидрометеорология. Курс кораблевождения Т. VI / Н. И. Егоров, И. М. Безуглый, В. А. Снежинский. – Ленинград: 1962. – 524 с.

71. Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – М.: Стройиздат, 1972. – 111 с.

72. Швень Н. И. Зависимость скорости ветра в приземном слое от защищенности ветроизмерительных приборов / Н. И. Швень. Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист, 2010. – Вип. 1. – С. 116 – 120.

73. Крымов И. С. Борьба за живучесть судна и спасательные средства : учеб. пособие / И. С. Крымов. – М.: Транслит., 2011. – 431 с.

74. Репетей В. Д. Поиск и спасания на море. Учебно-практическое пособие / Репетей В. Д., Позолотин Л. А., Торский В. Г. – Одесса: Астропринт. 2012. –195 с.

75. Дмитриев В. И. Информационные технологии обеспечения судоходства и их комплексное использование: Учебное пособие (e-NAVIGATION) / В. И. Дмитриев. – М.: МОРКНИГА, 2013. – 176 с.

76. Бруссард Р. Применение рассчитанных заранее законов управления в реконфигурируемой системе управления полетом / Р. Бруссард, Д. Д. Мердер, Н. Хальо, А. К. Каглаян. – Пермь: ПНИПИ, 1989. № 2. – С. 33 – 42.

77. Казак В. Н. Оценивание параметров математической модели беспилотного летательного аппарата / В. Н. Казак, И. А. Бояринов. Проблеми експлуатації та надійності авіаційної техніки. Зб. наук. пр. – К.: КМУЦА, 1998.– С. 67 – 71.

78. Годованюк С. П. Деятельность экипажа в экстремальных производственных ситуациях на морском судне, профессиональный отбор и подготовка / С. П. Годованюк // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – № 2 (11). – С. 14 – 21.

79. Ткачев В. Н. Влияние человеческого фактора на безопасность мореплавания. Учебно-методическое пособие / В. Н. Ткачев, А. Н. Томилин. – Новороссийск: Изд. «С легкой руки», 2009. – 73 с.

80. Топалов В. П. Человеческий фактор в судоходстве / Human factor in slupping: Учебно-практическое пособие / В. П. Топалов, В. Г. Торский. – Одесса: Астропринт, 2015. – 244 с.

81. Физиология человека / под ред. Г. И. Косицкого. – 4-е изд., перераб. и доп. : ООО «Изд. дом Альянс», 2009. – 544 с.

82. Казак В. Н. Оценитель для одного класса реконфигурируемых систем управления / В. Н. Казак. Вісн. КМУЦА, 1988. № 1. – С. 231 – 236.

83. Казак В. Н. Дослідження надійності електропостачання світло-сигнальної системи аеродрому / В. Н. Казак, В. И. Нерет. Вісн. ТАУ. – К.: Центр. Наук. Центр, 2001. № 1. – С. 44 – 47.

84. Методики оценки соответствия НЛГС-2. Гл. МЗ. Определение летных характеристик, устойчивости и управляемости самолета. – М.: Транспорт, 1977. – 183 с.

85. Эколого-гигиенические аспекты ликвидации последствий гибели судов с опасными грузами на борту в Керченском проливе / [Белобров Е. П., Пономаренко А. Н., Шафран Л. М., Репетей В. Д.] Журнал "Актуальные проблемы транспортной медицины". № 4(10). 2007. – С. 9 – 18.

86. Белобров Е. П., Репетей В. Д. Авария на т/х "Одиск" на рейде порта Ялта – нетехнологическая утечка чрезвычайно токсического газа фосфина из трюма № 1 и гибель моряков при перевозке ферросилиция навалом / Е. П. Белобров, В. Д. Репетей. Бюллетень Госфлотинспекции Украины. № 6(43). 2006. – С. 117 – 120.

87. Белобров Е. П. Авария на т/х "Мунир Коч" в порту Бердянск / Е. П. Белобров. Бюллетень Госфлотинспекции Украины. № 4(44). 2007. – С. 78 – 84.

88. Переохлаждение / Справочник судового врача. Под ред. А.А. Лобенко. – Киев: «Здоровье», 1992. – С. 96 – 97.

89. Шалаев В. М. Влияние гидрометеорологических условий на оказание помощи судам, терпящим бедствие, и на спасение людей. / В. М. Шалаев – М.: Гидрометеорологические условия и мореплавание, "Транспорт", 1975. – С.197 – 208.

