

Доронін В.В., Алейніков М.В., Алейніков В.М.

ВИКОРИСТАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИЯВЛЕННІ ДЕФЕКТІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ БАЗОВОЇ ВЕРСІЇ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ECDIS

Стаття присвячена актуальній проблемі точного теоретичного аналізу та критеріїв щодо впровадження технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів у вигляді алгоритму автоматизації тестування ECDIS. Проведений у статті аналіз проблеми впровадження технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів, а також існуючих методів перевірок ECDIS перед виходом судна показав, що даний напрям є малодослідженим. В стандартах ECDIS ця вимога не є однозначною. Обґрунтована математична модель для реалізації розширення функціональних можливостей ECDIS за рахунок тестування, контролю та верифікації технологічних модулів у режимах контролю і діагностування. Розроблений і обґрунтований лінійний алгоритм технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів.

***Ключові слова:** безпека судноплавства, ефективність експлуатації, інформаційні технології, тестування, верифікація, інструментальний метод навігації.*

Вступ. Підвищення ефективності експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) на базі електронно-картографічних систем (ECDIS) вимагає розробки додаткових програмних, інформаційних та інструментальних засобів оперативного синтезу дієвих систем підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.

Багатокритеріальні вимоги до експлуатаційних режимів управління рухом ВТЗ, насамперед, на стислих габаритних смугах, породжують труднощі з реалізацією обчислювального інтелекту. За допомогою сучасних комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій він поки ще не здатний за критерієм обчислювальної складності зменшити показник аварійності суден.

Стаття присвячена дослідженню та розв'язанню актуальної головної задачі для результуючого багатокритеріального підвищення ефективності експлуатації ВТЗ на базі електронно-картографічних систем ECDIS, що вимагає розробки додаткових програмних, інформаційних та інструментальних засобів оперативного синтезу дієвих систем підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.

Розв'язання проблеми дослідження полягає в тому, що технологія тестування, контролю та верифікації технологічних модулів функціонування ECDIS дуже трудомістка. При ручному тестуванні (*manualtesting*) оператори вручну виконують тести, не використовуючи ніяких засобів автоматизації. Ручне (мануальне) тестування – самий недосконалий і простий тип тестування, який не потребує великої кількості додаткових знань. Крім того, мануальне тестування може недостатньо ефективно знаходити деякі класи помилок у функціонуванні ECDIS.

Автоматизоване тестування передбачає використання спеціального програмного забезпечення (ПЗ) для контролю виконання тестів і порівняння очікуваного фактичного результату роботи програми. Цей тип тестування допомагає автоматизувати часто повторювані, але необхідні для максимізації тестового покриття завдання (рис. 3 ÷ 4).

Таким чином, недосконалість процесу верифікації не дозволяє однозначно і повністю усунути дефекти, помилки і встановити коректність функціонування аналізованої програми. Удосконалення технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів,

автоматизації тестування *ECDIS* сприятиме надійності вирішення навігаційних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України. Особливої актуальності застосування технології тестування набуває при функціонуванні інструментального методу навігації.

Мета роботи – автоматизація процесу тестування інтерфейсу оператора *ECDIS*.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вперше автоматизоване тестування згадується в книзі Фредеріка Брукса «Міфічний людино-місяць», де йдеться про перспективи використання модульного тестування. Проаналізовано два основних підходи до автоматизації тестування: тестування на рівні коду і тестування користувальницького інтерфейсу. До першого типу відноситься, зокрема, модульне тестування. До другого – імітація дій користувача за допомогою спеціальних тестових фреймворків. Найбільш високими темпами автоматизація тестування стала розвиватися у 1980-х роках.

Слід відзначити, що протягом останніх 10 років розвиток сучасних електронно-картографічних засобів для ефективного використання водного транспорту проходив пришвидшеними темпами. Електронно-картографічні навігаційні системи уже продемонстрували своє значення та експлуатаційну надійність у роботі. На теперішній час процес їх вдосконалення продовжується [2]. Активний розвиток та освоєння засобів навігаційного забезпечення знайшов відображення у збільшенні кількості публікацій і досліджень з питань підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання.

Аналіз проблеми використання технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів для функціонування *ECDIS* показав, що даний напрям є малодослідженим у порівнянні з іншими напрямками експлуатації електронно-картографічних систем. Крім того, в стандартах *ECDIS* ця вимога не є однозначною. Не дивлячись на складність та існуючі проблеми, стала очевидною користь, яку можна отримати шляхом автоматизації тестування інтерфейсу користувача (ІК) *ECDIS* для вирішення окремих задач з безпечної експлуатації водного транспорту.

