

contain information on how to solve the problems of reducing vibration caused by power equipment by modelling and applying uniaxial vibration isolation for a ship's diesel generator. The most significant achievement is the graphical representation of the results of complex modelling of uniaxial vibration isolation of a ship's diesel generator, which is presented in the article. According to the results of modelling the vibration isolation of a diesel generator, it is possible to use an effective supporting force based on dry friction. The use of a weight compensator avoids resonance modes and provides a constant force equal to the weight of the equipment. This helps prevent the transmission of power equipment vibrations to the ship's foundation.

Keywords: *vibration, vessel, power equipment, modelling, power plant, uniaxial vibration isolation, oscillations, fastening.*

УДК 629.123

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.29

Дудченко С.В.

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ГАРАНТОВАНОЇ СМУГИ ПРОВОДКИ ТА ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ СУДЕН

Анотація Систематичний процес планування забезпечує розробку детального і відповідного плану переходу, що дозволяє судноводію завчасно реагувати на критичні ситуації та важливі зони у процесі руху судна. Процес оцінки полягає у зборі, обробці та аналізі всієї інформації про навігаційну обстановку. Даний процес дозволяє судноводію чітко і точно визначати й окреслювати всі зони, в яких можуть виникнути небезпечні ситуації. Навігаційна обстановка характеризується високою інтенсивністю територіальної активності (вантажні та пасажирські перевезення, видобуток корисних копалин, дослідження, оборонна діяльність, рибний промисел, тощо), множиною навігаційних небезпек (дно має складний рельєф, малі глибини, лід, течії, вплив суші) та мінливістю гідрометеорологічних умов. На ходовому містку для відображення та аналізу територіальної ситуації використовуються різні геоінформаційні засоби. Особливістю судових геоінформаційних систем є їхня орієнтація на вирішення широкого кола задач. Проте, для реалізації цілісного та систематичного підходу щодо реалізації концепції *e-Navigation*. Необхідно виконувати гармонізований збір, інтеграцію, обмін, подання та аналіз навігаційної інформації між судном та береговими службами за допомогою електронних засобів. Тому доцільно розглянути можливість створення апарату формалізації навігаційної обстановки, що дозволяє однозначно розділити інформацію та механізми її обробки у процесі моделювання. В роботі удосконалено математичну модель навігаційної обстановки для планування гарантованої смуги проводки та планування оптимального маршруту переходу суден, основу якої, на відміну від відомих, складає формалізм дискретних дієвих систем з елементами нечіткого логічного виведення, що дозволяє підвищити оперативність і точність моделювання складної навігаційної обстановки з великою кількістю навігаційних небезпек.

Ключові слова: *voyage planning, e-Voyage, e-Navigation, навігаційна обстановка, маршрут переходу, смуга проводки.*

Постановка проблеми. Інтенсифікація судноплавства на світових морських шляхах робить актуальним розвиток інтелектуальних сервісів, спрямованих на підвищення ефективності морських перевезень і зниження ризиків експлуатації суден. Одним з найбільш

важливих завдань у цій сфері є вироблення відповідних рішень для автоматичного корегування (зміни) плану переходу судна в динамічних умовах зміни навігаційної обстановки. Важливою особливістю вирішення даного завдання врахування того, що робота судоводія протікає в режимі реального часу, що накладає жорсткі часові обмеження на процеси вироблення та прийняття рішень і вимагає побудови сценаріїв запобігання ситуацій, що можуть знизити рівень безпеки переходу. Зазначені обставини зумовлюють необхідність розробки адекватних до вимог МППЗС-72 математичних моделей, придатних, для опису ситуацій, що склалася в даний момент та прийняття рішень з управління судном у реальному часі, в умовах динамічної навігаційної обстановки.

