

- Power Plant Remote Condition Monitoring», *IOP Conference Series*, vol. 1199(1), pp. 1-11, 2021. doi: 10.1088/1757-899x/1199/1/012049.
10. A. Golovan, I. Gritsuk, S. Rudenko, V. Saravas, A. Shakhov, and O. Shumylo, «Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel», in 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2019, pp. 390-393. doi: 10.1109/mees.2019.8896595.
11. D. Bayer, O. Aydin, and M. Celik, «An ICOR approach towards ship maintenance software development», *International Journal of Maritime Engineering*, vol. 160, part A1, pp. A11-A20, 2021. doi: 10.5750/ijme.v160ia1.1044.
12. D.N. Ford, T.J. Housel, and J. Mun, «Ship Maintenance Processes with Collaborative Product Lifecycle Management and 3D Terrestrial Laser Scanning Tools: Reducing Costs and Increasing Productivity», in Proceedings of the ninth Annual Acquisition Research Symposium, 2011, pp. 266-291. doi: 10.21236/ada543988.
13. L. Li, P. Yi, Z. Wang, K. Liu, and F. Li, «Research on Simulation Method of Ship Equipment maintenance Support process», in Proceedings of the 2nd International Conference on Algorithms, High Performance Computing and Artificial Intelligence (AHPCAI), 2022, pp. 778-782. doi: 10.1109/ahpcai57455.2022.10087716.
14. A. Golovan, and I. Gritsuk, «The main principles of assessing the efficiency of ship maintenance», *Transport development*, vol. 1(16), pp. 47-60, 2023. doi: 10.33082/td.2023.1-16.04.
15. T. Kim, and J. Song, «Generalized Reliability Importance Measure (GRIM) using Gaussian mixture», *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 173, pp. 105-115, 2018. doi: 10.1016/j.ress.2018.01.005.

Рецензент: І.В. Грицук
д-р техн. наук, проф., ХДМА

Стаття надійшла 18.07.2023
Стаття прийнята 12.08.2023

УДК 629.5:656.6

doi: 10.31498/2225-6733.47.2023.300117

© Дудченко С.*

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РАЙОНУ ПЛАВАННЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ СУДНА

Планування оптимального маршруту переходу судна є ключовою проблемою при проектуванні систем планування руху та навігації. Дана проблема полягає в необхідності визначення траєкторії від початкової до кінцевої точки, що забезпечує відсутність зіткнень з переешкодами. При вирішенні даної проблеми, також потрібно враховувати динаміку судна, невизначеність і нестационарність водного середовища, час на обчислення шляху та фізичну здійсненність траєкторії. Задача планування традиційно сформульована як задача оптимізації стану поточного положення судна відносно цільового положення. Найчастіше цю задачу розв'язують у конфігураційному просторі, який складається з набору переешкод, кінематичних і динамічних обмежень і набору точок в районах плавання. Методи планування поділяються на глобальні та локальні. Глобальні методи будують маршрут на основі відомої карти, тоді як локальні методи коригують шлях при виявленні переешкод. Проте на даний момент математичні моделі району плавання лише частково враховують невизначеності зон, в яких функціонує судно. Це зумовлює планування

* капітан далекого плавання, ст. викладач, Херсонська державна морська академія; директор, ТОВ «Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр при Херсонській державній морській академії», м. Херсон, ORCID: 0000-0002-1613-7226, dudchenko.serhiy@gmail.com

локальних траєкторій в межах конкретного району плавання за допомогою простого прямолінійного алгоритму. Оскільки у процесі планування переходу від «причалу» до «причалу» задля забезпечення навігаційної безпеки судна необхідне використання всієї наявної інформації для складання максимально детальної уявної моделі переходу судна перед початком кожного плавання. Для вирішення даного завдання в даній роботі доведено, що у процесі побудови оптимального маршруту необхідно провести повний аналіз всіх етапів переходу судна, в результаті чого підвищується оптимальність запланованого маршруту переходу. Удосконалено математичну модель району плавання для оптимального маршруту переходу судна, в якій застосовано математичний апарат нечітких множин.