Так, аналіз нормативно-правових актів показав, що вимоги до електронно-картографічного обладнання викладені без конкретного алгоритму дій операторів, що дало можливість розробнику самостійно розробляти і впроваджувати алгоритми реалізації функціональних можливостей електронно-картографічного обладнання. А це зумовило появу істотних відмінностей інформаційно-управляючих панелей, різних підрівнів меню, форматів відображення ЕК, що значно ускладнило експлуатацію різних типів систем, включаючи їх тестування. У зв'язку з цим, окрім обов'язкової підготовки судноводіїв, передбаченої Конвенцією ПДНВ, багато судноплавних компаній змушені проводити додаткову перепідготовку по конкретному типу обладнання *ECDIS* і обирати єдиного постачальника в судноплавній компанії.

У резолюціях *IMO A.817(19)*, *MSC 232(82)* крім обов'язкових вимог до обладнання *ECDIS* («повинно бути») викладаються і не обов'язкові («може бути») без конкретного указання мінімальних вимог щодо відображення такої інформації. Це стосується автоматизації тестування ІК, підключення датчиків інформації: *NAVTEX*, *AIS*, *ARPA*, *radar*, ехолота і бази даних додаткової навігаційної інформації, що також приводить до істотних відмінностей відображуваної інформації.

Резолюцією *IMO A.893(21)* «Керівництво по плануванню рейсу судна» встановлено вимоги щодо етапності переробки інформації і прийняття рішення, стандартності дій оператора з підготовки судна до рейсу. Разом з тим, *IMO* до теперішнього часу не прийнятий порядок використання ІК *ECDIS* по виконанню вимог резолюції.

Питання підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання для безпечного використання засобів водного транспорту досліджувалися у роботах, статтях і дослідженнях Алейсійчука М.С., Алексішина В.Г., Богомья В.І., Баранова Г.Л., Беляєвського Л.С., Вагущенко Л.Л., Гагарського Д.А., Гладких І.І., Данцевича В.А., Кошового А.А., Кошового В.М., Лобастова В.М., Мальцева А.С., Носкова

А.А., Сизова М.М., Тихонова І.В., Цимбала М.М. Питання, пов'язані з автоматизацією тестування ІК *ECDIS*, не розглядалися, що робить процедуру перевірок значно трудомісткою, а в ряді випадків – дуже складною.

Викладення основного матеріалу. Тестування (атестаційне) використовується для того, щоб визначити, чи відповідає реалізація системи стандарту, на якому заснована дана реалізація. Атестаційне тестування не здатне гарантувати 100% відповідність стандарту. Покриття набору тестів може асимптотично йти до цього значення. Найбільш поширеною формою автоматизації є тестування додатків через графічний користувальницький інтерфейс. Популярність такого виду тестування пояснюється двома факторами: по-перше, додаток тестується тим же способом, яким його буде використовувати оператор, по-друге, можна тестувати додаток, не маючи при цьому доступу до вихідного коду (рис. 1).

