

Soroka V.V., Horokhovska O.K.

PRACTICAL APPLICATION OF THE METHOD OF AUTOMATIC ADAPTATION OF VIBRATION DIAGNOSTICS SIGNALS TO THRESHOLD VALUES

The aim of the article is to test the developed methods, which are part of the complex method of vibration diagnostics of the main power plant of water transport means. This goal is achieved by in-depth analysis of the theoretical foundations of vibration diagnostics of control objects, as set out in modern sources of information, as well as direct application of the developed theoretical methods for conducting a comprehensive vibration diagnostic of the main power plant of water transport. It has been proved that the simplest way is to analyse the general levels of standard frequency bands when determining the vibration state of equipment. In this case, the general levels of standard frequency bands are compared with the threshold values set for different types of machines. The close relationship between these values and the thresholds given in the annexes of the standards for the respective types of equipment and obtained during operation is emphasised. In the process of monitoring the general technical condition of the main power plant of waterborne transport means, a set of octave and third-octave filters with a constant relative width, which form a broadband spectrum, is most often used. When analysing the spectra of sub-octave bands, the level of each band is compared with threshold values, which requires additional processing. The most significant result of the study is the establishment of the fact that the developed method allows detecting a change in state either at the same time or earlier than the standard approach. It is confirmed that the result is especially effective for signals without transients and for high degradation rates that exceed the rate of maximum fluctuations, which is important for operational control for the purpose of managing critical equipment. The proposed method of constructing thresholds allows to increase the speed of response to growth associated with accelerated degradation. At the same time, the advantage of approximation on the interval corresponding to the latest trend is proved.

Keywords: signal, vibration diagnostics, threshold, main power plant, filter, fluctuation

УДК 681.5.04

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.09

Шаніро Г.В., Боріна М.В.

ПРОВЕДЕННЯ ОЦІНКИ СТУПЕНЯ ОБҐРУНТОВАНOSTІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДІВ І СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДНОВОДІННЯ

Анотація. У ході дослідження проведена оцінка ступеня обґрунтованості прийняття рішень при використанні розроблених методів і системи інформаційного забезпечення судноводіння. Проведено порівняльний аналіз оцінювання адекватності та повноти інформаційної моделі оцінки обстановки, що подаються судноводію наявними способами та за використання запропонованих методів та досліджена оцінка ефективності удосконаленої моделі з використанням відомих в теорії моделювання показників достовірності, оперативності й повноти показує її більшу ефективність у порівнянні з існуючою. Запропоновано алгоритми, які дадуть змогу реалізувати автоматизоване вирішення завдань розпізнавання та ситуаційного аналізу надводної обстановки. Робота алгоритму ініціюється на вимогу користувача при зміні значень у базі даних інформаційних ознак або після модифікації бази знань про обстановку.

Ключові слова: безпека мореплавання, інформаційна модель, навігація, нечітка нейронна мережа, прийняття рішення, розпізнавання надводної обстановки, розпізнавання ситуацій, рух судна, система управління рухом суден, технічні засоби судноводіння, формалізація, штучний інтелект.

Актуальність дослідження. Однією з основних функцій керованих й автоматичних транспортних засобів є автоматичне планування руху, необхідне для їхньої навігації. При функціонуванні у важкодоступних або небезпечних середовищах судна повинні не лише долати шлях до потрібного місця, використовуючи інформацію з різних джерел і сприймаючи навколишнє середовище за допомогою низки електронних датчиків, але й будувати поточну карту середовища.

Також передбачається, що комерційні транспортні засоби будуть здатні здійснювати навігацію автономно. У цій сфері було досягнуто багато успіхів завдяки водним транспортним засобам, що керуються людиною. Однак незабаром можуть бути реалізовані й автономні системи, хоча для них все ще існують проблеми, пов'язані з роботою в реальних умовах, а також безпека і надійність системи.

Середовище, в якому рухається судно, є невизначеним і постійно змінюється. Конфігурація і орієнтація перешкод змінюються, у тому числі разом з ландшафтом або рельєфом місцевості. Метою навігації з допомогою системи підтримки прийняття рішення (СППР) судноводієм є створення мобільної платформи, яка здатна успішно орієнтуватися в таких умовах, надаючи допомогу людині. Результати методів, на яких базуються методи навігації, різняться залежно від доступних обчислювального часу і ресурсів, динамічної і статичної пам'яті, точності та ефективності роботи очікуваної від СППР. Багато чого залежить від характеристики середовища, в якому судно виконує завдання. З цього погляду можна середовища можна класифікувати як прості (структуровані або відомі), напівструктуровані (частково відомі) і неструктуровані (невідомі) середовища, з якими набагато складніше працювати.

Більшість методів сильно залежать від сенсорної інформації, зібраної про навколишнє середовище, попередньо завантажених карт, їхнього створення та оновлення. Однак, саме датчики вносять певну невизначеність в інформацію про середовище, що надходить й обробляється. Для подолання цієї проблеми часто використовують технології на основі нечіткої логіки і нейронні мережі для обчислень, що відносяться до категорії м'яких технологій. Дані підходи виявилися придатними завдяки їхній здатності обробляти великі складні обчислення, що мають справу з невизначеними або неточними даними.

