

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНОГО
СЕРЕДОВИЩА НАВЧАННЯ В ТРЕНАЖЕРНОМУ КОМПЛЕКСІ
ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ

А.О. Сокол

старший викладач кафедри безпеки життєдіяльності
та професійно-прикладної фізичної підготовки,
Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8179-453X

Анотація

Вступ. Сучасні вимоги щодо підготовки судноводіїв висувають високі стандарти щодо якості підготовки фахівців, здатних ефективно діяти в складних і непередбачуваних умовах. Останніми роками в галузі підготовки судноводіїв і використання тренажерних систем було опубліковано значну кількість досліджень, які оцінили ефективність різних підходів навчання. При цьому ці роботи не дають конкретних алгоритмів впровадження систем у практику. У статті розглядається процес створення адаптивного інформаційного середовища для навчання судноводіїв на тренажерах. **Мета.** Приділити основну увагу синтезу умов, що відповідають рівню підготовки та індивідуальним успіхам здобувачів освіти. У міру оволодіння необхідними навичками тренажерна система повинна змінювати параметри навколишнього середовища, варіативно підлаштовуючись під різні ситуації для оптимізації процесу навчання. Ключові етапи діяльності судноводіїв, такі як ідентифікація об'єктів, прийняття рішень та їх реалізація, повинні бути відтворені з високим ступенем реалістичності, щоб розвинути гнучкі професійні навички, необхідні в нестандартних ситуаціях. Ефективність тренажерної підготовки залежить від детального аналізу всіх етапів роботи судноводіїв і створення візуально і функціонально точної моделі їх професійного середовища. **Результати.** Було визначено, що для створення такої моделі використовується нечітке виведення, яке дає змогу використовувати його для управління складними системами. **Висновки.** Така модель дасть змогу врахувати ті характеристики, які не враховує статичний сценарій тренажера, але, при цьому які можуть вплинути на прийняття рішень в екстремальних ситуаціях. Тренажерна підготовка у такій моделі дасть змогу підвищити якість роботи судноводія.

Ключові слова: адаптивне інформаційне середовище, судноводій, тренажерна підготовка, гнучкі навички, прийняття рішень.

AUTOMATING THE PROCESS OF SYNTHESIS OF THE INFORMATION
LEARNING ENVIRONMENT METHOD IN THE SIMULATOR CENTRE
FOR NAVIGATORS' TRAINING

A.O. Sokol

Senior Lecturer at the Department of Health and Safety,
Professional and Applied Physical Training,
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-8179-453X

Summary

Introduction. Modern requirements for navigators' training set high standards for the training quality of specialists able to operate effectively in complex and unpredictable conditions. A considerable number of studies have been published in recent years in the field of navigators' training and the use of training systems, which have evaluated the effectiveness of various training approaches. At the same time, these works do not provide specific algorithms for implementing systems in practice. The article considers the process of creating an adaptive information environment for training navigators on simulators. **Objective.** To focus on the synthesis of conditions that correspond to the level of training and individual success of students. As the required skills are mastered, the simulator system must change the operating parameters of the surroundings, adjusting variably to different situations to optimize the learning process. The key stages of navigators' activities, such as object identification, decision-making and implementation, must be reproduced with a high degree of realism to develop the flexible professional skills required in non-standard situations. Effective training depends on a detailed analysis of all steps in the work of navigators and the creation of a visually and functionally accurate model of their professional environment. **Results.** It has been shown that fuzzy inference is used to create such a model, which makes it possible to use it to control complex systems. **Conclusions.** Such a model will allow us to consider those characteristics that are not reflected in the static scenario of the simulator, but which may affect decision-making in extreme situations. Training in such a model will improve the quality of a navigator's work.

Key words: adaptive information environment, navigator, simulator training, flexible skills, decision-making.

Вступ. У зв'язку з великим попитом на кваліфікованих фахівців морської галузі, зокрема судноводіїв, виникає потреба у створенні адаптивного інформаційного середовища, яке сприяє оптимальному процесу навчання та забезпечує тренажерну підготовку, що відповідає індивідуальним особливостям здобувачів освіти.

Адаптивні тренажери дають змогу змінити підхід до освітніх методів, ґрунтуючись на оцінці рівня знань і професійних навичок кожного здобувача. Система має пропонувати ситуацію, що відповідає реальним умовам роботи судноводія, що допоможе не тільки в оволодінні теоретичними аспектами, а й у формуванні практичних компетенцій.

