Цивільна безпека

УДК 658:355.588.2 **doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.107**

О. А. Дакі, Н. С. Урум, В. М. Федунов, О. В. Бажак

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ В ПРИБЕРЕЖНІЙ АКВАТОРІЇ

Анотація. В статті наведено моделі пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії, формалізації знань та завдань пошуку для їх подальшої реалізації у системах підтримки прийняття рішення. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація методів пошуково-рятувальних дій, що дозволило виділити часткові та загальні підходи рішення пошукових задач у різних умовах з метою формалізації моделей пошуково-рятувальних дій і процесів у складі інформаційно-аналітичних моделей систем підтримки прийняття рішення. Обгрунтовано доцільність та розроблені технології множинного аналізу формування навігаційної обстановки, районів й умов пошуково-рятувальних операцій у прибережній зоні, як універсального математичного апарата планування пошукових дій. Розробка інформаційних та автоматизованих систем суден дозволяє підвищити ефективність пошуково-рятувальних операції. Це відкриває нові підходи до завдань суднобудування, контролю, управління за переміщенням суден та ідентифікації їх діяльності. На теперішній час рівень розвитку науки та техніки характеризується підвищеними можливостями при створенні та застосуванні спеціалізованих інформаційних систем – системах підтримки прийняття рішень, які дозволяють зменшити цикл прийняття рішень в пошуково-рятувальних операціях.

Ключові слова: нечіткі множини, система підтримки прийняття рішення, пошуково-рятувальні операції, теоретико-множинне представлення, формалізація знань.

Постановка проблеми

Дослідження в галузі судноплавства та проведенні пошуково-рятувальних операцій свідчать, що забезпечення успішного пошуку об'єктів на морі є пріоритетом в будь-якій рятувальної операції. Використання сучасних технологій управління пошуком зменшує найважливіший фактор в пошуково-рятувальних операціях – час. Розробка інформаційних та автоматизованих систем суден дозволяє підвищити ефективність пошуково-рятувальних операцій. Це відкриває нові підходи до завдань суднобудування, контролю, управління за переміщенням суден та ідентифікації їх діяльності. На теперішній час рівень розвитку науки та техніки характеризується підвищеними можливостями при створенні та застосуванні спеціалізованих інформаційних систем – систем підтримки прийняття рішень (СППР), які дозволяють зменшити цикл прийняття рішень у пошуково-рятувальних операціях.

СППР можуть бути як простими за своїми функціями, реалізуючи функції збору інформації та представлення її оператору у формалізованому вигляді, так і складними, забезпечуючи людині, яка приймає рішення (ЛПР), інформаційно-аналітичні моделі та багатоваріантне рішення, що змінюється зі зміною умов проведення пошуково-рятувальної операції. Методи підтримки прийняття рішень поряд з інформаційно-аналітичними моделями, є основою для створення спеціалізованої СППР.

Зазначимо, що розробка та застосування даного типу систем не має на меті відсторонити людину від прийняття рішення. Однак у складних умовах ця система в цілому скоротить час пошукових операцій, що значно підвищить ймовірність успішного пошуку. Аналіз функціональності існуючих та перспективних СППР для виконання пошуково-рятувальних операцій свідчить про те, що їх потенціал не повністю використовується для рішення пошукових задач на морі та вимагає розробки (удосконалення) інформаційно-аналітичних моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробка сучасних СППР базується на роботах вчених, які зробили вагомий внесок у розвиток теорії прийняття рішень та розробку методів вирішення прикладних завдань: С.І. Біденко [1, 2], Н.П. Бусленко, М.А. Волосков [3], А.А. Грищенко [4], С.П. Годованюк [5, 6], В.В. Подіновський, Є.В. Попов, В.М. Вагін, Д.А. Поспелов [7]. Роботи А.С. Василькова, М.М. Груздева [8], В.І. Дмитрієва, В.А. Катеніна [9], В.А. Логіновського, В.А. Михальського, С.Н. Некрасова, В.Г. Пешехонова, А.І. Родіонова, А.Е. Сазонова, А.Б. Філімонова [10] присвячені дослідженням процесів навігації, їх автоматизації, побудови систем управління та навігації.

Окремо необхідно виділити спеціалізовані міжнародні нормативні джерела щодо проведення пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії [11-13] та національні нормативні акти [14].