Таким чином, розробка навігаційних механізмів на основі штучного інтелекту на основі систем нечіткого виведення та штучних нейронних мереж для суден різного класу є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень. Питання застосування методів нечіткої логіки і нейронних мереж для навігації транспортних засобів цікавлять науковців всього світу.

Лю та ін. [1] описали контролер нечіткої логіки для навігації в умовах, що динамічно змінюються, в реальному часі, що дозволяє виконувати стикування та об'їзд перешкод в режимі он-лайн за допомогою невеликої кількості інформації від недорогої гідролокаційної системи.

Саймон та ін. [2] організували навігацію апарата, пов'язану з наявними зовнішніми датчиками, які збирають інформацію з навколишнього середовища за допомогою вимірювань близькості до перешкод за допомогою візуальних або оптичних датчиків або стереоскопічного зору. На основі обчисленого оптичного потоку порівнюються видимі швидкості зображення на обох камерах для навігації автономного робота.

Кумар та ін. [3] описали систему, в якій використовуються інфрачервоні датчики наближення для виявлення перешкод, а також інфрачервоні датчики для навігації автономного робота. Робот повинен слідувати заздалегідь визначеним шляхом, який має різні повороти. Нечітка логіка, присутня в мікроконтролері, визначає швидкість мобільного робота.

Castillo et.al [4] використали нечітку логіку для відстеження траєкторії та керування

роботом. Для отримання асимптотичної стабілізації положення та орієнтації робота навколо бажаної траєкторії в контролерах нечіткої логіки використовується підхід зворотного кроку. Для побудови контролера була використана система нечіткого виводу Mamdani Fuzzy Inference з гарними правилами IF-THEN. В якості лінгвістичних змінних були взяті входні крутні моменти і швидкості, а для дефазифікації нечітких множин був використаний метод центроїда площі.

Фатмі та ін. [5] розглядають проблеми автономної навігації мобільного робота в переповненому перешкодами та непередбачуваному мінливому середовищі. Для структурування навігаційної задачі при вирішенні цих проблем використовуються навігаційні підходи, засновані на поведінці за допомогою нечіткої логіки. Для скорочення часу і заощадження обчислювальних ресурсів в описаному методі застосовано багаторівневий підхід, де рівень контролю, заснований на контексті, використовується для прийняття рішення про вибір для активування конкретної поведінки, на відміну від обробки всіх поведінок, а потім змішування тих, які вважаються відповідними.

У дослідженні Malhotra et.al [6] обговорюється розробка мобільного робота для середовища зі статичними і рухомими перешкодами, про які мобільний робот не має попередньої інформації. Для виявлення перешкод було використано розробку нечіткого мозку для автономного робота. За стратегію об'їзду перешкод використано метод штучного потенційного поля, реалізований за допомогою нечіткої логіки.

Сінгх та ін. [7] для керування мобільним роботом застосували кількісні переваги бажаних характеристик, визначених над множиною всіх можливих керуючих дій. Це було зроблено з точки зору мети, з якою має бути пов'язана конкретна поведінка. Результати контролю використовуються для обчислення бажаності контролю, яке використовує лише один рівень оцінювання. Також пропонується розширення, яке включає послідовність контролів таким чином, що теперішні дії можуть бути здійснені з урахуванням більшої кількості майбутніх умов, які можуть виникнути в майбутньому, що нагадує техніку дерева ігор. Друге пропонуване розширення полягає в тому, щоб приймати входні дані з датчиків як нечіткі змінні і моделювати їх, щоб врахувати більш реалістичну зашумлену і залежну від часу природу більшості датчиків.

Ramos et.al [8] обговорили алгоритм прийняття нечітких рішень, який координує поведінку мобільного робота, яка належить до арбітражного класу механізмів управління поведінкою. У цьому класі одночасно виконується лише одна поведінка. Для ієрархічної поведінки можна використовувати ієрархічний механізм прийняття нечітких рішень, який здатний представляти певну модель світу, в якій робот може еволюціонувати. Нечіткий оператор використовується для агрегування цілей і обмежень, і поведінка з максимальним результатом приймається як оптимальний вибір.

Для спрямування робота в незнайомому середовищі до заданої мети Busquets et.al [9] використали нечітку логіку. Для зовнішньої навігації використовується детальна і точна метрична карта навколишнього середовища, отримана за допомогою одометричних датчиків, розташованих на мобільній платформі, використовуючи зібрану візуальну інформацію про навколишнє середовище. Робот розпізнає візуальні об'єкти і використовувати їх для картографування та навігації, використовуючи агентів для вирішенні проблем, пов'язаних з динамічною і неточною інформацією про навколишнє середовище за допомогою обчислювального інтелекту і теорії агентів.

Фігейредо та ін. [10] описують метод використання інтелектуальних агентів для управління роботом, який був змодельований за допомогою симулятора Khepera. Інтелект цих агентів базується на системі нечіткої логіки, а поведінка агента в кожен момент часу визначається за допомогою набору нечітких правил. Для системи управління, яка повинна бути здатна уникати тупикових ситуацій, знову успішно поєднані обчислювальний інтелект і теорія агентів.

Вей та ін. [11] у своєму дослідженні стверджують, що шляхом створення компромісу з низьким контролем поведінки можна сформулювати ефективну стратегію. Глобальному планувальнику потрібно лише створити декілька позицій підцілей, а не точних геометричних

шляхів. Відносно просто видалити або додати ці підцілі з планувальника або в нього.

