

Харківський національний університет радіоелектроніки

Творошенко Ірина Сергіївна

УДК 519.7:007.52;004.8

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТАНІВ
СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Кучеренко Євген Іванович**, Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, професор кафедри штучного інтелекту.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Авраменко Валерій Павлович**, Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки;

доктор технічних наук, доцент **Петров Костянтин Едуардович**, Харківський національний університет внутрішніх справ Міністерства внутрішніх справ України, доцент кафедри прикладної математики і аналітичного забезпечення ОВС.

Захист відбудеться «_____» _____ 2010 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14; тел. (057) 702-14-46.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки (61166, м. Харків, просп. Леніна, 14).

Автореферат розісланий «___» _____ 2010 р.

Вчений секретар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значним кроком до розв'язання задач обчислювального інтелекту та використання мережевих моделей стало застосування нечітких даних і знань у процедурах нечіткого логічного виведення та інтелектуалізації процесів прийняття рішень. Нечітка логіка у системах штучного інтелекту є перспективним напрямком у формалізації знань і даних в умовах невизначеності, описує на високому рівні область дослідження, при якому предметна область докладно подається формальною мовою.

Важливим фактором є розробка методів і моделей оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що дозволяє на основі інтелектуальних підходів реалізувати процеси прийняття рішень у складних об'єктах, що функціонують в умовах невизначеності.

Дослідження і розробка інтелектуальних засобів оперативного оцінювання станів об'єктів дослідження, підвищення вірогідності рішень, що приймаються такими засобами, є одним із пріоритетних напрямків в області створення складних об'єктів.

Аналіз останніх публікацій за даною тематикою показав, що розглянуті питання недостатньо досліджені, а основні наукові результати не в усіх випадках доведені до практичної реалізації і потребують додаткового вивчення, що підтверджує актуальність і важливість отриманих у дисертаційній роботі як теоретичних, так і практичних результатів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки відповідно до планів науково-дослідних робіт, затверджених Міністерством освіти і науки України: розділ № 164-1 «Синтез нечітких мережевих моделей для складних інтелектуальних систем прийняття рішень» в рамках держбюджетної комплексної теми № 164 «Розробка математичного, інформаційно-лінгвістичного і програмного забезпечення розподілених мережевих інтелектуальних систем» (№ ДР 0103U001548). Здобувачем, як виконавцем, була розроблена та розширена нечітка мережева модель на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі; розділ № 195-1 «Моделі та методи динамічного аналізу нечітких (фаззі) процесів у великомасштабних системах штучного інтелекту» в рамках держбюджетної комплексної теми № 195 «Розробка методів та моделей інтелектуальної обробки інформації та менеджменту знань у системах розподіленого штучного інтелекту» (№ ДР 0106U003286). Здобувачем, як виконавцем, був розроблений новий метод багатоетапного просторово розподіленого оперативного оцінювання станів складних об'єктів у стратегії нечіткого логічного виведення, розроблені інструментальні засоби за темою дисертаційної роботи і визначена складність

розробленого інструментального засобу; розділ № 245-4 «Розробка інтервальних нейро-фаззі моделей та методів оцінки станів просторово розподілених об'єктів з використанням нечіткої логіки» в рамках держбюджетної комплексної теми № 245 «Еволюційні гібридні системи обчислювального інтелекту зі змінною структурою для інтелектуального аналізу даних» (№ ДР 0110U000458). Здобувачем, як відповідальним виконавцем, отримано подальший розвиток методу оперативного настроювання функції належності з використанням положень методу дихотомії, проведені експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методів та моделі з використанням нечіткої логіки для оцінювання простору станів складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності нечіткого простору станів. Запропоновані методи та інструментальні засоби зорієнтовані на підвищення вірогідності рішень, що приймаються.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішуються такі основні задачі:

1. Аналітичний огляд особливостей розвитку методів, моделей та інструментальних засобів на основі нечіткої логіки в складних об'єктах.

2. Розробка розширеної нечіткої мережевої моделі на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі.

3. Розробка нового методу багатоетапного просторово розподіленого оперативного оцінювання станів складних об'єктів у стратегії нечіткого логічного виведення, що ґрунтується на використанні нечітких інтервальних уявлень про простір станів складних об'єктів.

