

Шаніро Г.В., Горалік Є.Т.

МОДЕЛІ ТА МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ СУДНОВОДІННЯ

Суб'єктивність оцінки безпеки та оптимальності спланованого маршруту при традиційних методах його планування не дозволяє повною мірою виконати якісну обробку всієї необхідної інформації. До такої інформації відноситься: повноцінне урахування правил плавання, маневрених особливостей судна, оцінка швидкісного режиму та його зміна, оцінка впливу гідрометеорологічних умов плавання, планування складних маневрів та забезпечення безпеки плавання судів, особливо крупнотонажних, у стиснутих водах. Рішення проблеми знаходиться в залежності від функціональних можливостей системи управління та умінь судноводіїв обирати ефективну стратегію організації процесів планування оптимального маршруту, безпечного маневрування та управління судном, що вимагає побудови автоматизованих систем управління судноводінням та формалізації навігаційної обстановки для побудови відповідних алгоритмів.

Ключові слова: автоматизація судноводіння, навігаційна обстановка, теорія графів, теорія множин, формалізація, штучний інтелект.

Вступ. Завдання забезпечення безпеки руху на морі існує з часів перших мореплавців та залишається найважливішою проблемою для сучасної системи судноплавства, про що свідчать численні наукові дослідження. Необхідність рішення проблем безпеки судноплавства обумовлена високим рівнем аварійності світового флоту. За даними ІМО навігаційна аварійність судів світового флоту складає 60-70% від загальної, а за останні 30 років, незважаючи на значний технічний прогрес, тенденція до зниження аварійності на морі є незначною. При цьому проблема "людського фактора" є причиною близько 80% аварій та катастроф на морі.

Одним з напрямків удосконалення процесів забезпечення безпеки мореплавання є передача частини функцій судноводія автоматичним системам судноводіння зі штучним інтелектом, зокрема, функції планування маршруту, вибору режимів руху та (в майбутньому) управління судном в автоматичному режимі у межах заданої безпечної смуги. Особливо складною є ці завдання в прибережній смузі, де збільшується інтенсивність руху суден та виникають природні перешкоди руху (мілини, фарватери, острови, тощо). Автоматизація процесів судноводіння з елементами штучного інтелекту вимагає розробки методів (процедур) формалізації навігаційної обстановки, що визначає актуальність даної статті.

Аналіз літературних джерел. Дослідженню математичних моделей руху судів та практичних питань їх маневрування у різних умовах присвячені роботи: Л.Л. Алексеєва [1], В.І. Тіхонова [2], Ю.І. Юдіна [3], К.Г. Aarsther [4], J. Artyszuk [5], С.В. Barrass [6],

L. Morawski [7]. Слід відзначити ряд робіт вітчизняних авторів, які присвячені проблемі безпеки судноводіння: Л.Л. Вагущенко [8], К.Л. Обертюра [9], Р.Ю. Бужбецького [10], А.С. Мальцева [11], О.М. Тимошук [12].

Мета статті є розроблення моделей та методу для формалізації навігаційної обстановки для автоматизації процесів судноводіння.

Основна частина.

Відповідно до міжнародних вимог А.893(21), STCW-78, SOLAS-74 розробка плану рейсу (маршруту) судна є найважливішою процедурою для належного судноводіння, забезпечення безпеки людського життя на морі й захисту морського навколишнього середовища. На підставі вимог А.893(21) та досліджень [5-12] можна сформулювати основні підходи й умови формалізації району плавання для планування маршруту руху судна, а саме:

1. Навігаційно-гідрографічні характеристики: прийняті системи судноплавства, розташування маршруту щодо берегів, навігаційних небезпек, заборонних та режимних районів, рельєф дна, присутність районів з особливими умовами плавання, фарватери, канали, системи розділення руху судів (СРР), рекомендовані та встановлені шляхи (ВШ), якірні стоянки (ЯС), райони рибальства (РР), райони військових навчань (РВН), тощо. Система судноплавства – взаємозалежна структура об'єктів, що включає, але не обмежує судна, водний шлях, засоби навігаційного, портового та іншого обладнання, персонал.

2. Гідрометеорологічні характеристики: переважні вітри, хвилювання, течії, шляхи циклонів, границі поширення плавучого льоду, припливно-відпливні явища, тощо.