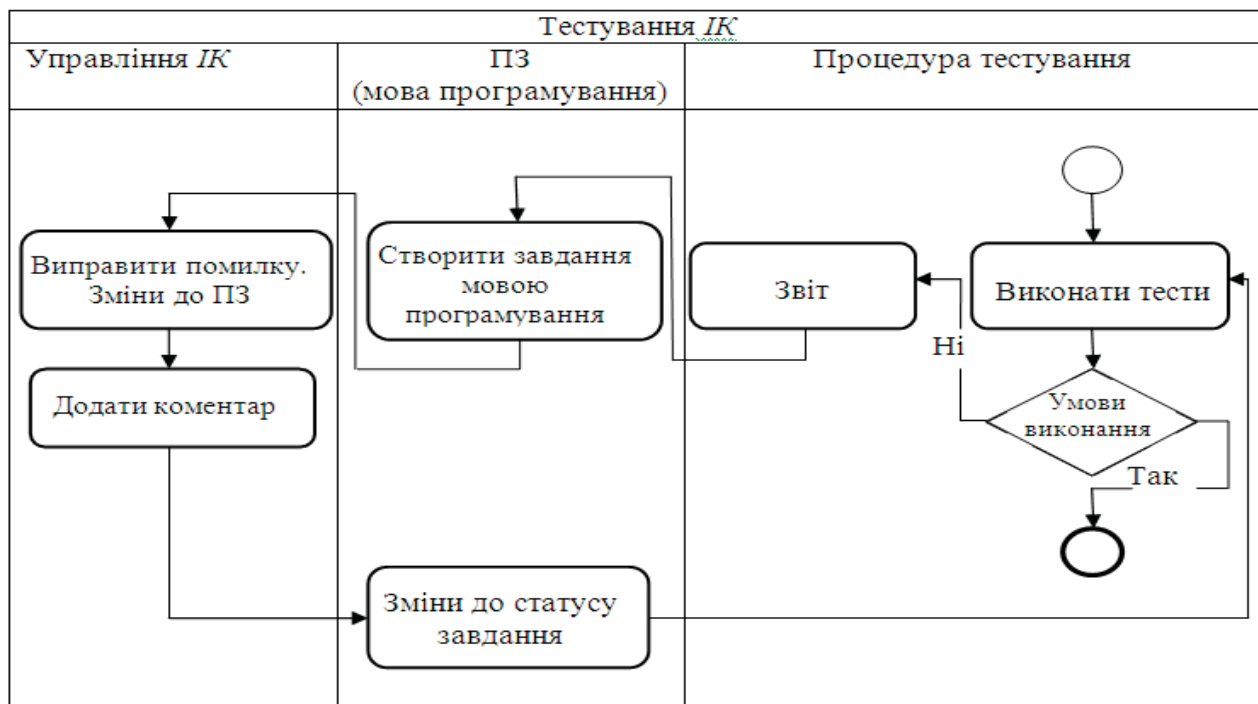


Рис. 1. Діаграма процесу тестування ІК *ECDIS*

Крім того слід зазначити, що:

- утиліти запису і програвання (*capture / playback tools*) записують дії оператора *ECDIS* під час ручного тестування. Вони дозволяють виконувати тести без прямої участі оператора протягом тривалого часу, значно збільшуючи продуктивність і усуваючи повторення одноманітних дій під час ручного тестування. У той же час, будь-яка зміна ПЗ вимагає перезапису ручних тестів. Тому це є неефективним і не масштабується;

- написання сценарію (*scripting*) – форма програмування на мовах, спеціально розроблених для автоматизації тестування ПЗ – вирішує проблеми запису і програвання. Але скрипти не можуть бути впроваджені, пакетними або об'єднаними в систему. Зміни в тестованому ПЗ вимагають складних змін у відповідних скриптах. Тестування скриптів стає врешті-решт непереборною проблемою;

- кероване даними тестування (*data-driven testing*). Його особливістю є те, що тестові скрипти виконуються і верифікуються на основі даних, які зберігаються в *SENC*. Це – об'єднання декількох взаємодіючих тестових скриптів та їх джерел. В цьому випадку змінні використовуються як для вхідних значень, так і для вихідних перевірючих значень. Таким чином, логіка, яка буде виконана в скрипті, залежить від цих даних;

– автоматизація тестування за ключовими словами (*keyword-based*) має на увазі поділ процесу на 2 етапи: етап планування і етап реалізації. У цьому випадку кінцевий тест являє собою не програмний код, а опис послідовності дій з їх параметрами. Це дає можливість створювати тести людям, які не мають навичок програмування.

Однією з головних проблем автоматизованого тестування ІК *ECDIS* є трудомісткість. Незважаючи на те, що автоматизоване тестування дозволяє усунути частину рутинних операцій і прискорити виконання тестів, великі ресурси можуть витрачатися на оновлення самих тестів. Це відноситься до обох видів автоматизації. При зміні інтерфейсу програми необхідно заново переписати всі тести, які пов'язані з оновленими вікнами, що при великій кількості тестів може задіяти значні ресурси.

Нами розроблений метод конструктивної комплексної автоматизації функціонування ергатичних систем управління рухом ВТЗ, який базується на інструментах *ECDIS* та додаткових інтелектуальних модулях оперативного визначення форм взаємодії у складній динамічній системі, що в інтегрованій ситуації надзвичайних та загрозованих умов впливу факторів за критеріями охорони зовнішнього навколишнього середовища та енергоефективності, включаючи витрати палива та інших ресурсів, гарантують отримання бажаного кінцевого результату – запобігання аваріям та катастрофам у кожній локальній зоні підвищеного ризику подій.