90. Международный Кодекс по спасательным средствам (Кодекс КСС) Резолюция Комиссии по безопасности на море ИМО MSC48 (66) (принята 04.06.1996).

91. Коровин А. Г. Предполагаемые направления развития системы поиска и спасения на море / А. Г. Коровин. Сборник трудов. – Петропавловск – Камчатский: Камчат ГТУ, 2016. – С. 215 – 222.

92. Коровин А.Г. Безопасность мореплавания : Учебное пособие. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007: – 110 с.

93. Годованюк С. П. Использование CALS – технологий в управлении инновационной деятельностью на казенном предприятии «Морская поисково-

спасательная служба» / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016. – № 1 (14). – С. 26 – 34.

94. Годованюк С. П. Использование CALS-технологий в единой системе поиска и спасания на море / С. П. Годованюк // VIII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» (Херсон, 24 – 26 мая 2016). – С. 219 – 222.

95. Годованюк С. П. Проведение компьютерных комплексных учений в интересах единой системы поиска и спасения на море / С. П. Годованюк // III Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 13 – 15 сентября 2016). – С. 77 – 80.

96. Кодекс торговельного мореплавства України: за станом на 5 січня 2017 р. / Верховна Рада України. – Л.: 2017.

97. 1. Годованюк С. П. Исследования структурных свойств морской поисково-спасательной системы в зоне ответственности Украины / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – № 1 (10). – С. 4 – 15.

98. Карпов Д. В. Связность графов / Д. В. Карпов. – СПб.: Санкт-Петербургское отделение Мат. инст. им. В.А. Стеклова РАН, 2018. 183 с.

99. Широков Л. А. Исследование систем управления / Л. А. Широков. МГИУ. 2010. 167 с.

100. Малышев Н. Г. Структурно-автоматные модели технических систем / Н. Г. Малышев. – М.: Радио и связь, 1986. – 166 с.

101. Денисов А. А. Теория больших систем управления [Текст]: учеб. пособ. / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 238 с.

102. Воропай Н. И. Теория систем (для электроэнергетиков) / Н. И. Воропай. Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН. 2000. – С. 51. 268 с.

103. Бурков В.Н. Теория графов в управлении организационными системами / Бурков В. Н., Заложнев А. Ю., Новиков Д. А. – М.: Синтег, 2001. – 124 с.

104. Bollobas B. Modern Graph Theory. Corrected ed. Springer / B. Bollobas. 2013. – 394 p.
105. Steen M. Graph Theory and Complex Networks: An Introduction / M. Steen. 2010. – 300 p.
106. Godsil C., Royle G.F. Algebraic Graph Theory. Springer / C. Godsil, G. F. Royle, 2001. – 443 p.
107. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. Изд. 3, – М.: КомКнига, 2006. – 296 с.
108. Годованюк С. П. Оценка структурной эффективности казенного предприятия «Морская поисково-спасательная служба» / Годованюк С. П., Селиванов С. Е., Рева А. Н. // V Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 13 – 15 сентября 2018). – С. 149 – 155.
109. Цвиркун А. Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития [Текст] / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. – М.: Наука, 1993. – 160 с.
110. Основы инженерной психологии [Текст]: учеб. для вузов / Б.А. Душков, Б. Ф. Ломов, В. Ф. Рубахин и др.; под ред. Б. Ф. Ломова. – М.: Высш.шк., 1986. – 448 с.
111. Голант Ю. А. К вопросу оценки деятельности группы операторов в системе управления / Ю. А. Голант. Приборы и системы управления. № 10. 1970. – С. 8 – 10
112. Жуков Ю. Д. Мореходные качества корабля / Ю. Д. Жуков. – Николаев: Издательство Наваль, 2007. – 144 с.
113. И. Ф. Хурс. Практические расчеты мореходных качеств судна. Измаил: Измаильский Морской Тренажерный Центр, 2001. – 28 с.
114. Самойлов К. И. Морской словарь / К. И. Самойлов. – М.-Л.: Государственное Военно-морское Издательство, 1941. 644 с.
115. Ермолаев Г. Г., Зотеев Е. С. Основы морского судовождения / Г. Г. Ермолаев, Е. С. Зотеев. – М.: Транспорт, 1988. – 265 с.

