

METHOD OF AUTOMATED CLASSIFICATION OF EMERGENCY SITUATIONS WITH A VESSEL IN THE SEAPORT WATERS

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ІЗ СУДНОМ В АКВАТОРІЇ МОРСЬКОГО ПОРТУ

Yu. Khussein, *postgraduate student*

Ю. М. Хуссейн, *аспірант*

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine,

Державний університет інфраструктури та технологій, Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Україна

ABSTRACT

The aim of the study is to develop a method that allows to improve the accuracy of classification of emergencies with a ship in the seaport area. To achieve the research objective, an improved method for automated classification of ship emergencies in the seaport area under conditions of deterministic uncertainty is proposed. The method consists of methods for formalising and processing knowledge on determining the classes of ship emergencies. The method of knowledge formalisation is based on the formation of a set of factors influencing the classification of ship emergencies in the seaport water area based on fuzzy binary relations of non-strict preference. The method of knowledge processing is based on the formation of productive rules for classifying emergencies with a ship in the seaport area according to the predicted or current values of the desired factors in a fuzzy formulation. The determination of the membership functions of several fuzzy variables to linguistic variables is based on the processing of expert data represented by a matrix of binary relations of the values of the membership function of the elements of the domain of determining linguistic variables. A comparative assessment of the classes of recognisable emergencies with a vessel in the seaport water area involves solving a multi-criteria optimisation problem using the hierarchy analysis method. As a mathematical model for determining the classes of emergency situations with a vessel in the seaport waters, the article substantiates a logical-linguistic productive hierarchical model. The process of determining the classes of emergency is described with the help of an algebraic model, which is closest to the linguistic description. In case of inexpediency of synthesis of products, it is proposed to use the method of fuzzy identification to reduce the number of product rules. The proposed method allows to improve the accuracy of classification of emergencies with a ship in the seaport area under conditions of deterministic uncertainty.

Keywords: classification, maritime port, hierarchy analysis, fuzzy identification, logical-linguistic production hierarchical model, vessel, class of emergency situations, fuzzy variable, linguistic variable

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Дослідження питань автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту є актуальним в контексті постійно зростаючої морської діяльності та збільшення обсягів судноплавства. Забезпечення безпеки на морі та в портах є пріоритетним завданням, а автоматизована класифікація надзвичайних ситуацій може виявитися критичною для ефективного управління та оперативного реагування на потенційні загрози. Однією з ключових переваг автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій є здатність вчених та інженерів в рамках відповідних досліджень розробляти та вдосконалювати алгоритми автоматичної обробки даних для виявлення надзвичайних ситуацій, таких як аварії, зіткнення,

блокування чи інші нештатні обставини. Це допоможе покращити безпеку на морі та зменшити ризик аварій.

Дослідження питань автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій повинне враховувати використання сучасних технологій, таких як системи штучного інтелекту, нечіткої логіки, машинного навчання та аналізу великих обсягів даних. Це дозволить створити більш точні та швидкодіючі системи моніторингу та виявлення проблем. Нарешті, відповідне дослідження може сприяти створенню стандартів та протоколів безпеки для судноплавства в портах, що поліпшить координацію дій між різними суб'єктами, включаючи портові адміністрації, судновласників та служби рятування.

Отже, дослідження з автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту має великий практичний потенціал для покращення безпеки та оптимізації управління морськими ресурсами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Багато вчених досліджують шляхи підвищення ефективності класифікації надзвичайних ситуацій суден, наприклад, які визначені роботах [1 - 11].

Наприклад, у статті [1] розглянуто кілька способів надання ваги наявним методам оцінки ситуаційної безпеки після зіткнень морських суден. Більшість моделей оцінки безпеки ігнорують розмиті межі оцінок. Для вирішення цих проблем у цьому документі визначається система показників оцінювання безпеки та стандарти оцінювання, а також встановлюється модель оцінювання безпеки морських суден після зіткнень, заснована на теорії розширення хмари. Ця модель поєднує в собі модель хмари розширень, процес аналітичної ієрархії, метод ентропійних ваг і теорію ігор. За допомогою цієї моделі оцінено безпеку ситуації двох зіткнень. Результати оцінки відображають ефективність моделі. З метою забезпечення безпеки життя і майна морського персоналу внесено пропозиції щодо посилення підготовки екіпажів, поліпшення можливостей суден із саморятування в морі, створення повноцінної системи аварійно-рятувального реагування на морі.

У дослідженні [2] розглядаються й аналізуються морські події, що сталися за останні 20 років у Чорному морі. Для аналізу морських аварій використовуються географічна інформаційна система, система аналізу та класифікації людського фактору (HFACS) і байєсівські мережеві моделі. Найважливіша особливість, що відрізняє це дослідження від інших, полягає в тому, що це перше дослідження, в якому аналізуються аварії, що сталися на території всього Чорного моря. Ще однією важливою особливістю є застосування нової структури HFACS для виявлення закономірностей формування аварій. Результати цього дослідження показують, що аварії відбувалися у високих концентраціях у прибережних районах Чорного моря, особливо в районах Керченської протоки, Кіліоса, Констанци, Ріви та Батумі. Встановлено, що формування аварій типу посадка на мілину і затоплення має схожий характер; використання внутрішніх і старих суден було відзначено як важливий фактор у випадках затоплення і посадки на мілину. Однак послідовність подій, що призводять до аварій із зіткненням і контактом, відрізняється від послідовності подій, що призводять до аварій посадка на мілину і затоплення. Метою цього дослідження є надання інформації морській галузі про виникнення морських інцидентів у Чорному морі, щоб допомогти в скороченні та запобіганні морських подій.

