

**П.І. Андон, В.А. Алексєєв,  
В.В. Мостовий, В.С. Терещенко, А.Л. Яловець**

Інститут програмних систем Національної академії наук України, Київ

## **ПРОБЛЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ СИТУАЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ОХОРОНОЮ ЗОН ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ**



*Розглядається можливість автоматизації процесу аналізу оперативної обстановки у зоні відповідальності охоронних структур та оцінки ситуації, що склалася. Аналізуються можливі ситуації з об'єктами контролю у зоні та визначаються функціональні задачі систем ситуаційного керування. Виконується вибір доцільних математичних методів і моделей штучного інтелекту для автоматизації процесу оцінки ситуацій та розглядаються особливості подання в логіко-обчислювальній семантичній мережі як чітких, так і нечітких знань про оцінку ситуацій, що виникають в процесі ситуаційного керування. Визначаються архітектура та функціональні можливості системи ситуаційного керування охороною зон відповідальності та описуються особливості реалізації і функціонування її підсистеми, призначеної для оцінки ситуацій на основі визначених математичних методів і використання логіко-обчислювальної семантичної мережі.*

*Ключові слова: оцінка ситуації, подання та обробка знань, логіко-обчислювальна семантична мережа, метод прямого логічного виводу.*

Охорона зон відповідальності є одним із напрямків діяльності правоохоронних органів та інших державних профільних установ. Ефективність цієї охорони значною мірою залежить як від характеристик технічних систем спостереження (відеосистем, радарів, тепловізорів, сенсорних датчиків та ін.), так і від «інтелектуального» рівня відображення, аналізу та оцінки оперативної обстановки у зоні відповідальності при спостереженні за визначеними об'єктами контролю (ОК). Такий рівень може забезпечити система ситуаційного керування охороною зон відповідальності, котра як складові включає і технічні системи спостереження (датчики інформації), інформаційно-телекомунікаційну підсистему (ПС) збору такої інформації для відображення оперативної обстановки на геоінформаційній основі, і спеціалізовану «інтелектуальну» підсистему аналізу та оцінки ситуації для інформаційної підтримки процесу прий-

няття рішень відповідними користувачами системи ситуаційного керування (ССК).

Нами розглядається проблема побудови такої ССК, яка, на відміну від близьких за напрямом аналогів, застосовує підсистему аналізу та оцінки ситуацій як складову. Для побудови цієї підсистеми використовують методи та моделі штучного інтелекту для подання та обробки знань, зокрема: логіко-обчислювальну семантичну мережу для подання як чітких, так і нечітких знань, метод прямого логічного виводу, метод побудови початкового стану процесу виводу та методи статичної верифікації поданих знань. Всі використані методи та моделі є оригінальними вітчизняними розробками.

### **1. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ СИСТЕМ СИТУАЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ**

Ситуаційне керування – це сукупність цілеспрямованих дій, які включають оцінку ситуації та стану об'єкта керування, вибір керівних дій та їх реалізацію. Тобто реалізація ситуаційного керування має безпосередньо базуватися

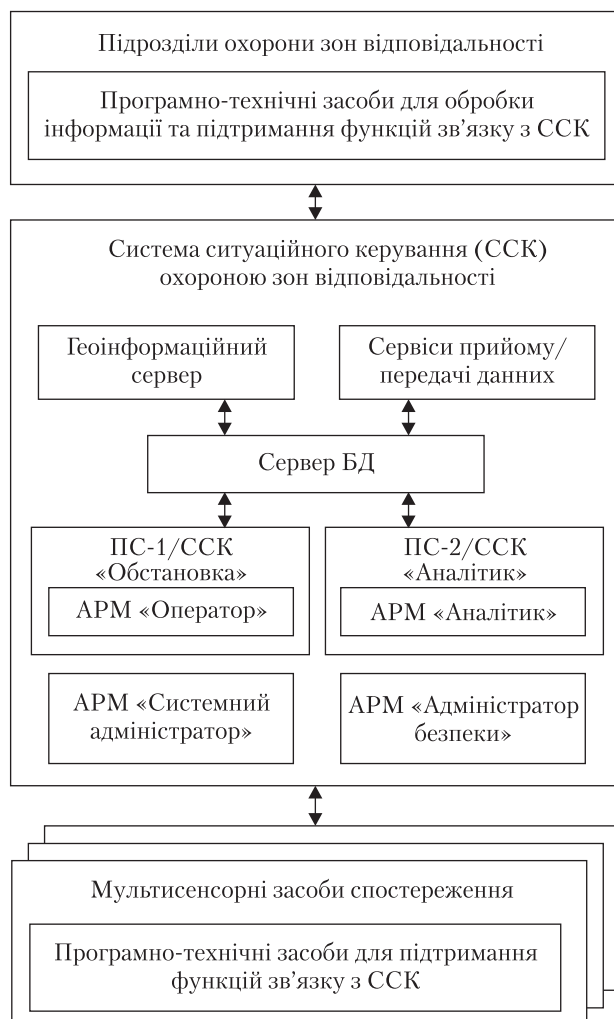


Рис. 1. Архітектура ССК

на основних положеннях теорії прийняття рішень. Відповідно до цієї теорії проблему, що розглядається, необхідно поділити на частини, які слід досліджувати окремо, а потім побудувати модель для прийняття рішень [1, с. 481]. Як наслідок процес побудови ССК охороною зони відповідальності, з точки зору реалізації функціональних задач системи, може бути деконструовано на такі етапи:

- ✦ визначення можливих характеристик ОК, зони відповідальності та їх дій у зоні, від яких може залежати ситуація;

- ✦ визначення та аналіз можливих ситуацій з ОК у зоні з урахуванням їх імовірності та їх оцінка;
- ✦ визначення варіантів переліку оперативних, пошукових та рятувальних заходів, що мають бути запроваджені як реакція на ситуацію, відповідно до її оцінки;
- ✦ ранжування переваг можливих наслідків запровадження визначених варіантів переліку заходів щодо керування ситуацією, яка склалася, та визначення найбільш раціонального з них;
- ✦ узагальнення та висвітлення з застосуванням геоінформаційних технологій на моніторі особи, що приймає рішення, інформації, отриманої на цих етапах, для формування керівних вказівок та передачі їх у підрозділи охорони зони відповідальності.

Відповідно до цих етапів для реалізації функціональних задач ССК має підтримувати зв'язок з програмно-технічними засобами обробки інформації у таких підрозділах охорони та з мультисенсорними засобами спостереження (МСЗС).

Узагальнену архітектуру ССК подано на рис. 1. Визначимо окремі її компоненти.

Підрозділи охорони зони відповідальності (ПОЗВ) – це підрозділи, що вповноважені у своїй зоні відповідальності здійснювати визначені відповідними директивними або відомчими документами заходи (спостереження, нагляд, контроль, моніторинг, а також оперативні, пошукові та рятувальні заходи тощо).