Ключові слова: voyage planning, e-Voyage, e-Navigation, навігаційна обстановка, маршрут переходу, район плавання.

S. Dudchenko. Improvement of the mathematical model of the navigation area for the optimal ship passage route. Planning the optimal route of a vessel passage is a key problem in the design of traffic planning and navigation systems. This problem consists in the need to determine the trajectory from the initial point to the final point, which ensures the absence of collisions with obstacles. When solving this problem, it is also necessary to take into account the dynamics of the vessel, the uncertainty and non-stationarity of the water environment, the time to calculate the path and the physical feasibility of the trajectory. The planning task is traditionally formulated as the task of optimizing the state of the current position of the vessel relative to the target position. Most often, this problem is solved in the configuration space, which consists of a set of obstacles, kinematic and dynamic constraints, and a set of points in the swimming areas. Planning methods are divided into global and local. Global methods build a route based on a known map, while local methods adjust the path when obstacles are detected. However, at the moment, mathematical models of the navigation area only partially take into account the uncertainties of the zones in which the vessel operates. This determines the planning of local trajectories within a specific swimming area using a simple straight-line algorithm. Since in the process of planning the transition from «berth» to «berth» in order to ensure the navigational safety of the ship, it is necessary to use all available information to compile the most detailed imaginary model of the ship's transition before the start of each voyage. In order to solve this task, this paper proves that in the process of building the optimal route, it is necessary to conduct a full analysis of all stages of the passage of the vessel, which increases the optimality of the planned passage route. The mathematical model of the navigation area for the optimal route of the ship's passage has been improved, in which the mathematical apparatus of fuzzy sets is applied.

Key words: voyage planning, e-Voyage, e-Navigation, navigation situation, transit route, sailing area.

Постановка проблеми. У процесі оцінки району плавання та підходів до портів судноводій повинен усвідомити:

- правила плавання у цьому районі;
- навігаційно-гідрографічні особливості району: рекомендовані шляхи та маршрути, фарватери та канали, довжину та ширину їх колін; небезпечні, заборонені та обмежені для плавання райони, райони інтенсивного руху суден та поромів, лову риби, розвідки та видобутку нафти та газу; системи поділу руху суден; місця можливих якірних стоянок та його характеристики;
- забезпеченість району плавання засобами навігаційного обладнання, їх режими роботи та обмеження використання; можливості застосування радіолокаційних засобів (РЛЗ) визначення місця судна; характерні ознаки для впізнання навігаційних орієнтирів та запобіжних знаків;
- основні (глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС)) та резервні (візуальні та радіолокаційні) способи та необхідну дискретність обсервацій;
- зони дії, види обслуговування систем керування рухом суден (СКРС);

– гідрологічні особливості: припливно-відливні явища; швидкість та напрямок течії; характер та ступінь вітрового хвилювання; опрісненість води; вплив цих факторів на допустиме осадження та швидкість судна при проходженні ним найбільш мілководних ділянок та ін.

Розробка оптимального маршруту переходу судна передбачає повний аналіз всіх етапів переходу, що вимагає значних ресурсів для перебору великої кількості непотрібних елементів (множини «хибних» маршрутів, урахування інших факторів для оптимізації для забезпечення безпеки плавання). Практика судноводіння показує, що пошук оптимальної траєкторії руху судна слід поділити на рівні ієрархії, на яких застосовуються моделі навколишнього простору та руху різного ступеня абстракції. При цьому ступінь деталізації моделі руху має відповідати деталізації моделі району плавання, а евристичні та багатетапні підходи мають передбачати сумісність результатів на кожному етапі планування.