У роботі [3] досліджується поширення втомної тріщини на головній палубі нафтового танкера, пошкодженого під час зіткнення при порятунку. Форма та розмір пошкоджень моделюються з використанням реалістичної форми носа атакуючого судна та історичних даних про судові аварії. Коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) по головній палубі ураженого судна розраховується чисельно та за методикою, що ґрунтується на наявних експериментальних результатах поширення тріщини в підкріпленій панелі. Коливання напружень, викликаних хвилями, у короточасних морських умовах під час рятування отримано за допомогою моделювання Монте-Карло (МК) на основі розподілу Релея.

Поциклове поширення тріщин розраховується за Паризьким законом. Багато моделей порятунку виконуються для охоплення різних можливих часових графіків втомного навантаження. Результати аналізу представлені у вигляді гістограми збільшення тріщини під час утилізації. Параметричний аналіз проводиться для вивчення впливу тяжкості хвилювання моря, початкового розміру тріщини і тривалості буксирування на кінцевий розмір тріщини. Запропоновану процедуру можна розглядати як частину програмного засобу екстреного реагування під час порятунку пошкодженого судна.

У дослідженні [4] визначено, що в умовах зростання інтенсивності судноплавства та ускладнення навігаційних умов існує потреба у підвищенні ефективності та безпеки судноплавства. Нове рішення проблеми підвищення безпеки експлуатації об'єктів водного транспорту, запропоноване в дисертації, ґрунтується на використанні методів кількісної оцінки та управління ризиками при виконанні складних навігаційних завдань. Розроблені методи дозволяють підвищити ефективність і безпеку судноплавства за рахунок зниження ризику помилок суден, підвищення точності навігаційних даних і поліпшення планування навігаційних завдань.

У статті [5] досліджувалося вплив помилок, пов'язаних з людським фактором та використанням електронних навігаційних пристроїв мостику, на аварії під час саджання на міліну та при зіткненні.

У дослідженні [6] розглядаються причини аварій, які є однією з причин зупинки контейнеровозів, для їхньої категоризації та оцінки залежно від ступеня їхнього внеску за допомогою моделювання методом Монте-Карло.

У роботі [7] досліджується вплив майже реалістичного моделювання форми пошкоджень при зіткненні на післяаварійну межову міцність балки корпусу двокорпусного нафтового танкера.

У статті [8] представлено аналіз надійності пошкодженого танкера з подвійним корпусом за допомогою методу надійності першого порядку. Припускається, що аналізоване випадкове сідання на міліну відбувається в центрі кіля, що є найгіршим можливим сценарієм з точки зору зниження міцності.

У роботі [9] представлена методика визначення функції щільності ймовірностей випадкових величин (розподіл навантаження на стоячу воду та допустимий залишковий згинний момент) на основі параметрів випадкового збитку. Запропонований підхід раціонально відображає складну взаємодію різних змінних, що впливають на безпеку пошкодженої конструкції судна.

У статті [10] пропонується система координації, яка складається з двох алгоритмів запобігання ризику та наступного повернення до запланованої точки маршруту. Алгоритм запобігання ризику ґрунтується на методі швидкісного перешкодження, алгоритм повернення базується на наведенні світла видимості.

Метою дослідження [11] є кількісний аналіз зв'язку між наслідками аварій на суднах та відповідними сприяючими факторами на основі реальних звітів щодо розслідування аварій на суднах.

Таким чином, проаналізовані роботи показують, що проблема класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту із застосуванням автоматизованого підходу ще не вирішена. Необхідно продовжити науковий пошук щодо вирішення цієї проблеми для реального зростання безпеки судноплавства взагалі і у порту, зокрема.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Розробка методу, який дає змогу підвищити точність класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту в умовах детерміністичної невизначеності (ДН).

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Першим етапом автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту є формування множини чинників, що впливають на класифікацію надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту, на основі нечітких бінарних відношень несупорядкованої переваги. Оцінювання нечіткості факторів проводиться на основі аналізу набору недетермінованих елементів суворої переваги. Значимість компонент функції приналежності набору недетермінованих елементів суворої переваги дозволяє впорядкувати елементи множини за рівнями нечіткості з погляду найбільшого впливу на результат класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту.

Множина правил класифікації надзвичайних ситуацій формується як заздалегідь, так і в реальному часі. Це робиться на основі прогнозованої та поточної інформації. Задача класифікації значень розв'язується в умовах імовірнісної невизначеності. Однак умови визначення значень параметрів можуть змінитися протягом періоду розв'язання задачі. Отже, завдання треба ставити й розв'язувати в умовах ДН.

Під час формування продукційних правил класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту використовуються методи експертного оцінювання. Порівняльна оцінка результуючих класів пов'язана з постановкою і розв'язанням багатокритеріальної задачі оптимізації. Найприйнятнішим методом її розв'язання є метод аналізу ієрархій. Фактори при цьому можуть бути кількісними або якісними.

Тип надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту в нечіткій постановці визначається декомпозицією проблеми в трирівневу ієрархію. На першому знаходяться фактори (критерії), на основі яких ухвалюються рішення щодо класифікації надзвичайних ситуацій. рівні На другому рівні знаходиться мета розв'язання задачі класифікації (множина класів надзвичайних ситуацій). На третьому рівні знаходиться множина необхідних заходів щодо забезпечення безпеки людей і майна за результатами визначення класу надзвичайної ситуації (рис. 1).

