

УДК 681.513:519

Соболевський Г. Г., аспірант

(Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного. +380 (67) 209 39 22. yl143@rambler.ru)

## МЕТОД НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПРИНЦИПІВ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН В КРИТИЧНИХ УМОВАХ

**Соболевський Г. Г. Метод нечіткого виведення при забезпеченні принципів інтелектуалізації експлуатації суден в критичних умовах.** В роботі удосконалено метод нечіткого виведення знань при забезпеченні принципів інтелектуалізації експлуатації суден в критичних умовах, який базується на ідеї побудови графу блоків інтелектуальної системи на основі упорядкованості процесів управління та ієрархії підпорядкованості різних блоків системи при їх функціонуванні. Метод реалізує схему дедуктивного виведення. Даний підхід враховує ієрархічну організацію інтелектуальної транспортної системи та нечіткість даних, що дозволяє здійснювати прийняття рішень на основі інформації різномірних джерел в умовах динамічної зміни цілей управління у реальному часі.

**Ключові слова:** водний транспортний засіб, інтелектуальна система, дедуктивний метод, управління, нечітка множина

**Соболевский Г. Г. Метод нечеткого вывода при обеспечении принципов интеллектуализации эксплуатации судов в критических условиях.** В работе усовершенствован метод нечеткого вывода знаний при обеспечении принципов интеллектуализации эксплуатации судов в критических условиях, основанный на идее построения графа блоков интеллектуальной системы на основе упорядоченности процессов управления и иерархии подчиненности различных блоков системы при их функционировании. Метод реализует схему дедуктивного вывода. Данный подход учитывает иерархическую организацию интеллектуальной транспортной системы и нечеткость данных, что позволяет осуществлять принятие решений на основе информации разнородных источников в условиях динамического изменения целей управления в реальном времени.

**Ключевые слова:** водный транспортное средство, интеллектуальная система, дедуктивный метод, управление, нечеткое множество

**Sobolewsky H. H. The method of fuzzy inference while ensuring the principles of intellectualization operation of vessels in critical conditions.** In this paper improved method of fuzzy inference of knowledge while respecting the principles of intellectualization operation of vessels in critical conditions, based on the idea of graph blocks construction of intelligent system based on the ordering process management hierarchy and subordination of different blocks of the system in their functioning. Deductive method implements the output circuit. This approach takes into account the hierarchical organization of intelligent transport systems and data ambiguity that allows for decisions based on information heterogeneous sources in terms of dynamic change management purposes, in real time.

**Keywords:** water vehicle, intelligent system, deductive method, control, fuzzy set

**Вступ. Постановка задачі.** Транспорт, як інфраструктурна галузь, має розвиватися інтенсивними темпами з метою сприяння швидкому економічному та соціальному розвитку країни та її участі в міжнародному поділі праці. Очікується, що у 2020 році обсяги перевезення вантажів збільшаться порівняно з 2008 роком на 43,1 %, переробка вантажів у державних морських торговельних портах – на 43,2 %, обсяги пасажирських перевезень – на 30,4 %.

Перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку економіки вимагає розвитку транспорту на якісно новій основі. В сучасних умовах транспортна галузь України у цілому задовольняє лише базові потреби економіки та населення у перевезеннях. Рівень безпеки експлуатації, показники якості та ефективності перевезень пасажирів та вантажів, енергоефективності, техногенного навантаження на довкілля не відповідають сучасним вимогам. Особлива увага приділяється саме заходам забезпечення безпеки експлуатації, тобто безпеки руху на транспорті у тому числі морських та річних суден. Порівняльний аналіз аварійності на морському та річному флоті свідчить про позитивну тенденцію

зменшення подібних ситуацій, але це не знижує актуальність наукових досліджень в галузі безпеки експлуатації морських та річних транспортних засобів.

На теперішній час гостро стоїть завдання щодо розроблення методів підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту та їх функціональних систем на основі автоматизації та комп'ютеризації процесів експлуатації. Вагомий вклад в цьому напрямку наукових досліджень внесли вітчизняні вчені: Панін В. В., Дикий М. О., Баранов Г. Л., Мачалін І. О., Тихонов В. В., Кравченко Ю. В. та інші. Аналіз причин транспортних подій свідчить, що біля 70% з них відбувається внаслідок впливу, так званого, “людського фактору”, що обґрунтовує необхідність автоматизації та комп'ютеризації процесів експлуатації засобів морського та водного транспорту. Тому варто підкреслити те, що сучасним інноваційним напрямком є впровадження інтелектуальних транспортних систем, які поєднують комп'ютерні, телекомунікаційні системи, інформаційні технології, математичне та програмне забезпечення.

Аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду впровадження інтелектуальних транспортних систем [1...8] свідчить про можливість значного підвищення ефективності та якості експлуатації суден в нештатних ситуаціях. Таким чином, незважаючи на стрімкий розвиток теорії штучного інтелекту взагалі та на транспорті зокрема, актуальним є наукове завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів інтелектуалізації експлуатації суден в критичних умовах, вирішенню цього завдання і присвячена дана стаття.

#### **Нечітка модель зовнішнього середовища та механізму виведення знань.**

Дослідження показали, що у загальному вигляді управління в нештатних ситуаціях водного транспортного засобу (ВТЗ) доцільно виконувати базуючись на так званій теорії ситуаційного управління [1]. Згідно цього визначено наступне.

Поточна ситуація на ВТЗ – сукупність всіх відомостей про структуру об'єкта управління та його функціонуванні в даний момент часу. Повна ситуація – сукупність, що складається з поточної ситуації, знань про стан дії ВТЗ в даний момент і знань про технології управління.

Позначимо повні ситуації через  $S_i$  ( $i$  – номер ситуації), а поточні ситуації – через  $Q_j$  ( $j$  – номер ситуації). Нехай у розпорядженні системи управління мається  $n$  різних способів впливу на об'єкт управління. Кожне таке рішення позначимо як  $U_{ki}$ . Тоді елементарний акт управління

$$S_i; Q_j \xrightarrow{U_k} Q_i.$$

Сенс цього співвідношення полягає в наступному. Якщо на ВТЗ склалася ситуація  $Q_j$  та стан системи управління та технологічна схема управління, що визначаються  $S_i$ , допускають використання впливу  $U_{ki}$ , то воно застосовується, і поточна ситуація  $Q_j$  перетворюється на нову ситуацію  $Q_i$ . Таки правила перетворення називаються логіко-трансформаційними правилами або кореляційними правилами. Повний список правил задає можливості системи управління впливати на процеси, що протікають в об'єкті. Прийнято, що в силу кінцівки числа різних впливів вся множина можливих повних ситуацій ділиться на  $n$  класів, кожному з яких відповідатиме один з можливих впливів на об'єкт управління. Іншими словами, повинні існувати такі процедури, які дозволили б класифікувати повні ситуації так, щоб з них можна було утворити стільки класів, скільки різних однокрокових рішень є в розпорядженні системи управління ВТЗ [1].

Звертаємо увагу на те, що знання експертів, які є основою інтелектуалізованої системи управління суден в нештатних ситуаціях в умовах неповноти та нечіткості вихідної

інформації та цілей, також мають нечіткий характер. На думку вчених підхід на основі теорії нечітких множин має суттєву перевагу над ймовірнісними підходами, і тому системи, побудовані на його основі володіють підвищеним ступенем обґрунтованості рішень, які приймаються [2]. Це пов'язується з тим, що при виведення враховуються усі можливі сценарії розвитку подій, тобто повні ситуації  $S_i$ , що не властиво ймовірнісним методам, розрахованим на обмежену множину сценаріїв. Тому, для формалізації нечітких понять, можна застосовувати нечіткі лінгвістичні змінні, а нечіткість дій у процесі прийняття рішень реалізовувати за допомогою нечітких алгоритмів.

Для опису повної ситуації  $S_i$  скористаємось семантичною моделлю, яка описана в термінах алгебраїчної структури [1]:

$$S = \langle V, R, O \rangle,$$

де  $V$  – множина семантичних понять бази знань;  
 $R$  – множина відношень між поняттями;  
 $O$  – множина операцій з поняттями.

Блок бази знань, який є моделлю поточної ситуації на ВТЗ  $Q_j$ , має вигляд:

$$S = \langle G, U \rangle,$$

де  $G$  – множина об'єктів предметної області (ситуацій розгляду та рекомендацій);  
 $U$  – множина дуг, які зв'язують об'єкти предметної області.

Нехай дано два нечіткі об'єкти  $A$  та  $B$ , що належать різним висновкам знань, тоді можна визначити відношення нечітких висновків та визначити функцію належності  $\mu_f(\tilde{A}, \tilde{B})^{(x,y)}$ , яка визначає ступінь асоціації між атрибутами двох об'єктів моделі предметної області. Даний формалізм доцільно узагальнити для випадку  $n$ -арних зв'язків, які включають  $n$  нечітких об'єктів. Позначимо зазначені об'єкти як:  $\tilde{A} = \{x_i, \mu_{\tilde{A}}(x_i) | x_i \in \psi_1, i = 1, \dots, n\}$  та  $\tilde{B} = \{y_i, \mu_{\tilde{B}}(y_i) | y_i \in \psi_2, i = 1, \dots, m\}$ .