На рис. 2 представлений узагальнений лінійний алгоритм виявлення дефектів функціонування ІК *ECDIS*. В основу алгоритму покладено тестування тієї частини навігаційних завдань Z_i , викладених у [5], що дозволяють виявити помилки, які можуть лягти в основу усунення дефектів програмного продукту сучасних *ECDIS*.

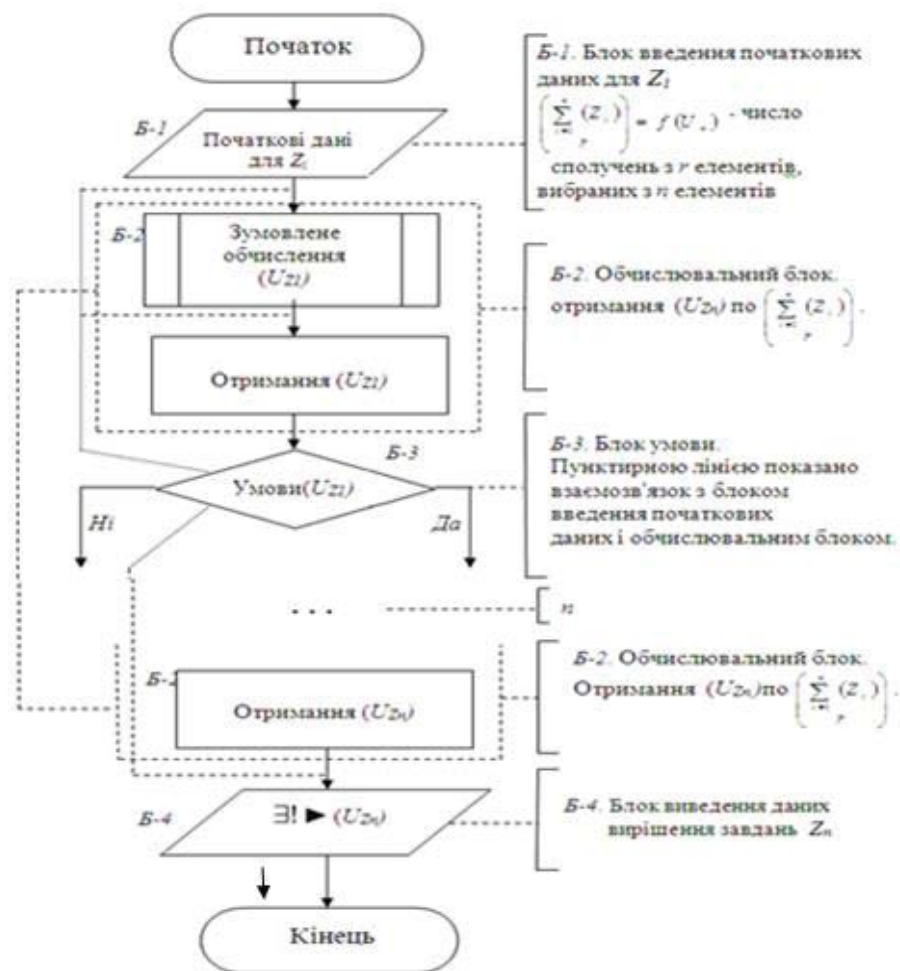


Рис. 2. Узагальнений лінійний алгоритм виявлення дефектів функціонування ІК *ECDIS*

Основні елементи схем узагальненого лінійного алгоритму технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів функціонування ECDIS під час рейсу показані на рис. 3.

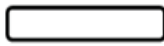
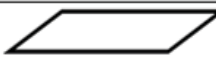
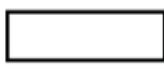
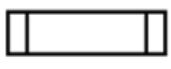


Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
Блок початок-кінець (пуск-зупинка)		Дані (введення- виведення)	
Блок обчислень (обчислювальний блок)		Зумовлений процес	
Логічний блок (блок умови)		Коментар	

Рис. 3. Елементи схеми узагальненого лінійного алгоритму

Дані елементи дозволяють описати послідовність дій для вирішення навігаційних завдань щодо визначення технології тестування та верифікації технологічних модулів.

Процес перетворення вихідних даних в результати передбачає:

- введення початкових даних (Б-1),
- перетворення початкових даних в результати (Б-2),
- умови для отримання результатів (Б-3),
- виведення результатів (вихідні дані) (Б-4).

Розроблений узагальнений алгоритм являє собою розбиття процесу вирішення навігаційних завдань на послідовні етапи Z_i , що виконуються, при цьому результати виконання попередніх етапів можуть використовуватися при виконанні наступних.