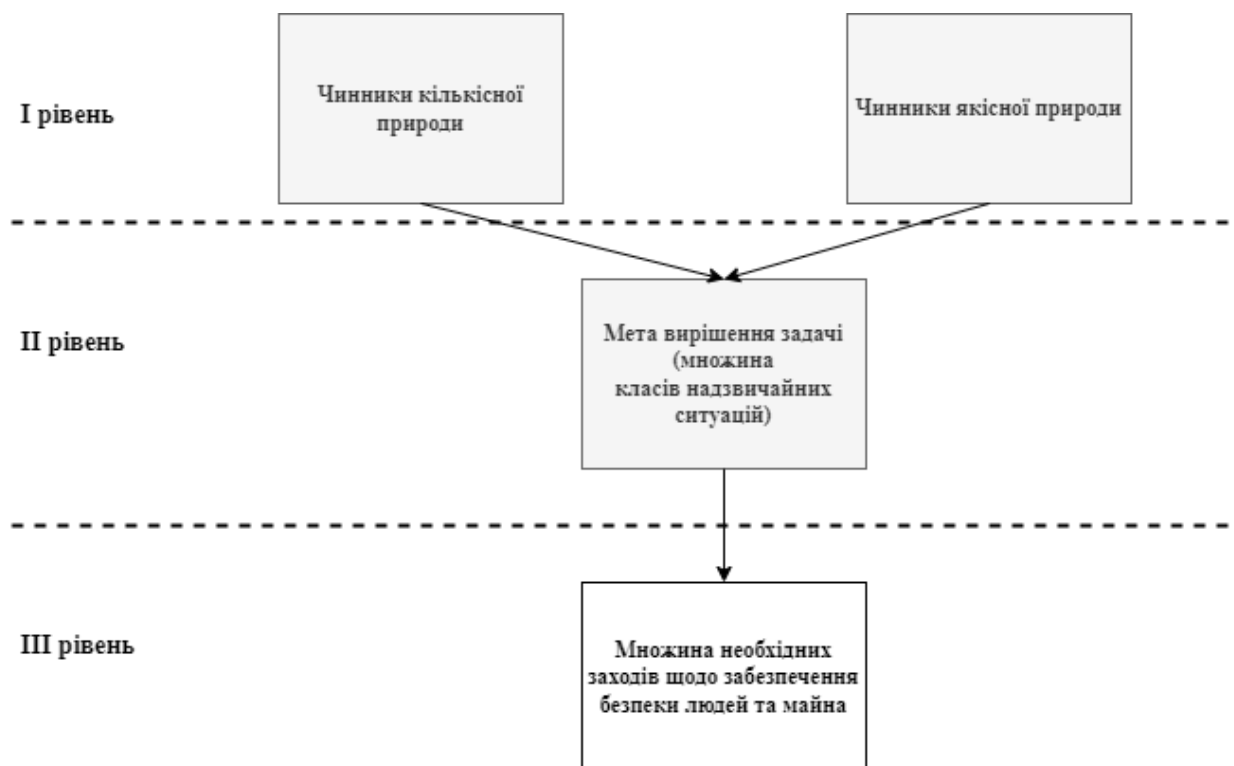


Рис. 1. Декомпозиція задачі класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту в ієрархію
Джерело: розроблено автором

Для класифікації надзвичайних ситуацій на основі чинників кількісної та якісної природи в умовах ДН запровадимо лінгвістичну змінну (ЛЗ), яку формально представимо у вигляді кортежу

$$\langle \beta, S(\beta), X, G, Z \rangle, \quad (1)$$

де β – назва ЛЗ;

$S(\beta)$ – терм-множина β , елементи якого $\alpha_i, i = \overline{1, n}$ – найменування нечіткої змінної (НЗ) у вигляді кортежу $\langle \alpha, X, \tilde{C}(\alpha) \rangle$ як ЛЗ;

X – область визначення НЗ, $\tilde{C}(\alpha_i) = \{ \mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)/x \}$, $x \in X$, $\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)$ – значення функції приналежності (ФП);

G – синтаксичне правило, що породжує найменування змінної $\alpha \in S(\beta)$ як вербальних значень ЛЗ;

Z – синтаксичне правило, що ставить у відповідність кожній змінній $\alpha \in S(\beta)$ нечітку множину $\tilde{C}(\alpha)$.

При цьому, в загальному випадку розв'язується нечітко поставлена багатокритеріальна задача оптимізації. Вона пов'язана з класифікацією надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту за прогнозованими або поточними значеннями найкращих чинників, що характеризують надзвичайну ситуацію і поведінку морського судна.

Рішення дозволяє узагальнити результати оцінок шляхом формування лінгвістичних продукційних правил класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії порту.

Представимо отриману множину лінгвістичних продукційних правил у вигляді логіко-лінгвістичної продукційної ієрархічної моделі (ЛЛПІМ) для класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту. Визначення необхідних заходів щодо забезпечення безпеки людей і майна залежать від результуючого значення класу надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту (рис. 2).

