
6. Mason W. P. Piezoelectricity, its history and applications // J. Acoust. Soc. Am. – 1981. – 70, N 6. – P. 1561 – 1566.

7. Munk E. C. The equivalent electrical circuit for radial modes of a piezoelectric ceramic disk with concentric electrodes // Phillips Res. Rep. – 1965. – 20. – P.170-189.

8. Shul'ga N. A., Levchenko V. V., Mekievskii O. I. Non-axisymmetric Electroelastic Vibrations of Piezoceramic of Ring Plates with Radial Cuts of Electrodes // Int. Appl. Mech. – 2012. – 48, N4. – P. 94-104.

Левченко В.В., Безверхий О.І., Макієвський О.І.

ГАРМОНІЧНІ КОЛИВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КІЛЬЦЕВОЇ ФОРМИ З АЗИМУТАЛЬНИМИ РОЗРІЗАМИ ЕЛЕКТРОДІВ

Одержано загальний розв'язок задачі про електромеханічні коливання п'єзокерамічної кільцевої пластини. Для пластин з радіальними розрізами електродного покриття при різних умовах закріплення (вільний край – вільний край та жорстке закріплення – жорстке закріплення) чисельно визначено і проаналізовано спектри власних частот коливань і залежність форм коливань від числа і геометрії розрізів.

Ключові слова: п'єзокерамічна кільцева пластинка, радіальні розрізи покриття електродів, неосесиметричні електромеханічні коливання, спектри власних частот.

Levchenko V., Bezverkhyi O., Mekievskiy O.

HARMONIC OSCILLATIONS OF PIEZOELECTRIC ELECTROMECHANICAL CONVERTERS OF THE RING FORM WITH AZIMUTHAL SECTIONS OF ELECTRODES

The general solution of problem electromechanical vibrations of piezoceramic ring plate is obtained. For the plates with radial cuts of electrode covering and for boundary conditions rigid clamping - free edge, free edge - rigid clamping e the spectra of natural frequencies of vibrations are mode shapes for the first harmonics in the circumferential coordinate are identified are numerically determined and analyzed

Keywords. piezoceramic ring plate, radial cuts of electrode covering, non-axisymmetric electromechanical vibrations, spectra of natural frequencies.

УДК 629.05

Доронін В.В., Алєйніков М.В., Алєйніков В.М.

ЗАСТОСУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ НА ВВШ УКРАЇНИ

У статті запропоновано метод вибору критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи, що відображає ефект від застосування інструментального методу навігації на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS на ВВШ України. Здійснена математична формалізація критеріальних визначень з використанням моделі неорієнтованого графа, що сприятиме підвищенню безпеки руху водних транспортних засобів з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Ключові слова: безпека судноплавства, інструментальний метод навігації, функціональна стійкість, критеріальні визначення, неорієнтований граф, електронно-картографічна система.

Вступ. У ХХІ столітті річковий транспорт стає одним з найважливіших елементів транспортних перевезень, а його розвиток – потужним каталізатором економічного зростання та обороноздатності держави. В сучасних умовах глобальною вимогою розвитку і використання річкового транспорту на ВВШ України є безпека судноплавства.

Ефективним механізмом експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень є перехід на інструментальний метод навігації та подальше підвищення безпеки руху ВТЗ на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) України. Застосування теорії функціональної стійкості при інструментальному методі навігації на ВВШ України включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ щодо вирішення нової наукової проблеми.

Розвиток річкових електронно-картографічних систем (*Inland ECDIS*) значно впливає на підвищення ефективності експлуатації ВТЗ, а це передбачає розробку додаткових програмних, інформаційних та інструментальних засобів оперативного синтезу дієвих систем підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.