116. Казак В. М. Синтез систем керування польотом безпілотною літака / В. М. Казак, О. К. Горбач, А. Й. Вакарова. Науковий вісник ХДМА. № 2 (5). 2011. – С. 313 – 321.

117. Воронов А. А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость / А. А. Воронов. – М.: Наука, 1979, – С. 223 – 248.

118. Бударгин О. М. Новые эффективные критерии управляемости и наблюдаемости для систем большой размерности / Бударгин О. М., Рябченко В.Н., Мисриханов М. Ш. – М.: Проблемы управления № 1, 2012. – С. 21 – 25.

119. NCEP/NOAA, USA. The Office of the Director at the National Centers for Environmental Prediction gives overarching management to the nine centers (NCEP) – Колледж – Парк: штат Мэриленд.

120. Navi-Sailor 4000 ECS MFD, эл. карты ТХ-97. Разработчик: Transas и nesia.ru. Версия: 1.11.005, b.0906 и WF 43-44. 2009.

121. Филиппов Д. М. Циркуляция и структура вод Чёрного моря / Д. М. Филиппов. – М.: Наука, 1968. – 136 с.

122. Богатко О. Н., Богуславский С. Г., Беляков Ю. М., Иванов Р. И. Поверхностные течения Черного моря // Комплексные исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1979. – С. 25 – 33.

123. Годованюк С. П. Определение местоположения судна с неработающим двигателем при ветровом дрейфе в Черном море / С. П. Годованюк // Науковий вісник ХДМА : науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2015. – № 1 (12). – С. 17 – 26.

124. Годованюк С. П. Трудовые действия экипажа при дрейфе судна с остановленными двигателями и расчет местоположения судна во время ветрового дрейфа / С. П. Годованюк // VIII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» (Херсон, 26 – 28 мая 2015). – С. 48 – 52.

125. Годованюк С. П. Расчет местоположения судна с застопоренными машинами при воздействии на него течения в Черном море / С. П. Годованюк, С.Е. Селиванов. – К.: Державна установа «Інститут геохімії навколишнього

середовища НАНУ» // Журнал «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». Вип. 8. 2015. – С. 55 – 62.

126. Годованюк С. П. Изменение условий труда экипажа при дрейфе судна с застопоренными машинами и расчёт местоположения судна при воздействии на него течения / С. П. Годованюк // II Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 17 – 18 сентября 2015). – С. 267 – 275.

127. Мореходные таблицы (МТ-2000) / – СПб.: ГУНиО, 2002. – 575 с.

128. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

129. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – 10-е изд., стер. / Е. С. Вентцель. – М.: Academia, 2005. – 576 с.

130. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей / А. Н. Колмогоров. – М.: 1974. – 120 с.

131. Таблица значений функции Лапласа / Электронный ресурс: <http://kontramat.ru/share42>.

132. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. Издат. «Наука», – М.: 1973. – 312 с.

133. Савелова Т. И. Метод Монте-Карло. Учеб. пособие для вузов / Т. И. Савелова. – М.: МИФИ, 2011. – 152 с.

134. Стехновский Д. И. Навигационная гидрометеорология. Учебник. / Стехновский Д. И., Зубков А. Е., Петровский Ю. С. Изд-во «Транспорт», – М.: 1971. – 280 с.

135. Годованюк С. П. Определение и учёт дрейфа судна с застопоренными машинами / С. П. Годованюк // Monographic. Wybrane zagadnienia szeroko pojętej inżynierii procesowej pod redact Andrzeja Gawdzika. State University. – Opole: Poland, 2015. – 79 – 94 Page.

136. Годованюк С. П. «Mathematical model the vessel as the element of the system «vessel – crew – search and rescue system at sea – accident situation – external

weather conditions» / С. П. Годованюк // XIV Міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2019» (Київ, 23-25 квітня 2019). – С. 18.26 – 18.28.

137. Годованюк С. П. Анализ методов сближения морских средств спасания с судном, терпящим бедствие и алгоритмов траекторного управления ими / Селиванов С. Е // XI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 28 – 30 травня 2019). – С. 166 – 169.

138. Березин С. Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С. Я. Березин, Б. А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.

139. Хемди А. Таха. Глава 17. Системы массового обслуживания. Введение в исследование операций / Operations Research: An Introduction / 7-е изд. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 629 – 697.