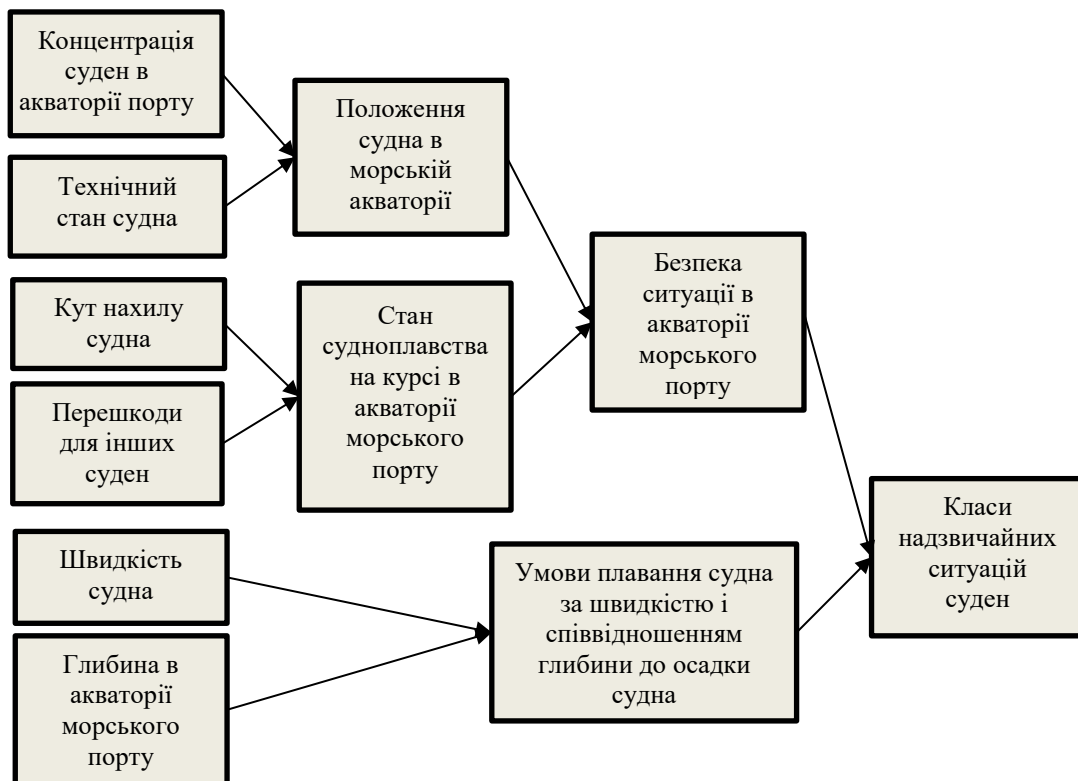


Рис. 2. Тривірнева логіко-лінгвістична ієрархічна продукційна модель класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту

Джерело: розроблено автором

Логіко-лінгвістична продукційна ієрархічна модель для класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту складається з компонентів, які взаємодіють між собою для визначення стану судноплавства та прийняття рішень. В якості прикладу розглянемо один із таких компонентів - "Кут нахилу судна", який може відігравати ключову роль у визначенні "Стану судноплавства на курсі в акваторії морського порту". Розглянемо, як ці компоненти можуть бути пов'язані в рамках ЛЛПМ:

1. Кут нахилу судна (КНС). Цей параметр визначає, наскільки судно нахилене відносно горизонту. Великий кут нахилу може свідчити про надзвичайну ситуацію, таку як крен чи ризик потрапляння в аварійні умови.

2. Стан судноплавства на курсі в акваторії морського порту. Цей компонент визначає загальний стан судноплавства в конкретній акваторії порту. Він може бути класифікований як "нормальний", "потенційно небезпечний" або "аварійний" в залежності від різних факторів.

3. Зв'язок між КНС та "Станом судноплавства на курсі" виражається через кут нахилу судна, що може бути одним з визначальних факторів у визначенні стану судноплавства. Наприклад, великий кут нахилу може призвести до того, що система визначить ситуацію як потенційно небезпечну або аварійну. Таким чином, КНС може бути використаний як важливий вхідний параметр для визначення стану судноплавства.

Такий підхід дозволяє системі ефективно враховувати нечіткість та невизначеність в оцінці надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту, що полегшує прийняття важливих рішень та управління безпекою судноплавства.

Базовою математичною моделлю опису неформального процесу при визначенні класу надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту в умовах ДН можна вважати логіко-лінгвістичну продукційну модель. Вона відображає динамічні зв'язки між змінними неформального процесу і визначається такими аксіомами.

1. Нехай визначено такі множини:

а) множина вхідних впливів $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, $x_i^* \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$;

б) множина станів $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, що являють собою ЛЗ. Вони характеризуються наборами $(x_i, S(x_i), U_i, G_i, M_i)$, $i = \overline{1, n}$ (x – назва ЛЗ; $S(x)$ – терм-множина змінної x , елементи якої $\alpha_j, j = \overline{1, n}$ – найменування НП $\langle \alpha, U, \tilde{C}(\alpha) \rangle$ як лінгвістичних значень ЛЗ, де U – область визначення нечіткої змінної, $\tilde{C}(\alpha) = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha)}(u)/u\}$, $u \in U, \mu_{\tilde{C}(\alpha)}(u)$ – значення функції приналежності; G – синтаксичне правило, що породжує найменування змінної $\alpha \in S(x)$; M – синтаксичне правило, що ставить у відповідність кожній змінній $\alpha \in S(x)$ нечітку множину $\tilde{C}(\alpha)$);

в) множина вихідних значень $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, що також являють собою ЛЗ, що характеризуються наборами $(y_k, S(y_k), H_k, G_k, M_k)$, $k = \overline{1, m}$. Причому $S(y)$ – терм-множина змінної y , елементи якої $d_z, z = \overline{1, m}$ – найменування НЗ $\langle d, H, \tilde{C}(d) \rangle$ як лінгвістичних значень ЛЗ, де H – область визначення НЗ, $\tilde{C}(d) = \{\mu_{\tilde{C}(d)}(h)/h\}$, $h \in H, \mu_{\tilde{C}(d)}(h)$ – значення ФП.