Мультисенсорні засоби спостереження – це сукупність окремих сенсорів (засобів технічного спостереження), які призначені для виявлення та спостереження за ОК, та засобів передачі даних до ССК у стаціонарному (спеціальні споруди, вежі, щогли спостереження та ін.) або мобільному (спеціально обладнані колісні або гусеничні машини) виконанні.

У ССК програмно-апаратні компоненти, що вказані на рис. 1, призначені:

- ✦ ПС «Обстановка» та АРМ «Оператор» – для автоматизації процесів прийому та реєстра-

ції даних від кількох МСЗС про обстановку у зонах відповідальності, ведення відповідних класифікаторів, а також для відображення обстановки на електронній карті в режимі прямого доступу до БД;

- ✦ ПС «Аналітик» та АРМ «Аналітик» – для автоматизації процесів аналізу ситуацій, що склалися у зоні відповідальності, їх оцінку та можливі наслідки і формування керівних вказівок для відповідних підрозділів щодо проведення ними оперативних, пошукових та рятувальних заходів;
- ✦ АРМ «Системний адміністратор» – для налагодження параметрів ССК, а також моніторингу її функціонування;
- ✦ АРМ «Адміністратор безпеки» – для надання прав доступу користувачам ССК та моніторингу їх роботи, тобто для захисту інформаційних, програмно-апаратних та технічних ресурсів у відповідності до вимог політики безпеки ССК.

Наведені вище АРМ є клієнтами геоінформаційного серверу та серверу БД, які зберігають відповідні бази даних та обробляють запити з боку клієнтів у межах локальної обчислювальної мережі ССК.

Функціонування ССК розглянемо на прикладі можливих ситуацій з надводними ОК – невійськовими суднами у зоні відповідальності. За таку зону візьмемо морську ділянку державного кордону (МДК), тобто зовнішні межі територіального моря [2], або виключну (морську) економічну зону (В(М)ЕЗ) [3]. Як підрозділи охорони зони відповідальності визначимо підрозділи морської охорони Державної прикордонної служби України (ДПСУ), які в межах своїх повноважень здійснюють діяльність у відповідності з [2].

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВИХ СИТУАЦІЙ З ОБ'ЄКТАМИ КОНТРОЛЮ

Ситуація, що може скластися після якихось дій ОК у вищевизначених зонах відповідальності, залежить від багатьох характеристик, зокрема від складу ОК, ступеня їх мобільності, класу,

виду та належності ОК, характеру їхніх дій, специфіки обліку, виду зони відповідальності тощо.

Якщо прийняти такі ситуації за функцію, а інші характеристики, від яких вона залежить, за аргументи, то формально така функція визначатиметься сполученням значень вказаних аргументів для певного випадку:

$$S_k = f(P_m) \text{ для всіх } n, \quad (1)$$

де  $k$  – індекс функції,  $n$  – індекс аргументу (параметру),  $r$  – індекс його значення.

Кількість різновидів цієї функції  $K(S)$  буде залежати від кількості сполучень значень всіх її аргументів. Для подальшого дослідження ситуацій необхідно чітко визначити як значення самої функції (її оцінки), так і всі можливі значення всіх її аргументів.

Оцінка ситуації визначається як значення функції  $Z_S^o$ , де:

- ✦  $Z_S^I$  – звичайна ситуація – при відсутності необхідності слідкування за об'єктом (повсякденна його діяльність);
- ✦  $Z_S^I$  – ситуація підвищеної уваги – при необхідності продовження слідкування за об'єктом у випадку, коли прогнозований розвиток ситуації не виключає, що у подальшому з боку такого об'єкта можливе порушення законодавства України щодо державного кордону, прикордонного режиму, правил ведення промислу (інших робіт) в територіальному морі, внутрішніх водах та В(М)ЕЗ;
- ✦  $Z_S^{III}$  – критична ситуація – при необхідності застосування відповідних дій з боку підрозділів морської охорони ДПСУ у випадку порушення законодавства України.

Як аргументи цієї функції у загальному випадку визначимо такий набір характеристик надводних ОК, їхніх дій у зоні відповідальності та видів такої зони (параметри  $P_m$  при  $n \in \{1, \dots, N\}$ , де  $N = 10$ ):

- ✦ клас ОК –  $P_{1r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 2$ : військовий корабель ( $P_{11}$ ), невійськове судно ( $P_{12}$ );
- ✦ вид (тип, призначення) ОК –  $P_{2r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$  (у загальному випадку визначається в залежності від  $P_{1r}$ ) для  $P_{12}$  невійськового суд-

- на  $R = 3$ : недобувне судно ( $P_{21}$ ), промислове добувне судно ( $P_{22}$ ), морська бурова платформа ( $P_{23}$ );
- ✦ належність ОК –  $P_{3r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 2$ : свій ( $P_{31}$ ), чужий ( $P_{32}$ );
  - ✦ ступінь мобільності ОК –  $P_{4r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 3$ : рухомий ( $P_{41}$ ), дрейфуючий ( $P_{42}$ ), нерухомий ( $P_{43}$ );
  - ✦ швидкість ОК або час перебування у зоні, що дозволяють або ні проводити протиправні роботи –  $P_{5r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 2$ : дозволяє ( $P_{51}$ ), не дозволяє ( $P_{52}$ );
  - ✦ склад ОК –  $P_{6r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 3$ : поодинокий ОК ( $P_{61}$ ), подвійний ОК ( $P_{62}$ ), груповий ОК ( $P_{63}$ );
  - ✦ характер дій ОК –  $P_{7r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 8$ : наближається до зони відповідальності ( $P_{71}$ ), увійшов у зону ( $P_{72}$ ), пересувається у зоні ( $P_{73}$ ), наближається до іншого ОК ( $P_{74}$ ), перебуває у безпосередній близькості до іншого ОК ( $P_{75}$ ), відходить від іншого ОК у зоні ( $P_{76}$ ), прямує із зони ( $P_{77}$ ), вийшов із зони ( $P_{78}$ );
  - ✦ вид зони відповідальності –  $P_{8r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 6$ : В(М)ЕЗ ( $P_{81}$ ), морська ділянка кордону ( $P_{82}$ ), територіальне море ( $P_{83}$ ), внутрішні води ( $P_{84}$ ), акваторія порту ( $P_{85}$ );
  - ✦ наявність завчасного попередження ОК про свої дії –  $P_{9r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 2$ : з попередженням ( $P_{91}$ ), без попередження ( $P_{92}$ );
  - ✦ група прикордонного обліку ОК у підрозділах морської охорони –  $P_{10r}$  при  $r \in \{1, \dots, R\}$ , де  $R = 3$ : ОК групи «А» – самохідний ОК, що може покидати територіальне море ( $P_{101}$ ), ОК групи «В» – самохідний ОК, що не може покидати територіальне море ( $P_{102}$ ), ОК групи «С» – несамохідний ОК, що знаходиться на причолі ( $P_{103}$ ).

