

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

к.т.н. Є.І. Кучеренко, к.т.н. С.Ф. Чалий
(подав д.т.н., проф. Є.В. Бодянский)

Розглядаються принципи побудови та структура інтелектуальної системи прийняття рішень в умовах екстремальних ситуацій функціонування об'єктів досліджень. Запропоновані шляхи вияву та усунення неадекватностей у взаємодії динамічних нечітких процесів, даних, знань та оптимізації взаємодіючих нечітких процесів на множині критеріїв і обмежень з використанням нечітких мережевих моделей, методів та інтелектуальних технологій. Наведені приклади вирішення практичних завдань з метою забезпечення високої ефективності вирішення задач предметної області.

Вступ. Функціонування технологічних об'єктів в екстремальних умовах, що визначаються істотними порушеннями нормального розвитку процесів предметної області, викликає необхідність врахування та рішення ряду принципових питань, до яких варто віднести наступні: порушення визначених причинно-наслідкових зв'язків, обумовлених логікою розвитку процесів; необхідність обліку як об'єктивного, так і суб'єктивного факторів; необхідність прийняття рішень в умовах обмежених часових інтервалів в масштабі конкретних процесів предметних областей [1, 2]; необхідність прийняття рішень в умовах наявності обмежених ресурсів; необхідність прийняття рішень в умовах відсутності апіорної чи неточної, невизначеної або істотно нечіткої інформації. У зв'язку з цим виникає необхідність створення ефективних систем і засобів, які б дозволили вирішувати деякі з підмножини наведених проблем з метою ефективного рішення задач в екстремальних умовах функціонування об'єктів дослідження, що викликають надзвичайні ситуації. До таких ситуацій варто віднести випадки, що викликаються порушенням умов транспортування хімічно активних речовин, порушення технологічних процесів сучасних підприємств, що призводить до забруднення навколишнього середовища й у першу чергу земляних, повітряних і водних ресурсів країни. У зв'язку з цим рішення зазначеної проблеми є надзвичайно важливим та актуальним.

Рівень розвитку програмно-технічних засобів і комп'ютерних технологій дозволяє вирішувати ряд практичних задач із використанням ідей і методів штучного інтелекту, баз знань [3, 4].

У роботі розглянуті деякі шляхи рішення задач при наявності істотно нечітких процесів, що описують предметну область, і суттєвих обмеженнях на часові та інші ресурси предметної області.

1. Структура системи прийняття рішень у екстремальних ситуаціях. Запропонована до розгляду система є оболонкою експертних систем (ЕС) і розвитком проблемно-незалежних версій прикладних ЕС. У них зафіксований формалізм уявлення знань і механізм виведення з убудованими пошуковими стратегіями. У системі існує механізм накопичення знань. Структура базується на інтеграції традиційних методів обробки інформації і моделювання з інтелектуальними методами прийняття рішень на основі баз знань ЕС, що функціонують у реальному часі з відображенням у базі знань поточного стану об'єкта і навколишнього середовища. У ЕС правила продукції забезпечують формальний засіб подання рекомендацій, вказівок або стратегій. Вони добре підходять у тих випадках, коли предметні знання виникають з емпіричних асоціацій, накопичених за роки роботи і рішення задач у даній галузі.

Правила подаються у вигляді стверджень типу IF (умова) – THEN (дія): $IF \tilde{A} \text{ is } \mu_{\tilde{A}}(k) THEN \tilde{B} \text{ is } \mu_{\tilde{B}}(k)$, де \tilde{A} – нечітка вхідна умова (антецедент), \tilde{B} – нечітка дія (консеквент), $\mu_{\tilde{A}}(k)$, $\mu_{\tilde{B}}(k)$ – відповідні функції належностей.