Вей Лі [12] описав стратегію навігації роботів, яка використовує нечітку логіку і може бути застосована до невизначених середовищ. Вона розроблена за допомогою процесу мультисенсорної інтеграції. Конфлікти та конкуренція виникають під час множинної реактивної поведінки. Проведене дослідження зосереджене на ефективній координації цих відмінностей за допомогою нечітких множин та бази правил.

Цо та ін. [13] зазначили, що ефективність автоматичних керованих транспортних засобів вимірюється помилками в їхньому положенні та орієнтації. Спочатку розроблено лінійний контролер, продуктивність якого в подальшому покращується за рахунок застосування нечіткої логіки. Відповідно, сформовано два нечітко-логічні регулятори. Критерій Гурвіца, критерій Попова та метод фазової площини використовуються для демонстрації стійкості системи.

Бірсель Айрулу та Біллур Баршан [14] використовували нейронні мережі та досліджували обробку сигналів гідролокатора для надійної диференціації типових ознак. Розглянуто навчання модульних та немодульних нейронних мереж за методом зворотного поширення з використанням алгоритмів генерації-зменшення, який показав кращу здатність до узагальнення та інтерполяції і добру швидкість збіжності. Виявлено, що нейронні мережі можуть розрізняти більше цілей, використовуючи лише один сенсорний вузол, і видавати вищий відсоток правильної диференціації у порівнянні з декількома сенсорними вузлами. Сенсорний вузол визначається як пара датчиків з фіксованою відстанню між ними, які можуть обертатися і сканувати ціль для збору даних. Було сказано, що ефективність інших методів була б гіршою, якби кількість сенсорних вузлів була зменшена. Підхід з використанням нейронних мереж демонструє уникнення перешкод, побудову карт, відстеження цілей, навігації тощо для автономних мобільних роботів.

Франко Скарселлі (Franco Scarselli) та Ах Чун Цой (Ah Chung Tsoi) [15] досліджували нещодавні роботи за допомогою нейронних мереж прямого поширення для забезпечення заданої точності апроксимації. Для досягнення заданої точності апроксимації нейронна мережа має кілька прихованих шарів. Запропоновані алгоритми навчання успішно уникають локальних мінімумів, що є проблемою, з якою зазвичай стикаються деякі алгоритми навчання нейронних мереж.

Soylu et.al [16] розглянули особливий тип задачі маршрутизації автоматичного керованого транспортного засобу. Ця конкретна задача є прикладом асиметричної задачі комівояжера, для розв'язання якої на основі карт Кохонена, що самоорганізуються, запроваджено алгоритм штучної нейронної мережі, які порівнювалися з результатами, отриманими за допомогою правила найближчого сусіда та правила оптимального рішення і показали позитивні результати щодо часу обчислень.

Orille et.al [17] обговорюють використання багат шарової нейронної мережі, яка розвивається за аналогією з традиційним методом таблиці перемикання для прямого керування моментом асинхронного двигуна, що дозволяє отримати оптимальні схеми перемикання. Було обрано відповідну нейронну мережу, яка представляє таблицю пошуку перемикань, розроблено ефективну конфігурацію нейронної мережі, а також проведено її тестування. Результат моделювання, отриманий за допомогою таблиці перемикання, використовується як еталон для оцінки продуктивності нейронної мережі.

Янг і Менг [18] розглянули проблему навігації мобільних роботів у реальному часі та планування руху без зіткнень з допомогою нейронних мереж, де кожен нейрон, присутній у топологічно організованій нейронній мережі, забезпечений лише локальними зв'язками. Рух мобільного робота або маніпулятора в реальному часі планується через динамічний ландшафт активності нейронної мережі. Проведений якісний аналіз та теорія стійкості Ляпунова підтверджує глобальну стійкість нейронної мережі.

Barbera et.al [19] зосередилися на розробці мобільного робота, який оснащений ненадійним сонаром та інфрачервоними датчиками і може орієнтуватися в невідомому і неструктурованому середовищі, виконуючи завдання з доставки. Нейронні мережі використані для реалізації функції об'єднання сенсорів. Процедура навчання нейронної мережі була

автоматизована.

Pomerleau [20] описує систему навчання – ALVINN (Autonomous Land Vehicle In a Neural Network – автономний наземний транспортний засіб у нейронній мережі), застосовану до автономного водіння або навігації на основі зору у постійній зміні навколишнього середовища та одночасній обробці інформації в реальному часі, працюючи з перешкодами.

Glasius et.al [21] показали, що ефективне планування маршруту та уникнення перешкод може бути досягнуто за допомогою моделі топологічно організованої нейронної мережі, яка належить до типу Хопфілда і має нелінійні аналогові нейрони. Детермінована система здатна миттєво прокласти відповідний шлях від довільної точки до будь-якої цільової позиції, уникаючи статичних і рухомих перешкод. Шлях визначається динамікою нейронної мережі та градієнтом нейронної активності на топологічно впорядкованій нейронній карті.