Основне завдання цього дослідження полягає в синтезі такої тренажерної системи, яка враховує динаміку навчання, різні сценарії, а також розмаїття завдань,

які вирішують судноводії. Дослідження спрямоване на оптимізацію обсягів інформації, що надається здобувачам освіти, і формування адаптивних навичок, необхідних для успішного виконання професійних обов'язків у реальній діяльності.

Аналіз літератури. Дослідження у галузі підготовки судноводіїв з використанням тренажерних систем можна розбити на кілька напрямків: теоретичні засади адаптивного навчання, практичне застосування тренажерів і оцінка їхньої ефективності.

У деяких дослідженнях акцентується увага на важливості індивідуалізованого підходу в освіті. Так, у роботах [1] та [2] підкреслюється значущість адаптивних технологій в освітньому процесі, що змінюють зміст і складність завдань залежно від рівня підготовки того, хто навчається. Однак зазначені роботи не пропонують конкретних алгоритмів чи методик впровадження адаптивних систем у практику. Це зумовлює труднощі в їхній практичній реалізації.

Практичні застосування тренажерів

Аналіз сучасних тренажерів для судноводіїв показує, що більшість із них заснована на статичних сценаріях, що обмежує їхню ефективність. Дослідження [3; 4] демонструють, що хоч тренажери й забезпечують досвід «занурення» в морське середовище, вони часто не враховують мінливості реальних умов. Це створює ризики, коли ті, кого навчають, не можуть адекватно реагувати на непередбачувані ситуації, оскільки їхня підготовка обмежується заздалегідь заданими сценаріями.

Оцінка ефективності

Обговорення методів оцінювання ефективності тренажерів часто залишається на рівні теоретичних міркувань. У роботах [5; 6] наголошується на необхідності комплексного оцінювання, проте конкретні критерії та методики залишаються нерозробленими. Численні дослідження не враховують розмаїття індивідуальних стилів навчання, що робить узагальнення результатів недостатньо репрезентативним.

Проведений аналіз літератури дав змогу виявити такі питання, що потребують додаткового дослідження та вирішення.

Відсутність конкретних методичних рекомендацій: багато досліджень не пропонує практичних рішень для впровадження адаптивних систем у навчання, що ускладнює їх використання.

Обмежена варіативність сценаріїв: тренажери часто ґрунтуються на фіксованих завданнях, що не дає змоги тим, хто навчається, розвивати навички адаптації до мінливих умов. Це може призвести до нестачі гнучкості в реальній професійній діяльності.

Неповне розуміння індивідуальних особливостей: більшість досліджень ігнорує вплив індивідуальних стилів навчання на процес взаємодії з тренажером, що може знижувати ефективність загалом.

Нестача перевірених методів оцінювання: відсутність стандартних критеріїв для оцінювання ефективності використання тренажерів робить результати важкими для аналізу й інтерпретації.

Таким чином, хоча в галузі підготовки судноводіїв спостерігається активний інтерес до адаптивних інформаційних середовищ і тренажерів, залишаються значні проблеми, що потребують подальшого вивчення. Необхідні глибші дослідження, спрямовані на розроблення конкретних методичних рішень і врахування

індивідуальних особливостей тих, хто навчається, що дасть змогу значно поліпшити якість підготовки та підвищити рівень адаптивності судноводіїв у реальних умовах.

Мета написання статті полягає в розробленні та обґрунтуванні підходів до автоматизації навчання судноводіїв з використанням адаптивного інформаційного середовища.

Основна частина. У міру набуття (підвищення) необхідних навичок судноводієм тренажерні засоби повинні забезпечувати зміну інформаційного оточення відпрацювання практичних навичок. Параметри обстановки і ситуацій повинні варіюватися в широкому спектрі як для оптимізації обсягу інформації, що надається тому, хто навчається, на різних етапах підготовки, так і для формування гнучких та адаптивних навичок, які можна застосувати в непередбачуваних умовах виконання посадових обов'язків на практиці [1; 2].

Для цього тренажер має достатньою мірою відтворювати всі ключові етапи діяльності судноводія під час керування можливими варіантами реальних суден у різних умовах.

Щоб ефективно формувати й відточувати професійні вміння судноводіїв за допомогою тренажерної підготовки, необхідно ретельно проаналізувати всі етапи їхньої діяльності. Створювана інформаційна модель відтворюваних умов має бути настільки реалістичною, щоб візуальні відчуття і рухові реакції того, хто навчається, нічим не відрізнялися від тих, що виникають у реальній обстановці [6; 7]. Тільки в цьому разі набуті на тренажері навички можна буде повною мірою перенести на керування справжнім судном.