Правила продукції, що складають базу знань, можуть бути розподілені на наступні категорії: формування вихідних даних; визначення рівня надзвичайної ситуації; відображення повідомлень; формування і відображення наказів; відображення інформації про зони поразки і точки оточення; визначення зон поразки та зон евакуації. У інтелектуальній системі існує можливість об'єднання трьох типів правил: визначення зон поразки; відображення інформації про зони поразки; формування наказів і повідомлень у єдине інтегроване правило, що дозволяє спростити наповнення бази знань.

Засоби підтримки прийняття рішень містять у собі: базу знань, яка містить продукційні, обчислювальні та фреймові структури; інструментальні засоби побудови бази знань, які дозволяють створювати базу знань для конкретних застосувань (об'єктів); модуль надбання знань, що дозволяє вводити знання експертів в базу знань, а також визначати неповноту та суперечність бази знань; інтерфейс з експертом, який призначено для надбання знань від експертів у зручній для експерта формі, та спілкування з базою знань; модуль логічного виведення з метою отримання рішення на основі інформації експертів, яка міститься у базі знань; інтерфейс із особою, яка приймає рішення (ОПР), який призначено для введення в систему завдань ОПР та отримання рішень; модуль пояснень та протоколювання надає інформацію, яким чином отримано рішення засобами логічного виведення; модуль відображення поточного

стану об'єктів у базі знань на основі інформації від системи моніторингу, що містить в собі база даних поточного стану.

База знань заповнюється знаннями експертів за допомогою підсистеми надбання знань. Слід відзначити, що така база знань має певні відмінності, що відповідають особливостям роботи в реальному часі: заходи (операції) по управлінню пов'язані з правилами бази знань; заходи по управлінню можуть містити у собі обчислення на основі відповідних структур з бази знань; заходи по управлінню визначаються та здійснюються після того, як з'являються відповідні умови на об'єкті; в результаті дії заходів по управлінню змінюються умови на об'єкті, що може привести до прийняття нових заходів; кожна з умов становить предикат з режимних параметрів об'єкта, констант та змінних; правила використання заходів та традиційних моделей (аналітичних, імітаційних та інших) можуть об'єднуватись на основі фреймових структур з метою скорочення часу логічного виведення.

Відповідно до наведених особливостей, база знань містить у собі: перелік та атрибути умов, що описують поточний стан об'єкта; перелік та атрибути заходів по управлінню об'єктом; перелік антецедентів, що визначають умови, необхідні для початку реалізації заходів по управлінню об'єктом; перелік консеквентів, що містять умови, які з'являються після реалізації заходу; перелік правил продукції, які пов'язують між собою антецеденти, консеквенти та заходи по управлінню об'єктом.

Інструментальні засоби побудови бази знань дозволяють адаптувати системи на конкретні застосування (до конкретного об'єкта). Така адаптація виконується розробником та полягає в наступному: заповненню переліку констант, типів даних, функцій належностей тощо; початковому заповненню переліку умов; встановленню зв'язку між базою даних поточного стану та базою знань.

Модуль надбання знань дозволяє: вводити знання експертів в базу знань; визначати неповноту та суперечність бази знань. При вводі знань експертом передбачається використання правил продукції та розкладання їх на елементи – консеквенти, антецеденти, заходи, умови, правила. Введення знань виконується модулем надбання знань сумісно з модулем інтерфейсу з експертом.

На сьогодні існують два підходи до реалізації інтерфейсу з експертом при надбанні знань: діалогова форма надбання знань [4]; надбання знань у пакетному режимі, у формі тексту на спеціалізованій мові.

Перша форма передбачає від експерта: роботу експерта з діалоговими панелями; вибір умов, операцій, змінних, констант зі списку; діалогове корегування помилок при введенні знань; інтерактивну перевірку досяжності, повноти, протиріч при введенні кожного нового правила продукції. Друга форма надбання знань передбачає, що знання вже чітко формалізовані, і тому можуть бути описані у вигляді тексту на формалі-

зованій мові. У подальшому введені знання перевіряються компілятором та лексичним аналізатором з цієї формалізованої мови і при виявленні помилок експерт повинен заново відредагувати текст.