140. Ивченко Г. И. Теория массового обслуживания / Ивченко Г. И., Каштанов В. А., Коваленко И. Н. Изд.2, – М.: 2012. – 304 с.

141. Самаров К. Л. Элементы теории массового обслуживания. Математика. Уч. метод. пособие / К. Л. Самаров. – М.: ООО «Резольвента», 2009. – 18 с.

142. Овчаров, Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания / Л. А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.

143. Радченко Т. А. Теория массового обслуживания. Учебное пособие / Т. А. Радченко, А. В. Дылевский. – Воронеж: 2004. – 57 с.

144. Новиков О. А., Петухов С. И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М.: Сов. Радио, 1969. – 400 с.

145. Морозов В. В. Исследование операций в задачах и упражнениях / Сухарев А.Г., Федоров В.В. – М.: Высшая школа, 1986. – 290 с.

146. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания. [3-е изд., испр.] / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М.: Эдиториал УРСС, 2005. – 400 с.

147. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания / А. Я. Хинчин – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1963, – 236 с.

148. Павский В. А. Теория массового обслуживания. : Учебное пособие /

В. А. Павский. – Кемерово: 2008. – 116 с.

149. Годованюк С. П. Обеспечение высокой эффективности обслуживания морской поисково-спасательной службы в условиях возникновения массовых морских аварий / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // I Международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика» (Херсон, 18 – 19 сентября 2014). ХГМА. – С. 47 – 51.

150. Годованюк С. П. Использование теории массового обслуживания для оценки эффективности функционирования национальной морской системы поиска и спасения / С. П. Годованюк // Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2015. – № 2 (13). – С. 25 – 33.

151. Анфилатов В. С. Системный анализ в управлении. Учебное пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

152. Стехновский Д. И. Навигационная гидрометеорология. Учебник. / Стехновский Д. И., Зубков А. Е., Петровский Ю. С. Изд-во «Транспорт», – М.: 1971. – 280 с.

153. Чувашов В. М. Практическое судовождение: Учебное пособие / В.М. Чувашов. – Севастополь: 2012. – 256 с.

154. Давидзон М. И. Закон охлаждения Ньютона-Рихмана и конвективный теплообмен / М. И. Давидзон. – Иваново: Вестник Ивановского гос. универ. Серия: естест., общест. науки. – № 2, 2012. – С. 73 – 79.

155. Физиология человека / под ред. Г. И. Косицкого. – 4-е изд., перераб. и доп. : ООО «Изд. дом Альянс», 2009. – 544 с.

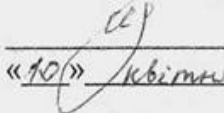
156. Ходаков В. Е. Влияние природно-климатических факторов на социально-экономические и производственные системы / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова, С. Г. Чёрный. – Херсон: ХНТУ, 2012. – 331 с.

157. Global maritime distress and safety system (GMDSS) Admiralty list of signals vol 5 NP 285 2015/16.

ДОДАТОК А

**Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в
роботу служби капітана Херсонського морського порту,
зі службами «Дельта-лоцман» та
морського аварійно-рятувального загону**

ЗАТВРДЖУЮ
Капітан морського порту
ХФ ДП «Адміністрація морських
портів України»

 І. В. Єфименко
«10» квітня 20 19 р.

А К Т

впровадження дисертаційної роботи Годоваюка Сергія Петровича

В службі капітана Херсонського морського порту була зроблена доповідь старшим викладачем Херсонської державної морської академії Годованюком Сергієм Петровичем по темі дисертації «Моделі й методи управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності».

Доповідь зацікавила адміністрацію оскільки з 14 серпня 2013 р. постановою Кабміна № 584 казенне підприємство "Морська пошуково-рятувальна служба" яка входила до складу держпідприємства "Адміністрація морських портів України" на сьогодні є самостійною службою пошуку й рятування на морі в зоні відповідальності України.

Тому адміністрація Херсонського морського порту виявила інтерес ознайомитися з науковими дослідженнями, які обумовлюють наукову основу успішності діяльності відновленої єдиної системи морського пошуку і рятування на Україні, що дозволяє забезпечити своєчасний пошук і рятування на морі.

Зроблена доповідь по темі дисертації зацікавила службу капітана Херсонського морського порту змістом та питаннями, які розкриваються у дисертаційній роботі.