Формально набір наведених вище множин (комплексів) значень параметрів вже задає узагальнену початкову ситуацію  $S^P$ , але дуже комплексно, оцінку якої можна отримати за допомогою алгоритму з великою кількістю розглядувань (за кількістю параметрів) на умовних переходах. Якщо у наборі параметрів задіяні

лише по одному їх значенню, то виникне множина  $M(S_i^e)$  елементарних ситуацій (ЕС)  $S_i^e$  при  $i \in \{1, \dots, I\}$ , де  $S_i^e = \bigcup_n P_n$  для  $n \in \{1, \dots, 10\}$ ,  $r \in \{1, \dots, R\}$ , об'єднана сукупність яких складає  $S^P$ :

$$S^P = \bigcup_{i=1}^I S_i^e. \quad (2)$$

Кількість  $I$  таких ЕС формально дорівнюватиме кількості  $K(P)$  можливих сполучень (кожний з кожним) значень всіх параметрів ОК, де

$$K(P) = \prod_{n=1}^{10} R(P_{nr}). \quad (3)$$

У першому випадку комплексна ситуація (КС)  $S^P$  є непрозорою і важкою для її дослідження та оцінки. У другому випадку ЕС  $S_i^e$  стають прозорими, а оцінка їх – простою, але їх кількість  $K(P)$  є дуже великою (понад 50 000), що також ускладнює їх дослідження. Найкращим виходом з такого становища є двоступенева декомпозиція  $S^P$ : спочатку у КС першого ступеня  $S^{K1}$ , задіявши при цьому лише для деяких параметрів повні або неповні комплекси їх значень та розбивши отримані КС на два класи ( $S_1^{K1}$  для поодиноких та  $S_2^{K1}$  для подвійних ОК), а потім у КС другого ступеня  $S^{K2}$  (відповідно  $S_1^{K2}$  та  $S_2^{K2}$ ) для більш чіткого визначення ситуації. Процес двоступеневої декомпозиції  $S^P$  через задіяння матриць сполучень значень параметрів для визначення мовної інтерпретації КС другого ступеня  $S^{K2}$ :  $S_1^{K2}$  для поодинокого та  $S_2^{K2}$  для подвійного ОК детально розглянуто у роботі [4]. Тому тут, як приклад, наведемо лише дві з них:

- ✦ КС-1.12.1 – рухомий ОК, що визначено як своє (чуже) промислове добувне судно, без завчасного попередження увійшло у виключну (морську) економічну зону зі швидкістю, що дозволяє (не дозволяє) проводити добувні роботи;
- ✦ КС-2.5.1 – рухомий ОК, що визначено як невійськове судно, в зоні відповідальності деякий час знаходиться у безпосередній близькості до іншого рухомого невійськового ОК.

### 3. ВИБІР ДОЦІЛЬНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ

Визначимо, до якого класу задач належить досліджувана задача оцінки КС. У відповідності до класифікації Д. Пойа [5] множина проблемних задач може бути розбита на два достатньо загальні класи: *задачі на знаходження* та *задачі на доказ*.

У випадку розгляду *задач на знаходження* явно задано вихідні дані задачі і не задано шуканого об'єкта. Сутність задач на знаходження полягає у знаходженні заздалегідь невідомого об'єкта, який задовольняє умовам задачі.

У випадку розгляду *задач на доказ* невідомого об'єкта немає (тобто відомі як умови задачі, так і шуканий об'єкт). Вирішити задачу на доказ – значить знайти доказ того, що шуканий об'єкт визначається з умов задачі.

Задача оцінки КС безперечно належить до класу *задач на знаходження*, оскільки в ній явно заданий опис деякої ситуації і необхідно виконати заздалегідь невідому оцінку КС, яка задовольняє такому опису.

Виходячи з властивостей задачі оцінки КС, можна зробити такі висновки:

- задача формулюється у вербальному вигляді, який є описом знань експерта;
- опис знань експерта включає як чіткі, так і нечіткі знання.

Дійсно, у вищенаведених КС поруч з чіткими можуть використовуватись і нечіткі знання, наприклад: «швидкість судна незначна», «час перебування недостатній», «у безпосередній близькості» тощо. Такі нечіткі знання формалізуються за допомогою відповідних лінгвістичних змінних («швидкість судна», «час перебування поруч», «відстань між суднами»). Як їхні значення виступають такі нечіткі змінні, як «мала», «середня», «велика»).

Відповідно до цього стає очевидним, що для вирішення задачі оцінки КС доцільно використовувати моделі та методи штучного інтелекту.

Виходячи з властивостей задачі оцінки КС використовується модель подання знань має забезпечувати:

- ✦ подання знань в термінах природної мови;
- ✦ подання процедурно-декларативних знань;
- ✦ подання як чітких, так і нечітких знань;
- ✦ подання семантичних відношень;
- ✦ подання логічних операцій;
- ✦ цілісність поданих знань;
- ✦ можливість об'єднання структур знань.

Водночас використовувані методи обробки знань мають враховувати особливості досліджуваного класу задач. Відомо [6], що для обробки знань щодо рішення задач на знаходження (у даному разі – щодо оцінки КС) доцільно використовувати метод прямого («від даних») логічного виводу. Цей метод має бути заснованим на ефективній процедурі виводу, уніфікованим (бути єдиним методом прямого виводу для обробки поданих знань) та універсальним (дозволяти обробляти як чіткі, так і нечіткі процедурно-декларативні знання).

Всім наведеним вимогам задовольняють математичні методи і моделі, запропоновані в роботі [6]. У відповідності з цим для подання знань щодо оцінки КС доцільно використовувати логіко-обчислювальну семантичну мережу (ЛОС-мережу) як модель подання знань, а для обробки знань – метод прямого виводу на ЛОС-мережі.

Під *логіко-обчислювальною семантичною мережею* [6]  $LCSN = (V, E, \Delta)$  розуміється простий ациклічний однонаправлений кінцевий зв'язний граф, який має такі властивості:

1. Кожна вершина  $v \in V$  однозначно характеризується кортежем  $\langle id_v, n_v, m_v, t_v \rangle$ , де  $id_v$  – унікальний ідентифікатор вершини  $v$ ;  $n_v$  – ім'я вершини  $v$ ;  $m_v$  – ім'я метода, зіставленого вершині  $v$ ;  $t_v$  – тип вершини  $v$ .

2. Кожна дуга  $e \in E$  описує зв'язність між вершинами і має орієнтацію  $\Delta(e) \simeq (v_i > v_j)$ , де  $v_i, v_j \in V$ ;  $v_i$  належить до нижчого рівня порівняльної структури графа в порівнянні з рівнем, до якого належить  $v_j$ .