Тоді визначимо довільне відношення семантичної асоціації між об'єктами

$$R_{f(\tilde{A}, \tilde{B})} = \{(x_i, y_i), \mu_{f(\tilde{A}, \tilde{B})}(x_i, y_i)\},$$

де  $(x_i, y_i) \in \psi_1 \times \psi_2$ , ( $\psi$  – блок висновків знань);

$\mu_{f(\tilde{A}, \tilde{B})}(x, y)$  – функція належності, яка описує ступінь асоціації між атрибутами двох об'єктів моделі предметної області.

Функція відношення для  $n$  об'єктів виглядає так:

$$R_{f(\tilde{A}_i, \tilde{A}_j)}^i = \{(x_i, y_i), \mu_{f(\tilde{A}_i, \tilde{A}_j)}(x_i, x_i) | \tilde{A}_i, \tilde{A}_j \in \Lambda, i \neq j, i, j = 1, \dots, n\}.$$

Об'єкт семантичної мережі може бути подано наступним чином:

$$G_i = \{I, P, U_{G_i}, T\},$$

де  $I$  – назва об'єкта предметної області;

$P$  – множина понять, які входять або зв'язані з об'єктом;

$U_{G_i} = \{U_{IP}^g\}$  – множина відношень між поняттями  $P$  та назвою об'єкта  $I$ ;

$T$  – ознака об'єкта, яка визначає належність об'єкта до одного з можливих типів предметної області:  $T = \{t_1, t_2\}$ , де  $t_1$  – база ситуацій;  $t_2$  – база рекомендацій.

Вираз  $U_{IP}^g$  представляє собою нечітку підмножину, яка показує ступінь залежності між об'єктом та поняттям (ступінь залежності визначає змістовну близькість ситуації та об'єкта предметної області).

Величину  $U_{IP}^g$  можна визначити як

$$U_{IP}^g = \left( \mu_{U_{IP}^g} (P_j, I) \mid P_j \in P, I \in G_i \right), j = 1, \dots, n,$$

де:  $P_j$  – поняття, належне об'єкту  $G_i$ ;

$n$  – кількість понять для об'єкта.

Таким чином, об'єкт предметної області  $G_i$ , який відповідає об'єкту  $\tilde{G}_i$  з невизначеними і фіксованими атрибутами визначається як

$$\tilde{G}_i = \left\{ I_i, P_1, \dots, P_n, t_k, \left\{ \mu_{\tilde{G}_i} (I_i, P_1), \dots, \mu_{\tilde{G}_i} (I_i, P_n) \right\} \right\},$$

де  $I_i$  – інформаційна частина  $i$ -го об'єкта;

$P_i$  – множина понять, які належать  $i$ -му об'єктові;

$t_k$  – ознака об'єкта предметної області ( $k = 1$  або  $k = 2$ );

$\mu_{\tilde{G}_i} (I_i, P_i)$  – відношення близькості поняття  $P_i$  та назви об'єкта  $I_i$ .

Залежність між вузлами буде визначатися на основі взаємозв'язку між поняттями об'єктів предметної області. Введемо нечітке відношення  $U_{P_j} = \mu_s (P_i, P_j)$ , яке визначатиме близькість понять між собою. На його основі сформуємо нечітку підмножину

$$U_p = \left\{ P_i, P_j, \mu_s (P_i, P_j) \mid P_i \in P, P_j \in P, i, j = 1, \dots, N \right\},$$

де  $N$  – кількість понять у блоці бази знань.

Відношення між ситуаціями, а також між ситуацією та рекомендацією  $U$  визначається за допомогою залежності між окремими поняттями, належними ситуаціям і рекомендаціям:

$$U_{ij} = \frac{1}{n_i \cdot m_j} \sum_l^{n_i} \sum_k^{m_j} U_{p_{lk}},$$

де  $U_{ij}$  – середнє відношення близькості між поняттями, які належать  $i$ -му та  $j$ -му критерію оцінки проблемної ситуації предметної області;

$n_i$  – кількість понять у  $i$ -му критерії оцінки проблемної ситуації предметної області;

$m_j$  – кількість понять у  $j$ -му критерії оцінки проблемної ситуації предметної області.

При виборі необхідної ситуації для прийняття рішення використовуються відношення близькості між поняттями  $U$  та відношення близькості між поняттями, які належать ситуації, а також інформаційною частиною ситуації  $U_{IP}^g$ . В свою чергу, рекомендації у предметній області групуються згідно з обраною ситуацією для їх подальшого аналізу.