Для створення ефективної системи тренажерної підготовки судноводіїв необхідно розробити гнучке інтелектуальне середовище, що дає змогу адаптивно керувати навчальним процесом. У структурі тренажера має бути передбачений механізм, який дає змогу:

- формувати інформаційне оточення того, хто навчається;
- змінювати ситуації і вводити нові умови, що ускладнюють процес;
- створювати перешкоди і проблеми в управлінні об'єктом;
- вибудовувати вправи за наростанням складності.

При цьому навички судноводія мають бути ранжовані за ступенем важливості. Характер практичних завдань відпрацювання має бути індивідуалізованим з урахуванням рівня підготовки того, хто навчається, і бути націленим на розвиток саме його професійних компетенцій [8].

Для реалізації такої адаптивної системи навчання пропонуємо використовувати методи штучного інтелекту, зокрема апарат нечіткої логіки [1; 9–11].

Найспецифічнішою рисою діяльності судноводія є те, що він позбавлений можливості цілком безпосередньо спостерігати за станом керованого об'єкта й елементами надводної обстановки та змушений користуватися інформацією, що надходить до нього каналами та лініями зв'язку. Таким чином, судноводій має справу зі змішаною інформаційною моделлю об'єкта управління та елементами реальної надводної обстановки [1; 8; 9].

Отже, тренажер має забезпечити штучне відтворення умов і чинників у процесі роботи судноводія під час керування реальним об'єктом.

Застосування інтелектуальних технологій у тренажерних комплексах для підготовки судноводіїв дає можливість створювати віртуальне середовище, максимально наближене до реальних умов плавання. Гнучке управління інформаційним наповненням тренажера дає змогу безперервно адаптувати складність вправ до поточного рівня того, хто навчається, домагаючись стійкого формування необхідних професійних навичок. Таким чином, інтелектуальні тренажерні комплекси стають ефективним інструментом підготовки висококваліфікованих судноводіїв.

Інформаційна модель, що формується інтелектуальною системою, формує три кінцевих варіанти відображення надводної обстановки. Пропонується використання трьох варіантів такої моделі: y_1 = «спрощена», y_2 = «проста», y_3 = «складна», які, своєю чергою, являють собою множину початкових умов відображення елементів надводного стану $y_i = \{d_1, d_2, \dots, d_8\}$, $i=1, 2, 3$.

Основними компонентами інтелектуальної системи є база знань і підсистема нечіткого виведення (рис. 1). База знань призначена для формального представлення практичних і нормативних знань або знань експертів і являє собою скінченну множину правил нечітких продукцій такого вигляду:

ПРАВИЛО $_1$:

IF $a_1=A_{1,1}$ AND $a_2=A_{2,1}$ AND $a_3=A_{3,1}$ AND $a_4=A_{4,1}$ AND $a_i=A_{i,1}$ THEN $y=d_1$ ELSE.

ПРАВИЛО $_2$:

IF $a_1=A_{1,2}$ AND $a_2=A_{2,2}$ AND $a_3=A_{3,2}$ AND $a_4=A_{4,2}$ AND $a_i=A_{i,2}$ THEN $y=d_2$ ELSE.

ПРАВИЛО $_n$:

IF $a_1=A_{1,n}$ AND $a_2=A_{2,n}$ AND $a_3=A_{3,n}$ AND $a_4=A_{4,n}$ AND $a_i=A_{i,n}$ THEN $y=d_n$ ELSE.

Вихідні дані з інтелектуальної системи надходять на модуль імітаційного моделювання (блоки моделювання руху судна, моделювання роботи РЛС, моделювання елементів навколишнього світу), де зчитується обраний сценарій вправи, моделюється динаміка руху судна й елементи навколишнього світу (рис. 2).

Процес нечіткого виведення являє собою алгоритм отримання підсумкових виведень на основі нечітких умов і правил із застосуванням понять нечіткої логіки. Він об'єднує в собі ключові концепції теорії нечітких множин: функції приналежності (ФП), лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткої композиції [10].

Нечітке виведення дає змогу формалізувати й автоматизувати процес прийняття рішень в умовах невизначеності, коли вихідні дані та правила мають неточний, приблизний характер. Це робить його незамінним інструментом для управління складними системами, поведінку яких важко описати точними математичними моделями.

Відомі процедури нечіткого виведення Мамдані, Такагі-Сугено, Ларсена, Цукамото та ін. [10].