Окремі етапи Z_i зображені за допомогою різних геометричних фігур – блоків, а зв'язки між етапами (послідовність виконання етапів) вказуються за допомогою стрілок, що з'єднують ці фігури. Блоки супроводжуються пояснювальними написами.

У Б-3 здійснюється вибір одного з можливих шляхів (гілок) обчислювального процесу. Якщо умова виконується, то наступним виконується етап по гілці "Так", якщо умова не виконується, то виконується етап по гілці "Ні".

В основу методології виявлення дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS покладено тестування навігаційними завданнями ($Z_1 - Z_{71}$) в нормальних, штатних умовах [5]. Структура формалізованих навігаційних завдань щодо методу тестування ECDIS викладена в таблиці 1, де вказані як зміст кожного етапу, так і порядок виконання етапів. Окремий етап алгоритму являє собою або іншу, більш просту задачу, алгоритм вирішення якої відомий, або досить простий і зрозумілий без пояснень.

Таблиця 1

Структура навігаційних завдань щодо тестування ECDIS формалізованими завданнями

№	Навігаційні завдання (Резолюція MSC. 232(82))	Методика ручного тестування [5]
Обсяг ECDIS		
1	Пункти 1.2 – 1.9	$Z_1 - Z_8$
Застосування справжніх вимог		
2	Пункти 2.1 – 2.3	$Z_9 - Z_{11}$
Забезпечення і коригування картографічної інформації		
3	Пункти 4.1 – 4.5, 4.7, 4.9	$Z_{12} - Z_{17}$
Відображення інформації		
4	Пункти 5.1 – 5.10	$Z_{18} - Z_{26}$

Масштаб		
5	Пункт 6	Z_{27}
Відображення іншої навігаційної інформації		
6	Пункти 7.1 – 7.3, 7.4.1 – 7.4.3	$Z_{28} – Z_{33}$
Режим відображення і формування зображення сусіднього району		
7	Пункти 8.1 – 8.5	$Z_{34} – Z_{38}$
Кольори і символи		
8	Пункт 9	Z_{39}
Вимоги до відображення		
9	Пункти 10.1 – 10.5	$Z_{40} – Z_{44}$
Попередня і виконавча прокладки, реєстрація даних про рейс		
10	Пункти 11.1 – 11.5	$Z_{45} – Z_{63}$
Розрахунки і точність		
11	Пункти 12. – 12.3	$Z_{64} – Z_{66}$
Перевірки роботи, аварійно-попереджувальні сигнали і індикація, що стосуються порушень у роботі		
12	Пункти 13.1, 13.2	Z_{67}
Пристрої резервування		
13	Пункт 14	Z_{68}
Джерело живлення		
14	Пункти 16.1, 16,2	Z_{69}
Навігаційні елементи і параметри		
15	Додаток 3	Z_{70}

Таким чином, такий процес верифікації може усунути дефекти, помилки і встановити коректність функціонування ІК *ECDIS*.

До часто повторюваних завдань, необхідних для максимізації тестового покриття при автоматизованому тестуванні ІК *ECDIS*, можна віднести, перш за все, точність представлення картографічної інформації в *SENC*, яка залежить від похибок цифрування паперової карти, похибок методів обчислення функцій широти у проекції Меркатора, похибок представлення дійсних чисел і похибок, що виникають у процесі обчислення при візуалізації *ENC*, лінійних розмірів пікселів і похибок округлення дійсних чисел при формуванні екранних координат.

Похибки цифрування.

Метричний опис картографічної інформації зводиться в решті-решт до цифрування ліній. При цифруванні ліній інформацію задає безліч координат точок $(N_j(X_j, Y_j))$ на лінії, де $j = 1, 2, \dots, n$. Шаг цифрування повинен бути дрібним.

Використаний метод поліноміальної інтерполяції першого порядку (рис.4). Тобто згладжування лінії ламаними прямими (стискування), які з'єднують опорні точки

$M_i (i = 1, 2, \dots, m)$, вибрані з (N_j) .