У роботі [1] розглядаються різні методи пошуку та прокладання маршрутів руху рухомих об'єктів:

1. У формалізованому, нечітко заданому, неформалізованому районі плавання.
2. Методи, в яких накопичується та не накопичується інформація про район плавання.
3. Глобальні та локальні.
4. Адаптивні та неадаптивні.

Використання у загальному випадку будь-якого з методів може виявитися недостатнім для вибору оптимального маршруту судна. Доцільно спільне застосування різних за властивостями алгоритмів залежно від етапу побудови маршруту та рівня деталізації району плавання (MR).

Подібний підхід дозволяє використовувати переваги та компенсувати недоліки різних моделей та алгоритмів, задовольнити різним критеріям оптимальності, зменшити вимоги до обсягів ресурсів для переробки інформації, забезпечити її цілеспрямоване накопичення та збереження для конструювання баз знань навігаційної обстановки [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В різних дослідженнях для формалізації районів плавання при побудові оптимального маршруту переходу судна широко використовується алгоритм A^* . На основі даного алгоритму було вдосконалено моделі району плавання для оптимального маршруту судна для вирішення завдань планування переходу. В роботі [3] для прискорення швидкості пошуку модифікувати евристичну функцію в залежності від щільності перешкод. Для пошуку районів плавання в будь-якому напрямку в роботі [4] запропоновано алгоритм Θ^* . Проте використання даної моделі потребує багато часу, оскільки алгоритм перевіряє багато незадіяних вузлів. Тому, в роботі [5] було запропоновано покращення алгоритму Θ^* . Алгоритм $\text{Lazy}\Theta^*$ вибирає вузол лише тоді, коли він визначений як поточний вузол [3], що розширює реалізацію запропонованого підходу A^* в середовищі, захищеному статичними та рухомими перешкодами та різною інтенсивністю руху навігаційних об'єктів. Математичні моделі формування судової безпечної зони запропоновано в публікаціях [6], які містять системний облік істотних чинників, орієнтованих на практичне використання в процесі плавання суден.

Розвиток технології Інтернет речей (IoT), Big Data, хмарних обчислень привертають все більшу увагу для розробки морських інтелектуальних систем [7]. Для прогнозування енергоефективності маршруту в роботах [8, 9] було розроблено модель на основі даних, для обробки яких застосовано штучну нейронну мережу. Далі був представлений маршрут з оптимальною енергоефективністю. Штучна нейронна мережа побудувала маршрут судна на основі масиву даних, отриманих з AIS між певними портами. В роботі [10] запропоновано метод на основі моделі хмарних обчислень для автоматичної побудови маршруту. В дослідженні [11] запропоновано модель динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання для побудови гарантованого шляху руху судна від початкової до кінцевої точки.

Мета дослідження є удосконалення математичної моделі району плавання для застосування в алгоритмах планування для оптимізації запланованого маршруту з врахуванням обмежень, що накладаються властивостями навігаційної обстановки.

Виклад основного матеріалу. Для вибору маршруту переходу та забезпечення безпеки плавання судна з використанням автоматизованих навігаційних комплексів із системи інформаційного простору (СИП) має бути формалізована математична модель навігаційно-гідрографічної обстановки. Її основу складатиме цілеспрямована систематизація, сформульована у керівних документах. Крім того, мають бути встановлені принципи взаємодії елементів, пов'язані з мореплаванням.

На стратегічному рівні планування пропонується виділяти два характерні типи інформації (I^{MR}) про район плавання (MR), в якому буде здійснюватися перехід судна:

$$I^{MR} = \{WS, LS\}, \quad (1)$$

де $WS \in (ws_1, ws_2, \dots, ws_n)$ – тип району водного простору:

- район океану (OCR);
- морські райони (SR);
- протоки (DT);
- бухти (BT);
- затоки (BS);
- річки (RV);

$LS \in (ls_1, ls_2, \dots, ls_n)$ – район суші, до якого може відноситися:

- материк (MT);
- острів (ISL);
- півострів ($PISL$), порти, хвилеломи, причали та ін.