Така нечітка модель зовнішнього середовища та механізму виведення знань інтелектуалізованих систем управління ВТЗ в критичних ситуаціях орієнтована на роботу з декількома моделями предметних областей, що закладаються у відповідні блоки і можуть бути як взаємопов'язаними, так і відокремленими один від одного. Кожна модель будується на основі окремої семантичної мережі, а потім моделі поєднуються у єдину модель, що складає основу системи. Нечітка модель механізму висновків має загальний вигляд

$$\bigvee_{p=1}^{k_j} \left[ w_{jp} \bigwedge_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right] \rightarrow y = d_i, j = 1, \dots, m.$$

де  $a_1^{jp}$  – нечіткий терм, яким оцінюється змінна  $x_i$  у рядку з номером  $jp$ , ( $p = 1, \dots, k_j$ );  
 $k_j$  – кількість рядків-кон'юнкцій, у яких вихід  $y$  оцінюється нечітким термом  $d_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ ;  
 $m$  – кількість термів, які використовуються для лінгвістичної оцінки вихідного параметра  $y$ ;  
 $w_{jp} \in [0, 1]$  – вага  $p$ -го рядка кон'юнкцій  $j$ -го правила бази знань.

Під нечітким логічним виведенням будемо розуміти апроксимацію залежності  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  за допомогою нечіткої моделі та операцій над нечіткими множинами [4].

Нехай  $\mu_{jp}(x_i)$  – функція належності входу  $x_i$  нечіткому терму  $a_i^{jp}$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$ ,  $p = 1, \dots, k_j$ , де  $\mu_{d_j}(y)$  – функція належності виходу  $y$  нечіткому термі  $d_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ . Тоді ступінь належності конкретного вхідного вектору  $x^* = \{x_1^*, \dots, x_n^*\}$  нечітким термам  $d_j$ ,  $j = 1, \dots, m$  з бази знань визначається схемою нечітких логічних рівнянь

$$\mu_{d_j}(x^*) = \max_{p=1, \dots, k_j} \min_{i=1, \dots, n} (\mu_{jp}(x_i^*)), j = 1, \dots, m.$$

Нечітка множина  $y$ , відповідна вхідному вектору  $x^*$ , яка має верхню і нижню межі діапазону значень  $\bar{y}$  та  $\underline{y}$ , відповідно, визначається як:

$$y = \bigvee_{j=1}^m \int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \min(\mu_{d_j}(x^*), \mu_{d_j}(y)) dy.$$

Чітке значення виходу  $y^*$ , що відповідає вхідному вектору  $x^*$ , визначається у результаті дефазифікації нечіткого  $y$ . При цьому знання експерта  $A \rightarrow B$ , що відбиває нечітке причинне відношення передумови і висновку, тому будемо називати його нечітким відношенням (нечіткою імплікацією) і позначати через  $R$ :  $R = A \rightarrow B$ . Відношення  $R$  можна розглядати як нечітку підмножину прямого добутку  $X \times B$  повної множини передумов  $X$  і висновків  $B$ . Таким чином, процес одержання (нечіткого) результату виведення  $B'$  з використанням даного спостереження  $A'$  і знання  $A \rightarrow B$  можна подати у вигляді композиційного правила “нечіткий modus ponens”:

$$B' = A' \bullet R = A' \bullet (A \rightarrow B), \text{ де «}\bullet\text{» – операція згортки.}$$

**Граф блоків інтелектуальної системи.** Основою алгоритмів виведення знань інтелектуалізованих систем управління рухом суден в критичних ситуаціях є логічна структура у вигляді семантичної мережі. Ця структура розглядається як структура ієрархічна, з точним визначенням рівнів і підлеглості інтелектуальних блоків бази знань. Це положення обумовлюється тим, що структура системи управління інтелектуальної транспортної системи (ITS) має складну ієрархію, що визначає різні типи інформаційних зв'язків в проєктованій системі [3]. При цьому, як правило, спостерігається суворя підпорядкованість систем виконавчого рівня вищим рівням управління.

Введемо поняття графу блоків інтелектуальної системи ( $BIS$ ) під яким розумітимемо зв'язний неорієнтований граф без циклів, вершинами якого є блоки ITS ( $BIS$ ) а дуги традиційно зв'язують блоки з іншими  $BIS$  вищого або нижчого рівнів. У графі  $BIS$  можуть бути виділені три типи вершин (блоків): початкова вершина  $BIS_0$ , яка не має вхідних дуг,

відповідає центральному блоку. Проміжні вершини – це вершини, що мають строго одну вхідну дугу і  $n$  вихідних дуг. Термінальні вершини – це вершини, які мають строго одну вхідну дугу і не мають вихідних дуг, що відповідає  $BIS$  найнижчого рівня підпорядкованості.