Формулювання мети статті. Удосконалення інформаційно-аналітичних моделей пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії за рахунок впровадження моделей знань.

Виклад основного матеріалу

Основним елементом пошуково-рятувальної операції на морі є організація пошуку. Процес пошуку в значній мірі залежить від властивостей об'єкта виявлення, серед яких важливо виділити дві характерні риси:

1) його відмінність від середовища, в якому здійснюється пошук;

2) інформація про місце розташування до початку пошуку та у процесі пошуку, як правило, носить невизначений характер.

© Дакі О. А., Урум Н. С., Федунов В. М., Бажак О. В., 2021

Саме цією невизначеністю обумовлені пошуково-рятувальні дії. Крім того, процес пошуку в значній мірі залежить і від властивостей об'єкта, який виконує пошуково-рятувальні дії, і від особливостей навколишнього середовища, навігаційної та гідрометеорологічної обстановки. Ці обставини вимагають логіко-математичної формалізації обстановки та формування елементів й апарата СППР проведення пошуково-рятувальних операцій на морі. Для формалізації процесів пошуково-рятувальних дій представимо класифікацію видів пошуку, що умовно наведена на рис. 1.

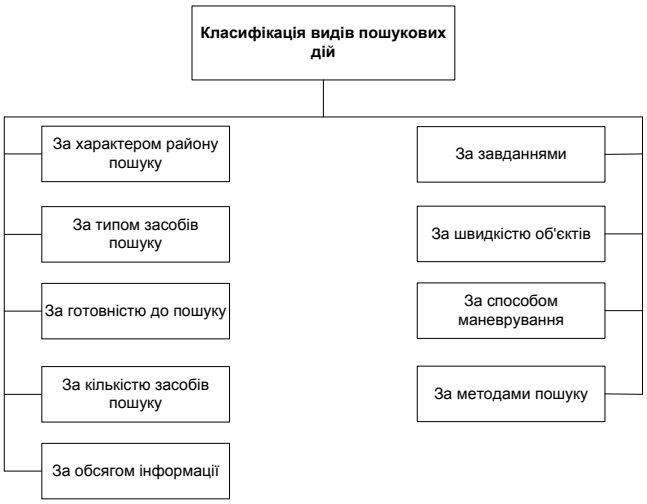

Рис. 1. Класифікація видів пошукових дій

Наведена класифікація також може бути вихідною основою формування алгоритмів функціонування СППР у ході проведення пошуково-рятувальних дій. Для більш докладної деталізації вона може бути доповнена характеристиками спостерігача, а так само об'єкта пошуку (наприклад, за наявністю випромінювання об'єкта пошуку).

У процесі пошуку застосування засобів виявлення поєднується з активним маневром носія цих засобів. Тому особливого значення набувають інформаційно-аналітичні моделі взаємного переміщення спостерігача й об'єкта пошуку.

Вибір методу пошуку виконується після всебічного аналізу умов як району пошуку (РП), так і районів, через які рухаються пошукові одиниці. У дослідженні [4] при формуванні програми маршруту судна пропонуються райони плавання представляти множинами. Застосування такого апарата доцільне при пошукових операціях. Методи операцій над множинами можуть служити вихідним математичним апаратом для алгоритмів СППР при виконанні пошуково-рятувальних дій на морі. Для розвитку такого підходу найважливішим завданням класифікації районів пошуку в СППР є встановлення зв'язків між різними множинами, що відносяться до РП, об'єкту пошуку, пошукових сил, умов пошуку. Таку модель типів районів пошуку можна представити у вигляді схеми взаємодії множин (рис. 2).

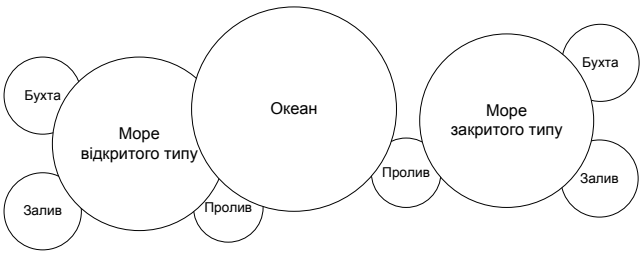

Рис. 2. Сукупність множин районів пошуково-рятувальних дій

Таким чином, можна скласти повну, деталізовану класифікацію всіх можливих типів РП, відповідно до гідрографічних, навігаційних та інших класифікацій [3, 4], безпосередньо при формуванні смуги пошуку та вибору траєкторій пошуку. Зокрема, характеристика особливостей району пошуку та ступеня їх впливу на пошукові дії наведені в табл. 1.