В модулі надбання знань реалізується перша форма по наступних причинах: потребує меншої кваліфікації та зусиль від експерта при введенні знань; дозволяє корегувати формалізований опис знань в інтерактивному режимі, при їх введенні.

Модуль логічного виведення реалізує прийняття рішень засобами логічного виведення на основі бази знань. Результати логічного виведення за допомогою інтерфейсу із ОПП подаються до реалізації на об'єкті. Характерною особливістю логічного виведення є те, що кожне правило продукції може містити у собі захід (рекомендацію) по управлінню об'єктом, який: має певну довжину у часі; має певне значення функції належності; виконується тільки після того, як будуть виконані всі умови антецеденту. Кожна з умов антецеденту є предикатом від значень параметрів об'єкта управління. Виконання заходу призводить до виконання множини умов консеквенту. Тому модуль логічного виведення повинен мати інформацію про виконання умов, які, в свою чергу, залежать від параметрів об'єкта, а також про всі заходи (операції), які виконуються у поточний час.

Інтерфейс із ОПП призначений для введення в систему завдань та отримання ним рішень. Для забезпечення ОПП повною інформацією кожне рішення повинно супроводжуватись поясненням, тому інтерфейс із ОПП працює разом з модулем пояснень.

Модуль пояснень дозволяє ОПП прослідити весь шлях отримання даного рішення, і, таким чином, затвердити рішення системи, чи діяти відповідно власній логіці.

Модуль відображення поточного стану об'єктів призначений для оперативної передачі інформації про поточний стан від системи моніторингу у базу знань. Інформація від системи моніторингу зберігається в базі даних поточного стану у формі поточних значень параметрів об'єкта. База даних поточного стану має інструментальні засоби, які дозволяють адаптувати систему на конкретні застосування (до конкретного об'єкта).

Відповідно до формальної моделі бази знань, інформація з бази даних поточного стану використовується для обчислення умов, кожна з яких є предикатом з параметрів об'єкта, змінних, констант. При обчисленні умов враховуються обмеження на нечіткість відповідних змінних та час прийняття рішень, шляхом виділення груп параметрів: швидкозмінюваних, середньозмінюваних та повільнозмінюваних параметрів об'єктів. Результати обчислення умов дають можливість: своєчасно виконувати заходи по управлінню об'єктом; контролювати результати заходів по управлінню. Нечіткі знання подаються часто в координатах "лінгвістична змінна – значення функції належності".

Наведена архітектура програмних засобів орієнтована на три типи користувачів: користувачі рангу ОПР, тобто оперативний та керівний персонал, що приймають рішення за допомогою системи; експерти з відповідних галузей, які забезпечують надбання знань; проектувальники, які за допомогою інструментальних засобів здійснюють адаптацію системи на конкретне застосування, а також технічний персонал, який забезпечує функціонування системи у відповідних умовах.

В процесі функціонування системи необхідна інформація може одночасно бути введена в систему з трьох каналів: від ОПР з метою визначення цільової ситуації, яка є метою управління в екстремальних умовах; від експертів з метою вдосконалення та поновлення бази знань на їх основі та узагальнення досвіду експлуатації; від системи моніторингу, яка відображає стан об'єктів та навколишнього середовища.

Таким чином структура засобів забезпечує розподілену обробку інформації [5] на основі концепції семирівневої моделі взаємодії відкритих систем, що є міжнародним стандартом побудови розподілених систем [6]. Використання цієї моделі дозволяє: здійснювати підтримку рішень різних задач одночасно в різних предметних областях для різних груп ОПР; використовувати необхідну кількість експертів в різних предметних областях; вдосконалювати систему в процесі її функціонування.

Перспективним напрямком удосконалення пропонованої структури є її реалізація за допомогою концепції створення систем "клієнт-сервер". Системи з клієнт-сервальною архітектурою передбачають розподілення задач між об'єднаними в мережу комп'ютерами. Звичайно машини-клієнти виконують прикладні задачі, а машини-сервери реалізують системні задачі, що необхідні для забезпечення роботи клієнтів [4].