3. Засоби навігаційного та радіонавігаційного обладнання морів, системи огороження небезпек, режим їх роботи, точність, обмеження, можливості радіолокаційних станцій (РЛС), для визначення місця рухомих об'єктів (суден), характерні ознаки для впізнання орієнтирів, знаків, інших рухомих об'єктів, потенціал автоматичних ідентифікаційних систем (AIS).

4. Правила плавання суден, у тому числі, місцеві, які діють у районах зі стиснутими умовами.

5. СУРС, системи судових повідомлень, передачі навігаційної та гідрометеорологічної інформації, штормових й льодових попереджень, рекомендацій прогностичних центрів, зон їх дії та видів обслуговування.

6. Способи та необхідна частота визначення місця розташування судна.

7. Для забезпечення фізичної реалізації плану рейсу (маршруту) повинні враховуватись маневрені особливості судна, включаючи обмеження; необхідні зміни швидкості на шляху; точки зміни курсу з урахуванням циркуляції судна, тощо.

Виконаємо класифікацію та формалізацію множин районів плавання.

Для вибору маршруту переходу та забезпечення безпеки плавання судна з використанням автоматизованих навігаційних комплексів із системою інтелектуальної підтримки (СПП) повинна бути формалізована математична модель навігаційно-гідрографічної обстановки на основі цілеспрямованої систематизації, сформульованої в [7], та встановлені принципи взаємодії елементів, пов'язаних з мореплаванням. У дослідженні [9], в основу подібних моделей покладені принципи й методи традиційного судноводіння, пов'язані з поділом маршруту переходу по характерних районах з умовами плавання, що різняться.

На стратегічному рівні планування пропонується виділяти два характерні типи інформації про райони плавання (РП_л) та рівня деталізації рис. 1:

1. Райони водного простору (океани, моря, протоки, затоки, бухти, річки).
2. Райони суші (материки, острови, півострови, порти, хвилеломи, причали).

На рис. 1 позначено: О - океан; МВІД - море відкрите; МЗА - море закрите; Б - затоки, бухти; ПР - вузькості, фіорди, протоки, тощо; П - портові акваторії, рейди; НВВ - нафтові вишки, виносні причальні обладнання (ВПО).

Відносини взаємозв'язку між рівнозначними типовими районами водних просторів по маршруту плавання (переходу) судна визначаються географічним розташуванням та особливостями судноплавства з урахуванням виконаних раніше досліджень [9] та представлених на рис. 1.