Аналіз сучасних підходів щодо побудови математичних моделей навігаційної обстановки [1] для планування маршруту судна показує, що в них є недоліки, що полягають:

- 1) невизначеність співвідношення району плавання та гарантованого маршруту судна;
- 2) суб'єктивний характер цільової функції переходу;
- 3) можливий пропуск навігаційних небезпек при неповному аналізі району плавання;
- 4) можливе перекриття зон навігаційної безпеки руху судна побудованих навколо зон навігаційних небезпек, що закриває доступні проходи між ними;
- 5) неповне або часткове врахування правових обмежень документів, що регламентують рух та безпеку на морі;

Дані недолік характеризують відсутність комплексності врахування всіх в існуючих математичних моделях навігаційної обстановки що застосовуються для планування гарантованої смуги проводки та планування оптимального маршруту переходу суден

Основна складність практичної реалізації полягає в тому, що комплексне рішення задачі планування гарантованої смуги проводки та планування оптимального маршруту переходу вимагає відповідності математичної моделі навігаційної обстановки до реальних умов змінюваного навколишнього середовища та об'єктів. Тому вирішення завдання планування маршруту повинна включати:

- геоінформаційний елемент — моделі моніторингу та прогнозування динаміки зміни навігаційної обстановки в районі плавання протягом всього часу його проходження;
- технологічний компонент — модель руху судна, яка враховує експлуатаційні можливості судна;
- економічна складова — критерії та обмеження вирішуваного завдання, які виражені в універсальних виразах;

Математична модель навігаційної обстановки повинна задовольняти наступним вимогам:

- рух суден в районі плавання поточної навігаційної обстановки розглядається як цілеспрямована дія, метою якої є запобігання зіткненню з навігаційними перешкодами, при цьому керуючись вимогами МППЗС-72;
- прогнозування процесу розвитку навігаційної обстановки необхідно виконувати на основі сценарного підходу, враховуючи динамічні моделі руху суден;
- реальний процес переходу судна проходить в умовах складної групової взаємодії;
- кількість можливих сценаріїв розвитку навігаційної обстановки, необхідно скоротити, виходячи з обмежень МППЗС-72, так і з динаміки змін ключових параметрів руху суден (ліній відносного руху, пеленгів та швидкостей).

Враховуючи те, що процес зміни навігаційної обстановки є динамічним і безперервним в часі, на модель застосовуються такі припущення:

- зміна стану навігаційної обстановки впливає на об'єкти, що моделюються;
- опис руху кожного судна з використанням системи диференціальних рівнянь є складним через суттєву кількість об'єктів моделювання;
- облік гідродинамічних факторів, що характеризують стан моделі судна у кожний момент часу не є необхідним у рамках вирішення поставленого завдання;
- зміна ситуацій навігаційної обстановки носить стохастичний характер;

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню наукового завдання автоматичного планування гарантованої смуги проводки та планування оптимального маршруту переходу суден присвячено значну кількість досліджень. В загальному виділяють три напрямки: автоматичне планування маршруту, відстеження маршруту та уникнення зіткнень [2]. Планування маршруту передбачає розробку глобального шляху переходу в якому визначаються основні статичні перешкоди (земна поверхня, рифи та ін.). В роботі [3] віддано перевагу розробці маршруту планування на основі точок шляху та запропоновано ефективний контролер для спрямування суден під час навігації. Оскільки судно має велику інерцію, що важко контролювати, для руху по довільних кривих, коли їх швидкість не змінюється. Тому розглядати лише кінематичні обмеження для планування маршруту не в повній мірі відповідає вимогам щодо планування маршруту. У роботах [4, 5] розглядається глобальне та локальне планування траєкторії судна як об'єкта керування. Рекомендований маршрут переходу даних суден зазвичай виражається набором точок. Ця модель представлення маршруту переходу є розповсюдженою в морській практиці. В роботах [6, 7] запропоновано планувати маршрут під час переходу, враховуючи такі фактори, як погодні умови, уникнення перешкод та ін. Для реалізації алгоритмів даних алгоритмів, необхідно виконати пошук та вибір маршруту для суден серед альтернативних маршрутів, визначених у просторі карти. Першим кроком є визначення всіх альтернативних маршрутів, через які судно безпечно розходиться з навігаційними небезпеками на просторі карти. Реалізація даного підходу за рахунок методів клітинної декомпозиції та дорожньої карти реалізовано в роботах [8, 9].