Реалізація засобів пропонованої структури в системах з архітектурою "клієнт-сервер" містить у собі наступні сервери та робочі станції: сервер бази даних поточного стану; сервер бази знань; робоча станція ОПР; робоча станція експерта; робоча станція розробника програмних засобів.

Сервери бази даних та бази знань можуть бути реалізовані на SQL-платформі та забезпечують виконання операцій низького рівня з базою даних та базою знань. В залежності від вимог до надійності, часу реакції та наявних коштів можуть бути реалізовані на одному або на декількох комп'ютерах.

Робочі станції реалізують прикладне програмне забезпечення, призначене для користувачів системи. Доступ з робочих станцій до бази знань та бази даних [6] поточного стану виконується за допомогою SQL-запитів, тобто робочі станції оперують з логічною структурою даних та знань.

Важливою складовою пропонованої структури є реалізація процедур логічного виведення. Вона реалізує наступне:

1. Після запуску програми на моніторі з'являється головна форма.
2. Встановлюється режим **Початкової ситуації**. В цьому режимі відбувається установка всіх умов і змінних в початковий стан.

3. Режим *Визначення вхідних даних*, призначений для визначення значень змінних, що необхідно задати перед запуском системи логічного виведення.

4. Режим покрокової відладки бази знань *Крок* – здійснює один крок логічного виведення.

5. *Запуск* – забезпечує запуск процесу логічного виведення.

6. *Зупинка* – припиняється процес логічного виведення.

7. *Перегляд* – показує на екран чисельні значення змінних.

8. Режим перегляду *Умов* дозволяє визначити, які умови виконалися, які змінили свій стан, а також переглянути всі умови та можливі службові повідомлення про суттєві порушення рекомендованих рішень.

9. Процедура протоколювання *Рішень*, що приймаються, дозволяє контролювати рекомендації, які формулювала система для ОПР.

Крім головної форми, існують також і допоміжні, які використовуються при формуванні окремих рішень, наприклад по зонах поразки, зонах евакуації, формуванні повідомлень, розпоряджень тощо.

Завершення роботи системи відбувається по досягненню мети управління – подолання наслідків дій на об'єкті, що знаходиться в екстремальній ситуації.

2. Інтелектуальні технології в задачах прийняття рішень в умовах екстремальних ситуацій нечітких взаємодіючих процесів. При проектуванні та впровадженні систем, започаткованих на суттєво нечітких взаємодіючих динамічних процесах, виникають питання адекватного коректного відображення взаємодіючих динамічних нечітких процесів, мінімізації ресурсів, оптимального вибору альтернатив розвитку процесів на множині критеріїв та обмежень предметної області [7].

Питання адекватного відображення взаємодіючих динамічних нечітких процесів включають наступне: дослідження та забезпечення досяжності мети прийняття рішень; усунення конфліктів взаємодіючих процесів; забезпечення повноти та незаперечливості рішень, що приймаються. Забезпечення мінімізації ресурсів в системі ґрунтується на виключенні з розгляду взаємодіючих процесів, які є надлишковими або викликають непотрібні зациклювання. Оптимізація розвитку нечітких взаємодіючих динамічних процесів, що ґрунтується на визначенні альтернатив їх розвитку на множині критеріїв та обмежень предметної області [7], дозволяє суттєво підвищити якість рішень, що приймаються.

В процесі створення системи, її адаптації до умов середовища об'єктів, що функціонують в умовах екстремальних ситуацій навколишнього середовища [1, 2], виконаний комплекс задач рішень наведених практичних задач. Це дозволило створити ефективну підсистему прийняття рішень на основі інтелектуальних технологій, виконати ряд практичних задач по забезпеченню охорони навколишнього середовища регіону.