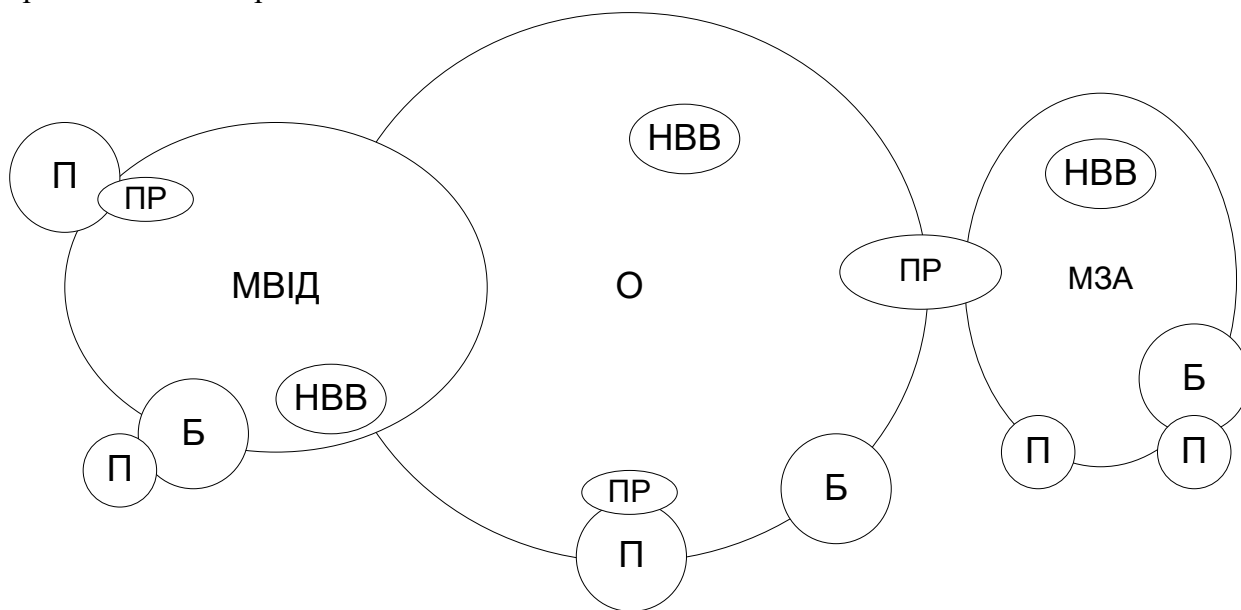


Рисунок 1 – Множини районів водних просторів

Райони плавання за маршрутом судна пропонується представляти в СПП множинами та сформулювати універсальне представлення у вигляді ієрархії окремих елементів цих множин. Це дозволяє застосовувати існуючі в науковій літературі методи операцій над множинами (приналежності, включення, об'єднання, перетинання, вирахування) у якості вихідного математичного апарата алгоритмів СПП у судноводінні, що в сукупності формує логіко-математичні моделі навігаційної обстановки.

Таким чином, це можна представити комбінаціями логічних операцій над множинами та їх взаємодій:

$$\begin{aligned}
 \text{РПЛ}_k \supset \begin{cases} \text{РПЛ}_i \cap \text{РПЛ}_j; \\ \text{РПЛ}_i \cup \text{РПЛ}_j; \\ \text{РПЛ}_i \setminus \text{РПЛ}_j; \\ \text{РПЛ}_i \in \text{РПЛ}_j; \end{cases} & (1) \\
 \text{РПЛ}_i \rightarrow \text{РПЛ}_j; \\
 \text{РПЛ}_i \leftarrow \text{РПЛ}_j; \\
 \text{РПЛ}_i \leftrightarrow \text{РПЛ}_j,
 \end{aligned}$$

де РПЛ_к - область (множина) поточного району плавання; ∈, ⊃, ∪, ∩, \ - знаки приналежності, включення, об'єднання, перетинання, віднімання множин, відповідно; →, ←, ↔ - знаки переходу, прямого, зворотного, двостороннього відповідно; i, j - індекси РПЛ.

На основі логічних операцій над множинами районів та умов плавання утворюються багаторівневі моделі множин РПЛ_к на наступному рівні ієрархії завдання планування оптимального маршруту судна.

Виконаємо класифікацію та формалізацію множин умов плавання.

Деталізацію характеристик умов плавання (УП) судна, відповідно до застосовуваними класифікаціями в гідрографії й навігації, доцільно представити у вигляді: встановлених шляхів, правових обмежень, регульованих, спеціальних районів. Ці умови плавання, деталізовані в роботах [3-6] розділяються на типові групи, що враховують види діяльності й обмеження, як показано на рис. 1.

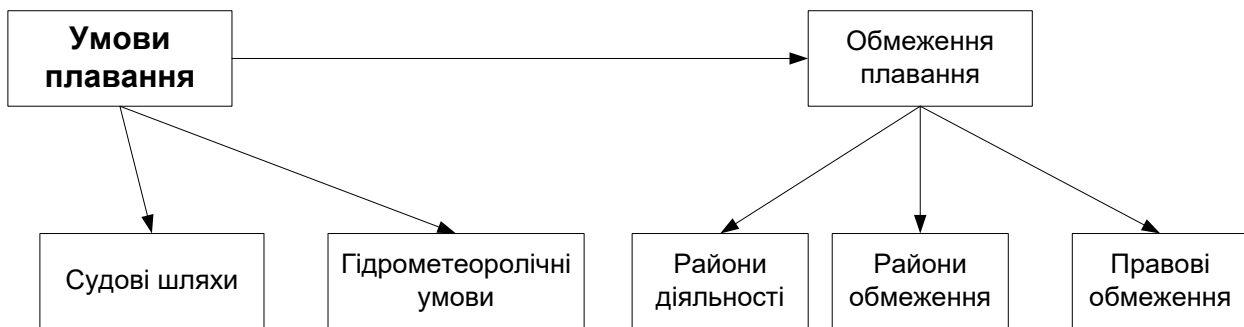


Рисунок 2 – Структурна схема основних типових груп умов плавання в районі

Математична модель умов плавання для формування маршруту руху судна представляються аналогічно положенням, логічними операціями над множинами, подібно виразу (1).

$$\begin{aligned}
 \text{УП}_i \supset \begin{cases} \text{УП}_i \cap \text{УП}_j; \\ \text{УП}_i \cup \text{УП}_j; \\ \text{УП}_i \in \text{УП}_j; \\ \text{УП}_i \setminus \text{УП}_j, \end{cases} & (2)
 \end{aligned}$$

де УП_і - поточні умови плавання; i, j - індекси умов плавання.