У відповідністю з темою статті, подальше викладення матеріалу буде стосуватися другого та третього типу району з табл. 1.

Таблиця 1 – **Вплив району пошуку на вибір методу його організації**

Тип району	Особливості району	Ступінь впливу на проведення пошуково-рятувальних дій	Основні способи пошуку
Відкритий простір (більше 200 миль від берега)	- віддаленість району пошуку від місць зосередження пошукових сил; - сильний вплив гідрометеорологічних умов на об'єкт пошуку, на пошукові сили.	- збільшення часу запізнення початку пошукової операції: - небезпечні та особливо небезпечні гідрометеорологічні явища затруднюють проведення пошуково-рятувальних дій.	Пошук в районі
Прибережний район (менше 200 миль від берега)	- присутність пошукових сил; - можливість отримання оперативної інформації від берегових систем спостереження	- зменшення часу запізнення початку пошукової операції: - необхідність комплексування джерел інформації.	Пошук в районі Пошук на рубежі
Бухти, заливи	- досить часто наявність контакту з об'єктом пошуку	- перехід від пошуку до рятування	Пошук на рубежі

Деталізація характерних умов пошуку в кожному районі доцільно для формалізації представити у виді встановлених шляхів, обмежень регульованих та спеціальних районів, часу доби, видимості.

Структурна схема основних типових груп умов ведення пошуково-рятувальних дій в районі пошуку наведена на рис. 3.

Пошуково-рятувальні операції можуть виконуватися в одному районі пошуку, так і в деяких (як по черзі, так і одночасно).

Взаємозв'язок між районами пошуку для СППР пропонується представити у вигляді операції над множинами, які разом утворюють їх логічно-математичні моделі.

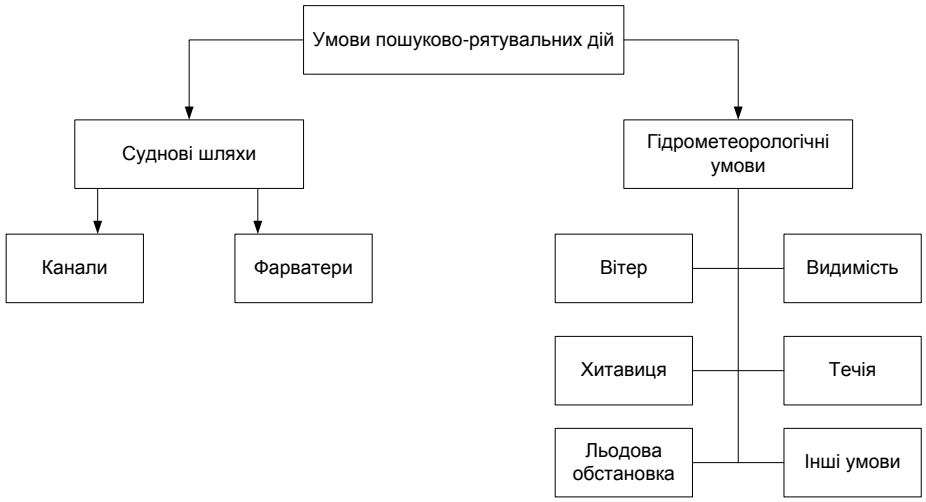

Рис. 3. Структурна схема основних типових груп умов ведення пошуково-рятувальних дій в районі пошуку

Аналіз операцій над множинами в цих моделях дозволяє сформулювати універсальне представлення РП у вигляді ієрархії окремих елементів множин. При використанні індексних змінних варіанти цих моделей записуються так:

$$РП_k = РП_i;\ РП_k \in РП_i \cap РП_j;\ РП_k \in РП_i \cup РП_j;\ РП_k \in РП_i \setminus РП_j;\ РП_i \supset РП_j, \quad (1)$$

де $РП_k, РП_i, РП_j$ – область типів районів пошуку та їх поточні комбінації.

Тоді поточний район пошуку представляється у вигляді різних комбінацій декількох типових РП, визначених формулою (1). Відповідно, на наступному рівні ієрархії за формулою (1) утворюються нові багаторівневі моделі в $РП_k$ для даного пошуку в автоматизованій СППР.