Мета дослідження полягає у проведенні оцінки ступеня обґрунтованості прийняття рішень при використанні розроблених методів і системи інформаційного забезпечення

Виклад основного матеріалу. Обґрунтованість прийняття рішень з оцінки обстановки в районі плавання характеризується повнотою представлення даних про обстановку, а також точністю і повнотою відображення в інформаційній моделі (ІМ) інформаційних ознак з урахуванням їхньої важливості відповідно до характеру діяльності судноводія [22]:

$$R = 1 - \sum_{j=1}^4 \beta_j \cdot \sum_{i \in q_i} a_i, \quad (1)$$

де β_j – відносне середнє значення похибки, що вноситься у відображення обстановки через неточне (узагальнене) врахування факторів. При цьому:

$\beta_1 = 0$ при безпосередньому врахуванні значущого фактору шляхом задання його значення, що відповідає реальному процесу (умові обстановки);

$\beta_2 = 0,445$ при простому узагальненні (заміні сукупності однорідних за фізичним змістом факторів одним);

$\beta_3 = 0,6$ при функціональному узагальненні різнорідних чинників для відображення їх однією представницькою величиною;

$\beta_4 = 1$ при непрямому врахуванні факторів. Вимоги до відображення інформації визначаються її прагматичним змістом і точністю представлення обстановки на засобах відображення для її сприйняття;

a_i – вага важливості врахування в моделі обстановки i -ої інформаційної ознаки у відносних одиницях;

q_i – множина інформаційних ознак, що враховуються в інформаційній моделі j -им способом узагальнення.

Ступінь очікуваної повноти відображення реальної обстановки в інформаційній моделі визначається за формулою:

$$Y = \sum_{k=1}^Q \xi_k \cdot R_k \cdot P_k, \quad (2)$$

де ξ_k , ($k = \overline{1, Q}$) – вага важливості у відносних одиницях кожного з Q параметрів обстановки, що представляються моделлю ($k = 1, 2, \dots, Q$);

R_k і P_k – показники достовірності та оперативності представлення даних обстановки інформаційною моделлю, що розглядається.

Як узагальнений показник ефективності інформаційної моделі під час порівняння моделі з наявними та оцінки наближення за ефективністю до ідеальної моделі використано співвідношення [23]:

$$W = \frac{Y - Y_c}{1 - Y_c}, \quad (3)$$

де Y – показник повноти розглянутої моделі;

Y_c – показник повноти порівнюваного з нею аналога.

Результати порівняльного оцінювання адекватності та повноти інформаційної моделі оцінки обстановки, що подаються судноводію наявними способами та за використання

запропонованих методів, наведено у таблиці 1 та на рис. 1 - 3.

Таблиця 1 – Значення показників ефективності удосконаленої та існуючої методик
Джерело: розроблено автором

№ з/п	Показник	Значення для моделей	
		Удосконаленої	Існуючої
1.	Достовірність (R)	0,551	0,408
2.	Оперативність (P)	0,632	0,532
3.	Повнота (Y)	0,348	0,258
4.	Загальний показник ефективності (W)	0,860	

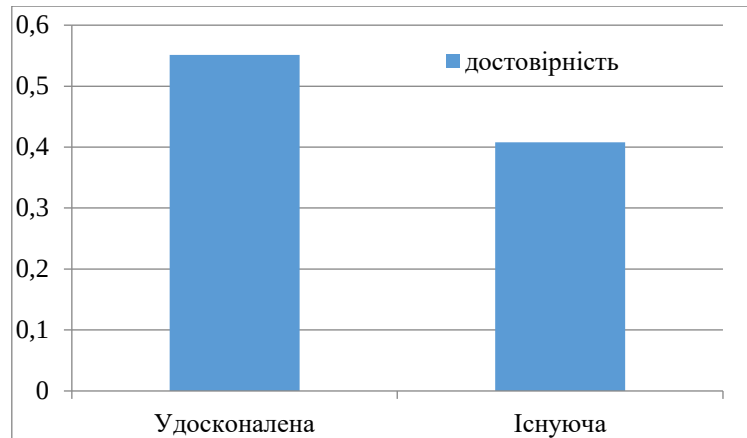


Рис. 1 – Оцінювання достовірності інформаційних моделей
Джерело: розроблено автором

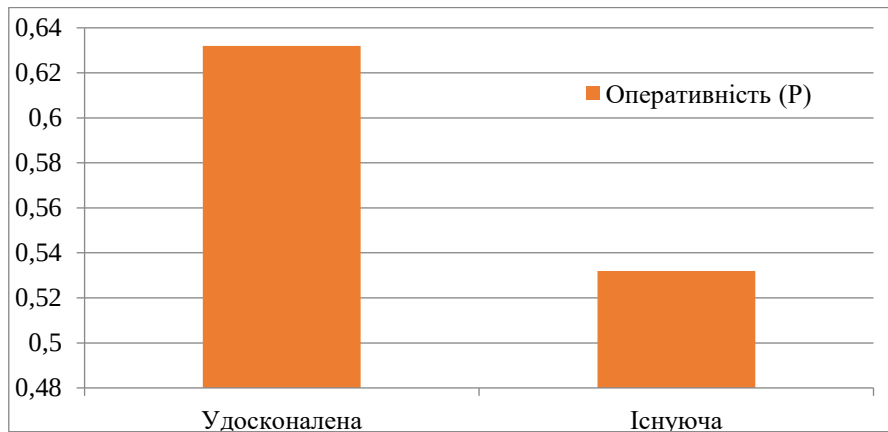


Рис. 2 – Оцінювання оперативності інформаційних моделей
Джерело: розроблено автором