В роботі [10] запропоновано модель для створення маршруту, для зменшення витрат палива або часу навігації за допомогою генетичного алгоритму. В роботі [11] використано модель для реалізації алгоритму Дейкстри. Крім того, в [12] показано модель побудови маршруту, використовуючи дані про погоду, відповідно до керівних принципів ІМО з планування навігації [13]. У цьому дослідженні розглянуто створення гарантованих маршрутів для забезпечення безпеки від перешкод у складних прибережних водах. В статті [14] прийнято модель подання квадратного дерева для аналізу змін у великих морських середовищах для підвищення ефективності обчислень. Алгоритм A^* використовувався для пошуку шляху, та запропоновано нову евристичну функцію. У роботі [15] побудовано діаграму Вороного на узбережжі Сінгапуру, з використанням графіків видимості. Це дозволяє видалити непотрібні точки з маршруту, розрахованого за діаграмою Вороного.

У дослідженні [16] запропоновано метод генерації шляху, який поєднує квадродерева та графіки видимості в прибережних водах і встановлює відстань від перешкод з урахуванням інформації про глибину води. Для визначення перешкод у просторі карти та створення маршруту в роботі [17] запропоновано модель перешкод на основі супутникових зображень. У статті [18] створено маршрути розходження з перешкодами за допомогою моделі обробки зображень на основі зображення землі для проведення рятувальних робіт з використанням човнів у затопленому середовищі.

Проте, в наведених роботах не в повній мірі розкриті питання побудови математичних моделей навігаційної обстановки для планування гарантованої смуги проводки та планування оптимального маршруту переходу суден.

Мета дослідження є підвищення обґрунтованості оцінки навігаційної обстановки та вироблення рекомендацій в системі e-Voyage в процесі планування маршруту переходу судна.

Основні результати дослідження.

Математична модель навігаційної обстановки застосовується на третьому та четвертому етапі планування [19], а саме виконання та моніторинг. Враховуючи це можна зробити припущення, що для забезпечення безпеки руху судна, необхідно визначити ситуацію, що складається при даних значення навігаційної обстановки. В загальному вигляді навігаційну обстановку в районі плавання в заданий момент часу $E^{nav}(t)$ можна задати приналежністю до певної навігаційної ситуації з множини S^{nav} :

$$E^{nav}(t) \in s_i^{nav}, \text{де } s_i^{nav} \in S^{nav}. \quad (1)$$

При виборі маршруту в процесі планування з множини допустимих маршрутів вибирається той, для якого досягаються найкращі значення показники наступних критеріїв якості:

- економічних (витрати палива на перехід судна);
- термінальні (збільшення (зменшення) часу переходу судна);
- безпекові (зниження (підвищення) ризиків щодо нанесення збитків як життю та здоров'ю членів екіпажу, пасажирів, так і вантажу).

Відповідно до даних критеріїв визначених вище критеріїв множини S^{nav} можна визначити як:

$$S^{nav} = \{s_1^{nav}, s_2^{nav}, s_3^{nav}, s_4^{nav}, s_5^{nav}, s_6^{nav}, s_7^{nav}\} \quad (2)$$

де s_1^{nav} – ситуація штатна;

s_2^{nav} – ситуація екстремальна;

s_3^{nav} – ситуація позаштатна;

s_4^{nav} – ситуація небезпечного зближення;

s_5^{nav} – ситуація зіткнення;

s_6^{nav} – ситуація аварійна;

s_7^{nav} – ситуація катастрофічна;

Запропонована множина поділу ситуацій відповідно до умов навігаційної обстановки в даний момент часу може розглядатися як інструмент підвищення достовірності вироблення сигналів безпеки, подолання невизначеності, пов'язаних із множинністю можливих управлінських рішень, правил МППЗС-72 (інших регламентуючих документів) та вирішення проблеми генерації хибної тривоги. Також, може використовуватися як джерело вхідних даних для вироблення можливих управлінських рішень в автоматизованих інформаційних системах (AIS, ECDIS) та системах управління рухом судна (СУРС).