Взаємодія та взаємозв'язок моделей РПл (1) та УП (2) представляються логічними операціями над їх множинами, що в результаті дає узагальнену модель навігаційної обстановки (НО) для формування маршруту судна:

$$НО_i \equiv РПл_i \cup УП_i \quad (3)$$

де НО_i - множина комбінацій навігаційної обстановки.

Виконаємо класифікацію та формалізацію множин умов судноплавства.

На підставі класифікації районів та умов плавання (1)-(3) пропонується доповнити трьома ознаками умов судноплавства, що залежать від відстаней до небезпек, небезпечної глибини та частоти зустрічей з іншими судами:

1) райони відкритого моря (необмежений судноплавний простір):

$$d(F_i, O_j) \geq 50 \text{ миль}; \quad H_{оп} \geq 2T_{дин}; \quad T_{оч} \geq 60 \text{ хв} \quad (4)$$

де Т_{ож} - частота зустрічей з іншими судами, хв (щільність суднопотоку); О_j - район небезпек.

2) райони прибережного плавання:

$$\begin{aligned} 10 \text{ миль} < d(F_i, O_j) \leq 50 \text{ миль}; \\ 1,5T_{дин} < H_{оп} < 2T_{дин}; \\ 30 \text{ хв} \leq T_{оч} < 60 \text{ хв}. \end{aligned} \quad (5)$$

3) райони стиснутого судноплавства або з особливими умовами плавання по класифікації (вузькості, підходи до портів, канали, СРР, і т.п.).

$$\begin{aligned} d(F_i, O_j) \leq 10 \text{ миль}; \\ H_{оп} \leq 1,5T_{дин}; \\ 15 \text{ хв} \leq T_{оч} < 30 \text{ хв}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для запобігання небезпечного зближення судна з навігаційними небезпеками в умовах невизначеності руху судна, роботи системи керування й зовнішнього середовища необхідна наявність навколо судна вільного простору – ЗНБ, яка враховує:

1. Міжнародні, національні, місцеві правила плавання, звичаї;
2. Звичайну та ефективну морську практику, особистий досвід;
3. Навігаційну обстановку, включаючи працездатність навігаційного обладнання, гідрометеорологічні умови, судно потік;
4. Особливості навігації та управління судном.

Залежно від умов судноплавства (4) - (6) паралелепіпед ЗНБ, а, отже, і значення кроку дискретизації водного простору вибираються різними. Наприклад, для районів відкритого моря (4) паралелепіпед ЗНБ може визначатися на основі довжини гальмового шляху судна, дистанції безпечної розбіжності із судами:

$$L_f = 15L; \quad B_f = 2D_{on}; \quad H_f = 2T_{дин} \quad (7)$$

Для районів прибережного плавання (5) паралелепіпед ЗНБ може визначатися на основі елементів маневрування табл. 1, дистанції безпечної розбіжності із судами:

$$L_f = d_1 + d_2 + d_3; \quad B_f = D_{on}; \quad H_f = 1,5T_{дин}, \quad (8)$$

де d_1 – відрізок переходу на новий ПУ після перекладки керма при зміні свого курсу, милі; d_2 – мінімальний відрізок, необхідний для одержання й збереження стійкого значення курсу, милі; d_3 – відрізок шляху стійкого руху перед наступною зміною курсу, милі.

Таблиця 1 – Елементи маневрування

Довжина судна, м	50	100	150	200	250	300
$(d_1 + d_2 + d_3)/L$	6,6	5,6	5,6	6,5	8,8	9,0

При формалізації математичної моделі НО (1)-(3) для планування маршруту в портових водах пропонується враховувати розміри паралелепіпеда ЗНБ судна, орієнтованого по генеральному напрямку кожного елементарного відрізка маршруту й визначальної здатності проходу через нього судна:

$$L_f \geq L + \min(\Delta L); \quad B_f \geq B + \min(\Delta B); \quad H_f \geq T + \min(\Delta T), \quad (9)$$

де T , L_f , B_f , H_f - осадка судна, розміри елементів паралелепіпеда ЗНБ, милі; $\min(\Delta L)$, $\min(\Delta B)$, $\min(\Delta T)$ – мінімальні навігаційні запаси на прохід судном стиснутих умов (каналів і т.п.).