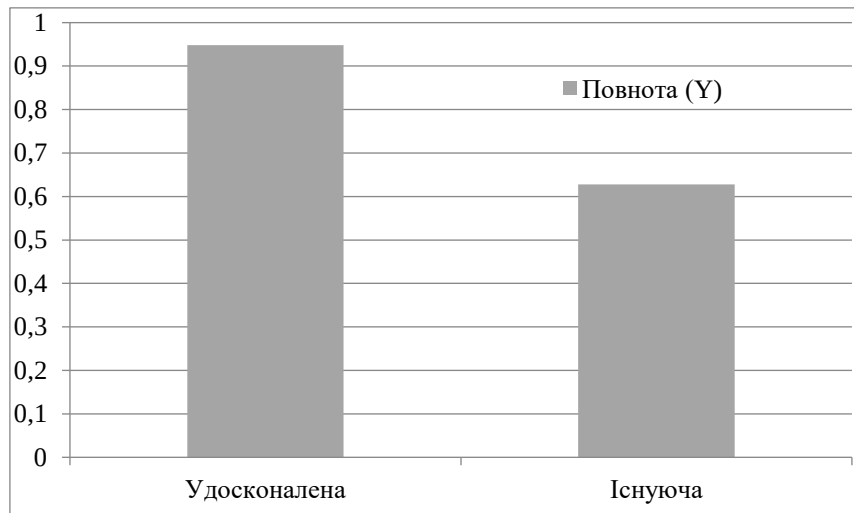


Рис. 3 – Оцінювання повноти інформаційних моделей
Джерело: розроблено автором

Таким чином, оцінка ефективності удосконаленої моделі з використанням відомих в теорії моделювання показників достовірності, оперативності й повноти показує її більшу ефективність у порівнянні з існуючою.

При розробці алгоритму розпізнавання обстановки (рис. 4) врахуємо отримані результати. Робота алгоритму ініціюється на вимогу користувача при зміні значень у базі даних (БД) інформаційних ознак або після модифікації БЗ про обстановку. Якщо під час перевірки близькості поточної та апіорно заданої обстановки є зміни, то модифікується БД поточної обстановки. В іншому разі очікується введення команд користувача або модифікації бази даних ІО. Модифіковані дані про обстановку стають доступними для інших програмних процесів у системі управління судном, а дані про попередні стани обстановки зберігаються в історії змін цієї ж БД.

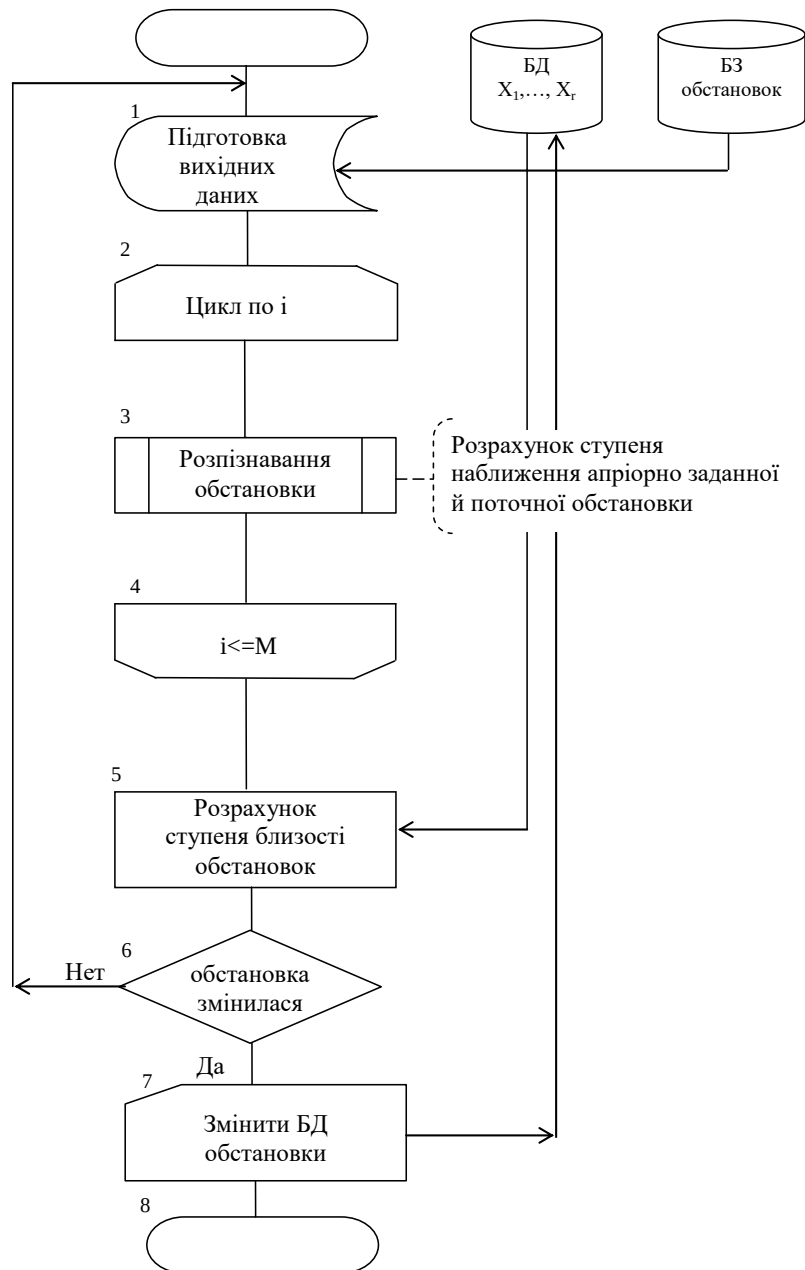


Рис. 4 – Схема процедури розпізнавання надводної обстановки
Джерело: розроблено автором

Оцінимо основні характеристики розробленого алгоритму розпізнавання.