Безпосередньо алгоритми виведень відрізняються наявністю нечіткостей, які можуть міститися як у правих, так і в лівих частинах правил. Так, у нечіткій моделі Мамдані використовується набір лінгвістичних правил, отриманих від експерта-оператора, що містять у консеквентах нечіткі змінні [1; 10]. Для ілюстрації роботи механізму нечіткого виведення в моделі Мамдані розглянемо систему, яка містить правила вигляду:

$$\text{IF } a_1=A_{1,1} \text{ AND } a_2=A_{2,1} \text{ THEN } y=d_1 \text{ ELSE,} \quad (1)$$

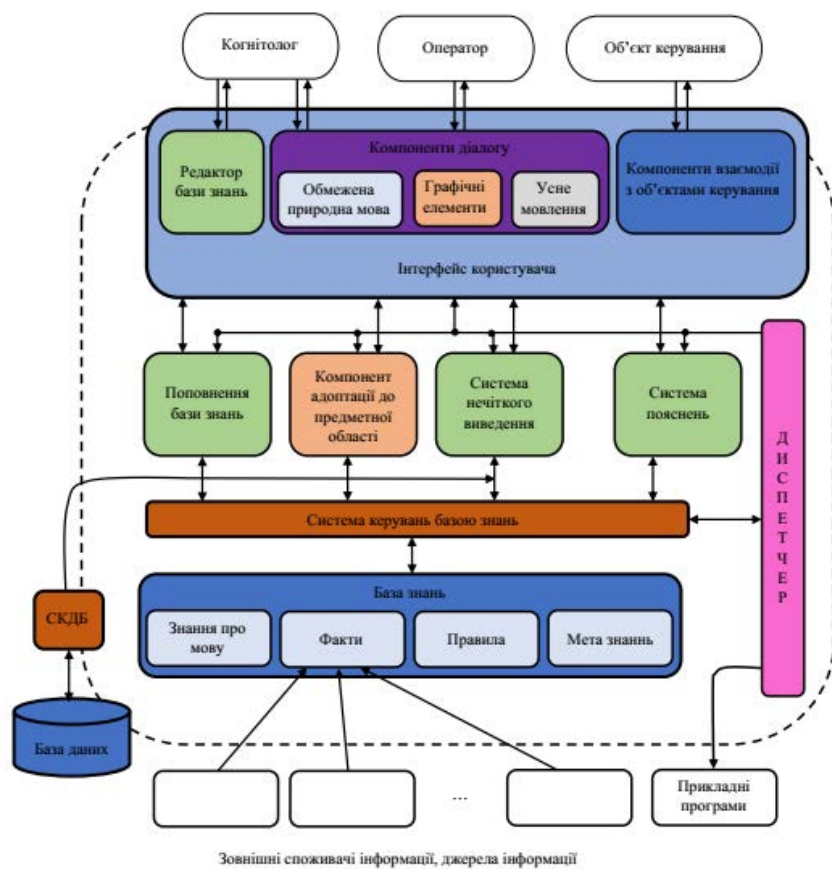


Рис. 1. Структура інтелектуальної системи

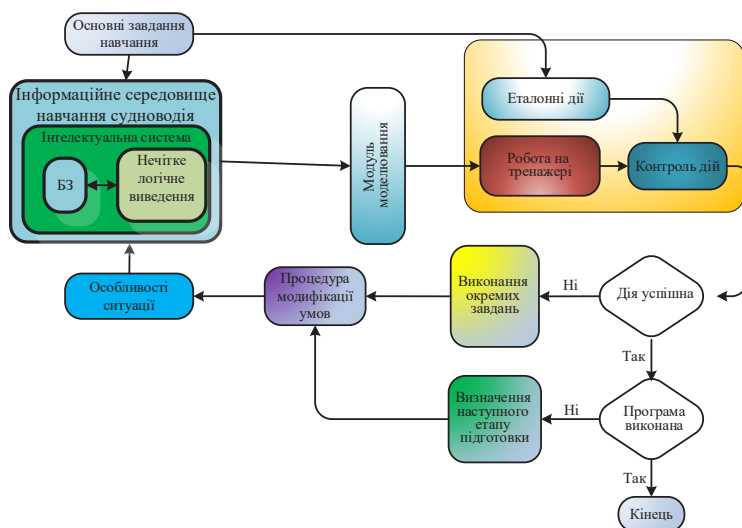


Рис. 2. Структура системи ситуаційного адаптивного формування інформаційного середовища навчання судноводія у процесі тренажерної підготовки

$$\text{IF } a_1=A_{1,2} \text{ AND } a_2=A_{2,2} \text{ THEN } y=d_2 \quad (2)$$

де a_1, a_2 – входи;

y – вихід;

$A_{1,1}, A_{2,1}, A_{1,2}, A_{2,2}$ – лінгвістичні значення входів;

d_1, d_2 – лінгвістичні значення виходів.