Модель навігаційної обстановки є базовою моделлю при розробці маршруту в процесі планування переходу. Тобто модель повинна інкапсулювати як вплив зміни навігаційної обстановки на елементи маршрутизації судна, так і моделі, що необхідні для визначення управлінських впливів судноводія на судно. Стан системи "навігаційна обстановка – судно – судноводій" визначається топологією та характером взаємозв'язку її елементів, звідси поведінка системи зіставляється з ситуаціями виражаними через вплив на показники критеріїв якості маршруту переходу. В загальному перехід від штатної ситуації s_1^{nav} до інших ситуацій $s_i^{nav} \in S^{nav}$ відбувається у разі надходження до системи дискретних подій (погіршення метеоумов, поява навігаційної небезпеки, тощо) у відповідні проміжки часу. Тому в такій постановці систему "навігаційна обстановка – судно – судноводій" можна віднести до систем дискретного часу процес переходу між ситуаціями відбувається через різні за тривалістю проміжки часу, тривалість яких корелюється з впливом зовнішніх факторів навігаційної обстановки, а зміна станів системи виражається у вигляді подій. За допомогою математичного апарату формалізму дискретних дієвих систем (DEVС) [20], описуються системи, побудовані з урахуванням ієрархічної сукупності взаємодіючих об'єктів. На відміну від безперервних систем, взаємодія системи з довкіллям відбувається у вигляді надходження у систему дискретних подій у довільні проміжки часу. Переваги такого формалізму зумовлюються успадкуванням математичного апарату теорії динамічних систем. Зазначений формалізм дозволяє поєднувати

елементи як безперервної, і дискретної парадигм у межах одного об'єкта моделювання. Ще одна перевага полягає у можливості синтезу моделі шляхом комбінування атомарних складових у більш складні об'єкти; у свою чергу, отримані об'єкти можуть брати участь у побудові ще складніших.

В загальному виді математичну модель навігаційної обстановки на основі формалізму дискретних дієвих систем (DEVS) можна описати виразом:

$$E^{nav} = \left(S^{nav}, X^{evnt}, W^{plan}, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, T^{S^{nav}} \right), \quad (3)$$

де S^{nav} – множина дискретних навігаційних ситуацій;

X^{evnt} – множина вхідних подій;

W^{plan} – модель запланованого маршруту переходу;

$\delta_{int} : M^{ship} \times W^{plan} \rightarrow S^{nav}$ – внутрішня функція переходу в множині навігаційних ситуацій, що визначає зміну ситуацій, у відповідності до відношення моделі руху судна (M^{ship}) та моделі запланованого маршруту (W^{plan});

$\delta_{ext} : M^{evnt} \times X^{evnt} \rightarrow S^{nav}$ – зовнішня функція переходу, що визначає зміну навігаційної, викликану впливом вхідних подій X^{evnt} та їх моделями M^{evnt} ;

λ – функція генерації подій;

$T^{S^{nav}}$ – функція, що визначає граничний час знаходження судна у даній ситуації.

Кожна навігаційна небезпека характеризується множиною моделлю, що описує можливі траєкторії руху та області безпеки по відношенню до власного судна. Тому для генерації події, що викликана появою переходом об'єкта на морі в категорію навігаційної небезпеки необхідно визначити зони в яких буде здійснюватися моніторинг. У коментарях до МППЗС-72 наступні поняття (рис. 2.5):

- зона оцінки ситуації ($Z^{s^{nav}}$);
- зона маневрування (Z^{mvnr});
- зона надмірного зближення (Z^{col}).

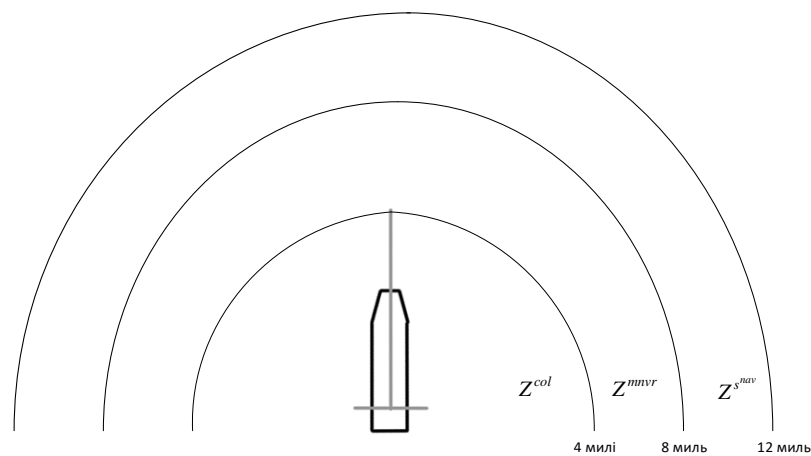


Рисунок 2.5 – Зони, що характеризують процес розходження суден з навігаційними небезпеками