Умови ведення пошуково-рятувальних дій та більш детальні елементи маршруту пошукових сил також можуть бути представлені як логічні операції над кількома районами та умовами плавання, подібно до формул (2)-(4). Тоді поточні пошукові умови будуть визначатися логічними співвідношеннями простих множин різних районів та груп пошукових умов для їх комбінацій й взаємодії:

$$УП_k = УП_i;\ УП_k \in УП_i \cap УП_j;\ УП_k \in УП_i \cup УП_j; \quad (2)$$

$$УП_k \in УП_i \setminus УП_j;\ УП_k \supset УП_j; \quad (3)$$

$$УП_{tk} \in РП_k \cap УП_{tk};\ УП_{tn} \in РП_k \cup УП_{tk}, \quad (4)$$

де $УП_k, УП_i, УП_j$ – умови плавання та їх комбінації відповідно; $УП_{tn}$, $УП_{tk}$ – поточні умови пошуку з урахуванням особливостей РП; i, j, t, n – індекси умови пошуку.

На основі аналізу вищевказаних схем класифікації та узагальнення досліджень в даній області [1, 2, 4, 5], пропонується представити пошуковий простір навколо пошукової групи у вигляді пошукових зон (ПЗ). Формалізовані ознаки пошукових зон пошукової одиниці (ПО) пропонується представити елементами, наведеними в табл. 2.

Таблиця 2 – **Типи пошукових зон**

Номер пошукової зони	Скорочення	Назва пошукової зони
1	ПО	Пошукова одиниця
2	ВПО	Зона візуального пошуку пошукової одиниці
3	ВБП	Зона візуального пошуку берегового поста
4	ОПО	Зона пошуку оптичними засобами пошукової одиниці
5	ОБП	Зона пошуку оптичними засобами берегового поста
6	РЛПО	Зона пошуку радіолокаційними засобами пошукової одиниці
7	РЛБП	Зона пошуку радіолокаційними засобами берегового поста
	ППО	Пошукова зона пошукової одиниці
9	ПБП	Пошукова зона берегового поста
10	ЗПЗ	Загальна пошукова зона

Взаємодії різних областей ПЗ показує, що їх функціональні зв'язки можна представити також на основі теорії множин, подібно до (2)-(4).

На теперішній час основним методом підтримки прийняття рішень при здійсненні діяльності людини в морі, є створення СППР. Ці системи можуть бути автоматичними, автоматизованими та неавтоматизованими. Можуть бути реалізовані в повному циклі прийняття рішення, так і на визначених етапах.

Для повноцінного функціонування СППР при проведенні пошуково-рятувальних дій у вищевказаних умовах повинна мати відповідну інструментальну, математичну, алгоритмічну і програмну підтримку.

Як показує практика, для рішення завдань, пов'язаних з експлуатацією суден на море (у тому числі пошуково-рятувальних завдань), бажано створювати спеціалізовані СППР у зв'язку з їх стійкістю та сформованістю бази знань за даним питанням. Вплив гідрометеорологічних факторів на проведення пошуково-рятувальних операцій свідчить, що їх проведення обов'язково буде проводитися з елементами пошуку рухомих об'єктів. Рух буде забезпечуватися впливом вітру, течій, хитавиці.

На підставі досліджених джерел [1, 4, 8] можна виділити загальні принципи забезпечення пошуку рухливих об'єктів. Це дозволяє сформувати для бази знань СППР елементи семантичної мережі основних професійних понять, дій та умови проведення пошуку. На рис. 4 наведено варіант вибору дій за ситуацією.