4. Розширення методу оперативного настроювання параметрів функцій належності з використанням положень методу дихотомії.

5. Розробка інструментальних засобів для вирішення прикладних задач, а також програмна реалізація системи оперативного оцінювання станів складних об'єктів.

Об'єктом дослідження є процеси оперативного оцінювання станів складних об'єктів.

Предметом дослідження є методи та моделі оперативного оцінювання станів складних об'єктів з використанням нечіткої логіки.

Методи дослідження. У роботі використовуються методи обчислювального інтелекту, а саме: методи нечіткого логічного виведення, нечіткі мережеві моделі, положення теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах та на реальних об'єктах.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень автором особисто отримано такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод багатоетапного просторово розподіленого оперативного оцінювання станів складних об'єктів з нечіткими процесами, який

використовується в стратегії нечіткого логічного виведення на етапах формалізації та аналізу нечітких знань. Запропонований метод враховує невизначені інтервальні уявлення, описані в базах даних та знань, про простір станів складних об'єктів за рахунок настроювання параметрів функцій належності, дає можливість підвищити вірогідність результатів дослідження взаємодіючих процесів.

2. Набула подальшого розвитку нечітка мережева модель на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі, яка, на відміну від існуючих, використовує в явному вигляді не тільки значення функцій належності, але і їх аналітичні форми, а також результати виконання логічних операцій на нечіткій логіці. Дана модель дозволяє суттєво підвищити вірогідність рішень у задачах оперативного оцінювання станів складних об'єктів.

3. Набув подальшого розвитку метод бінарного пошуку для задачі настроювання параметрів функцій належності, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на заданні необхідної точності підбору параметрів функцій належності, що дозволило підвищити вірогідність прийняття рішень, а також суттєво збільшити швидкодію обчислювального процесу в практичних реалізаціях.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані та обґрунтовані в дисертаційній роботі нові методи, модель і засоби є теоретичною базою реалізації методичних, алгоритмічних та програмних засобів оперативного оцінювання станів складних об'єктів з використанням нечіткої логіки. Запропоновано та обґрунтовано методичні засоби нечіткого логічного виведення, які базуються на багатоетапному просторово розподіленому оперативному оцінюванні станів складних об'єктів за допомогою використання нечітких інтервальних уявлень про простір станів даних об'єктів у рамках розробленого методу. Запропоновано та обґрунтовано методичні засоби настроювання параметрів функцій належності, які є результатом подальшого розвитку методу бінарного пошуку як розширеного методу дихотомії. Запропоновано та обґрунтовано інструментальні засоби вирішення прикладних задач прийняття рішень, розроблена та програмно реалізована система оперативного оцінювання станів складних об'єктів. Засоби мають ряд параметрів, що налаштовуються, це дозволяє максимально ефективно оперувати системі з об'єктами в рамках визначеної предметної області, а також специфіки задачі, яка вирішується.

Критерієм ефективності реалізованих методів, моделі та алгоритмів є вірогідність прийняття правильних рішень і час прийняття цих рішень (акт впровадження від 10.11.2009 р., м. Зіньків, Полтавська область). За даними експертних оцінок вірогідність підвищилася до 20% при одночасному зниженні працевитрат і вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Наукові положення, висновки і рекомендації, що викладено в дисертації, були використані під час підготовки та читання курсів «Логічні технології в штучному інтелекті», «Нечіткі (fuzzy) системи» на кафедрі штучного інтелекту

Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 08.12.2009 р.), а також у науково-технічних дослідженнях та звітах про НДР з тем № 164, № 195 та № 245 (акт впровадження від 25.05.2010 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертації отримано автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі результати: у [2] набули подальшого розвитку моделі подання нечітких процесів прийняття рішень з використанням модифікацій нечітких інтервальних мереж Петрі; у [3] запропоновано й обґрунтовано подальший розвиток нечітких мережевих моделей на основі нечіткої інтервальної інтегрованої мережі Петрі, які є суттєвою модифікацією розширених інтерпретованих нечітких мереж Петрі; у [4] набули подальшого розвитку методичні та алгоритмічні засоби побудови нечітких відношень і їх композицій в умовах невизначеності нечіткого простору станів; у [5] запропоновано і обґрунтовано новий підхід до моделювання процесів нечіткого логічного виведення про стан складних об'єктів, який враховує неточності в базах даних знань, набули подальшого розвитку нечіткі мережеві моделі на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі; у [6] розроблено та обґрунтовано ефективний розширений метод дихотомії для задачі настроювання параметрів функцій належності, визначена складність методу; у [8] досліджено проблеми в процедурах інтелектуалізації процесів прийняття рішень у галузі практичної медицини, запропоновано підхід для вирішення практичних задач; у [10] визначено підходи до моделювання та аналізу процесів в умовах невизначеності розширеними нейро-фаззі мережами Петрі; у [14] розроблено та обґрунтовано підходи до вибору рішень при оперативному оцінюванні станів складних об'єктів; у [15] запропоновано підходи до практичного використання програмних засобів прийняття рішень у практичних реалізаціях.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи подані, доповідалися, обговорювалися на міжнародних наукових, науково-технічних та науково-практичних конференціях, а також на міжнародних молодіжних форумах: на 6-му, 7-му, 8-му Міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка і молодь у XXI сторіччі» (Харків, Україна, 2002 р., 2003 р., 2004 р.); на 11-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, передача, прийом і обробка інформації» (Харків, Україна, 2003 р.); на Міжнародній науковій конференції «Теория и техника передачи, приема и обработки информации» (Туапсе-Харків, Російська Федерація-Україна, 2003 р.); на Міжнародній науково-технічній конференції «Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы – 2004» (Таганрог-Донецьк, Російська Федерація-Україна, 2004 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерна медицина 2005» (Харків, Україна, 2005 р.); на Міжнародній молодіжній науковій конференції «Туполевские чтения» (Казань, Російська Федерація, 2005 р.); на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційно-керуючі системи та комплекси» (Миколаїв, Україна, 2010 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 науково-технічних публікацій: 7 статей (2 з яких – одноосібно) у виданнях, що внесені до переліку видань ВАК України і в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата та доктора наук за спеціальностями «Технічні науки»; 9 публікацій (5 з яких – одноосібно) у збірниках наукових праць, матеріалах, тезах доповідей міжнародних науково-технічних конференцій та форумів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 129 найменувань, додатку. Робота містить 37 рисунків і 1 таблицю. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок, у тому числі 136 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, наведено відомості щодо зв'язку дисертації з планами організації, де виконана робота, формулюється мета та завдання дослідження, вказується об'єкт, предмет і методи досліджень, визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, апробація результатів дисертації та перелік публікацій за темою дисертації.

У **першому** розділі проведено аналіз відомих методів, моделей та інструментальних засобів на основі нечіткої логіки у складних об'єктах. Виконано аналітичний огляд існуючих підходів та проблем моделювання нечітких процесів оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності, на основі нечітких мереж Петрі, нечітких інтервальних мереж Петрі, нейро-фаззі мереж Петрі. Виявлено, що моделі нечітких інтервальних інтегрованих кольорових мереж Петрі враховують тільки значення функцій належності, а не їх аналітичні форми, це дозволяє говорити про поверхневий опис предметної області і значне зниження якості прийнятих рішень. Аналіз існуючих результатів показав, що в розглянутій області ще не запропоновано таких інтелектуальних рішень, які б задовольнили будь-який клас задач.

Вихідними даними для розв'язання задач прийняття рішень в умовах невизначеності є нечіткий простір станів, який визначається на множині відношень «умова – дія» і відтворює вихідний стан складного об'єкта:

$$\{\tilde{Q}_i\}, \quad i \in I, \quad (1)$$

де $\{\tilde{Q}_i\}$ – множина процесів вихідних станів об'єктів;

I – множина індексів процесів вихідних станів об'єктів.

Взаємодіючі процеси носять асинхронний характер і функціонують у розподіленому нечіткому просторі станів:

$$\{\tilde{\Pi}_k\}, k \in K, \quad (2)$$

де $\{\tilde{\Pi}_k\}$ – множина процесів;

K – множина індексів процесів.