Перший індекс при лінгвістичних значеннях входів означає номер входу, другий індекс – номер правила. Лінгвістичні значення виходу мають один індекс, який є номером правила. Графічна ілюстрація процедури нечіткого виведення Мамдані наведена на рис. 3.

Ступінь виконання правил (w_i) обчислюється як

$$W_i(a_1, \dots, a_{n_a}) = \bigwedge_{j=1}^{n_a} \mu_{ij}(a_j), \quad i = \overline{1, n_R} \quad (3)$$

де \bigwedge – нечітка операція кон'юнкції, що відповідає оператору «І»;

n_a – кількість входів;

$\mu_{ij}(a_j)$ – функція приналежності на j -му вході в антецеденті i -го правила;

n_R – нечітка операція кон'юнкції, що відповідає оператору правил.

За допомогою операції імплікації визначаються ступені виконання правил. Далі обчислюються нечіткі значення консеквентів правил (заштриховані області функцій приналежності для d_1 і d_2 (рис. 3)).

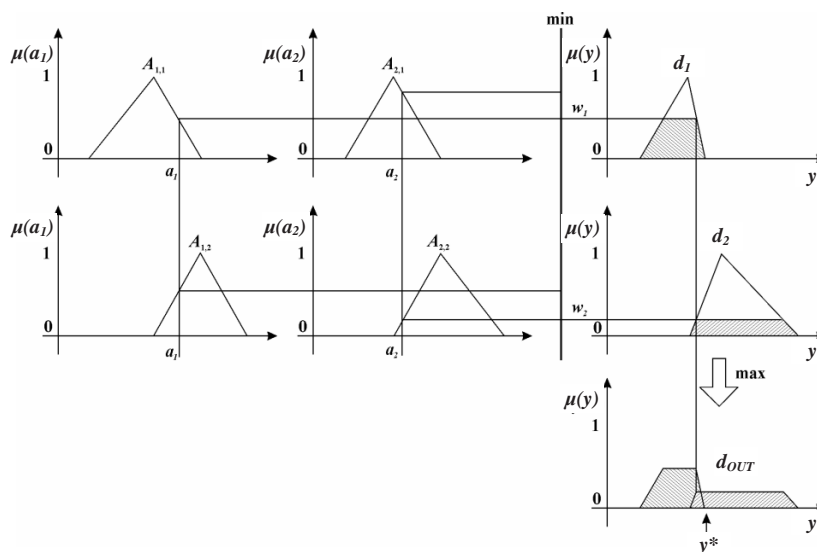


Рис. 3. Нечітке логічне виведення Мамдані

Нечітке значення виходу з функцією приналежності $\mu_{d_{OUT}}(y)$ знаходиться за допомогою операції агрегації (як правило, це операція максимуму):

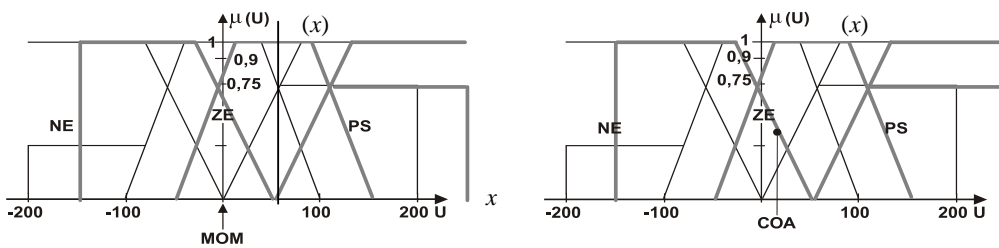
$$\mu_{d_{OUT}}(y) = \bigvee_{i=1}^{n_R} (w_i(a_1, \dots, a_{n_a}) \wedge \mu_{d_i}(y)), \quad (4)$$

де \bigvee – операція агрегації, що відповідає об'єднанню нечітких правил «ІНАКШЕ», яке в системі Мамдані еквівалентне диз'юнкції;

\wedge – операція імплікації (у системі Мамдані еквівалентна кон'юнкції);
 $\mu_{d_i}(y)$ – функція приналежності консеквента i -го правила.

Процедура отримання нечіткого значення виходу за використання максимуму як оператора агрегації та мінімуму як оператора імплікації називається максіміною композицією.