Розглянемо навігаційну ситуацію S^{nav} , що описує навігаційну обстановку $E^{nav}(t)$ у заданій зоні навколо власного судна у певний час t . Нехай S^{nav} характеризується наявністю в зоні оцінки ситуації ($Z^{s^{nav}}$) об'єктів, які представлені:

$$M_i^{obj} = \{x, y, V, \psi, \Delta V, \Delta \psi, Z^{safe}\}, \quad (4)$$

де x, y – поточні координати об'єкта;

V – швидкість об'єкта;

ψ – курс об'єкта;

$\Delta V, \Delta \psi$ – похідні, що визначають динаміку зміни V, ψ ;

Z^{safe} – зона безпеки навколо об'єкта.

Кожний i -тий об'єкт в момент часу t характеризується множиною можливих траєкторій руху по відношенню до власного судна, що можна представити:

$$U_i^{obj} = (M_i^{obj}, \Omega_i^{obj}), \quad (5)$$

де Ω_i^{obj} – множина статичних та динамічних обмежень, до яких відносяться:

$$\Omega_i^{obj} = (\omega_1^{obj}, \omega_2^{obj}, \omega_3^{obj}, \omega_4^{obj}), \quad (6)$$

- наявні навігаційні обмеження руху в зоні $Z^{s^{nav}} - \omega_1^{obj}$;

- вимоги МППЗС-72 – ω_2^{obj} ;

- вимоги критеріїв безпечного розходження по мінімальній безпечній дистанції зближення, часу зближення, пеленгу або курсового кута ЛОД – ω_3^{obj} ;

- обмеження, зумовлені кінематичними параметрами руху об'єкту та їх маневрених характеристик – ω_4^{obj} .

Тоді функція генерація події має вид:

$$\lambda = \begin{cases} 2, & U_i^{obj} \xrightarrow{T_{pred}} \mu_{M_i^{obj}}(x, y) \in Z^{Z^{col}} \\ 1, & U_i^{obj} \xrightarrow{T_{pred}} \mu_{M_i^{obj}}(x, y) \in Z^{mnvr} \\ 0, & U_i^{obj} \xrightarrow{T_{pred}} \mu_{M_i^{obj}}(x, y) \notin Z^{mnvr} \end{cases} \quad (7)$$

Генерація події, виконується коли можлива траєкторія руху об'єкта за встановлений час прогнозу T_{pred} приводить до попадання об'єкта із зони $Z^{s^{nav}}$ в зону Z^{mnvr} та викликає потребує корегування плану W^{plan} . При цьому U_i^{obj} визначається як модель події M^{evnt} .

Відповідно ситуація $s_1^{nav} \in S^{nav}$ є штатною коли:

$$s_1^{nav} = \begin{cases} X^{evnt} \in \emptyset \\ \lambda = 0 \\ T^{S^{nav}} = T^{W^{plan}} \\ \delta_{int} : \tilde{A}(M^{ship}, W^{plan}) \circ R(M^{ship}, W^{plan}, s_1^{nav}) \xrightarrow{T_{pred}} s_1^{nav} \end{cases}, \quad (8)$$

де $\tilde{A}(M^{ship}, W^{plan}) \circ R(M^{ship}, W^{plan}, s_1^{nav}) \xrightarrow{T_{pred}} s_1^{nav}$ – нечітка імплікація побудована на продукційних правилах, яка визначає зміну ситуацій, у відповідності до відношення моделі руху судна та моделі запланованого маршруту на заданий час прогнозу T_{pred} .