Множину вершин  $BIS$  –  $\{V\}$  поділимо на три підмножини: множина початкової вершини  $V_0$ , що складається з одного елемента  $BIS_0$ ; множина проміжних вершин  $\{V_p\}$ , множина термінальних вершин  $\{V_t\}$ , таким чином,  $\{V\} = \{V_0\} \cup \{V_p\} \cup \{V_t\}$ .

### Метод модернізованого нечіткого логічного виведення (Upgraded fuzzy inference).

Розробка представленої логічної структури інтелектуалізованої системи управління ВТЗ дозволяє розробити структуру і зміст методу пошуку рішення на такій ITS. Вибір методу пошуку рішень і реалізації механізмів виведення визначається цілим рядом чинників: специфікою області застосування, розмірами простору пошуку, рівнем визначеності та достовірності знань і даних, динамікою змін, що відбуваються в наочній області, моделями представлення знань, обчислювальними ресурсами, які можуть бути застосовані в інтелектуалізованій системі. Рівень визначеності та достовірності знань обумовлює необхідність застосування нечітких підходів щодо розробки алгоритмів логічного виведення.

Класичні підходи розробки алгоритмів виведення [2, 4, 5] передбачають розробку деякої аксіоматизованої формальної системи (ФС) над множиною інформаційних об'єктів (термів), що викликає необхідність застосування дедуктивних методів пошуку рішень. Вважатимемо, що окрема ФС є системою гільбертовського типу –  $H$ -системою. Доцільно вважати, що схеми аксіом для  $H$  – це все тавтології, тобто загальнозначущі формули в мові  $a$  першого порядку; всі аксіоми рівності; всі формули вигляду:  $(\forall v \phi(v)) \rightarrow \phi(t), \phi(t) \rightarrow \exists v \phi(v)$ .

**Правила виведення для  $H$ :** (Modus ponens). З  $(\phi \rightarrow \psi)$  і  $\phi$  слідує  $\psi$ .

**Правила узагальнення:** якщо змінна  $v$  не входить вільно в  $\phi$ , то із  $\phi \rightarrow \psi(v)$  слідує  $\phi \rightarrow \forall u \phi(u)$ , із  $\psi(v) \rightarrow \phi$  слідує  $\exists u \phi(u) \rightarrow \phi$ .

Для випадку дедуктивної теорії з чіткими базами знань використовують відомий алгоритм виведення MP (Message-Passing). Визначимо початкові дані в якості множини вузлів бази знань  $\{BF_i\}_{i \leq n}$ , які складають опис предметної області (теорію); графу перетинів  $G = (V, E, W)$ , що описує взаємозв'язок між базами;  $Q$  – цільової формули з сигнатурою  $J(Q) \subseteq J\{BF_k\}$ .

Дослідження показали, що відомий алгоритм виведення MP не дає можливості здійснити виведення цільової формули  $Q$ , такої, що  $J(Q) \not\subseteq J\{BF_k\}$ , тобто сигнатура цільової формули не належить цілком сигнатурі БЗ одного блоку. Для інтелектуалізованої системи управління пошук таких формул цілком можливий, оскільки бази знань ITS зберігають знання певного рівня ієрархії і нові знання (в даному випадку складна цільова формула  $Q$ ) можуть виникати в процесі сумісного виведення по декількох БЗ різних модулів. Тому, для подолання цієї невідповідності, пропонується наступний удосконалений алгоритм IMP (Improved Message-Passing), що розвиває і удосконалює алгоритм MP, стосовно баз знань ITS з урахуванням елементів нечіткості окремих вузлів.

Позначимо як  $T_{BIS_i}$  – піддерево графу  $BIS$ , що починається з  $BIS_i$ ;

$l_i$  – індексу послідовність  $BIS_i$ , що однозначно визначає положення  $BIS_i$  в графі  $BIS$ ;

$l_d$  – останню цифру індексної послідовності; | – операцію відсікання в індексній послідовності;

$l_t$  – поточну індексну послідовність.

Сигнатура піддерева  $T_{BIS_i}$  розуміється як об'єднання

$$J(T_{BIS_i}) = \bigcup (J(BF_{ij}) | IM_{ij} \in T_{BIS_i}).$$

Визначимо початкові дані в якості графу BIS  $BIS_{BIS_0}$  відповідної БЗ ITS, що включає множину баз знань  $R = \{BF_i\}_{i \leq n}$ , де  $n$  – число BIS в  $BIS$ ;  $Q$  – цільова формула з сигнатурою  $J(Q)$ .