Район водного простору можна задати множиною точок:

$$ws_n \in (Cord_n^{ws}, af_n^{ws}), \quad (2)$$

де $Cord_n^{ws} \in (x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_n, d_1 \dots d_i)$ – значення координат (x, y) та глибини (d) в точці що належить ws_n ;

af_n^{ws} – приналежність району одному з типів району плавання.

Район суші можна задати множиною точок:

$$ls_n \in (Cord_n^{ls}, af_n^{ls}), \quad (3)$$

де $Cord_n^{ls} \in (x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_n)$ – значення координат (x, y) в точці, що належить ls_n ;

af_n^{ls} – відношення району суші до $\{MT, ISL, PISL\}$.

Взаємозв'язок між типовими районами водних просторів за маршрутом переходу судна, особливостями судноплавства в цих районах та експлуатаційними характеристиками судна визначають рекомендовані шляхи переходу. Деталізацію характеристик умов плавання судна можна подати як типові групи, що враховують встановлені шляхи, види діяльності та обмеження (рис. 1).

Згідно рис. 1, район плавання, в якому здійснюється перехід судна, можна представити множиною рекомендованих шляхів, які можна побудувати та сформулювати універсальне представлення:

$$MR = \sum_1^n W_i^{rec}, \quad (4)$$

де W_i^{rec} – i -ий рекомендований шлях.

У свою чергу, W_i^{rec} можна описати:

$$W^{rec} = \{Cord_{st}^{W^{rec}}, Cord_{fin}^{W^{rec}}, Cord_i^{W^{rec}}, wid^{W^{rec}}\}, \quad (5)$$

де $Cord_{st}^{W^{rec}}, Cord_{fin}^{W^{rec}}, Cord_i^{W^{rec}}$ – координати початкового, кінцевого та проміжних (поворотних) пунктів шляху;

$wid^{W^{rec}}$ – ширина шляху.

Проте відомі операції над множинами для формування математичної моделі району плавання не в повній мірі можуть описати всі процеси, що ставить під сумнів доцільність їх безпосереднього використання в алгоритмах планування переходу. Це зумовлено тим, що процес планування переходу в системі e-Navigation розглядається як завдання підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності, проте регламентованих правилами, прописаними у відповідних керівних документах. Тому для розрахунку оптимального маршруту переходу суден пропонується при побудові математичної моделі району плавання застосувати математичний апарат нечітких множин.



Рис. 1 – Взаємозв’язок між типовими районами водних просторів за маршрутом переходу судна, особливостями судноплавства в цих районах та експлуатаційними характеристиками судна

Таким чином, район плавання, їх суміжність (можливість переходу), рекомендовані шляхи, інші елементи, необхідні для планування маршруту руху судна, можна представити комбінаціями логічних операцій над нечіткими множинами та їх взаємодій:

$$W_i^{rec} = \left\{ \begin{array}{l} \min \left(\overline{\mu}_{rest} (Cord_1^{ws}), \left(\min (\mu_{ws_1} (Cord_1^{ws})) (1 - \mu_{cond} (Cord_1^{ws}) / Ex_{wessel}) \right) \right) \\ \min \left(\overline{\mu}_{rest} (Cord_2^{ws}), \left(\min (\mu_{ws_2} (Cord_2^{ws})) (1 - \mu_{cond} (Cord_2^{ws}) / Ex_{wessel}) \right) \right) \\ \dots \\ \min \left(\overline{\mu}_{rest} (Cord_j^{ws}), \left(\min (\mu_{ws_j} (Cord_j^{ws})) (1 - \mu_{cond} (Cord_j^{ws}) / Ex_{wessel}) \right) \right) \end{array} \right\}, \quad (6)$$

де $\mu_{rest_j} (Cord_j^{ws})$ – функція приналежності координат j -го району плавання до множини районів обмеження плавання (rest);

$\mu_{ws_j} (Cord_j^{ws})$ – функція приналежності координат $Cord_j^{ws}$ до j -го району плавання (ws_j);

$\mu_{cond} (Cord_j^{ws}) / Ex_{wessel}$ – функція приналежності координат $Cord_j^{ws}$ до j -го району плавання до множини районів, умови плавання (cond) в яких не відповідають експлуатаційним характеристикам судна (Ex_{wessel}).