За результатами опрацювання відповідно до алгоритму управління даних, що надходять на вхід системи, отримано нечітке виведення $\mu_{d_{out}}(y)$. Операції дефазифікації дають змогу знайти відповідне йому чітке значення \bar{y} . На етапі дефазифікації нечіткий набір значень лінгвістичних змінних, що виводяться, перетворюється до точних значень. Найчастіше використовують методи усередненого максимуму (МОМ) і центру тяжіння (СОА) (рис. 4 а, б).



а) усередненого максимуму (МОМ) б) центру тяжіння (СОА)

Рис. 4. Графічна ілюстрація методів дефазифікації

Візьмемо найбільше чітке значення ступеня приналежності вихідної лінгвістичної змінної $\mu_{x_{out}}(x)$. Можливе існування кількох елементів області визначення з максимальним значенням ступеня приналежності. У цьому разі обирається усереднене значення максимумів (МОМ) (див. рис. 4 а):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^{\max}, \quad (5)$$

де \bar{x} – дефазифіковане чітке значення; x_i^{\max} – значення нечіткої множини x , для якої ФП приймають значення максимуму; n – кількість функцій приналежності.

Для врахування областей, що перетинаються, і множини правил, що спрацювали, використовується метод СОА (див. рис. 4 б). Згідно з ним функцію приналежності виходу будують шляхом знаходження центру тяжіння (ваги) виходів кожного з правил, що спрацювали, за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b x \cdot \mu_x(x) dx}{\int_a^b \mu_x(x) dx}, \quad (6)$$

де $\mu_x(x)$ – функція приналежності в діапазоні від a до b .

Правила бази знань моделей типу Мамдані є прозорими та інтуїтивно зрозумілими, проте мають гірші апроксимальні властивості [10].

Однак для розв'язання поставленої задачі скористаємося методом логічного виведення Ларсена.

Основні етапи моделі Ларсена схожі з моделлю Мамдані, проте між ними є ключова відмінність: у процесі імплікації усічені функції приналежності для вихідних термів обчислюються з використанням м'якої операції алгебраїчної згортки (prod).

1. Етап фазифікації вхідних даних. Етап аналогічний моделі Мамдані. Після початку роботи системи за допомогою виміральної підсистеми визначають

ступені приналежності для кожної з передумов у нечітких правилах $\alpha_1(a)$, $\alpha_2(a)$, $\alpha_1(b)$, $\alpha_2(b)$.

2. Етап логічного виведення. Тут крок імплікації повторює модель Мамдані. Для визначення рівнів відсікання використовується операція жорсткого мінімуму: $\alpha_i = \alpha_i(a) \wedge \alpha_i(b)$. Потім усічені функції приналежності для кожного вихідного терма обчислюються за допомогою операції добутку: $B'_i = \alpha_i \odot B_i$.

Етап композиції також аналогічний моделі Мамдані:

$$B' = \bigvee_{i=1}^n B'_i = \alpha_i \wedge B_i.$$

3. Етап дефазифікації. Тут за допомогою одного з методів дефазифікації визначається вихідне значення системи.

Для модифікації алгоритму Ларсена на етапі логічного виведення необхідно реалізувати перевірку на кількість повторюваних виведень нечіткого правила для вихідних термів. Потім за допомогою операції жорсткого мінімуму, встановлюється рівень відсікання для кожного вихідного терма.

Розглянемо приклад, що ілюструє реалізацію нечітко-логічного виведення з використанням алгоритму Ларсена. Припустимо, що ступені приналежності є рівними:

$$\alpha_1(a) = 0,8; \alpha_2(a) = 0,17; \alpha_1(b) = 0,33; \alpha_2(b) = 0,75.$$

$$\alpha_2 = \alpha_{21} \wedge \alpha_{22} = \min \{0,75; 0,17\} = 0,17.$$

$$\alpha_3 = \min \{0,17; 0,75\} = 0,17.$$

Однак усічені функції приналежності для кожного вихідного терма визначаються з використанням операції добутку:

$$B'_1 = \alpha_1 \odot B_1; B'_2 = \alpha_{21} \odot B_2; B'_3 = \alpha_3 \odot B_3.$$

На етапі композиції, використовуючи операцію максимуму, усічені функції приналежності об'єднуються в одну:

$$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3.$$

На етапі дефазифікації на основі даних табл. 1 визначається вихідне значення.