2. Задано відображення виходу $R: x(t) @ d$, що визначає вихідну величину $y = d_z, z = \overline{1, m}$ множиною наборів правил $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$:

$$R: \left\{ \begin{array}{l} \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(1)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(1)} \dots \left[\text{AND } x_k = \alpha_k^{(1)} \right] \dots x_n = \alpha_n^{(1)} \\ \text{THEN } y_1 = d_1, \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(2)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(2)} \dots \left[\text{AND } x_k = \alpha_k^{(2)} \right] \dots x_n = \alpha_n^{(2)} \\ \text{THEN } y_2 = d_2, \\ \dots \dots \dots \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(m)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(m)} \dots \left[\text{AND } x_k = \alpha_k^{(1)} \right] \dots x_n = \alpha_n^{(m)} \\ \text{THEN } y_m = d_m, \end{array} \right. \quad (2)$$

де k_i – кількість правил у наборі r_i , $i = \overline{1, n}$.

Кількість правил набору перебуває в діапазоні $0 < k_i \leq \prod_{i=1}^n \text{card}(S(x_i))$, де $\text{card}(S(x_i))$ – потужність терм-множини змінної x_i , $i = \overline{1, n}$.

Отже, клас надзвичайної ситуації визначається, ґрунтуючись на даних про вхідні змінні. При цьому необхідно побудувати таблиці лінгвістичних правил для кожного класу надзвичайної ситуації, визначити види ФП і потужності базових терм-множин ЛЗ, що використовуються в таблицях. Будь-які процеси, представлені у вигляді таблиць лінгвістичних правил, адекватно описуються за допомогою алгебраїчної моделі або системи.

Таким чином, управління судновим транспортом може розглядатися як ієрархічна структура рішень, де низькорівневі рішення (наприклад, керування двигунами) об'єднуються для створення високорівневих стратегій (наприклад, управління маршрутом). При цьому моделі, що базуються на алгебрі нечітких множин, можуть допомагати в описі та виведенні рішень в умовах нечіткості, наприклад, визначення ступеня нечіткості виразів, таких як "велика швидкість" або "незначний ризик". Таким чином, автоматизована класифікація допомагає системі моніторингу визначити потенційно небезпечні ситуації та інформувати операторів про можливі ризики. Також системи автоматизованої класифікації можуть допомагати у визначенні оптимальних маршрутів для суден, униканні конфліктних ситуацій та покращенні ефективності портового обслуговування. Тобто можна зробити висновок, що врахування нечіткості та ієрархічної структури в управлінні судновим транспортом вимагає використання продукційних ієрархічних та алгебраїчних моделей. Автоматизована класифікація дозволяє ефективно вирішувати завдання визначення класів аварійних ситуацій із судном в акваторії морського порту, поліпшуючи безпеку та оптимізуючи управління транспортним потоком.

Основні параметри, що визначають ЛЗ «Класи надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту», – змінні «Безпека обстановки в акваторії морського порту» і «Умова плавання судна за швидкістю і за глибиною в акваторії морського порту» (табл. 1). Приналежність значення ЛЗ «Безпека обстановки в акваторії морського порту» і «Умова плавання судна за швидкістю і за наявним співвідношенням глибини в акваторії порту до осадки судна» задано відповідними ФП (рис. 3 та 4, де вісь абсцис являє собою градації між значеннями нечітких змінних від 0 до 1). У даному випадку, наприклад, лінгвістична змінна "Безпека обстановки в акваторії морського порту" вимірюється на числовій шкалі від 0 до 1, тобто вісь абсцис на графічному представленні функції приналежності (ФП) може відображати цей діапазон значень. При цьому на графіку наведено криві, які відображають форму та ступінь приналежності лінгвістичних термів до кожного значення змінної "Безпека обстановки в акваторії морського порту". Кожна крива відповідає одному лінгвістичному терму (наприклад, "низька", "середня", "висока") і вказує, якою високою є ступінь приналежності кожного значення змінної до цього терму. Такий підхід дозволяє гнучко моделювати нечіткі концепти та використовувати їх для прийняття рішень на основі нечітких даних від 0 до 1. Графічне представлення ФП є інструментом візуалізації нечітких лінгвістичних змінних і полегшує їхнє розуміння та інтерпретацію.

На підставі даних (фрагмент даних подано в табл. 1) будуємо таблиці лінгвістичних правил. На підставі отриманих таблиць складаємо результуючу таблицю, за допомогою якої записуємо алгебраїчний поліном для визначення ЛЗ «Класи надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту».