Точність і інформативність моделі району плавання прямо залежать від обраного кроку дискретизації. Виходячи з ефективної морської практики, в якості вихідної посилки для вибору цього кроку може служити значення ширини ЗНБ судна з урахуванням мінімального навігаційного запасу (7)-(9), необхідного для безпечної провідки судна через шлюзи, канали, доки. Доцільно підбирати масштаб карти так, щоб об'єкт із розмірами, які дорівнюють ширині ЗНБ судна (7)-(9) не вироджувався до точки. При подальшому зменшенні масштабу карти повнота їх змісту знижується.

Під час пошуку маршруту потрібно оцінювати близькість судна до небезпек з обох бортів судна. Тому, довжина нескінченно малого відрізка на карті (на екрані дисплея ECDIS), відповідного до ширини ЗНБ судна з мінімальними запасами (9), повинна представлятися мінімум трьома окремими дискретними елементами. Отже, крок дискретизації пошуку доцільно вибирати рівним третини ширини ЗНБ судна з мінімальними запасами (7)-(9) рис. 3.

$$\varepsilon = B_f/3. \quad (10)$$

Тоді найменший масштаб зображення району пошуку на карті визначається формулою:

$$\mu = ds/\varepsilon = 3ds/Bf, \quad (11)$$

де μ - масштаб карти; ds - нескінченно малий відрізок на карті, що відповідає кроці дискретизації пошуку на місцевості.

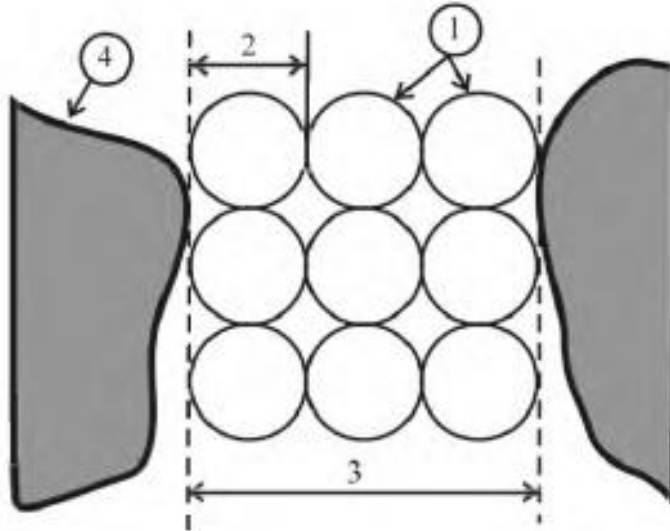


Рис. 3. Вибір масштабу карти та кроку дискретизації пошуку:
1 – елементарна точка; 2 – розмір елементарної точки (10); 3 – мінімальний запас для судна по ширині - V_f (9); 4 – навігаційні небезпеки.

Виконаємо класифікацію та формалізацію множин навігаційної обстановки

Найбільш доцільними для автоматизованого пошуку, вибору, оптимізації маршруту руху судна є алгоритми, що базуються на теорії графів. Графи будуються по характерних точках (ХТ) топографічної, геометричної й інформаційної моделям навколишнього середовища. Граф-моделі компактно описують перешкоди та вільні області та успішно застосовуються в робототехнічних системах.

Маршрут судна може представлятися простим орієнтованим графом, тобто спрямованою послідовністю вершин – точок маршруту, з'єднаних ребрами.

Графом називається впорядкована пара множин, що полягає з кінцевої непустої множини вершин РПЛ (1), УП (2), районів навігаційних небезпек (характерних точок) та довільної підмножини ребер (лінійних або криволінійних відрізків між вершинами):

$$G = (P_g, E_g) \quad (12)$$

де P_g – кінцева непорожня множина елементів вершин графа; E_g - підмножина елементів ребер графа.