Об'єкт функціонує в умовах нечіткості даних і знань, що визначають вихідний стан складних об'єктів дослідження.

Визначено множину функцій належності процесів (2):

$$\{\mu_i(k)\}, i \in I, \quad (3)$$

де μ_i – множина функцій належності;

k – деяка змінна, що визначає значення функцій належності,

компоненти яких визначені на деякому нечіткому інтервалі і дозволяють одержувати певні нові (часто неточні або наближені) дані:

$$\mu_i(k) \in \{\mu_i(k)\}, \quad (4)$$

котрі потребують подальших досліджень.

Сформульовано постановку завдання досліджень, яке передбачає розробку та подальший розвиток нечіткої мережевої моделі на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі, розробку нового методу нечіткого логічного виведення і його моделювання на основі процесів, що подані в нечіткому просторі станів за допомогою нечіткої логіки, та розширення методу дихотомії для задачі настроювання параметрів функцій належності, розробку інструментальних засобів розв'язання практичних задач, а також програмну реалізацію системи оперативного оцінювання станів складних об'єктів.

У **другому розділі** розроблено нові підходи до оперативного оцінювання станів складних об'єктів в умовах невизначеності компонент нечіткої логіки.

Набула подальшого розвитку нечітка мережева модель на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі (НПКМП).

Визначимо НПКМП таким кортежем:

$$\tilde{S}(f) = \langle \tilde{P}, \tilde{T}, \tilde{F}(f), \tilde{M}(f)_0, \tilde{D}, \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{\lambda}, \tilde{L} \rangle, \quad (5)$$

де $\tilde{P} = \{\tilde{p}_j; \mu_{p_j}(k)\}$ – кінцева множина нечітких позицій \tilde{p}_j ; $\mu_{p_j}(k)$ – функція належності j -ї нечіткої позиції множині \tilde{P} , що визначається згідно з нечіткою

логікою; k – деяка змінна, що визначає значення функції $\mu_{p_j}(k)$;
 $j = \overline{1, m}$, $\tilde{P} \neq \emptyset$, $|\tilde{P}| = m$;

$\tilde{T} = \{\tilde{t}_i; \mu_{\tilde{t}_i}(k)\}$ – кінцева множина нечітких переходів \tilde{t}_i ; $\mu_{\tilde{t}_i}(k)$ – функція належності i -го нечіткого переходу множині \tilde{T} , що визначається згідно з нечіткою логікою; k – деяка змінна, що визначає значення функції $\mu_{\tilde{t}_i}(k)$;
 $i = \overline{1, n}$, $\tilde{T} \neq \emptyset$, $|\tilde{T}| = n$;

$$\tilde{F}(f): (\tilde{P} \times \tilde{T}) \cup (\tilde{T} \times \tilde{P}) \rightarrow \{x_{ij}(k), y_{ij}(k)\}. \quad (6)$$

Вираз (6) – нечітка функція інцидентностей \tilde{P} і \tilde{T} ; $x_{ij}(k), y_{ij}(k)$ – функції належностей вхідної та вихідної інцидентностей деяких нечітких позицій $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ і нечітких переходів $\tilde{t}_i \in \tilde{T}$, що визначаються згідно з нечіткою логікою; k – деяка змінна, що визначає значення відповідної функції.

У ряді практичних реалізацій важливими є поняття нечітких вхідних і вихідних функцій інцидентностей мережі:

– нечітка функція вхідних інцидентностей:

$$\tilde{I}(f): (\tilde{P} \times \tilde{T}); \quad (7)$$

– нечітка функція вихідних інцидентностей:

$$\tilde{O}(f): (\tilde{T} \times \tilde{P}); \quad (8)$$

$$\tilde{F}(f) = \tilde{I}(f) \cup \tilde{O}(f), \quad \tilde{F}(f) \neq \emptyset, \quad \tilde{I}(f) \neq \emptyset, \quad \tilde{O}(f) \neq \emptyset. \quad (9)$$

Вектор нечіткого початкового маркування нечітких позицій \tilde{P} моделі визначимо як:

$$\tilde{M}(f)_0 = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): z_{p_j}(k)\}, \quad (10)$$

де $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \rightarrow [0, 1]$ – нечітке маркування нечіткої позиції $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ нечіткою мережевої моделі;

$z_{\tilde{p}_j}(k)$ – функція належності маркування j -ї нечіткої позиції $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$.