Тут  $V$  – непуста кінцева множина вершин ЛОС-мережі;  $E$  – непуста кінцева множина дуг ЛОС-мережі;  $\Delta$  – відображення множини  $E$  на  $V \times V$ , що формалізує орієнтацію дуг ЛОС-

мережі. У відповідності до визначення кожна вершина  $v \in V$  ЛОС-мережі однозначно описується кортежем  $\langle id_v, n_v, m_v, t_v \rangle$ , де  $n_v \in N$ ,  $m_v \in M$ ,  $t_v \in T$ ;  $N$  – непушта кінцева множина імен об'єктів досліджуваної предметної області (ПрО);  $M$  – кінцева множина імен методів, виконуваних у досліджуваній ПрО;  $T$  – множина типів вершин ( $T = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ ). Зазначимо, що існують такі типи  $t_v \in T$  вершин: термінальні вершини (0), логічні  $I$ -вершини (1), логічні АБО-вершини (2), обчислювальні  $I$ -вершини (3), умовні  $I$ -вершини (4) та ітераційні  $I$ -вершини (5). Таким чином, тип  $t_v$  вершини дозволяє відобразити логічні (і в деяких випадках обчислювальні) властивості вершини  $v \in V$ . Вершини *типу* 1, 3, 4, 5 є кон'юнктивними (їм зіставлена операція  $\&$ ), а вершина *типу* 2 – повно-диз'юнктивною (їй зіставлена операція  $\check{\vee}$ ).

Логічна операція повної диз'юнкції ( $\check{\vee}$ ) змістовно інтерпретується як «виключне або», є  $n$ -арною (де  $n \geq 2$ ) і має таку формулу еквівалентних перетворень:

$$\begin{aligned} & A_1 \check{\vee} A_2 \check{\vee} \dots \check{\vee} A_{n-1} \check{\vee} A_n = \\ & = (A_1 \& \neg A_2 \& \dots \& \neg A_{n-1} \& \neg A_n) \vee \\ & \vee (\neg A_1 \& A_2 \& \dots \& \neg A_{n-1} \& \neg A_n) \vee \dots \quad (4) \\ & \vee (\neg A_1 \& \neg A_2 \& \dots \& A_{n-1} \& \neg A_n) \vee \\ & \vee (\neg A_1 \& \neg A_2 \& \dots \& \neg A_{n-1} \& A_n). \end{aligned}$$

Формула  $A_1 \check{\vee} A_2 \check{\vee} \dots \check{\vee} A_{n-1} \check{\vee} A_n$  приймає значення «істинна» тоді і тільки тоді, коли істинна одна і тільки одна з підформул  $A_i$  ( $i = 1, n$ ), що до неї входять.

Внаслідок того, що в ЛОС-мережі кожній нетермінальній вершині (тобто будь-якій вершині  $v_i \in V$ , у якій  $\deg^+(v_i) \neq 0$ ) обов'язково поставлена у відповідність деяка логічна операція, що належить до системи операцій ( $\check{\vee}$ ,  $\&$ ), кожна дуга  $e \in E$  ЛОС-мережі описує логічну зв'язність між вершинами. Однак за допомогою дуг в структурі ЛОС-мережі можуть подаватися і інші відношення, що існують між іменами вершин. Так, за допомогою дуг, які заходять до  $I$ -вершин, можуть бути подані такі

види бінарних відношень (що розуміються як відношення, які існують між іменами вершин, котрі зв'язуються дугою): «частина–ціле», «причина–наслідок», «властивість–об'єкт», «умова–дія», «параметр–задача» тощо. У свою чергу за допомогою дуг, що заходять до АБО-вершин, можуть бути подані родовидові відношення (що розуміються як відношення, котрі існують між іменем вершини (яке виступає як видове поняття), з якої виходить дуга, і іменем АБО-вершини (що виступає як родове поняття), в яку дуга заходить). Таким чином, за допомогою дуг у структурі ЛОС-мережі можуть бути подані не тільки логічні зв'язки, а й семантичні і обчислювальні відношення досліджуваної ПрО.

Оцінку визначених у розділі 2 ситуацій КС-1.12.1 та КС-2.5.1 за особливостями процесу подання знань можна розглядати як два різні класи типових ситуацій. Розбіжності між цими класами полягають в якісній відмінності вхідних потоків, що відповідають параметричному опису ситуацій. Так, можливі вхідні потоки щодо оцінки ситуації можуть містити або незмінну, або змінну кількість параметрів. У першому випадку (*перший клас ситуацій*, до яких відноситься КС-1.12.1) на основі таких вхідних параметрів задачі може бути побудована нечітка база знань (БЗ) (оскільки для побудови такої БЗ необхідно мати саме незмінну кількість параметрів задачі, що розглядаються як лінгвістичні змінні, на основі яких і формуються нечіткі експертні правила). У другому випадку (*другий клас ситуацій*, до яких відноситься КС-2.5.1) необхідно будувати БЗ на основі чітких знань. Для підтримки процесів автоматизованого подання знань використано ПС «Тезаурус», ПС «Метод» та ПС «Призма» [6].

#### 4. ПОДАННЯ НЕЧІТКИХ ЗНАТЬ ПРО ОЦІНКУ СИТУАЦІЇ

**4.1. Побудова множини нечітких експертних правил.** Виходячи з аналізу КС-1.12.1, ми отримали такі висновки: *по-перше*, необхідно сформулювати дві групи правил для випадків, коли змінюється належність судна («свій» та «чужий»); *по-друге*, в алгоритмі поруч з чіткими

знаннями, що описують об'єкт досліджень (промислове добувне судно), зустрічаються і нечіткі знання (наприклад, параметр «швидкість об'єкта» виступає як лінгвістична змінна, значеннями якої є нечіткі змінні «мала» та «немала»); по-третє, для більш адекватної оцінки ситуації доцільно ввести до консеквентних частин правил ступені відповідності (ваги) можливих результатів вирішення задачі.

**4.2. Створення бази знань** включало до свого складу формування БД імен, БД методів та побудову ЛОС-мережі.

**4.2.1. Формування БД імен.** Під формуванням БД імен (БДІ) розуміється виявлення ключових понять досліджуваної ПрО та автоматизоване заповнення ними словника ПрО засобами ПС «Тезаурус».

У процесі створення БДІ було сформовано множину унікальних імен, що несуть основне змістовне навантаження з точки зору досліджуваної задачі оцінки ситуації, зокрема: «промислове добувне судно», «швидкість об'єкта, вузлів», «об'єкт цивільний», «ступінь приналежності до нечіткої множини "мала швидкість"», «ступінь достовірності висловлювання, що об'єкт свій і його швидкість мала» тощо. Імена, що зберігаються в БДІ, використовуються при побудові та обробці ЛОС-мережі.

**4.2.2. Формування БД методів.** Під формуванням БД методів (БДМ) розуміється виявлення процедурних знань (методів) ПрО і автоматизоване формалізоване додавання їх до складу БДМ засобами ПС «Метод».

До переліку методів, що були додані до складу БДМ, увійшли формули та табличні функції. Як формули додані мінімаксні операції (для визначення ступенів достовірності), формули-коефіцієнти (для завдання ступенів відповідності), операції порівняння тощо. Табличні функції були використані для подання функцій приналежності (див. рис. 2). Методи, що зберігаються в БДМ, використовуються при побудові та обробці ЛОС-мережі.