**Метод нечіткого виведення.** Пропонуємо наступний метод модернізованого нечіткого логічного виведення (Upgraded fuzzy inference). UFI-виведення – це логічне виведення, здійснюване від заданого  $BIS_i$ , з послідовним обходом всіх гілок підграфу  $BIS_i$  без об'єднання БЗ між сусідніми гілками, з подальшими поверненнями (у разі недосягнення мети), до тих пір, поки не будуть обійдені всі гілки даного підграфу. У разі UFI-виведення необхідно враховувати області дії аксіом і зміст баз фактів, тому схема виведення набуває вигляду (Рис.1).

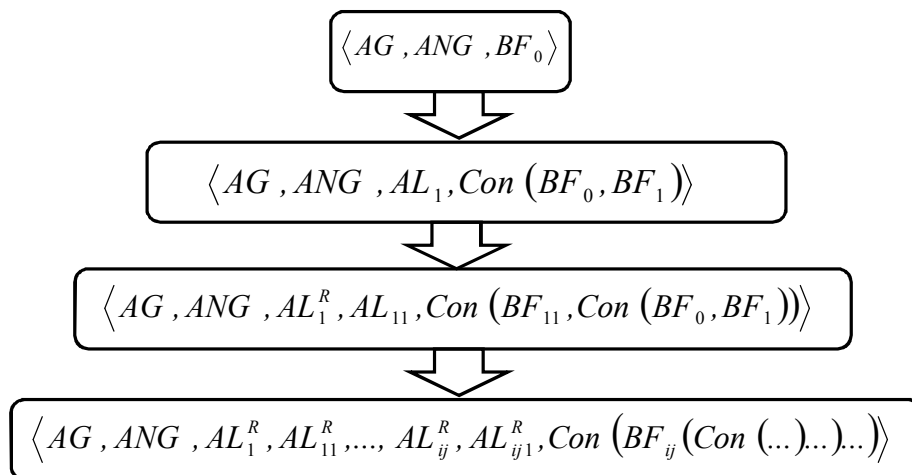


Рис. 1. Схема UFI-виведення

$AL_{ij}^R$  – поширювані вниз локальні аксіоми,  $Con$  – операція конкатенації баз фактів.

Нехай  $BF$  – поточний стан бази знань процесу логічного виведення, що включає результати попередніх конкатенацій. Якщо процес логічного виведення досяг інтелектуального модуля і з базою даних  $BF_i$  то здійснюємо виведення в базі  $BF \cup BF_i$  всіх логічних формул, таких що  $J(\phi_i) \subseteq J(W(i, j))$ , де  $j$  – наступний в ланцюжку виведення (тобто за низхідною ієрархією для UFI-виведення) інтелектуальний блок. Новий зміст  $BF$  вважаємо рівним  $BF := BF \cup \{\phi\}$ , якщо  $\{\phi\} \neq \emptyset$ , то поточний стан  $BF$  не змінюється [5]:

$$Con(BF(t), BF)_i = \left\{ \begin{array}{l} BF(t+1) = BF \cup \{\phi\}, \{\phi | J(\phi_i) \subseteq J(W(i, j))\} \\ BF(t+1) = BF(t), \text{ якщо } \{\phi\} = \emptyset \end{array} \right\}.$$

З урахуванням інтерполяційної теореми визначаємо операцію конкатенації таким чином.

Оскільки при здійсненні логічного виведення на графі BIS необхідне виконання повернень, то вводимо операцію відсікання баз фактів:

$$Del(BF(t), BF_i) = BF(t-1),$$

де  $t$  – номер поточного кроку послідовності виведення.

Недоліком алгоритму MP є вимога того, щоб сигнатура цільової формули належала мові однієї бази знань:  $J(Q) \subseteq J(BF_k)$ . Це приводить до необхідності порівняння сигнатури  $J(Q)$  з сигнатурами всіх  $BF_j$  в піддереві виведення з самого початку, що дуже нераціонально. Тому використовується алгоритм IMP, який припускає можливість пошуку складних цільових формул, коли  $J(Q) \not\subseteq J(BF_k)$  [5]. На етапі декомпозиції наочної області виконуємо розподіл тверджень по BIS таким чином: якщо існує формула  $\phi$ , така що  $J(\phi)$  використовує імена об'єктів, що належать  $BIS_{ij}$ , то  $\phi$  вміщується в  $BF_i$ , тобто зв'язується з вищим рівнем ієрархії. Таким чином, формули, що враховують відносини між об'єктами, що знаходяться на різних рівнях ієрархії, зміщуються вгору до кореня дерева декомпозиції.