Ребра представляють собою відрізки шляху судна (локсодромій, ортодромій) між ХТ на траєкторії. При задаванні простору графом ХТ з'єднуються дугами, яким надаються відповідні значення: (напрямок – прямий, зворотній або обопільний, відносини –

приналежність, включення, виключення у відповідності з (1), (2)). Тоді взаємозв'язок елементів обстановки району плавання відображається за допомогою ребер графа.

Узагальнена математична модель району плавання представляється за допомогою об'єднання районів (граф моделей окремих областей як зв'язувань вершин ХТ) спадкування характеристик, властивостей. Таким чином, основна ідея побудови графа моделей навігаційної обстановки (3) для будь-яких двох незбіжних вершин зводиться до аналізу зв'язків між ними за формулою:

$$P_{g_i} \mathfrak{S} P_{g_j}; \quad \mathfrak{S} = (\in, \cup, \cap, \notin, \supset, \rightarrow, \leftarrow, \leftrightarrow) \quad (13)$$

де P_{g_i} , P_{g_j} – вершини, поняття; \mathfrak{S} - поняття, яке пов'язує вершини (логічні операції над множинами, символи можливості переходу).

ХТ – точки, які належать контуру (границі) будь-якого району, маршруту, що володіють відмітними (характерними) властивостями їх розташування щодо інших елементів (точок), тобто значно виступаючі, впадаючі або несучі відмітну інформацію.

Вершинам графа задаються характеристики:

1. Координати ХТ у просторі;
2. Набір суміжних (сусідніх) вузлів i_1, i_2, \dots, i_m ;
3. Додаткові характеристики, наприклад множина рухомих об'єктів, що проходять через вузол.

Кожному ребру графа привласнюють наступні характеристики:

1. Вага, адекватний довжині відрізка шляху між двома сусідніми (суміжними) ХТ (вершинами i та j), часу переходу, складності переходу. Вага ребра може обновлятися в процесі планування шляху;
2. Напрямок переходу, можливі зв'язки;
3. Відношення (13), яке логічно пов'язує елементи різних графів.

Внаслідок високої розмірності району пошуку маршруту судна проблема формалізації моделі на основі досліджень вирішується за допомогою багаторівневого підходу до питань навігації з урахуванням ієрархії елементів водного простору для плавання судна.

Для формалізації небезпек застосовуються багатокутники, складові частини яких коректуються в процесі планування. Подібна стратегія дає переваги при використанні методів обчислювальної геометрії.

Залежно від ступеня деталізації району плавання (відкритого моря (4), прибережного плавання (5), стиснутого судноплавства (6)), кожній вершині графа ставляться у відповідність певні властивості – умови плавання (див. рис. 2) для створення інтелектуальних баз знань.

На основі аналізу дослідження [8] пропонується застосувати поняття гіперграфа, що розширює концепцію графа. Зокрема гіперграф дозволяє отримувати інформацію про фізичні та інші особливості елементів простору, розглядати не тільки одиничні об'єкти, але й групи відповідних ХТ, що встановлюють, наприклад, тип відносин, для деталізації надалі.

В ієрархії, визначеній на гіперграфі, відносини між вузлами різних графів, визначаються суміжними ХТ, з'єднаними з вузлами інших графів. Будь-яке з'єднання

гіперграфа може включати ХТ більш низького рівня ієрархії, тобто ХТ різних графів включаються в ХТ більш високого рівня ієрархії. За допомогою гіперграфів встановлюється взаємозв'язок між множинами окремих районів водного простору (4)-(6), розділених за принципами та методах традиційного судноводіння.

Моделі областей, що є підобластями більшого району, успадковують деякі властивості та характеристики, які можуть доповнюватися й деталізуватися, при цьому зберігаються відносини між властивостями, відображуваними ХТ.

Небезпеки пропонується додатково класифікувати за розташуванням, складністю конфігурації, доступністю для плавання, з урахуванням розмірів ЗНБ (7)-(9) у такий спосіб:

1. Точкові: відмітні глибини, невеликі острови, штучні навігаційні та технічні споруди (буї, знаки, бурові платформи, вишки, розміри ЗНБ, тощо).

2. Лінійні: причальні споруди, рекомендовані шляхи, СРР, фарватери. Дані елементи навколишнього середовища, легко піддаються формалізації й можуть бути досить просто представлені математично або алгоритмічно (без втрат у точності) або вже формалізовані системою умовних позначок на морських навігаційних картах.