**4.2.3. Побудова ЛОС-мережі.** Процес створення БЗ реалізується засобами ПС «Призма»

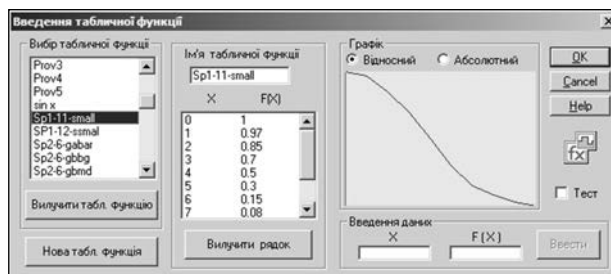


Рис. 2. Подання функції приналежності нечіткої множини «мала швидкість»

і виконується шляхом візуальної побудови ЛОС-мережі, у складі якої подається множина імен досліджуваної ПрО та встановлюються семантичні, логічні та обчислювальні зв'язки, що існують між цими іменами. Як і завжди [7], процес подання нечітких знань включає в себе три етапи: *фаззифікації, нечіткого логічного виводу та дефаззифікації.*

**Виконання етапу фаззифікації.** На цьому етапі виконується подання в структурі ЛОС-мережі антецедентних частин експертних правил. Основна мета цього процесу – визначення ступенів достовірності висловлювань, що формують антецедентні частини кожного правила. Для цього використовуються правила перетворення кон'юнктивної форми [7]. Подання знань у структурі ЛОС-мережі про виконання етапу фаззифікації наведено на рис. 3 (еліпс з позначкою 1).

**Виконання етапу нечіткого логічного виводу.** На цьому етапі подання знань виконується визначення ступенів істинності можливих результатів рішення задачі оцінки, що описана системою експертних правил, відносно значень ступенів достовірності антецедентних частин правил, визначених на етапі фаззифікації. Процес подання знань про етап нечіткого логічного виводу засновується на обчисленні ступенів істинності  $\mu_{mp}(v_k)$  у відповідності до правила *modus ponens* [7].

Отримання оцінки ситуації на основі правила *modus ponens* полягає у виборі такого рішення  $v_k$  (де  $v_k \in V$ ;  $V = \{\text{«підвищена увага»}, \text{«звичайна»}\}$  або  $V = \{\text{«підвищена увага»}, \text{«критична»}\}$ ), при якому обчислене значення  $\mu_{mp}(v_k) \in$

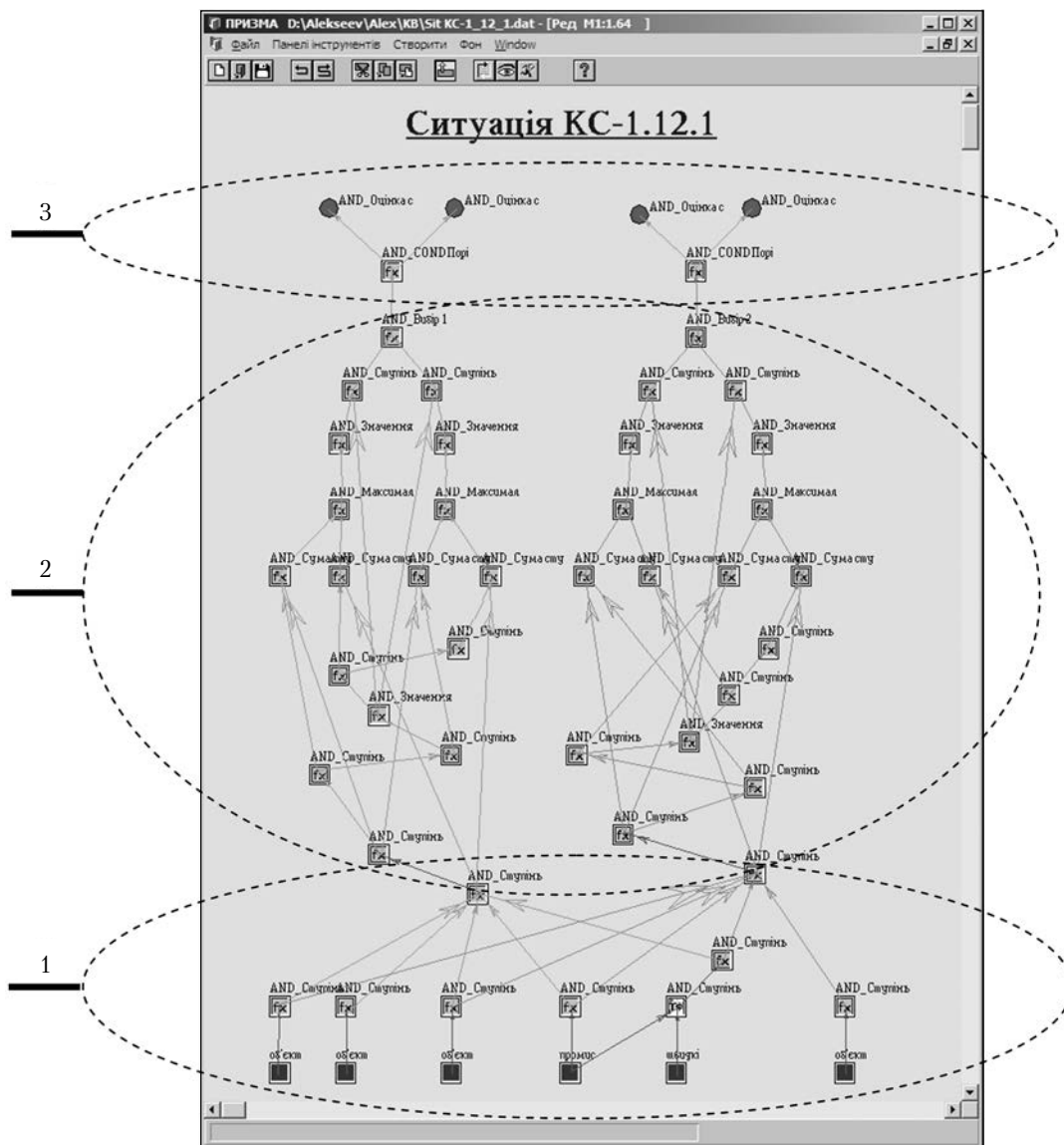


Рис. 3. ЛОС-мережа, в якій подані нечіткі знання про оцінку ситуації

найбільшим. Отже, подання в структурі ЛОС-мережі знань про виконання етапу нечіткого логічного виводу (див. рис. 3, еліпс з позначкою 2) передбачає здійснення таких трьох кроків:

- 1) подання ступенів відповідності  $r_{ij}$ , що входять до складу матриці  $\tilde{R}$ ;
- 2) подання сум ступенів достовірності і відповідності  $\mu_{w_i}(w) + R_i^k$  та визначення їх максимального значення;

3) подання ступенів істинності висловлювань, що оцінка ситуації відповідно «*підвищена увага*» або «*звичайна*» чи «*підвищена увага*» або «*критична*» з визначенням максимального значення ступеня істинності.