По закінченню семінару було запропоновано матеріали дисертаційного дослідження старшого викладача ХДМА Годованюка С.П. впровадити в роботу служби капітана Херсонського морського порту з питань розвитку керованої системи пошуку й рятуванні на морі, теоретичної та практичної підготовки осіб керівного складу та фахівців, підвищенню рівня підготовки керівного та виконавчого складу служби, подальшого розвитку навчання по організації і плануванню пошуково-рятувальних операцій, досягненню злагодженості зі службами «Дельта-лоцман» та морського аварійно-рятувального загону, діяльність яких пов'язана з організацією та здійсненням заходів з питань пошуку та рятування.

Керівник семінару, заступник капітана
морського порту ХФ ДП «Адміністрація
морських портів України»



В. Л. Соколов

ДОДАТОК Б

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальну програму підготовки матросів рятувальників навчально-методичного центру цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Херсонської області

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник навчально-методичного центру
цивільного захисту та безпеки життєдіяльності
Херсонської області, полковник служби
цивільного захисту



С.П. Богданов

«19» квітня 2019 р.

А К Т

впровадження дисертаційної роботи
Годованюка Сергія Петровича

На семінарі з відповідальними особами з питань цивільного захисту суб'єктів господарювання та начальниками служб цивільного захисту м. Херсона була зроблена доповідь старшим викладачем Херсонської державної морської академії Годованюком Сергієм Петровичем по темі дисертації «Моделі й методи управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності».

Херсонська область розташована в степовій зоні, на нижньому плині річки Дніпро (на території області протікає 19 річок, з них найбільші: Дніпро – 178 км, Інгулець – 180 км. На півдні Херсонську область обмивають Чорне та Азовське моря, залив Сиваш (Гниле море) і Каховське водосховище. Зона Чорного й Азовського морів Херсонської області відноситься до морської зони відповідальності України – це частина морської акваторії, у межах якої пошуково-рятувальні сили України згідно з міжнародними зобов'язаннями держави повинні забезпечити пошук і рятування людей, судів і ін., які потерпають лихо на морі.

Аналогічний пошук і рятування забезпечений і на водних територіях області.

Особлива увага в доповіді було приділено на проведення пошукових і рятувальних операцій на воді в частині керування, ефективності, організації й координації рятувальних робіт.

У цілому, як відзначає семінар зроблена доповідь по темі дисертації ґрунтується на еволюційному розвитку керованої системи пошуку й рятуванні на морі.

По закінченню семінару було пропонувано результати наукових досліджень старшого викладача ХДМА Годованюка С.П. впровадити в роботу центру з питання теоретичної та практичної підготовки осіб керівного складу та фахівців, діяльність яких пов'язана з організацією та здійсненням заходів з питань цивільного захисту й включити в навчальну програму підготовки матросів рятувальників НМЦ та БЖД Херсонської області.

Керівник семінару, заступник начальника
Центру з навчальної та виробничої роботи

С. Л. Бочуркін

ДОДАТОК В

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес Херсонської державної морської академії



АКТ
про впровадження у навчальний процес
Херсонської державної морської академії

результатів дисертаційної роботи «Моделі й методи управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності» Годованюка Сергія Петровича.

Комісія у складі:

Голова комісії:

Проректор з науково-педагогічної роботи к.т.н., доцент Бень А.П.

Члени комісії:

Декан факультету судноводіння к.іст.н., доцент Нагрибельний Я.А.

Завідувач навчального відділу Струмінська Л.Ю.

цим актом підтверджує, що в навчальному процесі кафедри судноводіння та електронних навігаційних систем використовуються результати дисертаційної роботи Годованюка С.П.

Комісія встановила, що:

результати наукових досліджень дисертаційної роботи Годованюка С. П. на тему «Моделі й методи управління пошуково-рятувальними операціями на морі в умовах невизначеності» впроваджено в навчальний процес кафедри судноводіння та електронних навігаційних систем Херсонської державної морської академії для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» та «магістр» напрямку підготовки 271 «Річковий та морський транспорт» спеціалізація «Судноводіння». Теоретичні та практичні положення наукових досліджень використовуються у лекційному курсі та практичних заняттях при підготовці фахівців з навчальних дисциплін «Організація роботи управління судновим екіпажем», «Управління ресурсами навігаційного містка».

Голова комісії

Члени комісії

к.т.н., доц. А.П. Бень

к.іст.н., доц. Я.А. Нагрибельний

Л.Ю. Струмінська