При проектуванні системи, створенні бази знань та її експлуатації

актуальними для вирішення питаннями є: створення та інтерпретація у відповідності до предметної області нечітких мережевих моделей взаємодіючих динамічних процесів, що ґрунтуються на розширених інтерпретованих нечітких мережах Петрі та їх розширеннях й інтеграції з нейро-мережевими структурами [7, 8]; моделювання процесів та застосування формальних критеріїв з метою вияву та усунення неадекватностей [9 – 12]; моделювання процедур прямого та зворотного нечіткого логічних виведень на мережевих моделях з метою визначення показників нечіткості об'єкта досліджень; моделювання процесів та застосування формальних критеріїв з метою мінімізації ресурсів [13] та визначення альтернатив за критеріями мінімізації нечіткості та часових характеристик [14] при вирішенні практичних завдань; модифікація моделей та взаємодіючих процесів реальних систем з метою адекватного вирішення практичних задач.

Для вирішення практичних завдань розроблені та застосовані ефективні методи й інструментальні засоби на основі нечітких мережевих моделей, інтелектуальних технологій та опису моделей в просторі стану нечітких динамічних об'єктів.

В якості прикладу розглянемо вирішення питання визначення рівня надзвичайної ситуації, що ґрунтується на деякій множині в загальному випадку нечітких об'єктивних та суб'єктивних чинників.

Використовуючи існуючий на момент розробки та впровадження системи державний класифікатор надзвичайних ситуацій, формалізуємо його складові та побудуємо відповідний фрагмент бази знань.

Множина нечітких об'єктивних та суб'єктивних чинників подана як $\{A, B, C, D\}$. Рівень екстремальної (надзвичайної) ситуації подамо наступний: $\{E_\alpha\}$, $\alpha = \overline{1,4}$. В прикладі ми, не відходячи від прийнятих узагальнень, чинники A, B, C, D будемо розглядати без відповідних їм функцій належностей. Тоді, користуючись класифікатором, побудуємо версію фрагменту бази знань:

IF $(A \geq A_1)$ or $(B \geq B_1)$ or $(C \geq C_1)$ or $(D \geq D_1)$ THEN E_1 ;

IF $((B \geq B_2)$ and $(B \leq B_1))$ or $((C \geq C_2)$ and $(C \leq C_1))$ or

or $((D \geq D_2)$ and $(D \leq D_1))$ THEN E_2 ;

IF $((B \geq B_2)$ and $(B \leq B_3))$ or $((C \geq C_3)$ and $(C \leq C_2))$ or

or $((D \geq D_3)$ and $(D \leq D_2))$ THEN E_3 ;

IF $((B \geq B_4)$ and $(B \leq B_5))$ or $(D \leq D_3)$ THEN E_4 .

Відповідно до класифікатора обмеження на відповідні чинники мають наступний вигляд:

$$B_1 > B_2, B_3 > B_2, B_3 < B_1, B_5 < B_3, B_4 < B_2;$$

$$C_1 > C_2, C_3 < C_2;$$

$$D_1 > D_2, D_3 < D_2.$$

Аналіз, що ґрунтується на запропонованих підходах на основі нечітких мережевих моделей та інтелектуальних технологій, дає можливість стверджувати, що при визначенні рівнів E_2, E_3, E_4 виникає суперечливість [11] та конфліктна ситуація [12] за чинником B . Дослідження показали, що усунення неадекватності у визначенні відповідних рівнів E_1, E_2, E_3, E_4 як варіант, можливе при виконанні правил із наведеного фрагменту у відповідному порядку, що можливе введенням в антецеденти правил додаткових умов так, щоб запит їх відбувався наступно: $E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow E_4$. Звичайно, що створення таких механізмів викликано недосконалістю відповідних рішень при формуванні знань, що в практичних реалізаціях зустрічається надзвичайно часто. У випадку відсутності відповідних засобів вирішення задачі можливе лише у випадку залучення висококваліфікованих експертів.

Висновки. 1. На основі аналізу технологічних об'єктів, що функціонують в умовах екстремальних ситуацій, запропонована ефективна структура системи прийняття рішень, що ґрунтується на використанні інтелектуальних технологій.