Постановка проблеми. Функціонування суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури ВВШ України при інструментальному методі навігації можна віднести до розподіленої ієрархічної інтелектуалізованої системи управління складного технічного об'єкта. При інструментальному методі навігації реальний процес функціонування системи суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури повинен відповідати розрахунковому. Стійкість функціонування такого методу заснована на аналізі цілого ряду факторів, які в даний час не враховуються у зв'язку з використанням приблизних моделей. Слід зазначити, що проблема визначення функціональної стійкості такої складної організаційної системи, як система забезпечення інструментального методу навігації (СЗІМН) на ВВШ України, на сьогоднішній день залишається відкритою.

Теорія функціональної стійкості СЗІМН передбачає нові підходи щодо вирішення наукової проблеми та включає сукупність логічно пов'язаних між собою концептуальних, теоретичних і технологічних основ. В теоретичних основах основна керівна ідея забезпечення функціональної стійкості СЗІМН повинна досліджуватися за допомогою науково-обґрунтованих підходів, методів, методик, алгоритмів і математичних моделей. Технологічні основи відображають практичну сторону використання основної ідеї СЗІМН на всьому життєвому циклі системи.

Таким чином, теорія функціональної стійкості СЗІМН висуває наступні основні напрями досліджень: математична формалізація критеріальних визначень, розробка методів підвищення функціональної стійкості; визначення найефективніших засобів підвищення їх функціональної стійкості.

Мета роботи. Стаття присвячена вибору критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи, що відображає ефект від застосування інструментального методу навігації на базі електронно-картографічних систем *Inland ECDIS* на ВВШ України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Залежно від призначення системи застосовуються різні варіанти понять стійкості – стійкість по Ляпунову, стійкість по ймовірності, стійкість по Лагранжу та інше. Це поняття відноситься не до даного об'єкта, а тільки до якої-небудь його властивості. Для різних систем розроблено достатньо багато методів аналізу стійкості: методи Ляпунова, Гурвіца, Михайлова, Попова та інше. В класичній теорії стійкості розроблено критерії, за якими можна встановити факт стійкості системи.

Поняття функціональної стійкості для динамічної системи вперше визначено у роботах професора Машкова О.А. Теорію побудови функціонально-стійких розподілених

автоматизованих систем управління запропоновано професором Барабашем О.В. Даний підхід базується на оцінках зв'язності графів мережі. Є також інші підходи щодо забезпечення функціональної стійкості для навігаційних систем спеціального призначення (професор Кравченко Ю.В.).

Слід зазначити, що класичні підходи теорії стійкості для сучасних систем, засновані на активному використанні методів штучного інтелекту, часто не відповідають вимогам щодо адекватності й надійності оцінок стійкості функціонування таких систем. Разом з тим, моделі і методи теорії функціональної стійкості залежать від предметної області їх застосування.

Викладення основного матеріалу. Інструментальний метод навігації на базі електронно-картографічних систем *Inland ECDIS* повинен оптимізуватися за комплексом критеріїв, що характеризують виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання $P_{\text{он}}$ для конкретних умов руху ВТЗ:

$$P_{\text{он}} = 1 - \exp(-D_{\text{min}}/M)^2, \quad (1)$$

де D_{min} – найкоротша відстань до найближчої небезпеки;

M – СКП зчислюваного місця ВТЗ у точці найкоротшої відстані до найближчої небезпеки.

У [4] наведено основну відмінність стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості. Що стосується інструментального методу навігації на ВВШ України, то стійкість функціонування такої системи характеризує зміну екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи.

$$\begin{aligned} \forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0, \quad V[(x_0, y_0), (x_0^1, y_0^1)] < \Delta_{x,y} \Rightarrow \\ \Rightarrow V\{(x, y)[t, (x_0, y_0)], (x, y)[t, (x^1, y^1)]_0\} < E, \quad \forall t \in (0, \infty), \end{aligned}$$

де (x_0, y_0) – екранні координати при розрахунковому стані системи;

(x_0^1, y_0^1) – екранні координати при зміненому стані системи;

v – векторний простір (x_0, y_0) ;

E – раціональні числа, що показують відхилення зміненого стану системи від розрахункового.

