Теоретичні основи розробки та експлуатації систем озброєння

УДК 004.827

DOI: 10.30748/soivt.2021.67.07

О.А. Даки¹, С.А. Олізаренко², Ю.Г. Якусевич¹, З.Я. Дорофєєва¹, В.В. Тришин¹

¹Державний університет інфраструктури та технологій, Київ

²Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ БАЗИ ЗНАНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

Питання створення і використання універсальної інформаційної технології для промислової розробки бази знань (БЗ) інтелектуальної системи автоматичного управління рухом судна (ІСАУ) в умовах невизначеності навколишнього середовища при неповній інформації з використанням останніх досягнень в області нечіткої логіки і глибокого навчання є недостатньо дослідженими. У роботі представлена інформаційна технологія розробки БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей. У процесі розробки інформаційної технології вирішені такі часткові завдання: розроблена структура і склад інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна; обґрунтований вибір нечіткої логічної моделі для формалізації процесу функціонування нечіткого регулятора ІСАУ рухом судна; обґрунтований вибір глибокої нейронної мережі для формального представлення моделі нейромережевого аналізатора ІСАУ рухом судна; обґрунтовано ефективність застосування інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей. Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку може бути розробка пропозицій щодо використання засобів автоматизованого проектування БЗ ІСАУ рухом судна з врахуванням представлення даної технології як сукупності функцій-процесів по розробці відповідної БЗ.

Ключові слова: база знань, інтелектуальна система автоматичного управління рухом судна, інтервальна нечітка логічна модель, нечіткий регулятор, глибока нейронна мережа.

Вступ

Завдання автоматичного або автоматизованого управління рухом судна відносяться до завдань які, як правило, складно формалізуються, і які не мають адекватного математичного представлення.

Одним з ефективних підходів до вирішення завдань подібного класу є підхід, заснований на розробці автоматичних або автоматизованих систем управління як інтелектуальних систем.

На даний час існує значна кількість досліджень, присвячених окремим питанням автоматичного або автоматизованого управління судном з використанням моделей і методів штучного інтелекту, зокрема, математичного апарату нейронних мереж, нечітких множин і нечіткої логіки, наприклад [1–5; 22]. При цьому судно розглядається як складний об'єкт, що функціонує в недостовірно відомому середовищі і різноманітних умовах, опис яких є неповним в умовах нестохастичної невизначеності.

Основним елементом ІСАУ рухом судна є БЗ, що являє собою сукупність правил, фактів, механізмів виведення, реалізованих на основі використання

нейромережових, нечітких або гібридних моделей. Розробка БЗ є одним з найбільш трудомістких етапів при створенні інтелектуальних систем.

При цьому питання комплексного підходу до розробки БЗ на промисловому рівні для представлення та накопичення знань про процеси автоматичного управління рухом судна з використанням нейромереж і нечіткої логіки є недостатньо дослідженими. Для існуючих технологій розробки БЗ характерний досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що, у свою чергу, ускладнює управління веденням процесу розробки, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт зі створення БЗ, ускладнює розподіл функціональних обов'язків у групі розробників і т. д. [6–8].

При цьому необхідно відзначити, що найбільш ефективними в області теорії нейронних мереж останнім часом є так звані глибокі нейронні мережі, наприклад, згорткові або рекурентні нейронні мережі [9–13], а в області теорії нечітких множин і нечіткої логіки – інтервальні нечіткі множини другого типу [14–16].

Метою статті є дослідження і формалізоване представлення інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей.

Аналіз літературних джерел. Розробці та використанню ІСАУ рухом судна присвячений цілий ряд робіт [1–5; 22]. Зокрема, в роботі [1] запропоновано і досліджено функціональну модель ІСАУ судном на базі нейромережових технологій при різних погодних умовах, швидкості і водотоннажності судна. У роботі [2] розроблена функціональна модель системи автоматичного управління курсом судна на базі нейромережових технологій, що дозволяє визначати оптимальний тип і структуру нейронної мережі, яка моделює рух судна для вирішення навігаційних завдань.

У роботі [3] побудовано нейронну мережу, яка прогнозує відносну швидкість судна в умовах впливу зовнішніх факторів. У роботі [4] представлені моделі, які прогнозують рух судна і побудовані на теорії нечітких множин, що дозволяє виключити необхідність використання диференціальних рівнянь для опису поведінки судна і дає можливість використовувати в процесі синтезу моделей експертні знання, а також забезпечити адекватність правил, за якими працює модель, реальним розумовим процесам судноводія.