Від обраного кроку дискретизації залежить точність та інформативність моделі району плавання. Аналіз позитивної морської практики показує, що значення радіусу (якщо вибирається домен безпеки у вигляді кола) зони навігаційної безпеки судна (Z_{nsft}) з урахуванням мінімального навігаційного запасу може застосовуватись як крок дискретизації вибору координат ($Cord_j^{ws}$).

Під час пошуку маршруту потрібно оцінювати близькість судна до небезпек (рис. 2).

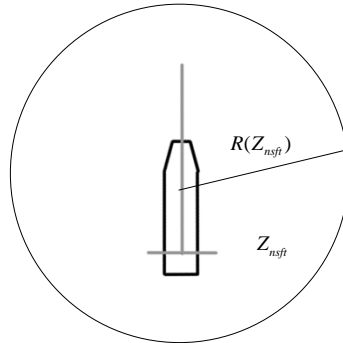


Рис. 2 – Оцінювання близькості судна до небезпек

На основі аналізу поточних координат ws_j визначається їх відповідність району плавання, можливості проходу даної точки судном та відповідність умов плавання експлуатаційним характеристикам судна. Нові координати для переміщення рухомого об'єкта (x_{j+1}, y_{j+1}) визначаються так:

$$\begin{cases} x_{j+1} = x_j + R(Z_{nsft}) \cdot \cos(h) \\ y_{j+1} = y_j + R(Z_{nsft}) \cdot \sin(h) \end{cases} \quad (7)$$

де x_{j+1}, y_{j+1} – координати пункту рекомендованого шляху;

x_j, y_j – координати поточного пункту рекомендованого шляху.

Розроблена модель формалізує процес визначення рекомендованих шляхів як основи району плавання для побудови оптимального маршруту переходу суден. Дана модель дозволяє забезпечити:

- формалізацію процесу оцінки району плавання при плануванні переходу судна в умовах невизначеності;
- врахування у процесі оцінки обстановки більшої кількості параметрів;
- виконання ієрархічного нечіткого логічного виведення.

Висновки

Рекомендовані шляхи переходу судна визначаються тісним взаємним зв'язком між умовами плавання судна, а саме, типовими районами водних просторів за маршрутом переходу, особливостями судноплавства у них та експлуатаційними характеристиками судна. Детальні умови плавання судна подаються у вигляді типових груп, що враховують встановлені шляхи, види діяльності та обмеження.

Удосконалено математичну модель району плавання для оптимального маршруту переходу судна. Доведено, що у процесі побудови оптимального маршруту необхідно провести повний аналіз всіх етапів переходу судна. Для редукції кількості переbrаних варіантів і значного зменшення витрати всіх видів ресурсів у процесі пошуку оптимальної траєкторії руху судна запропоновано використовувати ієрархічний підхід. У відповідності до нього, на кожному рівні ієрархії запропоновано використовувати моделі навколишнього простору та руху різного ступеня абстракції, деталізація яких відповідатиме ступеню деталізації моделі району плавання.

Крім того, запропонований підхід дозволяє задовольнити різним критеріям оптимальності. Поетапне зменшення розглянутих варіантів позитивно відбивається на зниженні обсягів ресурсів, задіяних у переробці інформації. І наприкінці, побудова ієрархічних моделей забезпечує

цілеспрямоване накопичення та збереження навігаційної інформації, потрібної для побудови ієрархічної баз знань для якісного оцінювання навігаційної обстановки, що складається на маршруті переходу.