Функціональна стійкість такої системи характеризує відхилення основних функцій від екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи.

$$\begin{aligned} \forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0, \quad V[f(x_0, y_0), f(x_0^1, y_0^1)] < \Delta_{x,y} \Rightarrow \\ \Rightarrow V\{f(x, y)[t, (x_0, y_0)], f(x, y)[t, (x^1, y^1)]_0\} < E, \quad \forall t \in (0, \infty), \end{aligned}$$

де $f(x, y)$ – функція від координат руху при розрахунковому та зміненому стані системи.

Таким чином, функціональна стійкість системи забезпечення інструментального методу навігації (СЗІМН) є його властивість зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій в межах, встановлених нормативними вимогами в умовах протидії зовнішніх дестабілізуючих факторів.

На рис. 1 показані основні етапи функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України, що включає систему елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання.



*Рис. 1. Основні етапи функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України
(джерело: розроблено авторами)*

У процесі функціонування етапів функціональної стійкості берегової інфраструктури, суднового навігаційного обладнання СЗІМН не виключається ситуація, коли окремі її елементи можуть бути неоптимальними, а система в цілому оптимальною відповідно до встановлених вимог, у зв'язку з чим різновидність критеріїв найчастіше призводить до суперечності їх один одному. У цьому випадку задоволення всіх критеріїв є компромісним варіантом. При інструментальному методі навігації, окрім встановлення факту стійкості, повинен бути визначений запас стійкості, а також області стійкості у векторному просторі параметрів системи. СЗІМН є адаптивною системою, тобто вона має можливість перебудовуватися до зовнішніх умов для оптимального досягнення загальної мети.

Поняття надійності та функціональної стійкості СЗІМН внаслідок того, що вони виражають і характеризують якісну визначеність системи, співпадають у певному відношенні, і в той же час вони виражають різні критерії функціонування внутрішнього механізму системи. Забезпечення функціональної стійкості в даному випадку вимагає спеціального додаткового апаратного й програмного забезпечення, яке не враховується в безвідмовній системі.

Принциповим є те, що усунення наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом уже існуючих ресурсів шляхом усередині підсистем; зміни алгоритму функціонування СЗІМН; зміни режиму роботи її підсистем. Таким чином, на будь-яку позаштатну зміну стану СЗІМН на ВВШ України повинна бути вироблена реакція у вигляді набору керуючих впливів, спрямованих на нейтралізацію наслідків за мінімальний час з мінімальними втратами показників функціональної стійкості системи.

На рис. 2 показаний алгоритм реалізації функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України.