У роботі [5] обґрунтована можливість і ефективність застосування традиційних рекурентних нейронних мереж для вирішення задач ідентифікації динаміки морських рухомих об'єктів. У роботі [22] запропонований метод технічної реалізації регулятора систем управління курсом судна на базі гнучких програмованих логічних пристроїв з використанням штучних нейронних мереж, а також запропоновано метод розрахунку ефективності запропонованого нейронного регулятора управління курсом судна.

Однак питання створення і використання універсальної інформаційної технології для промислової розробки БЗ ІСАУ рухом судна в умовах невідомості навколишнього середовища при неповній інформації з використанням останніх досягнень в області нечіткої логіки і глибокого навчання є недостатньо дослідженими (зокрема на основі глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей) [6; 8; 10–11], що визначає необхідність подальших досліджень у даній галузі.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі часткові завдання:

- розробити структуру і склад інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна;
- обґрунтувати вибір нечіткої логічної моделі

для формалізації процесу функціонування нечіткого регулятора ІСАУ рухом судна;

– обґрунтувати вибір глибокої нейронної мережі для формального представлення моделі нейромережевого аналізатора ІСАУ рухом судна;

– обґрунтувати ефективність застосування інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей.

Інформаційну технологію розробки БЗ ІСАУ рухом судна пропонується розглядати як сукупність функцій, які певним чином пов'язані одна з одною і реалізують прийоми, способи і методи, що забезпечують збір, зберігання, обробку, передачу та використання знань (даних) про процеси розробки БЗ ІСАУ рухом судна. Для подальшого формального представлення структури і складу інформаційної технології (information technology (IT)) пропонується використовувати методологію системного моделювання IDEF0 [17]. У загальному випадку методологія IDEF0 використовується для створення функціональної моделі, що відображає структуру і функції системи, а також потоки інформації і матеріальних об'єктів, що зв'язують ці функції. Основу методології IDEF0 складає стандартизована мова опису (моделювання) систем [8]. Відповідно до синтаксису і семантики мови IDEF0 формально представимо технологію ІТ у вигляді кортежу, згідно виразу (1) множини D_l^{IT} , згідно виразу (2) та множини $\{L_j^l\}$, згідно виразу (3):

$$T^{IT} = In^{IT}, \{D_l^{IT}\}; \quad (1)$$

$$D_l^{IT} = \{\{F_i^l\}, \{L_j^l\}\}; \quad (2)$$

$$\{L_j^l\} = \{\{V_j^l\}, \{C_s^l\}, \{I_m^l\}, \{O_n^l\}, \{M_r^l\}\}, \quad (3)$$

де In^{IT} – формулювання поставленої мети, в даному випадку це – розробка системи пов'язаних функцій, що реалізують прийоми, способи і методи збору, зберігання, обробки, передачі і використання знань (даних) по розробці БЗ ІСАУ рухом судна;

$\{D_l^{IT}\}$ – множина рівнів деталізації представлення технології ІТ, $l = 0, \dots, n$, де при $l = 0$ формується контекстна модель верхнього рівня, при $l = 1$ – верхня дочірня модель, при $l = 2 \dots n$ – дочірні моделі;

$\{F_i^l\}$ – множина функцій, що реалізують прийоми, способи і методи роботи зі знаннями (даними) на D_l^{IT} рівні деталізації представлення технології ІТ. У якості функцій при $l = 0$ розглядається (в термінології IDEF0) узагальнена “діяльність” (функція-діяльність), при $l = 1$ в якості функцій розглядають-

ся функції, що реалізують прийоми, способи і методи роботи зі знаннями (даними) на D_l^{IT} рівні деталізації представлення технології ІТ. У якості функцій при $l = 0$ розглядається (в термінології IDEF0) узагальнена “діяльність” (функція-діяльність), при $l = 1$ в якості функцій розглядають-

ся основні “процеси” (функції-процеси) роботи зі знаннями (даними), що реалізуються в ІТ, при $l = 2 \dots n$ – “підпроцеси” (функції-підпроцеси) роботи зі знаннями (даними) в рамках відповідного “процесу” на етапах розробки БЗ ІСАУ рухом судна;