Відповідно ситуація $s_2^{nav} \in S^{nav}$ є екстремальною, якщо подія, що виникла, вимагає від судноводія корегування параметрів руху судна (M^{ship}), зберігаючи задані показники якості (економічні, часові безпекові) та за заданий час повернутися до штатної ситуації не відхиляючись від заданих параметрів маршруту переходу:

$$s_2^{nav} = \begin{cases} X^{evnt} \notin \emptyset \\ \lambda = 1 \\ T^{S^{nav}} = T^{trans} \\ \delta_{ext} : \tilde{A}(M_i^{evnt}, X_i^{evnt}) \circ R(M_i^{evnt}, X_i^{evnt}, s_1^{nav}) \xrightarrow{T_{pred}} s_2^{nav} \\ \delta_{int} : \tilde{A}(M^{ship}, W^{plan}) \circ R(M^{ship}, W^{plan}, s_2^{nav}) \xrightarrow{T_{trans}} s_1^{nav} \end{cases}, \quad (9)$$

де T_{trans} – заданий час переходу з $s_2^{nav} \rightarrow s_1^{nav}$.

Ситуація $s_3^{nav} \in S^{nav}$ є позаштатною якщо за заданий час T_{trans} ситуація не переходить в штатну, що потребує від судноводія зміни параметрів руху судна (M^{ship}), зосередившись на забезпеченні безпекового та одного з інших показників якості (економічні, часові) та недопущенні переходу позаштатної ситуації в ситуацію небезпечного зближення s_4^{nav} :

$$s_3^{nav} = \begin{cases} X^{evnt} \notin \emptyset \\ \lambda = 1 \\ T^{S^{nav}} = T^{trans} \\ \delta_{ext} : \tilde{A}(M_i^{evnt}, X_i^{evnt}) \circ R(M_i^{evnt}, X_i^{evnt}, s_2^{nav}) \xrightarrow{T_{pred}} s_3^{nav} \\ \delta_{int} : \tilde{A}(M^{ship}, W^{plan}) \circ R(M^{ship}, W^{plan}, s_2^{nav}) \xrightarrow{T_{trans}} s_1^{nav} \end{cases}, \quad (10)$$

Ситуація $s_4^{nav} \in S^{nav}$ є ситуацією небезпечного зближення якщо за заданий час прогнозу, об'єкт, що викликав подію знайде зону надмірного зближення з власним судном. Судноводій має змінити параметрів руху судна (M^{ship}), зосередившись на забезпеченні лише одного з показників якості (безпекового) та недопущенні переходу ситуації небезпечного зближення в ситуацію зіткнення s_4^{nav} :

$$s_4^{nav} = \begin{cases} X^{evnt} \notin \emptyset \\ \lambda = 2 \\ T^{S^{nav}} \leq T^{col} \\ \delta_{ext} : \tilde{A}(M^{evnt}, X^{evnt}) \circ R(M^{evnt}, X^{evnt}, s_3^{nav}) \xrightarrow{T_{pred}} s_4^{nav} \\ \delta_{int} : \tilde{A}(M^{ship}, W^{plan}) \circ R(M^{ship}, W^{plan}, s_3^{nav}) \xrightarrow{T_{trans} < T^{col}} s_1^{nav} \text{ or } s_2^{nav} \end{cases}, (11)$$

Ситуація $s_5^{nav} \in S^{nav}$ є ситуацією зіткнення якщо за заданий час прогнозу, $Z_{nsft} \in Z^{safe}$ та переходить в аварійну ситуацію s_6^{nav} . Судноводій має змінити параметрів руху судна (M^{ship}), зосередившись на підвищенні лише одного з показників якості (безпекового) та недопущенні переходу ситуації зіткнення в катастрофічну ситуацію s_7^{nav} :

$$s_5^{nav} = \begin{cases} X^{evnt} \notin \emptyset \\ \lambda = 2 \\ T^{S^{nav}} > T^{col} \\ \delta_{ext} : \tilde{A}(M^{evnt}, X^{evnt}) \circ R(M^{evnt}, X^{evnt}, s_4^{nav}) \xrightarrow{T_{pred}} s_5^{nav} \\ \delta_{int} : \tilde{A}(M^{ship}, W^{plan}) \circ R(M^{ship}, W^{plan}, s_5^{nav}) \xrightarrow{T_{trans} > T^{col}} s_6^{nav} \end{cases}. (12)$$

Ситуація є аварійною $s_6^{nav} \in S^{nav}$, коли при зіткненні судна з об'єктом, судно та вантаж зазнає збитків проте залишається на плаву;

Ситуація є катастрофічною s_7^{nav} – коли при зіткненні судна з об'єктом, судно втрачає плавучість та зазнають збитків життя та здоров'я екіпажу та вантаж.