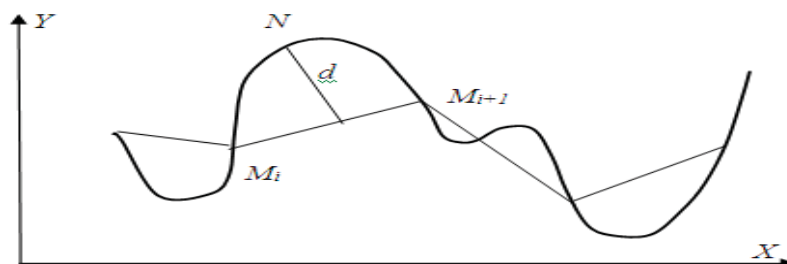


Рис. 4. Згладжування лінії ламаними прямими

$$\text{MAX}_{N \in M, N, M_{i+1}} d(N, M, M_{i+1}) \leq A \quad A = 0,2 \text{ мм.}$$

Для вирішення задачі застосуємо віяловий (рос. – «веерный») алгоритм. У результаті буде вибрана множина $M_i(X_i, Y_i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) з множини (N_j) . Точні координати

$$X_i^* - X_i = E_{X_i}, \quad Y_i^* - Y_i = E_{Y_i},$$

$$\Delta_i = \max(|E_{X_i}|, |E_{Y_i}|) \approx 0,1 - 0,2 \text{ мм}$$

E_X, E_Y – випадкові величини (закон нормального розподілу).

Математичні сподівання

$$E_X, E_Y: M(E_{X_i}) = M(E_{Y_i}) = 0,$$

$$\text{СКО } \sigma(E_{X_i}) = \sigma(E_{Y_i}) = 0.$$

Отже, точність інформації на *SENC* визначена похибкою нанесення на неї опорних точок.

Похибка методів обчислення функцій широти у проекції Меркатора (рис. 5).

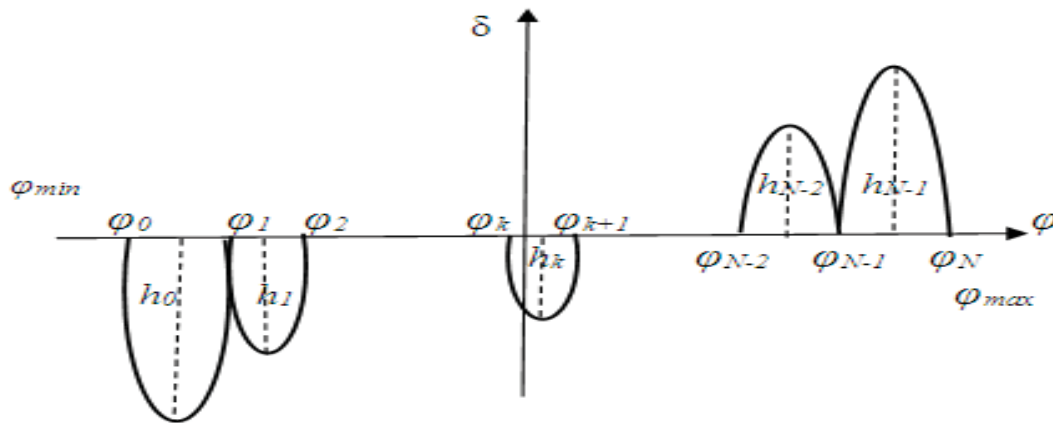


Рис. 5. Зміна значень похибки δ

$$\delta = \frac{1}{2} \mu_0 r_0 (\varphi - \varphi_i) \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi) f''(\varphi_i);$$

$$\varphi \in [\varphi_i; \varphi_{i+1}]; \quad i = 0, 2, \dots, N-1; \quad |\delta| < \varepsilon.$$

Якщо $\varepsilon \ll \delta_{\text{ц}} \rightarrow \delta$ не враховується. Екстремум δ при

$$\varphi = \frac{1}{2} (\varphi_i + \varphi_{i+1}); \quad n_i = \text{MAX}_{\varphi \in [\varphi_i, \varphi_{i+1}]};$$

$$\delta = \frac{j}{8} \mu_0 r_0 \Delta^2 \varphi \cdot f''(\varphi_i).$$

Значення δ залежить від φ і параметрів карти.

Похибки, що виникають при формуванні екранних координат.

Екранні координати X, Y

$$\begin{cases} \Delta X = r_0 \mu_0 (\lambda - \lambda_1), \\ \Delta Y = r_0 \mu_0 (U(\varphi) - U(\varphi_1)); \end{cases} \quad \begin{cases} X = \text{round}\left(\Delta X \cdot \frac{M}{H}\right) \\ Y = (n-1) - \text{round}\left(\Delta Y \cdot \frac{N}{V}\right) \end{cases}$$

Розміри екрана по горизонталі – H , по вертикалі – V , кількість пікселів – $H(M), V(N)$.