$\{L_j^l\}$ – множина внутрішніх і граничних взаємодій елементів системи;

$\{V_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$ – множина внутрішніх взаємодій між функціями з множини $\{F_i^l\}$;

$\{C_j^l\} \in \{L_j^l\}$ – множина керуючих граничних взаємодій, що відображає математичні, програмні та технічні засоби, згідно яких здійснюється реалізація функцій ІТ по розробці БЗ ІСАУ рухом судна;

$\{I_j^l\} \in \{L_j^l\}$ – множина вхідних граничних взаємодій, що відображає дані (інформацію, знання), які перетворюються функцією;

$\{O_j^l\} \in \{L_j^l\}$ – множина вихідних граничних взаємодій, що відображає дані (знання), об’єкти, вироблені функцією;

$\{M_j^l\} \in \{L_j^l\}$ – множина граничних взаємодій, що відображає математичний апарат, який використовується для формалізації знань про процеси управління рухом судна.

Контекстна модель верхнього рівня, що описує область і межі представлення технології ІТ, задається відповідно до виразу:

$$D_0^{IT} = \{F_1^0, \{C_1^0, I_1^0, O_1^0, M_1^0\}\}. \quad (4)$$

В якості функцій з множини $\{F_i^l\}$ верхньої довірливої моделі, що створюється при декомпозиції моделі рівня D_0^{IT} , в даній постановці розглядаються функції-процеси, що реалізують прийоми, способи і методи збору знань з управління судноводінням $F_1^1 \in \{F_i^1\}$, обробки відповідних знань $F_2^1 \in \{F_i^1\}$, зберігання знань $F_3^1 \in \{F_i^1\}$, передачі $F_4^1 \in \{F_i^1\}$ і використання знань $F_5^1 \in \{F_i^1\}$ з управління судноводінням. Розглянемо коротко основні функції-процеси інформаційної технології ІТ розробки БЗ ІСАУ рухом судна. Функція-процес збору знань (даних) для вироблення рекомендацій з управління судноводінням $F_1^1 \in \{F_i^1\}$ розглядається як етап ідентифікації знань (даних) і реалізується за допомогою виконання таких функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{11}^2 \in F_1^1$ постановки за-

дачі з розробки БЗ ІСАУ рухом судна, визначення необхідних ресурсів і джерел знань;

– функція-підпроцес $F_{12}^2 \in F_1^1$ збору знань з управління судноводінням, що реалізується за результатами визначення необхідних ресурсів і джерел знань.

У ході реалізації функції-підпроцесу $F_{11}^2 \in F_1^1$ визначається склад знань з управління судноводінням. У ході реалізації функції-підпроцесу $F_{12}^2 \in F_1^1$ виконується, при необхідності, коригування складу існуючих знань з управління судноводінням, а також безпосередньо здійснюється опис даних (фактів) в тому числі, з точки зору виділення декларативних і процедурних знань.

Функція-процес концептуалізації знань (даних) для вироблення рекомендацій з управління судноводінням $F_2^1 \in \{F_i^1\}$ реалізується за допомогою виконання таких функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{21}^2 \in F_2^1$ формування складу поля знань у вигляді вербального опису;

– функція-підпроцес $F_{22}^2 \in F_2^1$ формування безпосередньо поля знань (формальної структури предметної області) з використанням відповідної мови описів поля знань (наприклад, з використанням мови об’єктно-орієнтованого моделювання UML [18]).

Функція-процес $F_3^1 \in \{F_i^1\}$ розглядається як етап формалізації знань і реалізується за допомогою виконання наступних функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{31}^2 \in F_3^1$, при виконанні якої визначається формалізований склад знань про процеси управління рухом судна, що визначають структуру, функції і взаємозв’язок компонентів БЗ;

– функція-підпроцес $F_{32}^2 \in F_3^1$, при виконанні якої визначаються способи представлення знань, обґрунтування і вибір математичного апарату формалізації знань для реалізації компонентів БЗ ІСАУ рухом судна (більш детально дана функція-підпроцес розглянута нижче);

– функція-підпроцес $F_{33}^2 \in F_3^1$, при виконанні якої виконується безпосереднє формалізований опис знань (формування математичної моделі) з використанням обраних способів представлення і методів формалізації знань;