Найважливішим показником ефективності систем розпізнавання є ймовірність отримання правильних рішень ($P_{\text{пр}}$) під час розпізнавання об'єктів, що належать до різних класів [24]. Він залежить від:

- помилок апіорного опису класів (φ_1);
- помилок визначення ознак розпізнаваних об'єктів (φ_2);
- кількості та властивостей використовуваних ознак (φ_3):

$$P_{\text{пр}} = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3). \quad (4)$$

Часто, наприклад, за логічної моделі розпізнавання, використовують оцінку надійності розпізнавання, яка, відповідно до [25], визначається як:

$$\xi_g = \frac{\frac{1}{L_w}}{\sum_{S=1}^n \frac{1}{L_S}}, \quad (5)$$

де L_w – міра близькості w -го об'єкта;

L_S – S -те значення міри близькості.

У даному випадку величина ξ_g відіграє роль, подібну до ймовірності правильного розпізнавання $P_{\text{пр}}$:

$$\sum_{g=1}^n \xi_g = 1. \quad (6)$$

Відомий ще один показник – час розпізнавання об'єкта T_p :

$$T_p = \sum_{r=1}^2 T_{pr}, \quad (7)$$

де T_{p1} – час, що витрачається на розрахунок міри близькості L_w ;

T_{p2} – час на прийняття рішення щодо приналежності розпізнаваного об'єкта до одного із заданих класів об'єктів.

Для оцінки ефективності розпізнавання надводної обстановки використовуємо показник (4) та середню ймовірність відмови від розпізнавання $\bar{P}_{\text{відм}}$ (безвідмовність розпізнавання).

У загальному випадку за кількох альтернативних варіантів обстановки ($i = \overline{1, n}$) “найкращу” вибирають шляхом оптимізації цільової функції:

$$F^* = \max_{x \in \Omega_x} F(X, P_{\text{пр}}, P_{\text{відм}}), \quad (8)$$

де $X = [x_q]$ – множина рішень;

$$x_q = \begin{cases} 1, & q - \text{ий варіант моделі вибраний;} \\ 0, & \text{в іншому випадку;} \end{cases}$$

$$\sum_q x_q = 1;$$

Ω_x – множина можливих варіантів моделей обстановки;

$P_{\text{пр}} = [P_{\text{пр}i}]$; $P_{\text{відм}} = [P_{\text{відм}i}]$.

Аналітичні залежності для $P_{\text{пр}}$ та $P_{\text{відм}}$ отримати, як правило, дуже важко. Для їх оцінок використовують результати імітаційного моделювання. Так, отримано оцінки $P_{\text{пр}}$ та $P_{\text{відм}}$ для розглянутої вище моделі, заснованої на розробленій гібридній моделі знань. Порівняльна оцінка запропонованої моделі з комбінованою моделлю для вирішення завдання розпізнавання (табл. 2) показує перевагу розробленого методу. Так, $P_{\text{пр}}$ збільшується на 20-25% і $P_{\text{відм}}$ зменшується на 7-9%. Це дає змогу обґрунтовано використовувати розроблену модель розпізнавання на практиці.

Розроблений алгоритм розпізнавання може бути включений до складу алгоритмів автоматизованої системи управління судном.

Таблиця 2 – Порівняльна оцінка методів розпізнавання

Джерело: розроблено автором

Метод розпізнавання	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{відм}}$
Комбінована модель	0,49 – 0,62	0,38 – 0,27
Розроблений метод	0,63 – 0,94	0,31 – 0,06

Проведено порівняльну оцінку технологічних властивостей розроблених методів, реалізованих різними способами. Пропоновані методи належать до числа відкритих. Специфіка

даного типу вирішуваних завдань враховується при заповненні БЗ та структури створюваної БД. У процесі супроводження необхідно постійно вносити зміни до БЗ, викликані появою нових типів об'єктів, що взаємодіють, зміною законодавства, накопиченням досвіду оцінки обстановки тощо.

Для формалізації запропонованих методів розпізнавання в останні роки у практиці проектування складних систем найчастіше використовують об'єктно-орієнтоване проектування (ООП) програмного забезпечення. У процесі його супроводу у ньому можуть відбутися такі зміни:

- додавання нового класу;
- зміна реалізації класу;
- зміна інтерфейсу класу.

Усі ці зміни вимагають великих витрат, хоча і є природними операціями.

Використання розробленого методу формалізації знань при оцінці обстановки та управлінні ІМ дозволяє отримати вигоди для таких показників технологічності:

1. Зменшення потрібного часу модернізації СПЗ.