Величина похибки відображення залежить від перетворення аргументів функції *round* з дійсного числа в ціле. Лінійні розміри пікселя

$$\left. \begin{array}{l} \Delta H = H / M \\ \Delta V = V / N \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta H = \Delta V \approx 0,3 \text{ мм}, \quad |\Delta_e X| \leq 0,5 \Delta H, \quad |\Delta_e Y| \leq 0,5 \Delta V.$$

Математичні сподівання M і СКП δ

$$\begin{cases} M(\Delta_e X) = M(\Delta_e Y) = 0 \\ \sigma(\Delta_e X) = \frac{\Delta H}{2\sqrt{3}}; \quad \sigma(\Delta_e Y) = \frac{\Delta V}{2\sqrt{3}}. \end{cases}$$

Похибки обчислень при перетворенні координат.

Число цифр після десяткової точки не менше 13.

$$M \ 1 : 5.000 \Rightarrow \Delta = 0,1 \text{ мм} \xrightarrow{\text{зворотнєперетворення}} \varphi, \lambda (1.0 < M < 10,0),$$

$$-90^\circ < \varphi < 90^\circ; \quad -180^\circ < \lambda < 180^\circ.$$

Сумарні похибки при нанесенні опорних точок.

$$\Delta_{II} = \sqrt{(E_{xi} + \Delta_e X)^2 + (E_{yi} + \delta + \Delta_e Y)^2} \leq \sqrt{(|E_{xi}| + |\Delta_e X|)^2 + (|E_{yi}| + |\delta| + |\Delta_e Y|)^2} \leq$$

$$\leq \sqrt{(\Delta_i + 0,5 \Delta H)^2 + (\Delta_i + \varepsilon + 0,5 \Delta V)^2}.$$

$$\Delta_i = 0,15 \text{ мм}, \quad \varepsilon = 0,1 \text{ мм}, \quad \Delta H = \Delta V = 0,3 \text{ мм} \Rightarrow \Delta_{II} \leq 0,5 \text{ мм},$$

$$\delta (\varepsilon \ll \delta_{II}) \Rightarrow \Delta_B = \sqrt{\Delta_B^2 X + \Delta_B^2 Y}.$$

$$\begin{cases} \sigma(\Delta_B X) = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma^2(\Delta_e X)} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \frac{1}{12} \Delta^2 H}; \\ \sigma(\Delta_B Y) = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma^2(\Delta_e Y)} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \frac{1}{12} \Delta^2 V}; \\ \sigma(\Delta_B) \leq \sqrt{2\sigma_{II}^2 + \frac{1}{12} \Delta^2 H + \frac{1}{12} \Delta^2 V}. \end{cases}$$

$$\delta_{II} = 0,15 \text{ мм}, \quad \Delta H = \Delta V = 0,3 \text{ мм}, \quad \sigma(\Delta_B X) = \sigma(\Delta_B Y) = 0,1732 \text{ мм} \Rightarrow \sigma(\Delta_B) \leq 0,25 \text{ мм}.$$

При складанні завдань враховані умови:

$$D < 25 \text{ миль}.$$

Складання задачі для площини

$$tg K' = \Delta \lambda \cos \varphi_{CP} / \Delta \varphi; \quad A = K - \psi = K - 0,5 \Delta \lambda \sin \varphi_{CP};$$

$$D = \sqrt{\Delta \varphi^2 + (\Delta \lambda \cos \varphi_{CP})^2} = \Delta \varphi / \cos K'.$$

де K' – локсодромічний напрям, A – ортодромічний напрям, $\varphi_{CP} = 0,5(\varphi_1 + \varphi_2) = \varphi_1 + 0,5 \Delta \varphi$. Розрахунок K' , A , і D виконується методом логарифмування.

Для виконання автоматизованого розрахунку ψ можна застосувати формулу в розгорнутому вигляді

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta\lambda}{57,3 \left\{ \ln \left[\left(\frac{1 - e \sin \varphi_2}{1 + e \sin \varphi_2} \right)^{e/2} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) \right] - \ln \left[\left(\frac{1 - e \sin \varphi_1}{1 + e \sin \varphi_1} \right)^{e/2} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right) \right] \right\}} - \operatorname{arctg} \frac{\sin \Delta\lambda}{\operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \Delta\lambda}.$$

$D > 25$ миль. Задача вирішується з врахуванням кривизни земної поверхні

$$\begin{cases} \operatorname{tg} A = \sin \Delta\lambda / (\operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1) - \sin \varphi_1 \cos \Delta\lambda; \\ \cos D = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda. \end{cases}$$