– функція-підпроцес $F_{34}^2 \in F_3^1$, при виконанні якої для кожного формалізованого завдання розробляється узагальнений алгоритм його рішення (в рамках формування математичної моделі), що враховує формалізовані знання і забезпечує виявлення тенденцій перебігу процесу рішення формалізовано-

го завдання і представлення результатів вирішення користувачеві;

– функція-підпроцес $F_{35}^2 \in F_3^1$, при виконанні якої елементи математичної моделі, що розглядаються як процедурні знання, перетворюються в логічну модель БЗ ІСАУ рухом судна, описану з використанням конструкцій представлення логічних моделей мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML.

Функція-процес $F_4^1 \in \{F_i^1\}$ розглядається як етап програмної реалізації (прототипування) БЗ, при виконанні якого формується фізична модель БЗ і безпосередньо програмний прототип БЗ за допомогою виконання таких функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{41}^2 \in F_4^1$, при виконанні якої розробляється архітектура БЗ, яка визначає структуру, функції і взаємозв'язок компонентів БЗ ІСАУ рухом судна. При цьому в якості основних елементів БЗ при використанні інтервальних нечітких множин другого типу та інтервальних нечітких логічних моделей другого типу використовуються нечіткі продукційні правила і відповідні функції приналежності, а в якості основних елементів БЗ при використанні глибоких нейромереж використовуються навчальна вибірка (неявна БЗ у вигляді бази фактів) і відповідні синаптичні карти нейромереж;

– функція-підпроцес $F_{42}^2 \in F_4^1$, при виконанні якої виконується реалізація (прототипування) компонентів БЗ. При цьому реалізація компонентів БЗ ІСАУ рухом судна включає розробку проектних рішень по програмній реалізації БЗ з використанням фізичних моделей мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML і безпосередньо програмну реалізацію БЗ з використанням високорівневої мови програмування і (або) системи управління базою даних (знань);

– функція-підпроцес $F_{43}^2 \in F_4^1$, при виконанні якої здійснюється наповнення БЗ ІСАУ рухом судна знаннями (даними) на основі елементів розроблених математичних моделей, що розглядаються в даному випадку як декларативні знання.

Наповнення БЗ здійснюється як за результатами безпосереднього введення декларативних знань в БЗ, наприклад, при введенні нових нечітких продукційних правил, так і за результатами навчання елементів БЗ (наприклад, коли при навчанні глибоких нейромереж формуються відповідні синаптичні карти). При цьому знання, представлені у вигляді синаптичних карт, пропонується визначати за результатами побудови і подальшого навчання нейромереж з використанням спеціалізованих засобів моделювання, таких як, наприклад, середа моделювання та навчання глибоких нейромереж Digits або Google Colab [19].

З метою більш повного представлення порядку виконання функції-підпроцеса $F_{41}^2 \in F_4^1$ розглянемо в цілому архітектуру ІСАУ рухом судна і місце в її складі відповідної БЗ.

Основними компонентами класичної інтелектуальної системи є: БЗ (упорядкована сукупність правил, фактів, механізмів виведення), вирішувач завдань (для формування логічних виведень на основі наявних знань), підсистема пояснення (для пояснення користувачеві способу, за допомогою якого отримано рішення), інтерфейс користувача і підсистема навчання (для наповнення і коригування БЗ) [6].

Виходячи зі структури нейронних систем [9], нечітких логічних систем інтервального другого типу [14] і складу основних компонентів традиційної інтелектуальної системи, пропонується варіант базової архітектури ІСАУ рухом судна на основі глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей, наведений на рис. 1.

Функція-процес $F_5^1 \in \{F_i^1\}$ розглядається як етап тестування (верифікації) БЗ і безпосередньо виконується або над проектними рішеннями, представленими у вигляді моделей UML, або над програмним кодом, який реалізує безпосередньо прототип або остаточну версію БЗ ІСАУ рухом судна.