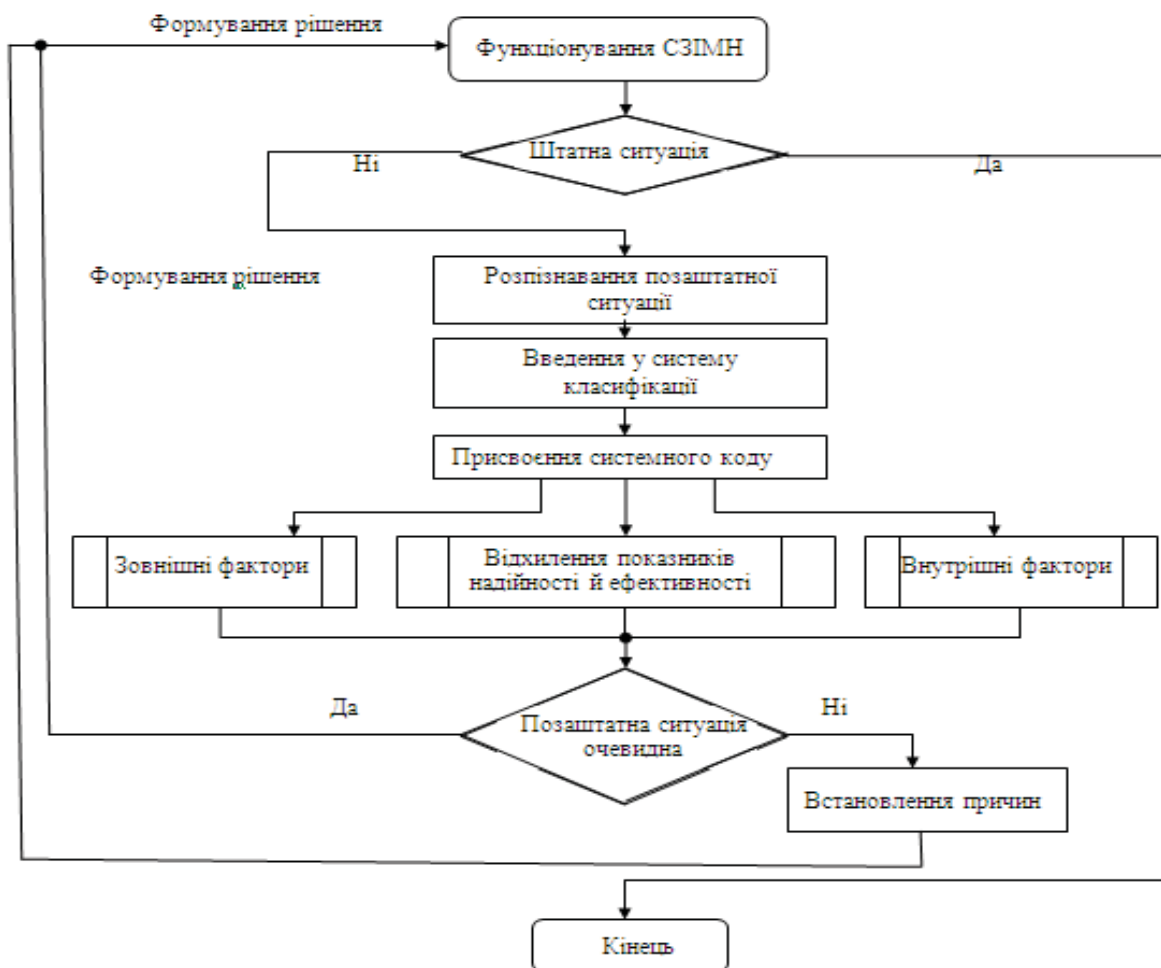


Рис. 2. Алгоритм реалізації функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України
(джерело: розроблено авторами)

СЗІМН є багатопозиційною телекомунікаційною системою. Звідси витікають основні вимоги до критеріїв забезпечення функціональної стійкості системи.

Використовуємо математичну модель у вигляді неорієнтованого графа у зв'язку з тим, що логічні зв'язки в СЗІМН є двосторонніми. У графі відсутні петлі й кратні ребра. Множина вершин V відповідає множині складових елементів СЗІМН потужності n , а множині ребер $\langle E, F \rangle$ відповідає множина функціональних зв'язків між складовими елементами СЗІМН.

$$G(V, \langle E, F \rangle), V = \{v_i\}, \langle E, F \rangle = \{ \langle e, f \rangle_{ij} \}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Тоді $\langle v, e, f \rangle$ характеризує конкретний стан СЗІМН,

де $v \subseteq V, |v| \leq |V|; e \subseteq E, |e| \leq |E|; f \subseteq F, |f| \leq |F|$.

$$\Delta v = v^+ \cap v^-, \quad \Delta e = e^+ \cap e^-, \quad \Delta f = f^+ \cap f^-,$$

де v^+, e^+, f^+ – збільшені значення $\{V, E, F\}$ складових елементів СЗІМН;

v^-, e^-, f^- – зменшені значення $\{V, E, F\}$ складових елементів СЗІМН.

$$|v^+|=|V|, \quad |e^+|=|E|, \quad |f^+|=|F|, \quad |v^-|<|V|, \quad |e^-|<|E|, \quad |f^-|<|F|.$$