**Виконання етапу дефаззифікації.** На цьому етапі подання знань (див. рис. 3, еліпс з позначкою 3) виконується оцінка ситуації, тобто формується конкретне чітке значення шуканого ре-



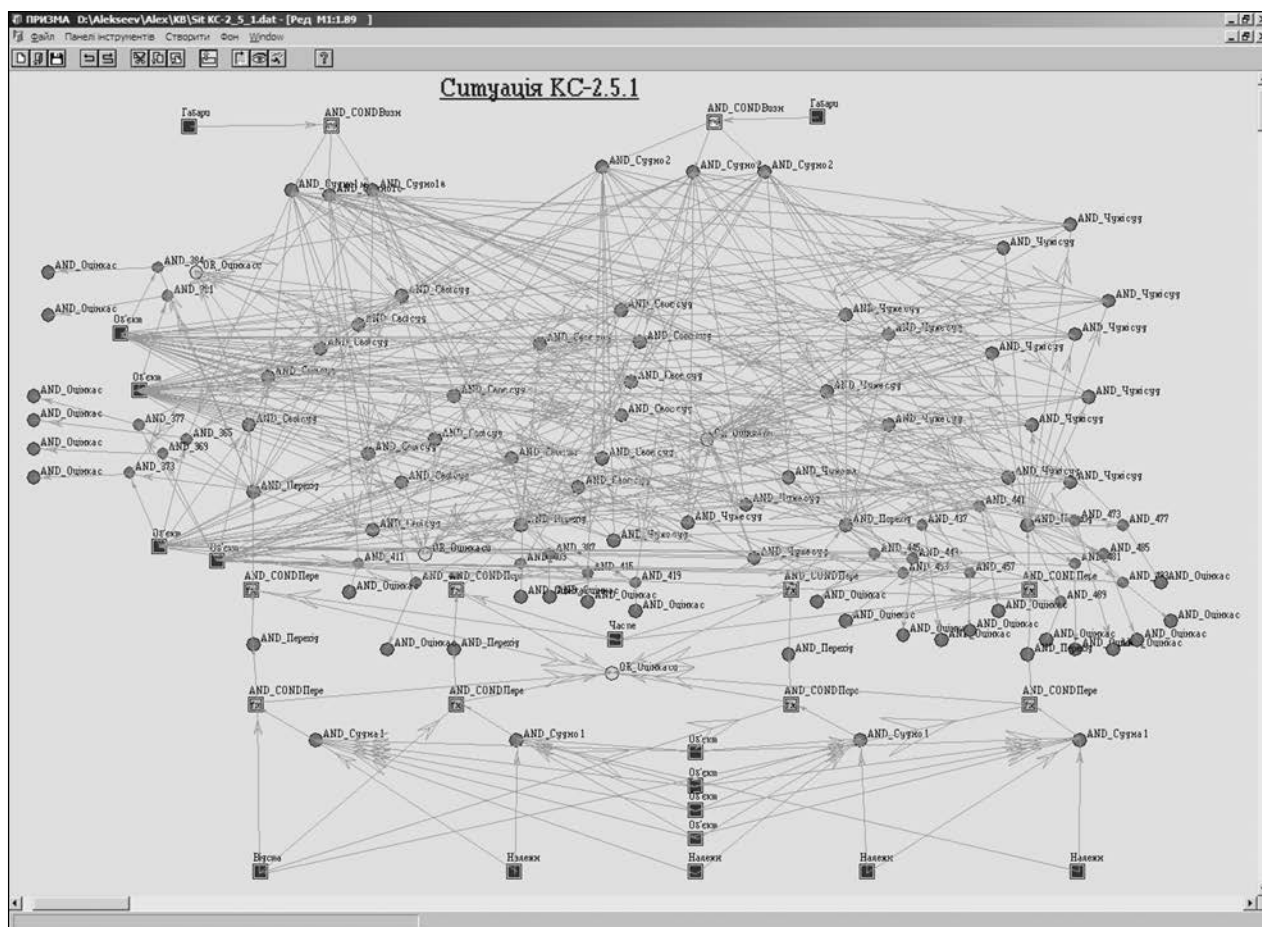


Рис. 4. ЛОС-мережа, в якій подані чіткі знання про оцінку ситуації

зультату. При цьому здійснюється порівняння значень ступенів істинності оцінки ситуації з максимальним значенням ступеня істинності, обчисленим на етапі нечіткого логічного виводу, та обирається результат, значення ступеня істинності якого збігається з максимальним значенням.

На цьому процес подання в ЛОС-мережі нечітких знань про оцінку досліджуваної ситуації завершується.

## 5. ПОДАННЯ ЧІТКИХ ЗНАТЬ ПРО ОЦІНКУ СИТУАЦІЇ

**5.1. Створення бази знань**, як і у випадку подання нечітких знань, включає формування БДІ, БДМ та побудову ЛОС-мережі.

**5.1.1. Формування БД імен.** До складу БДІ, зокрема, додано такі імена: «відстань між об'єк-

тами, м», «час перебування об'єктів поруч, хв», «габарити об'єкту 1, м», «об'єкт підлягає миттєвому контролю», «оцінка ситуації КС-2.5.1: Критична» тощо.

**5.1.2. Формування БД методів.** До складу БДМ були додані формули та табличні функції. Були додані операції порівняння (для перевірки відстані між об'єктами та часу їх перебування поруч). Табличні функції були використані для визначення габаритів суден (*велике, середнє, мале*) в залежності від їх довжини.

**5.1.3. Побудова ЛОС-мережі.** У процесі подання знань виконано наступну послідовність дій з аналізу ситуації: перевірка відстані між об'єктами; перевірка часу перебування об'єктів поруч; в залежності від отриманих результатів