Таблиця 1

Подання вихідних значень

b	B'_1	B'_2	B'_3	$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3$	$b \cdot B'$
0	0	0	0	0	0
5	0,055	0	0	0,055	0,275
10	0,11	0	0	0,11	1,1
...
80	0	0	0,113333	0,113333	9,066667
85	0	0	0,085	0,085	7,225
90	0	0	0,056667	0,056667	5,1
95	0	0	0,028333	0,028333	2,691667
100	0	0	0	0	0
				$\sum_2 = 2,97$	$\sum_1 = 129,78$

Остаточно вихідне значення знайдемо, використовуючи основну ідею центру мас:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{21} B_i b_i}{\sum_{i=1}^{21} B_i} = \frac{\sum_1}{\sum_2} = \frac{129,7}{2,97} = 43,6.$$

Це і буде результатом остаточного рішення.

Нечітку модель Ларсена можна абстрактно уявити як розбиття простору чинників, що впливають, на нечіткі підобласті. У кожній із цих областей значення функції відгуку обчислюється як лінійна комбінація вхідних змінних. Простір вхідних факторів розбивається на нечіткі підобласті за допомогою умовної частини правила (антецедента). У межах кожної такої підобласті значення виходу обчислюється за лінійною функцією вхідних змінних.

Перевага моделі Ларсена полягає в її простоті та інтерпретованості. Нечіткі правила легко піддаються лінгвістичній інтерпретації, а лінійні функції у виведеннях правил прості в реалізації. Крім того, модель Ларсена має універсальну апроксимувальну здатність, тобто може з будь-якою точністю наближати довільні нелінійні залежності.

Застосування методу логічного виведення за алгоритмом Ларсена дасть змогу визначити оптимальний варіант відображення елементів надводної обстановки залежно від рівня підготовки судноводія та оцінки його дій.

Приклади формування початкових умов відображення елементів обстановки для трьох варіантів інформаційної моделі (y_1 = «спрощена», y_2 = «проста», y_3 = «складна») наведені на рис. 5–7.

Сформована інформаційна модель (рис. 5) дає змогу тому, хто навчається, відпрацювати весь алгоритм дій із розв'язання завдання керування судном або окремими системами судна в різних умовах. Це дасть змогу судноводієві на початковому етапі тренажерної підготовки відпрацювати до автоматизму необхідні навички та вміння з керування судном і його окремими системами та дій з пультовим обладнанням.

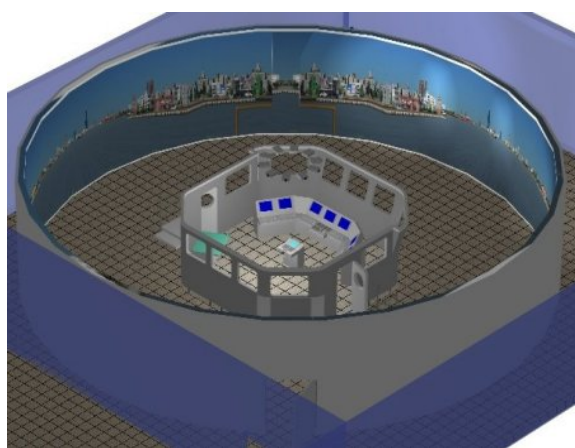


Рис. 5. Приклад відображення елементів надводної обстановки для інформаційної моделі «спрощена»

Сформована інформаційна модель (рис. 6) надає судноводієві можливість відпрацювати повний алгоритм дій для розв'язання завдань керування судном у різних умовах, включно зі складними ситуаціями, вузьким водним простором і складними навігаційними та лоцманськими умовами.



Рис. 6. Приклад відображення елементів надводної обстановки для інформаційної моделі «проста»

Крім того, модель ураховує особливості маневрування великотоннажних суден і суден з особливими маневреними характеристиками, а також використання обладнання глобальної морської системи зв'язку під час лиха (ГМСЗЛ) та електронної картографії. Усі ці аспекти роблять модель високоефективним інструментом для підготовки судноводіїв до реальних умов роботи.

Це дасть змогу судноводієві на етапі тренажерної підготовки розвинути необхідні навички та вміння для:

- керування великотоннажними суднами і суднами з особливими маневреними характеристиками;
- оцінювання поведінки суден в умовах мілководдя, впливу вітру і течії, зміни завантаження, а також взаємодії з іншими суднами за малих відстаней і роботи підрулювальних пристроїв;
- аналізу поведінки судна при зміні його завантаження;
- ефективного використання навігаційного обладнання в конкретних районах плавання;
- проведення швартовних операцій у морі з урахуванням усіх факторів;
- виконання буксирувальних операцій з різними типами буксирів, беручи до уваги зовнішні умови і взаємодію між судном і буксиром;
- реакції судна під час якірних операцій;
- управління в разі несправностей навігаційного обладнання та органів управління на ходових містках, а також у позаштатних і аварійних ситуаціях.