Висновки. У процесі планування переходу від "причалу" до "причалу" задля забезпечення навігаційної безпеки судна необхідне використання всієї наявної інформації для складання максимально повної картини навігаційної обстановки. Розробка судноводієм детальної уявної моделі переходу судна від початкової до кінцевої точки маршруту перед початком кожного плавання є запорукою безпечного виконання кожного рейсу. Особлива увага у процесі реалізації плану приділятиметься моніторингу ходу його виконання.

Удосконалено математичну модель навігаційної обстановки для планування гарантованої смуги проводки та планування оптимального маршруту переходу суден, основу якої, на відміну від відомих, складає формалізм дискретних дієвих систем з елементами нечіткого логічного виведення, що дозволяє підвищити оперативність і точність моделювання складної навігаційної обстановки з великою кількістю навігаційних небезпек.

Введений апарат формалізації навігаційної обстановки дозволяє однозначно розділити інформацію та механізми її обробки у процесі моделювання. Крім того, даний формалізм дозволяє для моделювання систем динамічно додавати нові моделі, використовуючи як постійні, так і змінні часові інтервали.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий та ін. ; під заг. ред. В.В. Ауліна. – Кропивницький, 2020, – 428 с.
2. Liang C. Route planning and track keeping control for ships based on the leader-vertex ant colony and nonlinear feedback algorithms / C. Liang, X. Zhang, and X. Han. – *Appl. Ocean Res.*, vol. 101, 2020, doi.org/10.1016/j.apor.2020.102239
3. Chen P. Global path planning for autonomous ship: A hybrid approach of fast marching square and velocity obstacles methods / P. Chen, Y. Huang, E. Papadimitriou, J. Mou, and P. van Gelder. – *Ocean Eng.*, vol. 214, 2020, doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107793.
4. Kupraty O. Mathematical modeling trajectory of a ship as a control object in global planning / O. Kupraty. – *Transport development.*, vol. 1, no. 6, 2020. – pp. 40-55.
5. Mathematical modeling of the trajectory of a ship as a control object in local planning O. Kupraty // *Transport development.* vol. 339. – 2021. – pp. 1-13.
6. Lazarowska A. Trajectory base method for ship's safe path planning / A. Lazarowska. – *Procedia Computer Science*, vol. 96, 2016. – pp.1022–1031, 201
7. Lisowski J. Analysis of methods of determining the safe ship trajectory / J. Lisowski – *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 10, no. 2, 2016. – pp. 223-228,
8. Szlapczynska J. Multi-objective weather routing with customised criteria and constraints / J. Szlapczynska. – *Navig.*, vol 68., 2015, – 338–354.
9. Sen D. An approach for development of a ship routing algorithm for application in the north Indian ocean region / D. Sen, C.P. Padhy. – *Appl. Ocean Res.*, vol 50, 2015. – pp. 173–191.
10. Vettor R. Development of a ship weather routing system / Vettor R.; Guedes Soares C. – *Ocean Eng.*, 2016, vol 123. – pp. 1-14.
11. IMO. IMO Resolution A. 893(21) Guidelines for Voyage Planning; IMO: London, UK, 1999.
12. Shah B.C. Long-distance path planning for unmanned surface vehicles in complex marine environment / Shah B.C., Gupta, S.K. – *J. Ocean. Eng.*, 2019, vol 45. – pp. 813-830.
13. Niu H.L. Voronoi-visibility roadmap-based path planning algorithm for unmanned Surface vehicles / Niu H.L.; Savvaris A.; Tsourdos A.; Ji Z.J. – *Navig.*, 2019, vol 72. – pp. 850-874.
14. Lee W.H. Visibility graph-based path-planning algorithm with quadtree representation / Lee W.H.; Choi G.H.; Kim T.W. – *Appl. Ocean Res.*, 2021, vol. 117, – pp. 1-13. doi.org/10.1016/j.apor.2021.102887
15. Shi B. Obstacles modeling method in cluttered environments using satellite images and its application to path planning for USV / Shi B., Su Y., Zhang H., Liu J., Wan L. – *Archit. Ocean Eng.*, 2018, vol. 11. – pp. 202-210.
16. Guruji A. K. Time-efficient A* algorithm for robot path planning / A. K. Guruji, H. Agarwal, D. K. Parsediya. – *Procedia Technol.*, 2016, vol. 23. – pp. 144–149.
17. Daniel K. Theta*: Any-angle path planning on grids / Daniel K., Nash A., Koenig S., Felner A. – *J. Artif. Intell. Res.*, 2010, vol. 39, pp. 533-579.
18. Nash A. Any-angle path planning / Nash A., Koenig S. – *AI Mag.*, 2013, vol. 34, no. 4. – pp. 85–107.
19. C. Dyrzcz Voyage planning and weather / C. Dyrzcz// – Polish Naval Academy.– Gdynia, 2020. 132 p.
20. Sprock T. Theory of discrete event logistics systems (DELS) specification / G. Thiers L. F. McGinnis, C. Bock // National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg, 2020. 65 p.