Наприклад, аналіз основних критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ, представляє принциповий інтерес для застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України і можливостей їх реалізації за наступними значеннями:

– критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо габаритів суднового ходу V_1

$$v_1^- < k_1 \cdot V_1 \quad \text{за умови} \quad \left\{ \begin{array}{l} k_1 = 0,67 \quad \text{для односторон. руху,} \\ k_1 = 0,38 \quad \text{для двосторон. руху,} \\ k_1 = 0,35 \quad \text{для двосторон. руху} \\ \quad \quad \quad \text{з урахуванням ризику суден.} \end{array} \right.$$

– критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо радіусів заокруглення суднового ходу V_2 на ВВШ в районі перекатів

$$v_2^- < k_2 \cdot V_2,$$

де V_2 – радіус заокруглення суднового ходу,
 k_2 – коефіцієнт запасу.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу V_3

$$v_3^- < V_3 - \Delta_3,$$

де Δ_3 – осадка судна на стоянці;

V_3 – глибина суднового ходу/

Δ_3 – запас по глибині, який залежить від значення V_3 і типу ґрунту.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів шлюзів

$$v_4^- < V_4 \quad v_{4-1}^- < V_{4-1} - \Delta_{4-1};$$

$$v_{4-2}^- < \left\{ \begin{array}{ll} 0,8 \text{ м/сек} & \text{для вантажних составів,} \\ 1,0 \text{ м/сек} & \text{для одиночних самохідних суден,} \end{array} \right.$$

де V_4 – фактична довжина шлюзової камери;

V_{4-1} – фактична ширина шлюзової камери;

Δ_{4-1} – запас по ширині, що приймається в шлюзах України, $\Delta_{4-1} = 0,8$ м;

v_{4-2}^- – швидкість заходу суден до камери шлюзу.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів підходів до судноплавних шлюзів

$$v_5^- < 0,26 \cdot V_5, \quad v_{5-1}^- < 3 \cdot V_5, \quad \frac{V_5}{V_{5-2}} = 7,9.$$

де V_5, V_{5-2} – габарити підхідного каналу шлюзу;

v_{5-1}^- – радіус циркуляції судна.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів мостів

$$v_6^- < V_6 - 2 \cdot \Delta_6, \quad v_{6-1}^- < V_{6-1} - \Delta_{6-1},$$

де V_6 – гранична ширина суднового ходу при проході під мостами, позначена на картах;
 Δ_6 – максимальне відхилення від осі суднового ходу при проході під мостами;
 V_{6-1} – висота моста над фактичним рівнем води;

Δ_{6-1} – мінімальний запас по висоті, який залежить від V_{6-1} і характеру ВВШ: наявність течії або зрегульовані ділянки.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо висоти проводів повітряних ліній електропередачі

$$v_7^- < V_7 - \Delta_7,$$

де V_7 – найменша відстань проводів від фактичного рівня води;

Δ_7 – мінімальний запас по висоті, який залежить від напруги в лінії електропередачі.

Для суден внутрішнього плавання, у тому числі з динамічними засобами підтримки та ватерлінією обмеженої площі, реальну небезпеку становлять знаки плавучого огороження, якірні бочки, колоди, коріння дерев та ін. Для таких суден основною проблемою руху є відсутність надійних засобів і методів виявлення зазначених небезпек в темний час доби та в умовах обмеженої видимості та, як наслідок, відсутність відображення на електронно-картографічній системі. В навігації основним є метод руху, який полягає в безперервному веденні зчислення та в регулярному визначенні місця судна.

Безпека руху ВТЗ залежить, насамперед, від частоти і точності визначення місця, внаслідок чого визначення місця судна відносять до основних завдань експлуатації. Процес виміру та обробки експлуатаційних параметрів супроводжується похибками, які впливають на координати місця судна. Тому, для обґрунтування маневру ВТЗ з метою розбіжності з реальною небезпекою, електронно-картографічна система повинна виконувати оцінку точності визначення місця ВТЗ замість ручної обробки зазначеної інформації.