Таблиця 1 – Приклад фрагменту системи продукцій представлення відображення $R: F \times T \rightarrow D$

«Безпека обстановки в акваторії морського порту» (F)	«Умова плавання судна за швидкістю і за наявним співвідношенням глибини в акваторії порту та осадки судна» (T)	«Класи надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту» (D)
NB	NB	d_4
NS	NB	d_4
ZE	NB	d_5

PS	NB	d_3
PB	NB	d_2
NB	NS	d_4
NS	NS	d_4
ZE	NS	d_5
PS	NS	d_3
PB	NS	d_2

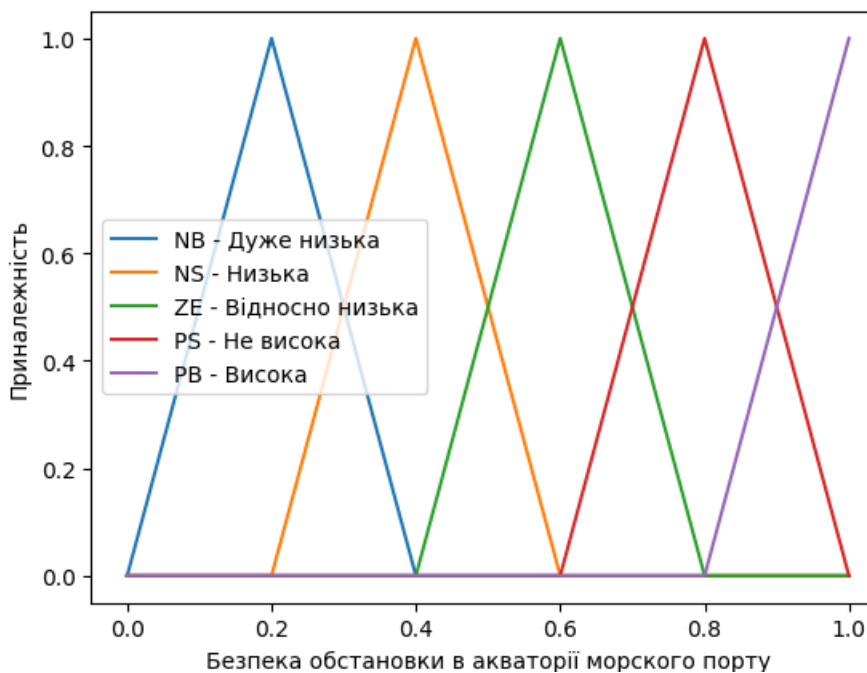


Рис. 3. Графічне представлення ФП ЛЗ «Безпека обстановки в акваторії морського порту»
Джерело: розроблено автором

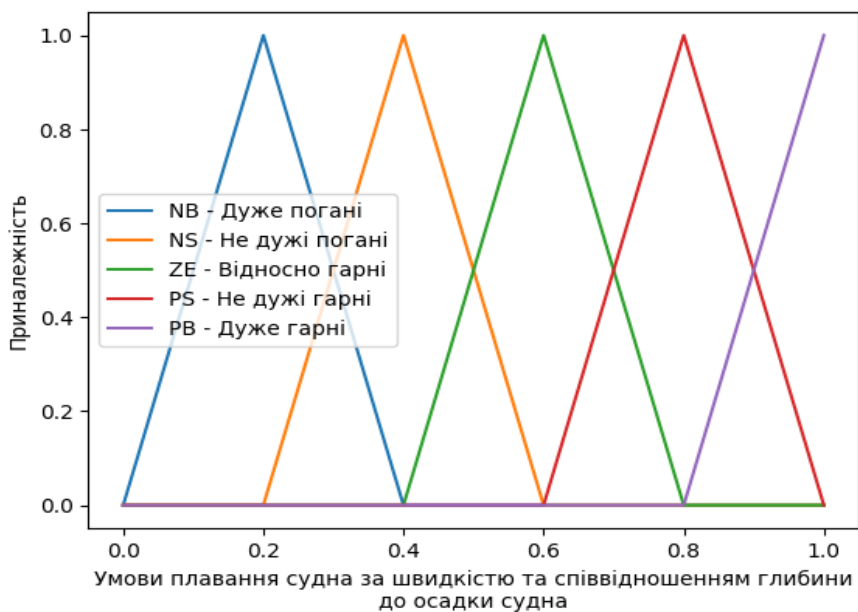


Рис. 4. Графічне представлення ФП ЛЗ «Умова плавання судна за швидкістю і за наявним співвідношенням глибини в акваторії порту до осадки судна»
Джерело: розроблено автором

Для ЛЗ "Класи надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту" (D) визначаємо такі точкові терм-множини:

- d_1 – надзвичайна ситуація «Зіткнення суден»;
- d_2 – надзвичайна ситуація «Навалювання суден»;
- d_3 – надзвичайна ситуація «Затонулі судна»;
- d_4 – надзвичайна ситуація «Посадка на міліну»;
- d_5 – надзвичайна ситуація «Порушення безпеки руху».

Отримуємо систему рівнянь (у цьому разі проведення алгебраїчної апроксимації недоцільно), що описують процес визначення класу надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту. У результаті логічного виведення отримуємо (наприклад, з використанням алгоритму нечіткого логічного виведення Сугено 0-го порядку) номер класу надзвичайної ситуації із судном. У даному випадку в якості методу дефазіфікації використовується різновид методу центру тяжіння для точкових множин, який дозволяє виконати приведення до чіткості вихідної змінної без попереднього акумулювання активізованих висновків окремих лінгвістичних правил.

Таким чином, за допомогою методу автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту забезпечено представлення й опрацювання неоднозначних, неповних, суперечливих даних і знань; опрацювання множини продукційних правил визначення класу надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту, сформованих унаслідок розв'язування багатокритеріальної задачі оптимізації в нечіткій постановці; визначено послідовність продукційних правил, що якнайповніше впливають на процес визначення класу надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту; визначено послідовність продукційних правил, що найбільше впливають на процес визначення класу. Узагальнену структуру цього методу наведено на рис. 5.

Організація нечіткого логічного виведення дає змогу автоматизувати процес визначення класу надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту. Метод автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту полягає у формуванні множини продукційних правил визначення класів надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту та сумісному використанні процедури алгебраїчної апроксимації знань і методу нечіткої ідентифікації, а також методу нечіткого логічного виведення.