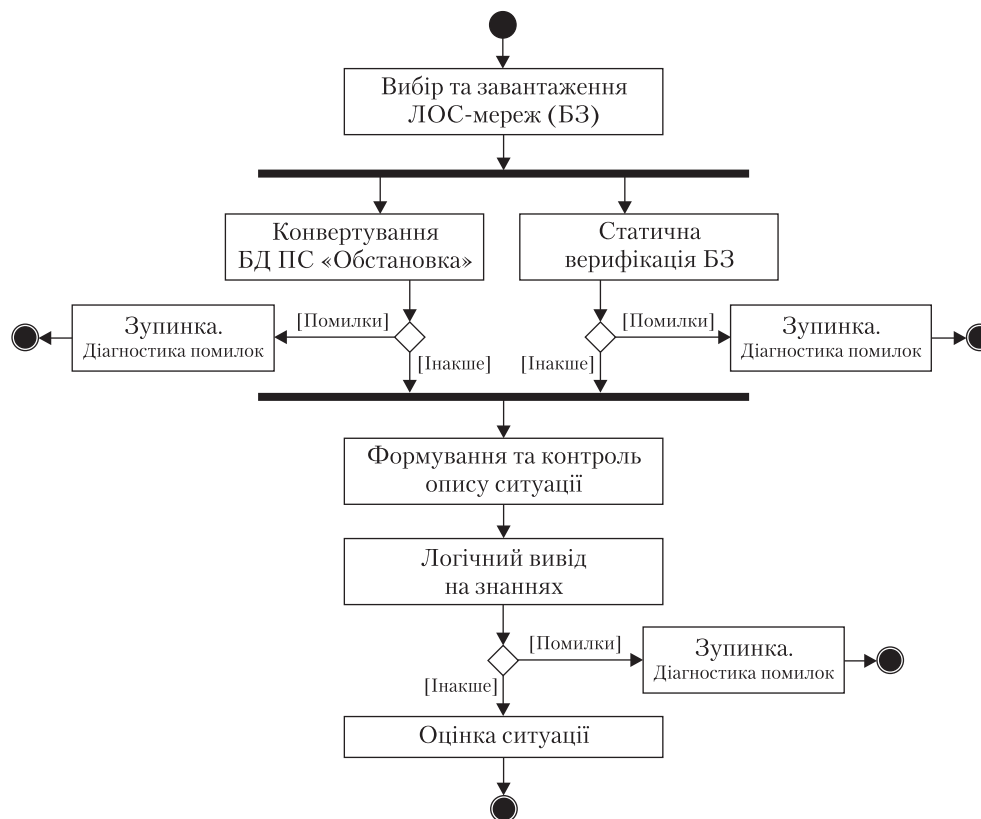


Рис. 5. Діаграма діяльності щодо оцінки ситуації

припинення процесу аналізу з формуванням відповідної оцінки ситуації або продовження подальшого аналізу з розгалуженням процесу (з формуванням відповідної оцінки ситуації за результатами аналізу).

ЛОС-мережа, сформована в результаті завершення процесу подання чітких знань про оцінку досліджуваної ситуації, наведена на рис. 4.

## 6. ВИМОГИ ДО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДСИСТЕМИ ОЦІНКИ КС

Для автоматизації рішення задачі оцінки КС розроблено інтелектуальну ПС «Аналітик» системи ситуаційного керування охороною зони відповідальності. Створення ПС «Аналітик» відбувалося з використанням вибраних математичних методів та моделей (ЛОС-мережі як моделі подання знань та відповідного методу прямого виводу). З ураху-

ванням особливостей задачі оцінки КС в основу створення ПС «Аналітик» було поставлено ряд вимог, у відповідності до яких дана ПС повинна:

- ✦ бути інваріантною відносно КС, що розглядаються;
- ✦ давати можливість обробляти різномірні знання: як знання, що містяться в нормативно-директивних документах, які регламентують оцінку КС, так і експертні знання;
- ✦ давати можливість обробляти як декларативні, так і процедурні знання про оцінку КС;
- ✦ давати можливість обробляти як чіткі, так і нечіткі знання про оцінку КС;
- ✦ давати можливість обробляти локально неповні, локально надлишкові та локально суперечливі знання;
- ✦ якість результатів обробки знань має монотонно залежати від повноти БЗ;

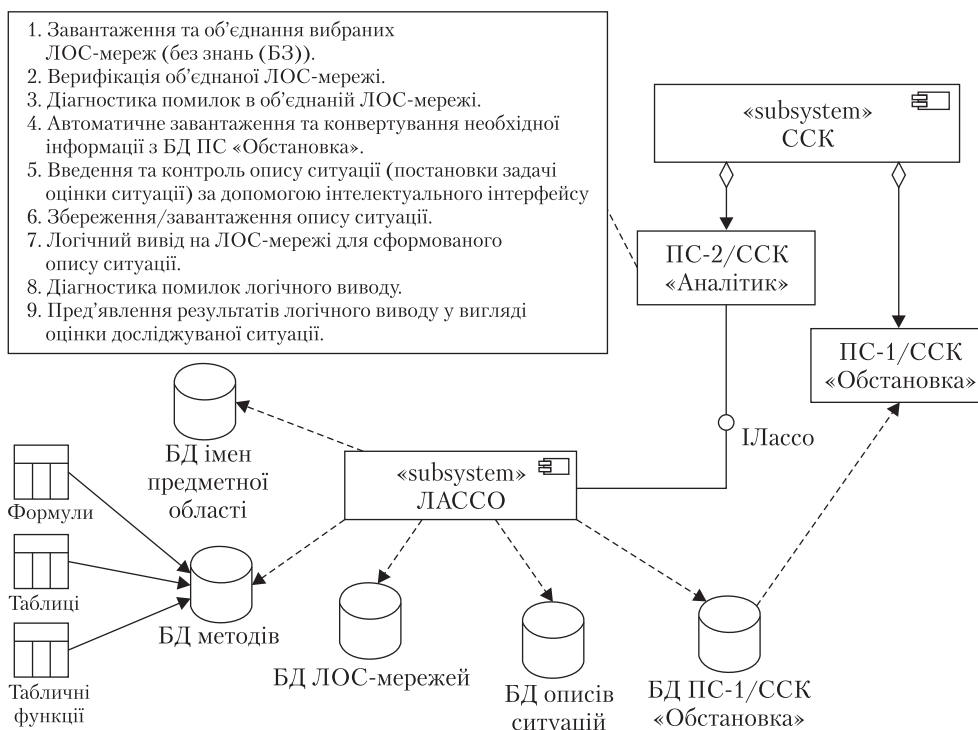


Рис. 6. Архітектура ПК «Аналітик»

- ✦ забезпечувати автоматичну перевірку логічної несуперечливості БЗ та відсутності в ній інших помилок;
- ✦ мати вбудовані засоби автоматичного об'єднання різних БЗ;
- ✦ мати уніфікований інтелектуальний інтерфейс, інваріантний відносно КС, що розглядаються.

У відповідності до цих вимог ПК «Аналітик» має забезпечувати:

- автоматичне об'єднання різних БЗ, знання в яких подано за допомогою ЛОС-мережі [6] як моделі подання знань;
- автоматичну верифікацію знань, поданих за допомогою ЛОС-мережі;
- підтримку процесів несуперечливого опису ситуації, яка підлягає оцінці;
- обробку знань з використанням механізму логічного виводу, заснованого на методі прямого виводу.

Особливості реалізації перелічених функцій в ПК «Аналітик» відображено в діаграмі діяль-

ності (в нотації UML), наведеній на рис. 5, а архітектуру ПК «Аналітик» (в нотації UML), що відповідає діаграмі діяльності, наведено на рис. 6.

Коротко розглянемо сутність операцій, що входять до складу діаграми діяльності.

Операція «Вибір та завантаження ЛОС-мереж» реалізується за допомогою відповідного інтерфейсу і забезпечує завантаження однієї або декількох БЗ та їх автоматичне об'єднання.