Загальна тривалість коригування $t_{\text{кор}}^{\text{трад}}$ СПЗ, побудованого на традиційних підходах, визначається як:

$$t_{\text{кор}}^{\text{трад}} = t_{\text{зн}} + t_{\text{викл}} + t_{\text{приб}} + t_{\text{узг}} + t_{\text{ан}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{випр}} + t_{\text{пов}}, \quad (9)$$

де $t_{\text{зн}}$ – час зняття з рейсу;

$t_{\text{викл}}$ – час виклику представника організації-розробника СПЗ;

$t_{\text{приб}}$ – час прибуття представника організації-розробника;

$t_{\text{узг}}$ – час узгодження внесених змін;

$t_{\text{ан}}$ – час аналізу та вивчення завдання;

$t_{\text{зм}}$ – програмування, налагодження і тестування програмних модулів;

$t_{\text{випр}}$ – час приймально-здавальних випробувань;

$t_{\text{пов}}$ – час повернення судна до строю.

Для суднового персоналу час внесення коректур у БЗ становить [26]:

$$t_{\text{кор}}^{\text{СППР}} = t_{\text{узг}} + t_{\text{пз}} + t_{\text{зая}} + t_{\text{зм}}, \quad (10)$$

де $t_{\text{узг}}$ – час аналізу та узгодження змін, що вносяться до БЗ;

$t_{\text{пз}}$ – час постановки завдання когнітологу;

$t_{\text{зая}}$ – час з'ясування та аналіз завдання когнітологом;

$t_{\text{зм}}$ – внесення змін, тестування і налагодження БЗ.

Графічна ілюстрація часу корекції СПЗ для різних варіантів його побудови, наведена на рис. 5. Підвищення оперативності внесення коректур до СПЗ АСУ зумовлено скороченням змісту і тривалості організаційних етапів поповнення БЗ.

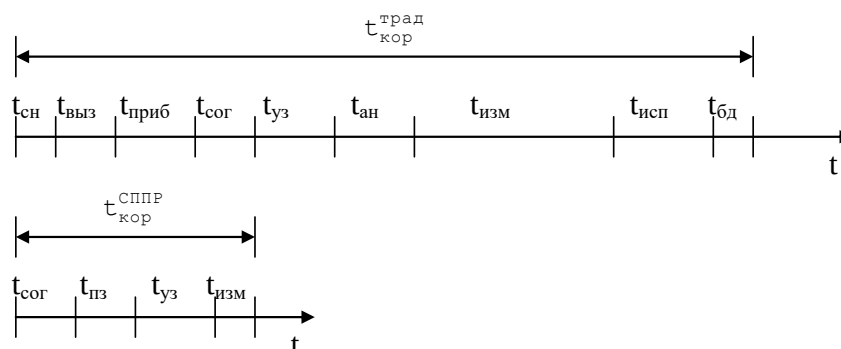


Рис. 5 – Часова діаграма процесу модифікації спеціального програмного забезпечення

Згідно з [26], $t_{\text{кор}}^{\text{трад}} = 94 + 68,8n$ (годин), а $t_{\text{кор}}^{\text{СППР}} = 12 + 16,4n$ (годин), де n – кількість цільових вершин у мережевій моделі.

2. Зменшення кількості помилок, що вносяться під час модифікації. Класи в ООП є угодами про зв'язки між абстракціями. Це дає змогу вже на ранніх стадіях створення СПЗ виявляти й усувати до 95% помилок і значно зменшити кількість помилок, що вносяться під час модифікації СПЗ у процесі супроводу [26]. Крім того, ООП дозволяє будувати системи на основі "стабільних" проміжних описів. Це спрощує процес внесення змін і зменшує кількість внесених помилок.

3. Зниження трудовитрат при супроводі СПЗ. З життєвого циклу пропонованих програм у 3-7 років до 70-90% часу становить супровід [26]. Але в умовах масового тиражування і тривалого часу супроводу, коли витрати на проектування і створення СПЗ є значно меншими за витрати на супровід, останні вимагають суттєвого скорочення.

ООП змінює часові співвідношення між створенням і супроводом СПЗ. Загальні трудовитрати, необхідні при об'єктно-орієнтованому і традиційному проектуванні, є приблизно рівними. Але на супроводженні СПЗ під час ООП припадає їх незначна частина. Отже, ООП найповніше відповідає методології побудови СПЗ.

Висновки. У ході дослідження автором запропоновано алгоритми, які дадуть змогу реалізувати автоматизоване вирішення завдань розпізнавання та ситуаційного аналізу надводної обстановки. Робота алгоритму ініціюється на вимогу користувача при зміні значень у базі даних (БД) інформаційних ознак або після модифікації БЗ про обстановку