У разі виявлення помилок повернення може здійснюватися на будь-який попередній етап розробки БЗ залежно від типу виявленої помилки. Перед обґрунтуванням вибору математичного апарату для формалізації процесів функціонування компонентів ІСАУ рухом судна коротко розглянемо її функціональну модель. В якості функціональної моделі ІСАУ рухом судна пропонується використовувати модифікацію функціональної моделі, запропонованої в роботі [2]. Модифікація даної моделі полягає у використанні в якості базового математичного апарату для формалізації процесів функціонування компонентів ІСАУ рухом судна глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей другого типу (рис. 2), де:

- НР – нечіткий регулятор ІСАУ рухом судна на основі інтервальних нечітких моделей другого типу;
- ОУ – об'єкт управління (судно);
- БО – блок оптимізації ІСАУ рухом судна;
- НСМ ОУ – нейромережева ситуативна модель об'єкта управління (судна) ІСАУ рухом судна на основі глибоких нейронних мереж;
- НСА – нейромережевий ситуативний аналізатор ІСАУ рухом судна на основі глибоких нейронних мереж.

Рис. 1. Варіант базової архітектури ІСАУ рухом судна на основі глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей.

Джерело: розроблено авторами.

Рис. 2. Варіант функціональної моделі ІСАУ рухом судна

Джерело: розроблено авторами.

При цьому можливі два варіанти функціонування глибокої нейронної мережі як архітектурного елемента ІСАУ рухом судна [2]:

1) глибока нейронна мережа навчається в реальному часі, одночасно формуючи управлінський вплив ІСАУ рухом судна, при цьому мета навчання нейронної мережі і мета управління об'єктом (судном) збігаються, що відбивається в завданні єдиної цільової функції;

2) спочатку глибока нейронна мережа навчається заданою функцією управління, потім відбува-

ється апроксимація цієї функції в режимі управління об'єктом (судном) при тих самих умовах або близьких до них. Цільова функція навчання нейронної мережі і мета управління об'єктом (судном) при цьому можуть відрізнятися.

На теперішній час у рамках дослідження математичного апарату нечітких множин та нечіткої логіки, одним з найбільш актуальних є питання, пов'язані з вивченням різних узагальнень нечітких множин, які забезпечували б формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порі-

внянні з класичними нечіткими множинами (нечіткими множинами типу 1 (НМТ1)).

За останнє десятиліття подальший розвиток в даній області отримали перш за все нечіткі множини типу 2 (НМТ2) [20]. Однак, через обчислювальні складності НМТ2, званих також загальними НМТ2, на практиці використовуються інтервальні НМТ2(ІНМТ2) [21]. При цьому, ІНМТ2, з одного боку, забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності, у порівнянні з НМТ1, з іншого боку, є “реалізованими” при розробці нечітких систем (моделей) і мають меншу обчислювальну складність, у порівнянні з загальними НМТ2 [20–21].

Таким чином, в якості базової моделі представлення знань для формалізації процесу функціонування нечіткого регулятора ІСАУ рухом судна в умовах невизначеності визначимо ІНМТ2 і засновані на них нечіткі логічні системи (НЛС) інтервального типу 2 (НЛС ІТ2) [14].

Глибокими нейронними мережами називаються такі мережі, в яких є кілька прихованих шарів (від декількох десятків до декількох сотень). Головною особливістю глибоких нейронних мереж є стисле представлення достатньо великої множини функцій [9; 22].

В якості глибокої нейронної мережі для формального представлення моделі судна при розробці БЗ ІСАУ рухом судна пропонується використовувати рекурентні нейронні мережі (RNN).

У мережах прямого поширення використовуються єдиний вхід, який повністю визначає активації всіх нейронів в останніх шарах. Таку мережу неможливо навчити передбачати події, наприклад, при управлінні рухом судна – незрозуміло, як би могла бути використана інформація про попередні етапи руху судна. У свою чергу, маючи всередині цикли, RNN дозволяє інформації зберігатися: поведінка прихованих нейронів буде визначатися не тільки активацією в інших прихованих шарах, а й отриманими раніше активаціями самих нейронів. У теорії RNN може обробляти подібні довготривалі залежності, однак на практиці, як правило, це не спрацьовує. Ця проблема вирішується додаванням модулів довгої короткострокової пам'яті в рекурентну мережу. Довга короткострокова пам'ять LSTM-модуль – рекурентний модуль мережі, призначений для запам'ятовування значень як на короткі, так і на довгі проміжки часу, що, у свою чергу, більш адекватно дозволяє моделювати рух судна.