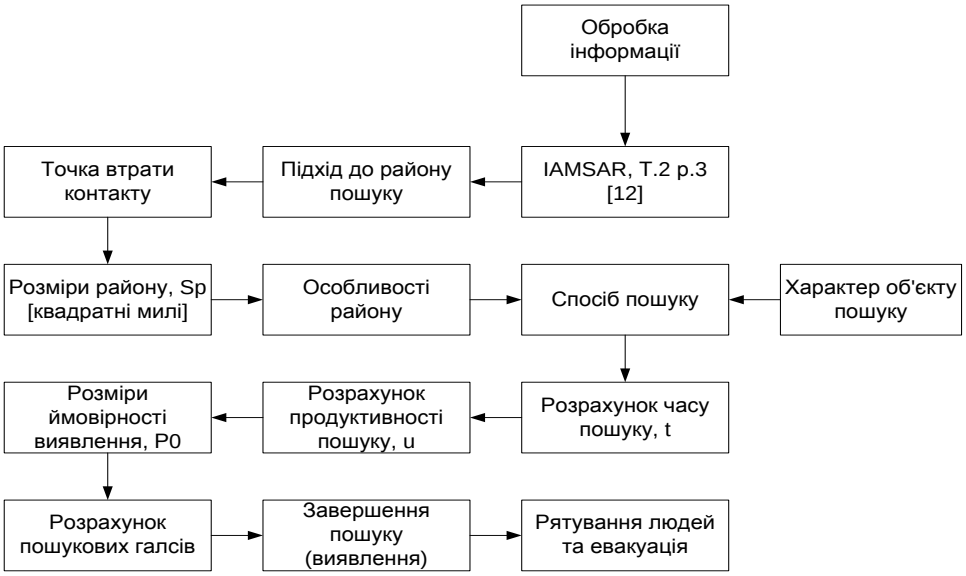

Рис. 4. Варіант дій за ситуацією для формалізації у вигляді інформаційно-аналітичної моделі СППР

Для забезпечення ефективного пошуку по семантичній мережі (Рк) необхідно деталізувати механізми логічного виведення по ребрах зв'язків між основними діями. Відповідно до досліджень [4, 7], у загальному випадку зміст семантичної мережі можна представити множиною найпростіших ситуацій (Прс), множиною дій по переходу між Прс, множиною об'єктів, змінних та констант у вигляді кортежу множин:

$$P_k = \langle S, A, D \rangle,$$

$$S = \{s_1, s_2, ..., s_z\},\ A = \{a_1, a_2, ..., a_y\}, \qquad (4)$$

$$D = \{d_{o1}, ..., d_{on}, d_{p1}, ..., d_{pm}, d_{k1}, ..., d_{kw}\},$$

де S, A – множина Прс та дій по переходу між Прс;

D – множина об'єктів предметної області;

$s_1, s_2, ..., s_z$ – типові Прс;

$a_1, a_2, ..., a_y$ – дії по переходу з однієї Прс до іншої;

$d_{o1}, ..., d_{on}, d_{p1}, ..., d_{pm}, d_{k1}, ..., d_{kw}$ – об'єкти, змінні та константи множин відповідно.

Основні множини Прс, дій, об'єктів, змінних, констант можна деталізувати та представити пошукову ситуацію у такому вигляді:

$s_1 =$ "*підхід до району пошуку*";

$s_2 =$ "*контроль місцезнаходження*";

$s_3 =$ "*вибір способу пошуку* "; (6)

$s_4 =$ "*розрахунлк галсів*";

$s_5 =$ "*підход до об'єкту пошуку*"

$a_1 =$ "*спрямувати*"; $a_2 =$ "*вимога*"

$a_3 =$ "*рекомендація*";

$a_4 =$ "*пропозиція*";

$a_5 =$ "*змінити курс*"

$d_{o1} =$ "*пошукова одиниця*";

$d_{k1} =$ "*пошукова морехідність*";

$d_{p3} =$ "*курс*"; $d_{p4} =$ "*швидкість*";

$d_{p5} =$ "*швидкість течії*";

$d_{p6} =$ "*напрям течії*";

$d_{p7} =$ "*видимість*"; $d_{p8} =$ "*напрям вітру*";

$d_{p9} =$ "*сила вітру*"; (7)

$d_{p10} =$ "*радіолокаційна спрямованість*";

$d_{k11} =$ "*найменування району пошуку*";

$d_{k12} =$ "*номер квадрату району пошуку*";

$d_{o13} =$ "*береговий пост*";

$d_{p14} =$ "*відхилення від пошукового галсу*";

$d_{p15} =$ "*зустрічна*"; $d_{p16} =$ "*збільшити*";

$d_{p17} =$ "*зменшити*"; $d_{p18} =$ "*праворуч*";

$d_{19} =$ "*ліворуч*"

Семантична мережа і її логічні елементи (5)-(7) будуть доповнюватися з урахуванням ієрархії узагальнення різних найпростіших ситуацій, особливостей і характерних ознак для інших районів пошуку. Окремими елементами семантичної мережі можуть використовуватися нечіткі множини, зокрема, для реалізації методів визначення границь району пошуково-рятувальних дій та напрямків пошуку.