3. Небезпеки складної форми: ділянки узбережжя, острова зі складною конфігурацією, небезпечні ізобати (глибини), тобто елементи, опис яких вимагає застосування складного математичного, логічного та алгоритмічного апарата (вибір ХК, апроксимація прямими відрізками з неминучою втратою точності). Графи небезпек складної форми можуть деталізуватися в процесі пошуку маршруту.

4. Приналежність суші (острова, миси, материки, тощо) або водної частини (мілководдя, вузькі глибоководні протоки, шхери, тощо).

5. Райони недоступні для плавання судна при будь-яких умовах, хоча б один з елементів паралелепіпеда ЗНБ судна (9) більший або дорівнює характерним розмірам водної частини небезпеки.

6. Райони, доступні для плавання судна за певних умов, тобто хоча б один з елементів паралелепіпеда ЗНБ судна (9) менше мінімальних значень характерних розмірів водної частини в певний час або за певних умов.

7. Райони, доступні для плавання судна при будь-яких умовах, тобто елементи паралелепіпеда ЗНБ судна (9) менше мінімальних значень характерних розмірів водної частини небезпеки.

Таким чином, під доступністю району для плавання судна можна прийняти обставини, проміжок часу, коли можливий прохід паралелепіпеда ЗНБ судна (9). Наприклад, деякі ділянки мілководдя можуть бути пройдені під час припливу, райони стрільб, військових навчань можуть вважатися режимними, прохід через які можливий у певний час.

Висновки.

Необхідна для формування навігаційної обстановки інформація та форма її відображення спочатку може оцінюватися на основі ефективної морської практики, а отримана в такий спосіб база використовуватися надалі для настроювання системи, у залежності від індивідуальних особливостей судноводіїв.

В статті з використанням теорії множин запропонована формалізація (класифікація) навігаційної обстановки, що включає райони плавання, умови плавання та особливі умови

плавання. Застосування моделей та методу формалізації дозволить побудувати ефективні алгоритми пошуку маршруту руху суден, які можуть бути застосовані у автоматизованих системах судноводіння з елементами штучного інтелекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев, Л.Л. Практическое пособие по управлению морским судном [Текст].- СПб.: ЦНИИМФ, 2003. - 192 с.
2. Тихонов, В.И. Совершенствование теории судовождения на внутренних водных путях [Текст]: автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.22.19.- Н. Новгород, 2011.- 39 с.
3. Юдин, Ю.И. Использование идентифицированных математических моделей судна для обеспечения безопасности судовождения [Текст]/ Ю.И.Юдин, А.Г.Степачно, А.Н. Г ололобов// Вестник МГТУ.- 2009.- Т.12.- №1.- С.10-12.
4. Aarsther, K.G. Combined Maneuvering Analysis, AIS and Full-Mission Simulation [Text]/ K.G.Aarsther, T.Moan// Int. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation.- 2007.- V.1.- No.1.- pp. 31 - 36.
5. Artyszuk, J. Data Smoothing Application to the Ship Motion Mathematical Model Identification [Text]/ Annual of Navigation.- 2000.- No. 2.- P.5-15.
6. Barrass, C.B. Ship design and performance for masters and mate [Text].- Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, 2004.- 264 p.
7. Morawski, L. Problem of Stopping Vessel at the Waypoint for Full-Mission Control Autopilot [Text]/ L.Morawski, V.Nguyen Cong// Int. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation.- 2010.- V.4.- No.2.- P.151-156.
8. Вагущенко Л.Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Феникс, 2010. –229 с.
9. Обертюр К.Л. Повышение безопасности эксплуатации судов методами управления событиями: дис. ... канд.техн. наук 05.22.20 / Обертюр Константин Леонидович. – Одесса, 2015. – 223 с.
10. Бужбецкий Р.Ю. Совершенствование методов предупреждения столкновения судов с учетом особенностей их взаимодействия: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Бужбецкий Ростислав Юрьевич. – Одесса, 2016. – 223 с.
11. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении / А.С. Мальцев. – Одесса: Морской тренажерный центр,2005. – 208 с.
12. Тимощук О.М. Метод формалізації знань про оцінку обстановки судноводієм при виникненні небезпечної ситуації зближення (зіткнення). Системи обробки інформації. 2019. № 2(157). С. 154-160. <https://doi.org/10.30748/soi.2019.157.22>.