Таким чином, в якості базової моделі представлення знань для формального представлення моделі судна при розробці БЗ ІСАУ рухом судна визначимо LSTM-модуль, які були розроблені для того, щоб мати більш стійку пам'ять, тим самим, спрощуючи для RNN фіксацію довгострокових залежностей [9].

В якості глибокої нейронної мережі для формального подання нейромережевого аналізатора ІСАУ рухом судна пропонується використовувати згорткові нейронні мережі. Згорткова нейронна мережа (ЗНМ) – архітектура нейронних мереж, спочатку була створена і використана для ефективного розпізнавання зображень. У ній чергуються згорткові шари з нелінійними активаційними функціями і шари об'єднання. На відміну від мережі прямого поширення, де кожен вхідний нейрон з'єднується з вихідним нейроном у наступному шарі, у згорткових мережах для отримання вихідних значень використовуються згортки над кожним вхідним шаром. ЗНМ розглядається, перш за все, як ефективний класифікатор. При цьому, для формального подання нейромережевого аналізатора при розробці БЗ ІСАУ пропонується адаптувати відповідно до розглянутої предметної області ЗНМ типу LeNet.

Таким чином, в якості базової моделі представлення знань для формального подання нейромережевого аналізатора ІСАУ рухом судна визначимо адаптовану ЗНМ типу LeNet [13].

Як показник ефективності застосування інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна розглядається обґрунтованість прийняття рішень з управління рухом судна з використанням БЗ ІСАУ. Обґрунтованість прийняття рішення залежить від важливості і способів обліку значущих чинників, що впливають на процес прийняття рішення, і оцінюється за наступним виразом

$$D = 1 - \sum_{j=1}^4 \beta_j \cdot \sum_{i \in q_j} \alpha_i, \quad (5)$$

де α_i – вага важливості врахування з використовуваним підходом (без засобів автоматизації (БА), з частковою автоматизацією без БЗ (ЧА), с БЗ ІСАУ (БЗ)) i -го параметра (фактору) управління рухом судна в відносних одиницях;

q_j – множина параметрів (факторів), що враховуються у процесі управління рухом судна j -им способом узагальнення;

β_j – відносне середнє значення похибки, що вноситься в результати прийняття рішення з управління рухом судна внаслідок неточного (узагальненого) врахування параметрів (факторів).

Для оцінки значення показника обґрунтованості проведено аналіз множини факторів, що використовуються при управлінні рухом судна, і визначено вагу кожного фактору (19 факторів) для різних способів узагальнення (“Н” – непряме узагальнення, “Ф” – функціональне, “П” – пряме, “Б” – безпосереднє узагальнення). У табл. 1 наведені можливі значення в залежності від відносної похибки вхідної інформації, використовуваної при прийнятті рішення при управлінні рухом судна.

Таблиця 1

Значення величини β_j з урахуванням відносної похибки вихідних даних

Відносна похибка вхідних даних ε (%)	Значення β_j для j -го способу узагальнення			
	Н	Ф	П	Б
0...10	0,8	0,5	0,2	0
11...20	0,9	0,7	0,4	0,1
21...40	1,0	0,8	0,5	0,2
41...100	1,0	0,9	0,8	0,5

Джерело: розроблено авторами.

При цьому значення показника обґрунтованості прийняття рішень з управління рухом судна для різних підходів розраховані для фіксованих значень відносної похибки ε (%).

Розрахунки показують, що використання розробленої БЗ ІСАУ рухом судна дозволить підвищити значення показника обґрунтованості прийняття рішень з управління рухом судна (рис. 3).

Рис. 3. Залежність показника обґрунтованості прийняття рішень з управління рухом судна при різних підходах від відносної похибки вхідних даних

Джерело: розроблено авторами.

Виграш при цьому становить:

- у порівнянні з управлінням без засобів автоматизації – в середньому в 3 рази;
- у порівнянні з частковою автоматизацією процесів управління рухом судна без використання БЗ – в середньому в 1,5 рази.