Висновки

1. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація методів пошуково-рятувальних дій, що дозволило виділити часткові та загальні підходи рішення пошукових задач у різних умовах з метою формалізації моделей пошуково-рятувальних дій і процесів у складі інформаційно-аналітичних моделей систем підтримки прийняття рішення.

2. Обґрунтовано доцільність та розроблені технології множинного аналізу формування навігаційної обстановки, районів й умов пошуково-рятувальних операцій у прибережній зоні, як універсального математичного апарата планування пошукових дій.

3. Удосконалено способи представлення знань та принципи побудови СППР для пошуково-рятувальних операцій на морі. Ці принципи пропонується реалізувати у вигляді математичного забезпечення із застосуванням семантичних мереж, фреймових моделей, нечітких множин, ситуаційного обчислення та мови логіки предикатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Биденко С.И. Геоинформационная поддержка управления судном: структурно-технологический аспект / С.И.Биденко, Е.Л.Бородин // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – №3. – С.78–85.
2. Биденко С.И. Цель функционирования организационно-технической системы корабля /С.И.Биденко, Д.С.Ралль // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2013. – №2. – С.164–166.
3. Волосков М.А. Модель принятия решения на поиск объекта в условиях неопределенности, основанная на нечеткой параметризации исходных данных / М.А. Волосков, А.Н. Прокаев // Моделирование систем и процессов. – 2009. – №3. – С.21–27.
4. Грищенко А.А. Структура алгоритма системы поддержки принятия решений при поиске подвижных объектов на море / Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2013. – №2(3). – С. 25–26.
5. Годованюк С. П. Формирование облика единой системы поиска и спасания / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. − 2016. − № 2 (15). − С.10 – 19.
6. Годованюк С. П. Концептуальная модель формирования облика управляемой единой системой поиска и спасания на море / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 4. – С. 84 – 88.
7. Вагин В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. В.Н.Вагина, Д.А. Поспелова. – М.: Физматгиз, 2004. – 704 с.
8. Груздев Н.М. Средства и методы решения навигационных задач кораблевождения (Навигационная безопасность плавания) / Н.М. Груздев. – СПб.: ВСОК ВМФ, 2002. – 357 с.
9. Дмитриев В.И. Навигация и лоция / В.И. Дмитриев, В.Л. Григорян, В.А. Катенин; под ред. В.И.Дмитриева. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471с.
10. Филимонов А.Б. Планирование операций в задачах пространственного поиска объектов / А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов, В. Ю. Тихонов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2017. – №2 (187). – 185–197.
11. Международная конвенция по поиску и спасанию на море 1979 года с поправками САР-79. (Текст на русском и английском языках). – СПб.: ЦНИИМФ, 2005. – 555 с.
12. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. IMO. – Лондон: Т. I. – 150 с. Т. II. 2013. – 522 с.
13. 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. – СПб.: ЦНИИМФ, 2010. – 992 с.
14. Про відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі: постанова Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 № 158. – К., 2016.

Received (Надійшла) 11.03.2021
Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

Information and analytical models of search and rescue operations in the coastal water area

O. Daki, N. Urum, V. Fedunov, O. Bajak

Abstract. The article presents models of search and rescue operations in the coastal waters, formalization of knowledge and search tasks for their further implementation in decision support systems. Problems are systematized, classification of search and rescue methods is carried out, which allowed to allocate partial and general approaches to solving search problems in different conditions in order to formalize models of search and rescue actions and processes as part of information-analytical models of decision support systems. The expediency and technologies of multiple analysis of the formation of the navigation situation, areas and conditions of search and rescue operations in the coastal zone as a universal mathematical apparatus for planning search operations are substantiated. Development of information and automated ship systems allows to increase the efficiency of search and rescue operations. This opens up new approaches to the tasks of shipbuilding, control, management of ship movement and identification of their activities. At present the level of development of science and technology is characterized by increased capabilities in the creation and application of specialized information systems - decision support systems that reduce the decision cycle in search and rescue operations.

Keywords: fuzzy sets, decision support system, search and rescue operations, set-theoretic representation, formalization of knowledge.