UFI-виведення здійснюється за методом, який формалізоване наступним алгоритмом.

Початкові дані: піддерево графу BIS  $BIS_i$ , мета виведення в попередній нормальній формі (ПНФ).

#### **Алгоритм UFI (модернізований).**

1. *Begin.*

2. *Присвоєння:* NT – номер поточної вершини піддерева  $BIS_i$ .

3. *Аналіз умов:* Якщо мета не містить предикативних символів, що не зустрічаються в поточній сукупності баз фактів, то перехід до кроку 5. Якщо мета містить невідомі предикативні символи, то перевіряється умова: чи є поточна вершина BIS термінальною? Якщо “так”, то перехід до кроку 6. Якщо “ні”, то перехід до кроку 4.

4. *Подовження низхідного ланцюга для подальшого аналізу мети.* Поточний номер вершини нарощується: на одну цифру, значення якої визначається параметром  $j$ . Далі приріст  $j$  скидається в 0 для подальшого можливого переходу до найлівішої нижчої вершини. Повернення до кроку 3.

5. *Логічне виведення в сукупності баз фактів BF:* Ознака  $\alpha$  встановлюється одиницею. Виведення закінчується двома способами: або мета досягнута, тоді виводиться результат і перехід на “End”; або мета не досягається за встановлений час, тоді відбувається вихід по тайм-ауту.

6. *Повернення від термінальної вершини:* В цьому випадку пройдено ланцюг вершин від  $i$  до деякої термінальної вершини з поточним номером  $N_T$  і в цього ланцюга залишилися невідомі предикативні символи. Якщо вона не досягнута, то повторюється крок 6, якщо досягнута, то перехід до кроку 8. Якщо значення параметра  $V$  не дорівнює максимальному індексу поточної вершини, це означає, що потрібно переміститися до наступної правої вершини у даному піддереві. Перехід до кроку 7.

7. *Установка нового значення приросту номера поточної вершини:* Перехід до кроку 4.

8. *Аналіз ситуації при поверненні до  $BIS_i$ .* Якщо ознака логічного виведення була встановлена, то це говорить про те, що формула мети коректна, але ні на одній гілці піддерева  $BIS_i$  цю мету вивести не вдалося при встановленому часі тайм-ауту. Якщо ж ознака



логічного виведення не була встановлена, то це означає, що у формулі мети присутні предикати, які або взагалі відсутні в таблиці предикатів піддерева, або знаходяться на різних гілках цього піддерева, і отже, НТНН-виведення не може дати результату.

9. End.

Запропонований метод логічного виведення в ITS доведені до необхідного ступеня реалізації існуючими інструментальними засобами Visual Prolog 7.4.

**Оцінка ефективності методу Upgraded fuzzy inference.** Суть оцінки ефективності методу полягає в порівнянні якості рішень, прийнятих оператором традиційних умовах та при використанні ITS, в якій реалізовано запропонований метод. Оцінку ефективності роботи ITS судна розглянемо на прикладі аналізу алгоритму дії рульового високошвидкісного ВТЗ. Задача полягає у виборі оптимальних дій по управлінню судном при зміні курсу в нештатній ситуації. В описовій формі алгоритм дій оператора може бути поданий як послідовний виклад всіх дій оператора і їх порядку залежно від тих або інших умов. Елементами логічної схеми алгоритму в операторній формі є оператори (O – елементарні дії, кроки) і логічні умови  $l$ , які залежно від того, виконуються вони ( $l=1$ ) або не виконуються ( $l=0$ ), визначають той або інший порядок спрацьовування операторів.

Аналіз літератури показав, що існує кілька підходів до апріорної порівняльної оцінки якості прийнятих рішень: варіантний метод, метод оцінки за зовнішнім критерієм, ймовірнісний метод. Оцінку ефективності ITS проведемо на основі ймовірнісного графа алгоритму. Подання алгоритму у вигляді зваженого орієнтованого графу (ЗОГА) володіє тою беззаперечною перевагою, що поряд з наочністю дозволяє проводити кількісний аналіз алгоритму. Для побудови ЗОГА алгоритму роботи оператора скористаємося основами теорії мереж.

Спочатку виконане складання алгоритму рішення задачі. Для цього задача була розбита на операції й логічні умови. Зміст операцій та логічних умов, а також їхні кількісні характеристики наведені в Табл. 1.