Висновки

Таким чином, запропонована у статті інформаційна технологія дозволяє реалізувати промислову розробку БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейромереж і нечіткої логіки, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю функцій-процесів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання функцій-підпроцесів, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про процеси управління судном, яке розглядається як об'єкт, що функціонує в умовах нестохастичної не-

визначеності. У процесі розробки інформаційної технології вирішені такі часткові завдання: розроблена структура і склад інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна; обґрунтовано вибір нечіткої логічної моделі для формалізації процесу функціонування нечіткого регулятора ІСАУ рухом судна; обґрунтовано вибір глибокої нейронної мережі для формального представлення моделі нейромережевого аналізатора ІСАУ рухом судна; обґрунтовано ефективність застосування інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж і інтервальних нечітких логічних моделей. Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку може бути розробка пропозицій щодо використання засобів автоматизованого проектування БЗ ІСАУ рухом судна з врахуванням даної технології як сукупності функцій-процесів по розробці відповідної БЗ.

Список літератури

1. Седова Н. А., Глушков С. В. Теоретические аспекты нейросетевого управления курсом судна. *Транспортное дело России*. 2006. № 7. С. 54-57.
2. Глушков С. В. Нечеткие множества в системах управления курсом судна. *Транспортное дело России*. 2006. № 7. С. 14-15.
3. Дерябин В. В. Построение модели счисления судна на основе нейронной сети. *Эксплуатация морского транспорта*. 2010. № 4(62). С. 33-40.
4. Студеникин Д. Е. Структура нечеткого контроллера движения судна в стесненной акватории. *Бюллетень транспортной информации*. 2010. № 1(175). С. 34-35.
5. Константинова Е. А., Дыда А. А., Оськин Д. А. Нейросетевая идентификация нелинейной модели судна. *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2011. № 2. С. 153-155.
6. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург : Питер, 2000. 384 с.
7. Искандеров Ю. М. Создание баз знаний интеллектуальных систем. Москва : МО РФ, 2003. 233 с.
8. Искандеров Ю. М. Технология создания базы знаний для автоматизированной системы управления корпоративной сетью связи морского порта : дис. ... докт. тех. наук. Государственная морская академия. Санкт-Петербург, 2005. 243 с.
9. Антонио Джулли, Суджит Пал. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow / пер. с англ. Слинкин А. А. Москва : ДМК Пресс, 2018. 294 с.
10. Kaplan J. Artificial Intelligence: What Everyone Needs to Know. Oxford : Oxford university press, 2015. 170 p.
11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 2016. 767 p.
12. Anbarjafari G. Convolutional Neural Network Super Resolution for Face Recognition in Surveillance Monitoring. *Springer*. 2016. Vol. 9756. P. 175.
13. LeCun Y., Kavukcuoglu K., Farabet C. Convolutional networks and applications in vision. *IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems*. 2010. No. 4. P. 253-256.
14. Олизаренко С. А., Перепелица А. В., Капранов В. А. Нечеткие логические системы интервального типа 2. Архитектура и механизм вывода. *Системы обработки информации*. 2011. № 5(95). С. 156-164.
15. Castillo O., Melin P. Type-2 Fuzzy Logic Theory and Applications. Berlin : Springer-Verlag, 2008. 223 p.
16. Mendel J. M. Type-2 fuzzy sets and systems: an overview. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2007. Vol. 2. P. 20-29.
17. ГОСТ РД ИДЕФ0 – 2000. Руководящий инструмент. Методология функционального моделирования ИДЕФ0. [Действующий от 2000]. Изд. офиц. Москва : ГОСТ России, 2000. 75 p.
18. Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. Москва : ДМК Пресс, 2001. 432 с.
19. Tao A., Barker J., Sarathy S. DetectNet: Deep Neural Network for Object Detection in DIGITS. Nvidia developer blog. URL: <https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/detectnet-deep-neural-network-object-detection-digits/> (accessed 20.04.2021).
20. Олизаренко С. А., Брежнев Е. В., Перепелица А. В. Нечеткие множества типа 2. Терминология и представление. *Системы обработки информации*. 2010. № 8(89). С. 131-140.
21. Олизаренко С. А., Перепелица А. В., Капранов В. А. Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции. *Системы обработки информации*. 2011. № 2(92). С. 39-45.
22. Синергетика и нейросетевые системы управления курсом судна : монография / Виткалов Я. Л. и др. Москва-С.Петербург-Владивосток : Питер, 2006. 205 с.