При цьому точність класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту вимірюється у відсотках. Точність є метрикою, яка вказує на те, яка частина усіх класифікацій (як правильних, так і неправильних) була вірно класифікована моделлю. Формула точності виглядає так:

$$\text{Accuracy} = \frac{N_{\text{Number of correct classifications}}}{N_{\text{Total number of classifications}}} 100\%, \quad (3)$$

де $N_{\text{Number of correct classifications}}$ – кількість правильних класифікацій, тобто кількість ситуацій, які були вірно класифіковані моделлю.

$N_{\text{Total number of classifications}}$ – загальна кількість класифікацій, тобто сума правильних та неправильних класифікацій.

Точність дає загальний огляд того, наскільки добре модель працює, і вона є однією з основних метрик ефективності класифікаційних моделей. Важливо враховувати, що для повного розуміння ефективності моделі також можна використовувати інші метрики, такі як чутливість, специфічність та F-мера, особливо у випадках, коли деякі класи можуть бути більш важливими для моделі, ніж інші.

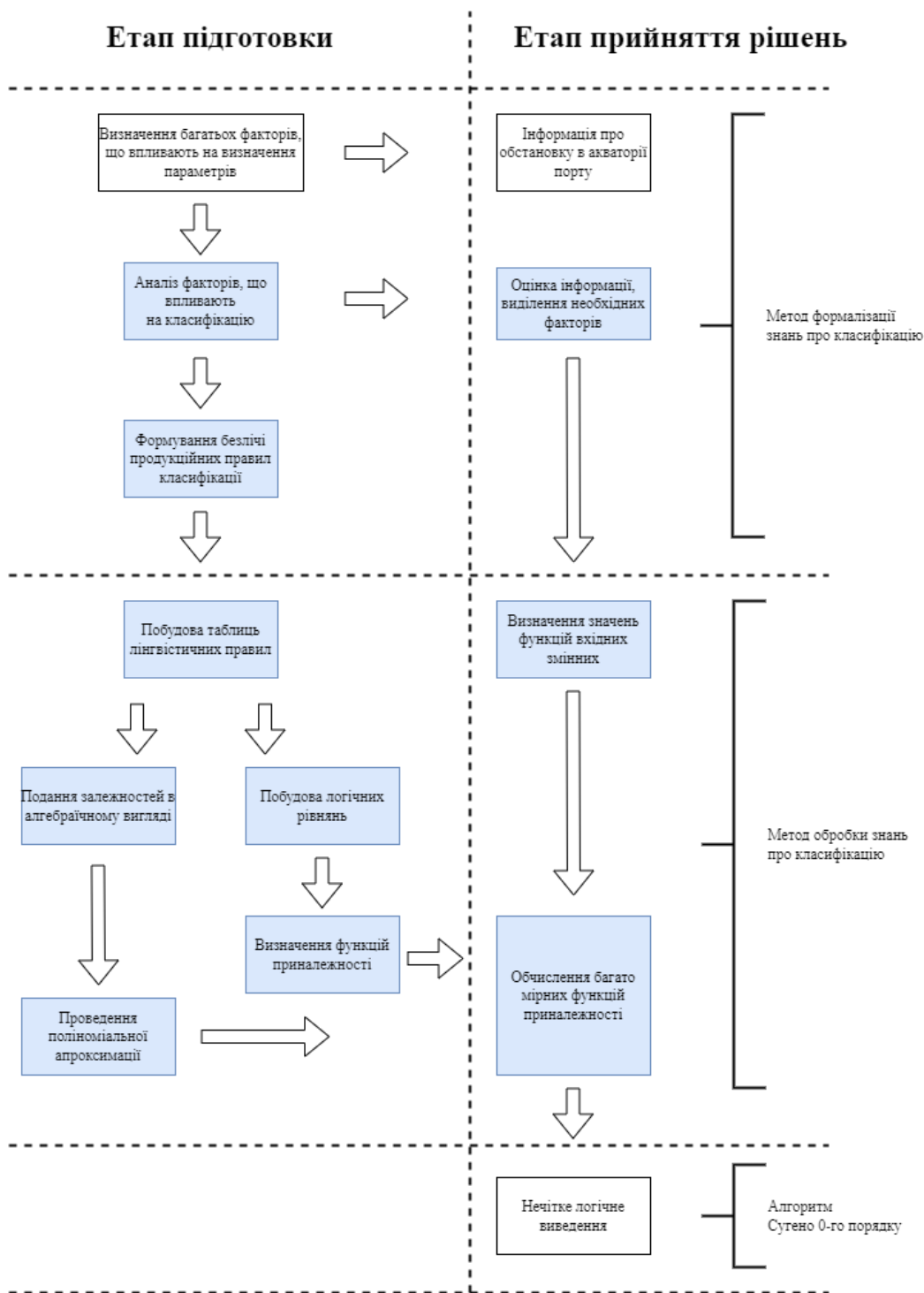


Рис. 5. Узагальнена структура методу автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту
 Джерело: розроблено автором

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

У статті вдосконалено метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту в умовах детерміністичної невизначеності. При цьому формування продукційних правил класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту за прогнозованими або поточними значеннями бажаних чинників у нечіткій постановці передбачає визначення функцій приналежності низки нечітких змінних лінгвістичних змінних.