ЛІТЕРАТУРА

1. Liu K. & Lewis F.L.; —Fuzzy Logic based Navigation Controller For An Autonomous Mobile Robot; IEEE, Vol. 7, pp.49-63,1989.
2. Simon Dan & Peri Vamsi Mohan; —Fuzzy Logic Control For An Autonomous Robot; IEEE Competition, Vol. 6, No.4, pp.445-454, 1990.
3. Harisha S.K., Kumar Ramkanth P., Sharma S.C.; —Fuzzy Logic Reasoning To Control Mobile Robot On Pre-Defined Strip Path; Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 4, pp.539-546,2003.
4. Castillo Oscar, Aguilar Luis T., Cardinas Selene; —Fuzzy Logic Tracking Control For Unicycle Mobile Robots; Engineering Letters, pp. 73-82, 2003.
5. Fatmi Anis, Yahmadi Amur Al, Khriji Lazhar, Masmoudi Nouri; —A Fuzzy Logic Based Navigation of a Mobile Robot; Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 159-177, 1995.
6. Malhotra Rajiv, Sarkar Atri; —Development of a Fuzzy Logic Based Mobile Robot for Dynamic Obstacle Avoidance and Goal Acquisition in an Unstructured Environment; Proceedings of IEEE/ASME, International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.235-247, 2003.
7. Singh Harmeet, Arora Sanchit; —Using Fuzzy Logic for Mobile Robot Control; IIT-D manuals, India, 2006.
8. Ramos Nelson, Lima Pedro U., Sousa Joao M.C.; —Robot Behaviour Coordination Based On Fuzzy Decision-Making; GCAR, IDMEC, Portugal, pp. 145-172.
9. Busquets D., Sierra C., Mantaras R.Lopez De; —A Multi-Agent Approach to Fuzzy Landmark-Based Navigation; Multi-Valued Logic & Soft Computing, pp.971-978, 1995.
10. Figueiredo K., Vellasco M., Pacheco M.A.; —Mobile robot control using intelligent agents; Second international workshop on Intelligent systems design and application, pp.159-173, 1999.
11. Li Wei, Chen Zushun, Ma Chenyu, Fuzzy Logic based Behaviour Fusion for Navigation of an Intelligent Mobile Robot, Journal of Computer Science & Technology, pp. 125-132, 1999.
12. Li wei, Fuzzy Logic Based Robot Navigation In Uncertain Environment By Multisensor Integration; IEEE Proceeding of the 1994 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and

Integration for Intelligent Systems (MFI'94); Las Vegas, Nevada; Oct 1994.

13. Tso S.K., Fung Y.H. & Cheung Y.P.; —Fuzzy-logic Control for Differential-wheel-drive AGVs Using Linear Opto-sensor Arrays; Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, Minnesota - April 1996.
14. Ayrulu Birsell, Barshan Billur; —Neural networks for improved target differentiation and localization with sonar; Neural Networks 14 (2001) 355-373.
15. Scarselli Franco, Tsoi Ah Chung; —Universal Approximation Using Feedforward Neural Networks: A Survey of Some Existing Methods, and Some New Results; Neural Networks, Vol. 11, No. 1, pp. 15–37, 1998.
16. Soylu Mustafa, Ozdemirel Nur E., Kayaligil Sinan; —Theory and Methodology A self-organizing neural network approach for the single AGV routing problem; European Journal of Operational Research 121 (2000) 124-137.
17. Orille A. L., Sowilam G.M.; —An Application Of Neural Networks For Direct Torque Control; Computers & Industrial Engineering 37 (1999) 391-394.
18. Yang Simon X., Meng Max; —An efficient neural network approach to dynamic robot motion planning; Neural Networks 13 (2000) 143–148.
19. Barberá H. Martínez, Skarmeta A. Gómez, Izquierdo M. Zamora, Blaya J. Botía; Neural Networks for Sonar and Infrared Sensors Fusion; In Proceedings of the Third International Conference on Information Fusion, 2000. FUSION 2000.
20. Pomerleau Dean A.; —Knowledge-based Training of Artificial Neural Networks for Autonomous Robot Driving.
21. Glasius Roy, Komoda Andrzej, Gielen Stan C. A. M.; —Neural Network Dynamics for Path Planning and Obstacle Avoidance.
22. Мельник О.В., Шапран Ю.С., Матюхов А.Т., Бойко О.А. Дослідження системи підтримки прийняття рішення безпеки судноводіння / Водний транспорт: Збірник наукових праць. Випуск 1(32). 2021.
23. Khayat, O. Structural parameter tuning of the first-order derivative of an adaptive neuro-fuzzy system for chaotic function modeling. J. Int. Fuzzy Syst. 2014, 27, 235–245.
24. Li, S.P. Adaptive control with optimal tracking performance. Int. J. Syst. Sci. 2018, 49, 496–510.
25. Volodymyr Shymkovych, Veronika Niechkina. The criterion for determining the buffering time of the measuring channel for smoothing the variable changes of the sensor signal // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine. 2020. pp. 343-346.
26. Zak B. Modelling of ship's motion using artificial neural networks. – Advances in Neural Networks and Applications, World Scientific and Engineering Society Press, 2001. – P. 298–303.

Shapiro H.V., Borina M.V.

EVALUATION OF THE DEGREE OF VALIDITY OF DECISION-MAKING WHEN USING METHODS AND SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT OF NAVIGATION

The study assesses the degree of validity of decision-making when using the developed methods and system of information support of navigation. A comparative analysis of the assessment of adequacy and completeness of the information model of situation assessment provided to the navigator by existing methods and using the proposed methods is carried out, and the study of the efficiency of the improved model using the indicators of reliability, efficiency and completeness known in the theory of modelling shows its greater efficiency compared to the existing one. Algorithms are proposed that will allow to implement an automated solution to the tasks of recognition and situational analysis of the surface situation. The algorithm is initiated at the user's request when the values in the database of information features change or after modification of the knowledge base about the situation.

Keywords: maritime safety, information model, navigation, fuzzy neural network, decision-making, surface situation recognition, situation recognition, ship movement, ship traffic control system, technical means of navigation, formalisation, artificial intelligence.