Надійшла до редколегії 08.07.2021

Схвалена до друку 14.09.2021

Відомості про авторів:

Дакі Олена Анатоліївна

доктор технічних наук доцент
директор Дунайського інституту водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>

Олизаренко Сергій Анатолійович

доктор технічних наук старший науковий співробітник
професор кафедри Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7762-6541>

Якусевич Юрій Геннадійович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри
Дунайського інституту водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5933-5417>

Information about the authors:

Olena Daki

Doctor of Technical Sciences Associate Professor
Director of Danube Institute of Water Transport
State University of Infrastructure and Technologies,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>

Serhii Olizarenko

Doctor of Technical Sciences Senior Research
Professor of the Department of Flight Academy
of the National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7762-6541>

Yuriy Yakusevych

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Danube Institute
of Water Transport State University
of Infrastructure and Technologies,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5933-5417>

Дорофєєва Зоя Яківна

старший викладач

Дунайського інституту водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3354-578X>**Zoya Dorofeyeva**

Senior Instructor of Danube Institute

of Water Transport State University
of Infrastructure and Technologies,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3354-578X>**Тришин В'ячеслав Валентинович**

старший викладач

Дунайського інституту водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7562-2662>**Vyacheslav Tryshyn**

Senior Instructor of Danube Institute

of Water Transport State University
of Infrastructure and Technologies,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7562-2662>

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ БАЗЫ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА

Е.А. Даки, С.А. Олизаренко, Ю.Г. Якусевич, З.Я. Дорофєєва, В.В. Тришин

Вопросы создания и использования универсальной информационной технологии для промышленной разработки базы знаний (БЗ) интеллектуальной системы автоматического управления (ИСАУ) движением судна в условиях неопределенности окружающей среды при неполной информации с использованием последних достижений в области нечеткой логики и глубокого обучения являются недостаточно исследованными. В работе представлена информационная технология разработки БЗ ИСАУ движением судна с использованием глубоких нейронных сетей и интервальных нечетких логических моделей. В процессе разработки информационной технологии решены следующие частные задачи: разработана структура и состав информационной технологии разработки БЗ ИСАУ движением судна; обоснован выбор нечеткой логической модели для формализации процесса функционирования нечеткого регулятора ИСАУ движением судна; обоснован выбор глубокой нейронной сети для формального представления модели нейросетевого анализатора ИСАУ движением судна; обоснована эффективность применения информационной технологии разработки БЗ ИСАУ движением судна с использованием глубоких нейронных сетей и интервальных нечетких логических моделей. Перспективами дальнейших исследований в этом направлении может быть разработка предложений по использованию средств автоматизированного проектирования БЗ ИСАУ движением судна с учетом представления данной технологии как совокупности функций процессов по разработке соответствующей БЗ.

Ключевые слова: база знаний, интеллектуальная система автоматического управления движением судна, интервальная нечеткая логическая модель, нечеткий регулятор, глубокая нейронная сеть.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR DEVELOPING THE KNOWLEDGE BASE OF THE INTELLIGENT AUTOMATIC VESSEL TRAFFIC CONTROL SYSTEM

O. Daki, S. Olizarenko, Yu. Yakusevych, Z. Dorofeyeva, V. Tryshyn

The issues of creating and using a universal information technology for the industrial development of a knowledge base of an intelligent automatic control system for the movement of a ship in conditions of uncertainty in the environment with incomplete information using the latest achievements in the field of fuzzy logic and deep learning are insufficiently studied. The paper presents an information technology for developing a knowledge base of an intelligent system for automatic control of ship movement using deep neural networks and interval fuzzy logical models. In the process of developing information technology, the following particular tasks have been solved: the structure and composition of information technology has been developed for the development of a knowledge base of an intelligent system for automatic control of ship movement; the choice of a fuzzy logical model for formalizing the process of functioning of a fuzzy regulator of an intelligent system for automatic control of ship movement has been substantiated; the choice of a deep neural network for the formal presentation of a neural network analyzer model of an intelligent system for automatic control of ship movement has been substantiated; substantiated the effectiveness of the application of information technology for the development of a knowledge base of an intelligent system for automatic control of ship movement using deep neural networks and interval fuzzy logical models. Prospects for further research in this direction can be the development of proposals for the use of automated design tools for the knowledge base of an intelligent system for automatic control of the ship's movement, taking into account the presentation of the technology under consideration as a set of functions-processes for the development of an appropriate knowledge base.

Keywords: knowledge base, intelligent system for automatic control of ship movement, interval fuzzy logic model, fuzzy controller, deep neural network.