2. Визначено, що для даного класу об'єктів потрібно вирішення питань адекватного відображення реальних процесів предметної області в базі знань, забезпечення мінімізації необхідних ресурсів та визначення альтернатив на множині показників нечіткості та часових характеристик в просторі стану та існуючих обмежень.

3. Для ефективного вирішення наведених проблем застосовані нечіткі мережеві моделі, інтелектуальні технології на їх основі та новий метод й інструментальні засоби, що ґрунтуються на нечітких динамічних об'єктах в просторі стану нечітких мережевих моделей.

4. Наведені приклади вирішення фрагментів задач реальних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шило В.В. *Основы экологии* / Под ред. Гольдина Ш.Л. – Х.: РИП "Оригинал", 1997. – 120 с.
2. *Охрана и оптимизация окружающей среды* / Под ред. Лантева А.А. – К.: Либідь, 1990. – 256 с.
3. *Представление и использование знаний: Пер. с англ.* / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
4. *Діалогові системи та представлення знань* / Л.В. Кокорева, О.Л. Перевозчикова, К.Л. Юценко; АН України. Ін-т кібернетики. – К.: Наук. думка, 1992. – 44 с.

5. Шостак В.Ф., Кучеренко Е.И., Чалый С.Ф. Принципы построения распределенной базы данных для интеллектуальной системы поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях // Сб. научн. трудов 4-й Международной конференции "Теория и техника передачи, приема и обработки информации (Новые информационные технологии)". – Х. – 1998. – С. 372 – 376.
6. Распределенные АСУ технологическими процессами / И.М. Шенброт, М.В. Антропов, К.Я. Давиденко; под ред. А.А. Левина. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
7. Кучеренко Е.И. Проблемы моделирования и анализа нечетких процессов управления // Радиоэлектроника и информатика. – Х. : ХТУРЭ. – 2001. – № 2 (15). – С. 118 – 121.
8. Кучеренко Е.И., Бодянский С.В. До побудови нейро-фазімереж Петрі // Адаптивні системи автоматичного управління / Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 2001. – Вип. 4(24). – С. 50 – 53.
9. Кучеренко Е.И. К проблеме анализа достижимости принимаемых решений // АСУ и приборы автоматики. – Х. – 2001. – Вып. 114. – С. 11 – 16.
10. Кучеренко Е.И. К вопросу моделирования и анализа процессов управления с использованием нечетких сетевых моделей // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Серия НРСТ. Новые решения в современных технологиях. – Х.: ХГПУ. – 2000. – Вып. 117. – С. 19 – 21.
11. Кучеренко Е.И. К вопросу о непротиворечивости принимаемых решений в нечетких условиях функционирования объектов анализа // АСУ и приборы автоматики. – Х.: ХГТУРЭ. – 2000. – Вып. 113. – С. 75 – 81.
12. Кучеренко Е.И. О полноте принимаемых решений в нечетких условиях функционирования технологических объектов // Проблемы бионики. – Х.: ХГТУРЭ. – 2000. – Вып. 52. – С. 97 – 102.
13. Кучеренко Е.И. О минимизации ресурсов в задачах обработки знаний // Проблемы бионики. – Х.: ХГТУРЭ. – Вып. 54. – С. 79 – 82.
14. Кучеренко Е.И. К проблеме выбора альтернатив динамических процессов на нечетких сетевых моделях // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХГТУРЭ. – 2001. – № 4 (17). – С. 130 – 133.

Надійшла 22.11.2002

КУЧЕРЕНКО Євген Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки. В 1973 році закінчив Харківський інститут радіоелектроніки. Область наукових інтересів – інтелектуальні технології та системи, прогресивні комп'ютерні технології.

ЧАЛІЙ Сергій Федорович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики Харківського національного університету радіоелектроніки. В 1986 році закінчив Харківський інститут радіоелектроніки. Область наукових інтересів – інтелектуальні технології та системи, прогресивні комп'ютерні технології.