Перелік використаних джерел:

1. Квасніков П.К. Концепція Е-навігації – навігації майбутнього. Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту. Колективна монографія / за ред. В. Чимшира. Ізмаїл : ДІ НУ «ОМА», 2020 – Київ: Міленіум, 2020. 472 с.
2. Шапіро Г.В., Аросланкін О.О., Постніков Є.Є. Формування інформаційної моделі надводної обстановки для автоматизації процесів судноводіння. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Том 3. № 65. С. 37-41. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.037>.
3. A constrained A* approach towards optimal path planning for an unmanned surface vehicle in a maritime environment containing dynamic obstacles and ocean currents / Y. Singh, S. Sharma, R. Sutton, D. Hatton, A. Khan. *Ocean Engineering*. 2018. Vol. 169. Pp. 187-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.016>.
4. Theta*: Any-angle path planning on grids / Daniel K., Nash A., Koenig S., Felner A. *Journal of artificial intelligence research*. 2010. Vol. 39. Pp. 533-579. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1401.3843>.
5. Nash A., Koenig S. Any-angle path planning, *AI Magazine*. 2013. Vol. 34. No. 4. Pp. 85-107. DOI: <https://doi.org/10.1609/aimag.v34i4.2512>.
6. Data-driven based automatic maritime routing from massive AIS trajectories in the face of disparity / S.-K. Zhang, G.-Y. Shi, Z.-J. Liu, Z.-W. Zhao, Z.-L. Wu. *Ocean Engineering*. 2018. Vol. 155. Pp. 240-250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.02.060>.
7. Data-driven ship energy efficiency analysis and optimization model for route planning in ice-covered arctic waters / Zhang C., Zhang D., Zhang M., Mao W. *Ocean Engineering*. 2019. Vol. 186. Pp. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.05.053>.
8. Automatic ship route design between two ports: A data-driven method / Y. Wen, Z. Sui, C. Zhou, C. Xiao, Q. Chen, D. Han, Y. Zhang. *Applied Ocean Research*. 2020. Vol. 96. Art. no. 102049. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.102049>.
9. Han P., Yang X. Big data-driven automatic generation of ship route planning in complex maritime environments. *Acta Oceanologica Sinica*. 2020. Vol. 39. No. 8. Pp. 113-120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13131-020-1638-5>.
10. Lisowski J. Synthesis of a Path-Planning Algorithm for Autonomous Robots Moving in a Game Environment during Collision Avoidance. *Electronics*. 2021. Vol. 10(6). Pp. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10060675>.
11. Зазірний А.А. Метод формування динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання при вирішенні задачі розходження судна з навігаційними небезпеками. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. № 1(67). С. 110-118. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.67.15>.

References:

1. P.K. Kvasnikov, *Kontsepsiia E-navihatsii – navihatsii maibutnoho. Suchasni pidkhody do vysokoeфекtyvnoho vykorystannia zasobiv transportu. Kolektyvna monohrafiia* [The concept of E-navigation is the navigation of the future. Modern approaches to highly efficient use of means of transport. Collective monograph]. Izmail, Ukraine: DI NU «OMA», 2020 – Kyiv, Ukraine: Millennium, 2020. (Ukr.)
2. H.V. Shapiro, O.O. Aroslinkin, and Ye.Ie. Postnikov, «Formuvannia informatsiinoi modeli nadvodnoi obstanovky dlia avtomatyzatsii protsesiv sudnovodinnia» [«Formation of information model of above-water surface for automation of shipping processes»], *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Control, navigation and communication systems*, vol. 3, № 65, pp. 37-41, 2021. doi: [10.26906/SUNZ.2021.3.037](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.037). (Ukr.)
3. Y. Singh, S. Sharma, R. Sutton, D. Hatton, and A. Khan, «A constrained A* approach towards optimal path planning for an unmanned surface vehicle in a maritime environment containing dynamic obstacles and ocean currents», *Ocean Engineering*, vol. 169, pp. 187-201, 2018. doi: [10.1016/j.oceaneng.2018.09.016](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.016).