Операція «Конвертування БД» забезпечує перетворення даних, що описують параметри об'єкта контролю, у внутрішній формат даних ПК «Аналітик».

Операція «Статична верифікація» забезпечує перевірку БЗ на несуперечливість та відсутність в ній інших помилок. При цьому здійснюються перевірки:

- ✦ правильності побудови ЛОС-мережі у відповідності до її визначення;

- ✦ відсутності багатозначних та синонімічних імен в ЛОС-мережі;
- ✦ відсутності логічних суперечностей, неповноти та надлишковості в знаннях, поданих в ЛОС-мережі;
- ✦ коректності подання процедурних знань в ЛОС-мережі.

Операція «*Формування та контроль опису*» реалізується за допомогою відповідного інтерфейсу і забезпечує інтелектуалізацію формування та контролю опису поточної ситуації.

Операція «*Логічний вивід*» забезпечує виконання прямого логічного виводу на об'єднаній ЛОС-мережі на основі опису поточної ситуації.

Операція «*Оцінка ситуації*» реалізується за допомогою відповідного інтерфейсу та забезпечує відображення результатів логічного виводу – оцінку досліджуваної ситуації.

Методи та алгоритми виконання зазначених операцій викладено в роботі [6]. Якщо при виконанні відповідних операцій буде виявлено помилки, то процес оцінки ситуації буде зупинено та видано релевантну діагностику (див. діаграму діяльності).

Описані функціональні можливості ПС «Аналітик» (рис. 6) забезпечуються засобами програмного модуля ЛАССО (Логічний Аналіз Станів Спостереження Об'єктів) [8]. У процесі свого функціонування ЛАССО використовує різні БД, внаслідок чого основною вимогою до мови реалізації системи стала можливість підтримки реляційних БД її засобами, що і зумовило вибір мови логічного програмування PDC Visual Prolog.

## ВИСНОВКИ

Система ситуаційного керування об'єктами контролю у зоні відповідальності в результаті запровадження сучасних інформаційних технологій суттєво підвищує ефективність оперативно-службової діяльності відповідних підрозділів охорони та контролю таких зон.

Використання таких систем дозволить упереджувати прояви правопорушень та своєчасно, цілеспрямовано і узгоджено проводити опе-

ративні, пошукові та рятувальні заходи завдяки оперативній оцінці ситуації, що складається з об'єктами контролю у зоні відповідальності.

Перелік можливих ситуацій у зоні визначається формально шляхом двоступеневої декомпозиції узагальненої початкової ситуації, яка задається значеннями визначеного набору параметрів, що описують стан і дії об'єктів контролю. Рівень декомпозиції визначається експертним шляхом, що дозволяє описувати ситуації, максимально наближені до оперативної обстановки, яка на практиці може скластися у зоні відповідальності.

Аналіз властивостей задачі оцінки КС показав, що для автоматизації її рішення доцільно використовувати методи і моделі штучного інтелекту, зокрема ЛОС-мережу для подання знань про оцінку КС та метод прямого виводу на ЛОС-мережі для обробки поданих знань. На основі вибраних методів і моделей у межах пілот-проекту розроблено інтелектуальну підсистему «Аналітик» системи ситуаційного керування охороною зони відповідальності. Компоненти цієї системи знаходяться на стадії впровадження в інтегрованій інформаційно-телекомунікаційній системі Державної прикордонної служби України (система «Гарт»).

Результати наукових досліджень, проведених у межах пілот-проекту, можуть бути застосовані при створенні спеціалізованих систем ситуаційного керування охороною зон відповідальності: Міністерства оборони; Міністерства внутрішніх справ; Міністерства з надзвичайних ситуацій; інших державних та комерційних профільних установ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Исследование операций*. Том 1. Методологические основы и математические методы / Под ред. Дж. Моудера, М. Элмаграби. — М: Мир, 1981. — 712 с.
2. *Закон України «Про Державний кордон України»* від 04.11.1991, № 1777-ХІІ.
3. *Закон України «Про виключну (морську) економічну зону України»* від 16.05.1995, № 162/95-ВР.
4. *Алексеев В.А., Мостовий В.В., Терещенко В.С., Яловець А.Л.* Проблема автоматизації ситуаційного керу-

- вання охороною зон відповідальності // Проблеми програмування. — 2011. — № 4. — С. 96—107.
5. *Пойа Д.* Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание: Пер. с англ. — М.: Наука, 1976. — 448 с.
  6. *Яловец А.Л.* Представление и обработка знаний с точки зрения математического моделирования. Проблемы и решения. — К.: Наук. думка, 2011. — 360 с.
  7. *Мальшев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженок А.В.* Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 136 с.
  8. *Яловец А.Л.* Комп'ютерна програма «Інтелектуальна програмна система «Логічний аналіз станів спостереження об'єктів» (ІПС "ЛАСО")». — Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41535. — Державна служба інтелектуальної власності України, 27.12.2011.

*Ф.И. Андон, В.А. Алексеев,  
В.В. Мостовой, В.С. Терещенко, А.Л. Яловец*

#### ПРОБЛЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ЗОН ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Рассматривается возможность автоматизации процесса анализа оперативной обстановки в зоне ответственности охранных структур и оценки сложившейся ситуации. Анализируются возможные ситуации с объектами контроля в зоне и определяются функциональные задачи систем ситуационного управления. Производится выбор целесообразных математических методов и моделей искусственного интеллекта для автоматизации процесса оценки ситуации и рассматриваются особенности представления в логико-вычислительной семантической сети как чётких, так и нечётких знаний об оценке ситуаций, возникающих в процессе ситуационного управления. Определяется архитектура и функциональные возможности системы ситуационного

управления охраной зон ответственности и описываются особенности реализации и функционирования её подсистемы, предназначенной для оценки ситуации на основе указанных математических методов и использования логико-вычислительной семантической сети.

*Ключевые слова:* оценка ситуации, представление и обработка знаний, логико-вычислительная семантическая сеть, метод прямого логического вывода.

*P.I. Andon, V.A. Alekseev,  
V.V. Mostovoy, V.S. Tereshchenko, A.L. Yalovets*

#### PROBLEMS OF INTELLECTUALIZATION OF SYSTEMS OF SITUATIONAL MANAGEMENT OF RESPONSIBILITY ZONES PROTECTION

Possibility of automation of operative situation analysis process in security structures responsibility zone and estimation of the developed situation is considered. Possible situations within objects of zone control are analyzed; functional tasks of situational management systems are defined. The choice of expedient mathematical methods and models of artificial intellect for automation of situation estimation process is made; features of representation in a logical-computing semantic network of both accurate and indistinct knowledge on estimation of situations arising in the course of situational management are considered. The architecture and functionality of situational management system of responsibility zones is determined; features of realization and functioning of its subsystem intended for situation estimation on the basis of specified mathematical methods and logical-computing semantic network are described.

*Key words:* situation estimation, knowledge representation and processing, logical-computing semantic network, forward chaining method.

Стаття надійшла до редакції 22.03.12