Тоді функція належності маркеру:

$$\tilde{M}(\tilde{p}_{j=\alpha}): z_{p_j=\alpha}(k) \quad (11)$$

може бути подана на інтервалі:

$$0 \leq \mu_1(k) \leq z_{\tilde{p}_{j=\alpha}}(k) \leq \mu_2(k), \quad (12)$$

де $\mu_1(k)$ і $\mu_2(k)$ – деякі функції належності, що визначають відповідно нижню та верхню межу інтервалу (12);

$z_{p_{j\alpha}}(k)$ – функція належності (або її значення), що визначається на основі нечіткої логіки (12).

У залежності від особливостей областей визначення функцій $\mu_1(k)$ і $\mu_2(k)$ в (12), для обчислення $z_{p_{j\alpha}}(k)$ реалізуються операції кон'юнкції та диз'юнкції.

У ряді обґрунтованих випадків отримати рішення можливо також на основі таких підходів:

$$\begin{aligned} 0 \leq \mu_1(k) \leq z_{p_{j\alpha}}(k) \leq \text{not } \mu_2(k); \\ 0 \leq \text{not } \mu_1(k) \leq z_{p_{j\alpha}}(k) \leq \text{not } \mu_2(k); \\ 0 \leq \text{not } \mu_1(k) \leq z_{p_{j\alpha}}(k) \leq \mu_2(k); \\ 0 \leq \mu_1(k) \leq \text{not } z_{p_{j\alpha}}(k) \leq \mu_2(k). \end{aligned} \quad (13)$$

Використовуючи значення

$$z_{p_{j\alpha}}(k_0), \quad (14)$$

можемо також визначити

$$\exists \tilde{M}(\tilde{p}_{j\alpha}) \mid \tilde{M}(\tilde{p}_{j\alpha}) \in \tilde{M}_0(f)_w, \quad (15)$$

як знаходження

$$\tilde{M}(\tilde{p}_{j\alpha}) = \begin{cases} 1, \text{if } z_{p_{j\alpha}}(k_0) \geq z_{p_j}(k_0)^*; \\ 0, \text{if } z_{p_{j\alpha}}(k_0) < z_{p_j}(k_0)^*, \end{cases} \quad (16)$$

де $z_{p_{j\alpha}}(k_0)^*$ – деяке порогове значення функції належності.

Слід зазначити, що реалізація процедур (12)-(16) дозволяє знаходити значення оцінювання компонент вектора:

$$\left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^v \right\}, \quad w \in W \quad (17)$$

під час його генерації. Вибір підходу з існуючих (12), (13) та їх можливих похідних визначається на основі аналізу предметної області та аналітичних залежностей відповідних функцій належності.

$\tilde{D} = \{\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_m\}$ – кінцева множина висловів;

$\tilde{B} : \tilde{P} \rightarrow \tilde{D}$ – відповідність між позиціями та висловами;

$\tilde{C} : \tilde{T} \rightarrow [0, 1]$ – ступені впевненості з урахуванням функції кольору;

$\tilde{A} : \tilde{T} \rightarrow [0, 1]$ – порогові значення інтервальних функцій з урахуванням функції кольору;

\tilde{L} – деякий предикат множини змінних:

$$\{x_u\}, u \in U, \quad (18)$$

який, виходячи із предметної області, відображає просторову компоненту X, Y, Z , деякі інтервальні значення функції належності, а також деяку множину $\{x_u\}$, що характеризує предметну область. Множина $\{x_u\}$ віднесена на модель до множини нечітких позицій \tilde{P} , множини нечітких переходів \tilde{T} , нечіткого маркування $\{\tilde{M}(\tilde{P}_j)\}$, нечіткої функції інцидентностей $\tilde{F}(f)$ у просторі станів нечіткої мережевої моделі.

Введення предикату \tilde{L} в модель (5), а також \tilde{D} , \tilde{B} , \tilde{C} , \tilde{A} суттєво збільшує можливості (5) порівняно з існуючими підходами.