4. K. Daniel, A. Nash, S. Koenig, and A. Felner, «Theta*: Any-angle path planning on grids», *Journal of artificial intelligence research*, vol. 39, pp. 533-579, 2010. doi: **10.48550/arXiv.1401.3843**.
5. A. Nash, and S. Koenig, «Any-angle path planning», *AI Magazine*, vol. 34, no. 4, pp. 85-107, 2013. doi: **10.1609/aimag.v34i4.2512**.
6. S.-K. Zhang, G.-Y. Shi, Z.-J. Liu, Z.-W. Zhao, and Z.-L. Wu, «Data-driven based automatic maritime routing from massive AIS trajectories in the face of disparity», *Ocean Engineering*, vol. 155, pp. 240-250, 2018. doi: **10.1016/j.oceaneng.2018.02.060**.
7. C. Zhang, D. Zhang, M. Zhang, and W. Mao, «Data-driven ship energy efficiency analysis and optimization model for route planning in ice-covered arctic waters», *Ocean Engineering*, vol. 186, pp. 1-22, 2019. doi: **10.1016/j.oceaneng.2019.05.053**.
8. Y. Wen, Z. Sui, C. Zhou, C. Xiao, Q. Chen, D. Han, and Y. Zhang, «Automatic ship route design between two ports: A data-driven method», *Applied Ocean Research*, vol. 96, art. no. 102049, 2020. doi: **10.1016/j.apor.2019.102049**.
9. P. Han, and X. Yang, «Big data-driven automatic generation of ship route planning in complex maritime environments», *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 39, no. 8, pp. 113-120, 2020. doi: **10.1007/s13131-020-1638-5**.
10. J. Lisowski, «Synthesis of a Path-Planning Algorithm for Autonomous Robots Moving in a Game Environment during Collision Avoidance», *Electronics*, vol. 10(6), pp. 1-14, 2021. doi: **10.3390/electronics10060675**.
11. A.A. Zazirnyi, «Metod formuvannia dynamichnoho prostoru rivniv nebezpeky zon v raioni plavannia pry vyrishenni zadachi rozkhodzhennia sudna z navihatsiinymy nebezpekamy» [«Method for forming dynamic space hazard levels in zones in the navigation area when solving the problem of discovering a vessel with navigation hazard»], *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl – Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, № 1(67), pp. 110-118, 2021. doi: **10.30748/zhups.2021.67.15**. (Ukr.)

Рецензент: Д.В. Макарчук
канд. техн. наук, лектор, Solent University

Стаття надійшла 09.08.2023
Стаття прийнята 16.09.2023

УДК 656.075

doi: 10.31498/2225-6733.47.2023.300118

© Грицук І.В.¹, Головань А.І.², Поліщук О.В.³, Літвінов М.Є.⁴,
Головащенко О.В.⁵

ОСОБЛИВОСТІ АЛГОРИТМІВ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

У сучасних умовах ефективного функціонування транспортних засобів та систем стає критично важливим для забезпечення безперебійного перевезення пасажирів та вантажів. Однак зростаюча складність і розмір транспортних мереж

¹ д-р техн. наук, професор, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: 0000-0001-7065-6820, gritsuk_iv@ukr.net

² канд. техн. наук, доцент, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: 0000-0001-6589-4381, g.onmu@ukr.net

³ аспірант, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: 0000-0001-7369-0485, polishukalex591@gmail.com

⁴ аспірант, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: 0009-0007-5030-6680, mykhaylolitvinov@gmail.com

⁵ аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ, ORCID: 0009-0005-7729-5462, venger.a79@gmail.com