Таким чином, тренажерна підготовка забезпечує всебічну підготовку судноводіїв до реальних умов роботи на морі.



Рис. 7. Приклад відображення імітаційних елементів інформаційної моделі «складна»

Висновки. Розроблення та впровадження адаптивного інформаційного середовища для навчання судноводіїв дає змогу значно поліпшити процеси навчання, забезпечуючи персоналізований підхід відповідно до індивідуальних потреб і рівнів підготовки тих, хто навчається.

Зниження розриву між теорією і практикою шляхом створення реалістичних симуляцій і сценаріїв підкреслює важливість якісного відтворення умов, наближених до реальних, що допомагає тим, хто навчається, ефективно застосовувати теоретичні знання на практиці.

Використання тренажерів з високим ступенем реалістичності сприяє розвитку необхідних гнучких професійних навичок, дозволяючи судноводіям краще справлятися з нестандартними та непередбачуваними ситуаціями.

Автоматизація процесу синтезу інформаційного середовища навчання дає змогу підвищувати ефективність і результативність підготовки тих, хто навчається, а також оптимізувати час, що витрачається на освоєння ключових професійних навичок.

Робота відкриває нові напрямки для майбутніх досліджень у сфері використання технологій симуляції та автоматизації в освітньому процесі, що може призвести до подальшого вдосконалення систем підготовки в maritime education.

ЛІТЕРАТУРА

1. Demirel, E.; Mehta, R. Developing an effective maritime education and training system-TUDEV experiment. *In International Maritime Lawyers Association Conference*; Citeseer: Accra, Ghana, 2009; P. 1–11.
2. Demirel, E.; Bayer, D. A Study on the assessment of sea training as an integral part of maritime education and training. *The Online Journal of Quality in Higher Education*. 2016, Vol. 3, issue P. 12–24.
3. Dong, R.; Leng, H.; Zhao, J.; Song, J.; Liang, S. A Framework for Four-Dimensional Variational Data Assimilation Based on Machine Learning. *Entropy* 2022, 24, 264. <https://doi.org/10.3390/e24020264>.
4. Bogusławski, K.; Gil, M.; Nasur, J.; Wróbel, K. Implications of autonomous shipping for maritime education and training: The cadet's perspective. *Maritime Economics & Logistics*. 2022, 24, P. 327–343. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00217-x>.

5. Campos C., Castells-Sanabra M., Mujal-Colilles A. The next step on the maritime education and training in the era of autonomous shipping: A literature review. *In Proceedings of the 9th International Conference on Maritime Transport*, Barcelona, Spain, P. 27–29 June 2022. DOI:10.5821/mt.11004.
6. Hwang, H.; Hwang, T.; Youn, I.-H. Effect of Onboard Training for Improvement of Navigation Skill under the Simulated Navigation Environment for Maritime Autonomous Surface Ship Operation Training. *Appl. Sci.* 2022, 12, 9300. <https://doi.org/10.3390/app12189300>.
7. Hanzu-Pazara, R.; Barsan, E.; Arsenie, P.; Chiotoroiu, L.; Raicu, G. Reducing of maritime accidents caused by human factors using simulators in training process. *Journal of Maritime Research*. 2008, 5, P. 3–18.
8. Mallam, S.C.; Nazir, S.; Renganayagalu, S.K. Rethinking maritime education, training, and operations in the digital era: Applications for emerging immersive technologies. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2019, 7, 428. DOI:10.3390/jmse7120428.
9. Albayrak, T.; Ziarati, R. Training: Onboard and simulation based familiarisation and skill enhancement to improve the performance of seagoing crew. *In Proceedings of the International Conference on Human Performance at Sea (HPAS)*, Glasgow, UK, 16–18 June 2010; p. 586. DOI:10.13140/2.1.1863.0081.
10. Kim, T.; Sharma, A.; Bustgaard, M.; Gyldensten, W.C.; Nymoen, O.K.; Tusher, H.M.; Nazir, S. The continuum of simulator-based maritime training and education. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2021, 20, 135–150. DOI:10.1007/s13437-021-00242-2.
11. Abi-Zeid, I., Frost, J.R. SARPlan: A decision support system for Canadian Search and Rescue Operations. *European journal of operational research*. 2005. Vol. 162, issue 3. P. 630–653. DOI:10.1016/j.ejor.2003.10.029.