Dudchenko S.V.

IMPROVEMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE NAVIGATION ENVIRONMENT FOR PLANNING A GUARANTEED WIRING LANE AND PLANNING THE OPTIMUM ROUTE OF THE PASSAGE OF VESSELS

A systematic planning process ensures the development of a detailed and appropriate transition plan, which allows the shipmaster to respond in advance to critical situations and important areas during the ship's movement. The assessment process consists in collecting, processing and analyzing all information about the navigational situation. This process allows the shipmaster to clearly and accurately identify and delineate all areas where dangerous situations may arise. The navigation situation is characterized by a high intensity of territorial activity (freight and passenger transportation, mining, research, defense activities, fishing, etc.), a multitude of navigational hazards (the bottom has a complex topography, shallow depths, ice, currents, the influence of land) and the variability of hydrometeorological conditions. Various geo-information tools are used on the drawbridge to display and analyze the territorial situation. A feature of ship geoinformation systems is their focus on solving a wide range of problems. However, to implement a holistic and systematic approach to the implementation of the concept of e-Navigation. Harmonized collection, integration, exchange, presentation and analysis of navigational information between ship and shore services by electronic means should be carried out. Therefore, it is expedient to consider the possibility of creating an apparatus for formalizing the navigation situation, which allows unambiguous separation of information and mechanisms of its processing in the modeling process. The work improves the mathematical model of the navigation situation for planning the guaranteed routing lane and planning the optimal route for the passage of vessels, the basis of which, unlike the known ones, is the formalism of discrete effective systems with elements of fuzzy logical derivation, which allows to increase the efficiency and accuracy of modeling a complex navigation situation with a large the number of navigational hazards.

Keywords: *voyage planning, e-Voyage, e-Navigation, navigation situation, transition route, wiring lane.*

УДК 621.431.017.7.018.2

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.30

Шапран Ю.Є.

АНАЛІЗ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИЗЕЛЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВОДИ В ЯКОСТІ ПРИСАДКИ ДО ПАЛИВА

Дане дослідження полягає у поліпшенні екологічних властивостей суднових дизельних установок за допомогою використання водопаливної емульсії. У ході проведеного дослідження виконано аналіз стану екологічності сучасних суднових енергетичних установок (СЕУ), визначено норми викидів шкідливих речовин; обґрунтовано застосування водопаливної емульсії для підвищення екологічності СЕУ; проведено теоретичне дослідження процесу кавітації у краплі водопаливної емульсії та досліджено робочий процесу дизеля на дизельному паливі з присадкою води.

Ключові слова: суднова енергетична установка, паливо, екологічність, екологія, енергетична ефективність.