Нормативи точності знання координат у обмежених районах руху за наявності на судні сучасної супутникової навігаційної системи складають: допустима величина похибки визначення місця $e_1^- \leq 10$ м (з ймовірністю 0,95), інтервал дискретності поновлення координат $f_1^- \leq 2c$.

$$(1) \Rightarrow P_{\text{бн}} < P_{\text{зад}} \Rightarrow e_1^- = f(P_{\text{зад}}, t_d) \Rightarrow f_1^- = t_d - 2 \cdot t_{\text{обс}} \Rightarrow \text{побудова графіка } f(M_d, M_m). \quad (3)$$

Розрахунки (3) потрібно автоматизувати в *Inland ECDIS* по аргументах D і M , використовуючи

$$p_{\text{бн}} = 0,5[1 + \Phi(Z)],$$

де $\Phi(Z)$ – функція Лапласа, що визначається по аргументу $Z = D\sqrt{2/M}$.

При лоцманському проведенні суден на р. Дніпро кількісним критерієм безпеки руху є безпечна дистанція, яка характеризується мінімальною відстанню, яка вимірюється або визначається візуально між судном і небезпекою. Найбільш ймовірне зіткнення з небезпечними об'єктами, розташованими на гострих курсових кутах судна.

Визначення величини безпечних дистанцій v_8^+ для розходження з виявленими нерухомими небезпеками, використовуючи ребра в неорієнтованому графі (2), може визначатися за формулами, вказаними в [3]:

– при ухиленні від небезпеки активним чи пасивним гальмуванням судна

$$v_8^+ \geq V_8 - v \cdot \Delta_t - S_t - m_D - m_S,$$

де V_8 – дистанція виявлення небезпеки;

v – швидкість судна до моменту початку маневру ухилення;

Δ_t – мертвий проміжок часу при здійсненні маневру машинами;

S_t – гальмівний шлях судна до моменту його повної зупинки;

m_D – гранична із заданою ймовірністю похибка визначення дистанції до небезпеки;

m_S – гранична із заданою ймовірністю похибка визначення гальмівного шляху;

– при ухиленні від небезпеки поворотом судна

$$v_8^+ \geq V_8 - v_{8-1}^- - v \cdot \Delta_{t-1} - S_t - m_R - m_D,$$

де Δ_{t-1} – мертвий проміжок часу при здійсненні маневру повороту;
 v_{8-1}^- – радіус фактичної циркуляції судна;
 m_R – гранична похибка із заданою ймовірністю визначення реального радіусу циркуляції судна.

Для даного прикладу ознаками функціональної стійкості системи є зв'язність графа $\{K=1\}$ і наявність в його складі мостів $N_L \geq 1$, а також вузлів з'єднання $N_V \geq 1$

$$\{K=1\} \wedge [\{N_V \geq 1\} \vee \{N_L \geq 1\}] \quad (4)$$

Слід зазначити, що (4) суттєвим чином знижує функціональну стійкість розподіленої інформаційної системи, оскільки всі маршрути передачі інформації з вершин одного підграфа у вершини іншого будуть включати в себе цей міст або вузол сходження. Тому для приведення системи в функціонально стійкий стан необхідно вводити в структуру резервні лінії зв'язку для того, щоб не було в структурі мостів або вузлів зчленування. При цьому будуть з'являтися декілька незалежних та альтернативних маршрутів передачі інформації.

Висновок. Запропонований метод застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВП України сприятиме надійності вирішення навігаційних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Наведеними вище деякими кількісними критеріями безпеки руху ВТЗ належить керуватися для формалізації критеріїв, закладених в логіку аналізу експлуатаційної інформації за допомогою *Inland ECDIS* при застосуванні критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВП України.