Опис алгоритму

Табл. 1

№ п/п	Опис кроків алгоритму	Позначення	Кількісні характеристики			
			$\tau_{оп}, c$	$D_{оп}, c^2$	$P_{оп}$	$\gamma$
1	Попередня оцінка положення судна	$O_1$	0,1	0,1	0,99	-
2	З'ясування змісту нештатної ситуації	$O_2$	0,3	0,2	0,98	-
3	Логічна умова: необхідно оцінити наявність критичних умов експлуатації	$l_1$	0,3	0,1	1,0	0,53
4	Оцінка характеристик судна	$O_3$	0,2	0,3	0,99	-
5	Визначення нових значень: курс, швидкість, час початку змін	$O_4$	0,8	0,4	0,98	-
6	Логічна умова: необхідно оцінити можливість судна до визначених дій в даній нештатній ситуації	$l_2$	0,3	0,1	1,0	0,66
7	Оцінка стану ВТЗ	$O_5$	0,6	0,4	0,98	-
8	Логічна умова: необхідно оцінити час початку змін	$l_3$	0,3	0,1	1,0	0,41
9	Перевірка часу	$O_6$	0,3	0,2	0,99	-
10	Перевірка курсу	$O_7$	0,2	0,1	0,95	-
11	Перевірка швидкості	$O_8$	0,3	0,2	0,99	-
12	Керуючі дії	$O_9$	0,6	0,4	1,0	-

Алгоритм рішення задачі, записаний в операторній формі, має такий вигляд:

O1 O2 I1 ↑2 O3 O4 ↓1 I2 ↑3 O5 ↓2 I3 ↑8 O6 O7 ↓3 O8 O9.

Результати перетворень та розрахунків показують, що задача рульового високошвидкісного ВТЗ при парируванні наслідків нештатної ситуації у випадку застосування запропонованого методу має наступні характеристики: середній час рішення  $\tau=2,3$  с; середньоквадратичне відхилення часу рішення  $\sigma = 0,4$  с; ймовірність безпомилкового рішення  $P = 0,91$ . Середній час вирішення даної задачі без застосування ITS в штатному режимі становить 3,7 с, при середньоквадратичному відхиленні 0,7 с. Тобто є зменшення часу на прийняття рішення в період критичних ситуацій до 40%, або, при незмінному часі, підвищити ймовірність прийняття вірних рішень на 15...20 %.

**Висновки.** Застосування графу блоків інтелектуальної системи вирішує одну з складних задач логічного виведення на нечіткій семантичній мережі. Запропонований алгоритм виведення знань являє собою удосконалення відомого алгоритму МР, який відрізняється принципом поділу формул бази знань, що забезпечує можливість здійснення логічного виведення складних цільових формул, сигнатура яких не належить повністю сигнатурі бази знань одного блока ITS. Такий підхід дозволяє реалізувати схему дедуктивного виведення, як одну з найбільш ефективних для систем управління реального часу та розробити частковий алгоритм, який враховує ієрархічну організацію ITS та її нечіткість, визначену на основі суб'єктивізму знань, що дозволяє здійснювати виведення рішень на основі інформації різнорідних джерел в умовах динамічної зміни цілей управління.

#### **Література**

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление : теория и практика / Д. А. Поспелов. – Москва : Наука, 1986. – 288 с.
2. Zadeh L. A. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages / L. A. Zadeh // Computer and Mathematics. – 1983. – №9. – Р. 149-184.
3. Баранов Г. Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах : монографія / Г. Л. Баранов, А. М. Носовський, І. В. Тихонов. – Київ : КДАВТ, 2012. – 149 с.
4. Искусственный интеллект : в 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы : справочник / под ред. Д. А. Поспелова. – Москва : Радио и связь, 1990. – 304 с.
5. Обідін Д. М. Алгоритми логічного виведення знань в розподіленій інтелектуалізованій системі автоматичного управління / Д. М. Обідін, О. В. Барабаш, Р. В. Хращевський // Збірник наукових праць Харківського інституту Повітряних Сил. – 2012. – Вип. 4 (33). – С. 161 – 167.
6. Кравченко Ю. В., Нікіфоров С. В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах/ Ю. В. Кравченко, С. В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1. – С. 12-18.
7. Кравченко Ю. В. Концептуальний підхід до синтезу складних технічних систем з динамічною структурою / Ю. В. Кравченко, Р. А. Миколайчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2012. – №2(14). – С. 31-36.
8. Кравченко Ю. В. Сучасний стан та шляхи розвитку теорії функціональної стійкості / Ю. В. Кравченко, С. А. Микусь // Моделювання та інформаційні технології : збірник наукових праць ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2013. – Вип. 68. – С. 60-68.

Дата надходження в редакцію: 19.02.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Барабаш О. В.