Результати та положення даного розділу є підґрунтям розробки методів і засобів вирішення практичних задач оперативного оцінювання станів складних об'єктів. Подальшим етапом дослідження у даному напрямку є удосконалення математичного апарату побудови моделей і адаптація отриманих результатів на об'єктах предметних областей.

У **третьому розділі** вперше запропоновано метод багатоетапного просторово розподіленого оперативного оцінювання станів складних об'єктів з нечіткими процесами.

Наведемо основні етапи запропонованого нового методу.

Етап 1. Нехай нечіткий динамічний об'єкт описується такими елементами:

$\tilde{P}_i(in)$	$\tilde{\tau}_i$	$\tilde{P}_i(out)$	μ	$\Delta\mu_{i\tilde{a}}$	X	Y	Z	$\tilde{M}_{p_j}(in)$	$\tilde{L}\{x_u\}$	\tilde{M}_{p_j}
-------------------	------------------	--------------------	-------	--------------------------	-----	-----	-----	-----------------------	--------------------	-------------------

Рис. 1 – Елементи нечіткого динамічного об'єкту

На рис. 1 $\tilde{P}_i(in)$ – ідентифікація вхідного об'єкту;

$\tilde{\tau}_i$ – ідентифікація дії (переходу);

$\tilde{P}_i(out)$ – ідентифікація вихідного об'єкту;

μ – значення функції належності вхідного об'єкту;

$\Delta\mu_{i\tilde{a}}$ – значення функції належності, подане через аналітичну форму деякого інтервального значення ($\Delta\mu_{i\tilde{a}}(x)$), що є принциповим;

X, Y, Z – просторові координати об'єкта в географічній інформаційній системі (ГІС);

$\tilde{M}_{p_j}(in)$ – маркування деякої вихідної позиції $\tilde{p}_j \in \{\tilde{P}_i(out)\}$ переходу \tilde{t}_i мережі;

$\tilde{L}\{x_u\}$ – деякий предикат на моделі (5), який визначається як:

$$\tilde{L}\{x_u\} = \begin{cases} 1, & \text{if } \tilde{L}\{x_u\} = \text{true}; \\ 0, & \text{if } \tilde{L}\{x_u\} = \text{false}; \end{cases}$$

\tilde{M}_{p_j} – вектор поточного маркування.

Етап 2. Нехай визначено деякі функції належності $\Delta\mu_{1A}(x)$ та $\Delta\mu_{2A}(x)$, які подані аналітичними залежностями.

Результуюче значення $\Delta\mu_{1B}(x)$ може бути подано за допомогою перетину двох інтервальних функцій належності $\Delta\mu_{1A}(x)$ і $\Delta\mu_{2A}(x)$ та утворює область перетину, площа якої описується деякою шуканою фігурою.

Етап 3. Визначаємо значення $\Delta\mu_{1B}(x)$ з використанням, наприклад, принципу «центру ваги (мас)». Це дозволяє отримати необхідний результат під час розв'язання широкого класу задач.

Етап 4 і 5. Реалізація інтелектуальних обчислювальних механізмів і процедур прямого modus ponens (GMP) та зворотного modus tollens (GMT) нечіткого логічного виведення (інтервальна логіка $0 \leq \Delta\mu_{1A}(x) \leq \Delta\mu_{1B}(x) \leq \Delta\mu_{2A}(x)$) з урахуванням просторових координат об'єкта X, Y, Z . Етап 4 виконується, якщо X, Y, Z визначено, інакше – останов, виведення повідомлення.

Етап 6. Реалізація нечіткого логічного виведення на нечітких алгоритмах та об'єднанні рішень нечітких правил з використанням законів силогізму.

Етап 7. Реалізація процедур дефаззифікації.

Етап 8. Останов.

У процесі побудови функції належності виникає необхідність визначення її параметрів та приведення у відповідність з існуючими експертними оцінками функції. Для настроювання параметрів функцій належності були розглянуті градієнтні методи, генетичні алгоритми та метод дихотомії. Змістовний аналіз підходів дав змогу визначити доцільність використання бінарного підходу (методу дихотомії) для визначення параметрів нечітких функцій належності.