Поправки на сфероїдичність Землі розраховувалися за формулами Андуайте-Ламберта

$$\begin{cases} \Delta A = 5,762 \left\{ [1 + \operatorname{Darc} 1^\circ \operatorname{ctg} D] \cos^2 \varphi_1 \sin 2A - \operatorname{Darc} 1^\circ \sin 2\varphi_1 \sin A \right\}; \\ \Delta D = 1,443 \left[\frac{3 \sin D - \operatorname{Darc} 1^\circ}{\cos^2 (D/2)} (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2)^2 - \frac{3 \sin D + \operatorname{Darc} 1^\circ}{\sin^2 (D/2)} (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2)^2 \right]. \end{cases}$$

Висновок. Запропонований метод автоматизації у вигляді алгоритму автоматичного тестування, контролю та верифікації технологічних модулів функціонування *ECDIS* дозволяє усунути дефекти, помилки і встановити коректність функціонування аналізованої програми, сприятиме надійності вирішення навігаційних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Перед тим, як автоматизувати тестування ІК *ECDIS*, необхідно спочатку виконати серію тестів вручну [5]. Мануальне тестування вимагає значних зусиль, але без нього автоматизація тестування ІК *ECDIS* неможлива. 100% автоматизація тестування ІК *ECDIS* неможлива. Необхідно використовувати також і ручне тестування.

Через наявність можливості частого повторного запуску тестів значення автоматизації тестування ІК *ECDIS* важко переоцінити.

Методологія автоматизації тестування ІК *Inland ECDIS* аналогічна.

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. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы. Одесса: Феникс, 2004. – 302 с.
3. Доронін В. В. Особливості моделювання та оцінювання діяльності оператора *ECDIS*. Водний транспорт. Збірник наукових праць. Київ. КДАВТ. – 2013. – Вип. 2(17). – С. 24-32.
4. 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.
5. Доронін В. В. Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. 2016 рік, КДАВТ.
6. *NAVI SAILOR* (версія 3.2). Керівництво користувача, 128 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ДЕФЕКТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БАЗОВОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ECDIS

Статья посвящена актуальной проблеме точного теоретического анализа и критериям внедрения технологии тестирования, контроля и верификации технологических модулей в виде алгоритма автоматизации тестирования ECDIS. Проведенный в статье анализ проблемы внедрения технологии тестирования, контроля и верификации технологических модулей, а также существующих методов проверок ECDIS перед выходом судна показал, что данное направление мало изучено. В стандартах ECDIS данное требование является неоднозначным. Обоснована математическая модель для реализации расширения функциональных возможностей ECDIS с учетом тестирования, контроля и верификации технологических модулей в режимах контроля и диагностирования. Разработан и обоснован линейный алгоритм технологии тестирования ECDIS.

Ключевые слова: безопасность судоходства, эффективность эксплуатации, информационные технологии, тестирование, верификация, инструментальный метод навигации.

Doronin V., Aleynikov M., Aleynikov V.

USING COMPUTER INTELLIGENCE IN IDENTIFIED DEFECTS FUNCTIONING OF BASIC VERSION OF THE SOFTWARE ECDIS

The article is devoted to the actual problem of accurate theoretical analysis and criteria of implementation of testing technologies, monitoring and verification of process modules as ECDIS test automation algorithm. The above article analyzes the problems of implementation of testing technologies, monitoring and verification of process modules, as well as existing methods ECDIS checks before leaving the vessel showed that the direction of the little studied. The ECDIS standards, this requirement is ambiguous. A validated mathematical model for the implementation of enhanced functionality ECDIS based testing, monitoring and verification of process modules to control and diagnosis modes. To develop and validate a linear algorithm testing technology.

Keywords: navigation safety, operational efficiency, information technology, testing, verification, instrumental method of navigation.

УДК 532.529

Ткаченко Н.Є.

РОЗПОДІЛ КОМПОНЕНТІВ ДВУХФАЗНОЇ СУМІШІ В ПАРАЛЕЛЕПІПЕДІ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ВПЛИВІ

У статті досліджено динамічні процеси в двухфазній суміші в посудині, що має форму прямокутного паралелепіпеда при зовнішньому імпульсному впливі, використовуючи математичну модель, побудовану на основі кінетичного підходу. Знайдено середні характеристики руху системи частинок при імпульсному впливі.

Ключеві слова: двухфазна суміш, кінетичний підхід, густина розподілу.