Порівняльна оцінка розпізнаваних класів надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту передбачає розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації за допомогою методу аналізу ієрархій. Як математичну модель визначення класів надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту обґрунтовано логіко-лінгвістичну продукційну ієрархічну модель. Основною формою запису в ній є взаємопов'язані таблиці лінгвістичних правил, які є відображенням, що зв'язує попередні, поточні та майбутні стани описуваного процесу. Процес визначення класів надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту описано за допомогою алгебраїчної моделі, найближчої до лінгвістичного опису.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zou, Y.; Zhang, Y.; Ma, Z. Emergency Situation Safety Evaluation of Marine Ship Collision Accident Based on Extension Cloud Model. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1370. <https://doi.org/10.3390/jmse9121370>.
2. Uğurlu Ö. et al. Analyzing collision, grounding, and sinking accidents occurring in the Black Sea utilizing HFACS and Bayesian networks //Risk analysis. – 2020. – Т. 40. – №. 12. – С. 2610-2638.
3. Gledić I., Mikulić A., Parunov J. Improvement of the Ship Emergency Response Procedure in Case of Collision Accident Considering Crack Propagation during Salvage Period //Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – Т. 9. – №. 7. – С. 737.
4. Піпченко О. Д. Розвиток теорії та практики управління ризиками при вирішенні комплексних навігаційних задач. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – Навігація та управління рухом (271 – річковий та морський транспорт). – Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, 2021.
5. Kaptan, M.; Uğurlu, Ö.; Wang, J. The Effect of Nonconformities Encountered in the Use of Technology on the Occurrence of Collision, Contact and Grounding Accidents. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2021, 215, 107886.
6. Yildirim, U.; Ugurlu, O.; Basar, E.; Yukseyildiz, E. Human Factor Analysis of Container Vessel's Grounding Accidents. *Int. J. Marit. Eng.* 2017, 159, 89–98.
7. Parunov, J.; Prebeg, P.; Rudan, S. Post-Accidental Structural Reliability of Double-Hull Oil Tanker with near Realistic Collision Damage Shapes. *Ships Offshore Struct.* 2020, 15, 1–18.
8. Luis, R.M.; Teixeira, A.P.; Guedes Soares, C. Longitudinal strength reliability of a tanker hull accidentally grounded. *Struct. Saf.* 2008, 31, 224–233.
9. Primorac, B.B.; Parunov, J.; Soares, C.G. Structural Reliability Analysis of Ship Hulls Accounting for Collision or Grounding Damage. *J. Mar. Sci. Appl.* 2020, 19, 717–733.
10. Zhou, Z.; Zhang, Y.; Wang, S. A Coordination System between Decision Making and Controlling for Autonomous Collision Avoidance of Large Intelligent Ships. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1202.
11. Zhang, L.; Wang, H.; Meng, Q.; Xie, H. Ship Accident Consequences and Contributing Factors Analyses Using Ship Accident Investigation Reports. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part O J. Risk Reliab.* 2019, 233, 35–47.

REFERENCES

1. Zou, Y.; Zhang, Y.; Ma, Z. Emergency Situation Safety Evaluation of Marine Ship Collision Accident Based on Extension Cloud Model. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1370. <https://doi.org/10.3390/jmse9121370>.

2. Uğurlu Ö. et al. Analyzing collision, grounding, and sinking accidents occurring in the Black Sea utilizing HFACS and Bayesian networks //Risk analysis. – 2020. – Т. 40. – №. 12. – С. 2610-2638.
3. Gledić I., Mikulić A., Parunov J. Improvement of the Ship Emergency Response Procedure in Case of Collision Accident Considering Crack Propagation during Salvage Period //Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – Т. 9. – №. 7. – С. 737.
4. O. D. Pipchenko. Development of theory and practice for the risk management of complex navigational tasks. – Qualification scientific work as a manuscript. Thesis for the Doctor of Technical Sciences degree on the specialty 05.22.13 – navigation and traffic control (271 – river and maritime transport). – National university “Odessa maritime academy”, Odessa, 2021.
5. Kaptan, M.; Uğurlu, Ö.; Wang, J. The Effect of Nonconformities Encountered in the Use of Technology on the Occurrence of Collision, Contact and Grounding Accidents. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2021, 215, 107886.
6. Yildirim, U.; Ugurlu, O.; Basar, E.; Yukseyildiz, E. Human Factor Analysis of Container Vessel’s Grounding Accidents. Int. J. Marit. Eng. 2017, 159, 89–98.
7. Parunov, J.; Prebeg, P.; Rudan, S. Post-Accidental Structural Reliability of Double-Hull Oil Tanker with near Realistic Collision Damage Shapes. Ships Offshore Struct. 2020, 15, 1–18.
8. Luis, R.M.; Teixeira, A.P.; Guedes Soares, C. Longitudinal strength reliability of a tanker hull accidentally grounded. Struct. Saf. 2008, 31, 224–233.
9. Primorac, B.B.; Parunov, J.; Soares, C.G. Structural Reliability Analysis of Ship Hulls Accounting for Collision or Grounding Damage. J. Mar. Sci. Appl. 2020, 19, 717–733.
10. Zhou, Z.; Zhang, Y.; Wang, S. A Coordination System between Decision Making and Controlling for Autonomous Collision Avoidance of Large Intelligent Ships. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 1202.
11. Zhang, L.; Wang, H.; Meng, Q.; Xie, H. Ship Accident Consequences and Contributing Factors Analyses Using Ship Accident Investigation Reports. Proc. Inst. Mech. Eng. Part O J. Risk Reliab. 2019, 233, 35–47.