Застосування теорії функціональної стійкості при інструментальному методі навігації на ВВП України включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ щодо вирішення нової наукової проблеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов Г. Л. Алгебраїзація маршрутів руху транспортних засобів / Г. Л. Баранов, В. В. Доронін, В. Р. Косенко, Д. М. Прохоренко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Київ, Національний транспортний університет. – 2014. – Випуск 1. – С. 60-70.
2. Доронін В. В. Системна технологія розв'язку оперативних задач навігації для синтезу законів експлуатації водного транспорту. Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. Харків, Харківський університет Повітряних Сил України. – 2015. – Випуск 10 (135). – С. 186-191.
3. Катенин В. А. Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях / В. А. Катенин, А. В. Зернов, Г. Г. Фадеев // – М.: МОРКНИГА, 2010. – 344 с.
4. Машков О. А. Развитие теории функциональной стойкости как стойкости функционала качества сложной системы / В. Р. Косенко, О. А. Машков // *Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence*.
5. Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2016. Збірник наукових праць. Херсон, Херсонський національний технічний університет. Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2016. – 382 с.

Доронин В.В., Алейников М.В., Алейников В.М.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА НАВИГАЦИИ НА ВВП УКРАИНЫ

В статье предложен метод выбора критериев оценки функциональной стойкости сложной системы, что отражает эффект от применения инструментального метода навигации на базе электронно-картографических систем Inland ECDIS на ВВП Украины.

Осуществлена математическая формализация критериальных определений с использованием модели неориентированного графа, что будет способствовать повышению безопасности плавания водных транспортных средств с учетом специфики функционирования транспортной системы Украины. Приведены основные отличия устойчивости функционирования системы от понятия функциональной стойкости, что характеризует изменение экранных координат при расчетном и измененном состоянии системы.

Ключевые слова: безопасность судоходства, инструментальный метод навигации, функциональная стойкость, критериальные определения, неориентированный граф, электронно-картографическая система.

Doronin V., Aleynikov M., Aleynikov V.

OPERATIONAL USE OF THE CRITERIA FOR ASSESSMENT OF FUNCTIONAL STABILITY INSTRUMENTAL METHODS NAVIGATION IN WATERWAYS OF UKRAINE

The paper proposed a method of selecting criteria for assessing the functional stability of the complex system that shows the effect of the introduction of the instrumental method of navigation based on electronic charts systems Inland ECDIS on waterways of Ukraine. Implemented mathematical formalization of critical definitions using the model an undirected graph, that will enhance the safety of water vehicles with navigation-specific functioning of the transport system of Ukraine. The main differences of the resistance of the system of functioning between the concept of functional resistance that characterizes the change in screen coordinates at the design and change in the system condition.

Keywords: safety of navigation, instrumental navigation method, functional stability, the critical determination, undirected graph, electronic chart system.

УДК 532.529

Ткаченко Н.Є.

ДВОФАЗНА СУМІШ У РУХОМОМУ ПАРАЛЕЛЕПЕДІ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ВПЛИВОВІ

У статті проведено порівняльний аналіз динамічних процесів у двофазній суміші в нерухомому та рухомому прямокутних паралелепіпедах при зовнішньому імпульсному впливові, використовуючи математичну модель, побудовану на основі кінетичного підходу. Проведено порівняння середніх характеристик руху системи частинок у рухомому та нерухомому паралелепіпедах.

Ключові слова: двофазна суміш, кінетичний підхід, рухомий прямокутний паралелепіпед, густина розподілу.

Постановка проблеми. На практиці в ракетах, кораблях, цистернах, що перевозять паливо, необхідно транспортувати резервуари з двофазними сумішами. Процеси, що відбуваються при цьому, суттєво відрізняються від тих, які мають місце при перевезенні однорідних рідин. Задачі динаміки таких сумішей є важливими та актуальними для сучасної промисловості. Рухомість рідини впливає на керованість відповідних об'єктів.