У цьому розділі набув подальшого розвитку метод бінарного пошуку для задачі настроювання параметрів функцій належності.

Основні етапи розширеного методу.

Етап 1. Задаємо вихідні значення параметрів функцій належності:

$$f(x) : [a, b] \rightarrow R, f(x) \in C([a, b]). \quad (19)$$

Етап 2. Розіб'ємо заданий інтервал як:

$$x_1 = \frac{a+b}{2} - \delta; \quad x_2 = \frac{a+b}{2} + \delta, \quad (20)$$

де δ – деяке число в інтервалі $\left(0, \frac{b-a}{2}\right)$.

Етап 3. Відкинемо той із кінців початкового інтервалу, до якого ближче виявилася одна з двох заново поставлених точок з максимальним значенням (у випадку пошуку мінімуму), якщо: $f(x_1) > f(x_2)$, то беремо відрізок $[x_1, b]$, а відрізок $[a, x_1]$ відкидаємо. Інакше беремо дзеркальний щодо середини відрізок $[a, x_2]$, а відкидаємо $[x_2, b]$.

Етап 4. Процедури етапу 3, обчислювальні процедури дихотомії і процедури нечіткого логічного виведення на деяких із функцій (19) виконуються, поки не буде досягнута задана точність ε на множині значень $\{k_i\}$, $i \in I$:

$$\left| y_{\text{фактичне}} - y_{\text{очікуване}} \right| \leq \varepsilon. \quad (21)$$

Етап 5. Визначення значень $\{k_i\}$, $i \in I$.

Етап 6. Повторне виконання етапів 2 – 5.

Етап 7. Останов.

Складність реалізації методу близька до експоненціальної і потребує подальших досліджень по зменшенню рівня складності.

Обчислювальний час роботи програми при значенні точності $\varepsilon = 0.01$ склав: $\tau = 12$ мс, при значенні точності $\varepsilon = 0.001$ обчислювальний час $\tau = 786$ мс.

Програмна реалізація даного алгоритму виконана в об'єктно-орієнтованому програмному середовищі C++ Builder.

У **четвертому розділі** вибрана й обґрунтована предметна область апробації досліджень. На даний час новою та актуальною проблемою є область серцево-судинних захворювань, що і визначило предметну область досліджень.

Стратегія вирішення практичних задач включає такі дії: для досліджуваних процесів будується нечітка модель; виконується аналіз взаємодії процесів на досяжність та несуперечливість мети рішень, що приймаються, з подальшою модифікацією моделей і процесів; визначаються альтернативи та шляхи прийняття рішень на множині критеріїв та обмежень предметної області з урахуванням просторової компоненти; використовуючи нечітке логічне виведення Мамдані, формуються рекомендації з оцінювання станів складних об'єктів.

Розроблено й обґрунтовано інструментальні засоби оперативного оцінювання станів складних об'єктів дослідження з використанням об'єктно-орієнтованого

програмування Borland Delphi. Запропоновані засоби мають ряд параметрів, що настроюються, дозволяючи цим зменшити час пошуку під час прийняття рішень.

Реалізовано такі основні функції: пошук пацієнта в картотечі за номером медичної картки чи прізвища, можливість введення або видалення облікового запису пацієнта, можливість перегляду медичної картки. Проводиться чотириетапне оперативне оцінювання станів складних об'єктів: виводиться множина діагнозів з певними коефіцієнтами впевненості на кожному етапі обробки інформації, надається можливість уточнити отриману множину діагнозів за допомогою інших етапів оперативного оцінювання станів об'єктів, видається направлення на проходження необхідних лабораторних обстежень, виводиться на друк заключний діагноз зі списком медичних препаратів та рекомендаціями щодо лікування, надається можливість пройти повторне оцінювання станів зі зміною курсу лікування, видаються рекомендації, які не поступаються за якістю експерту-професіоналу.

Множина основних симптомів \tilde{S}_j , факторів \tilde{F}_j , результатів лабораторних обстежень \tilde{L}_j та додаткових симптомів $\tilde{D}\tilde{S}_j$ визначають значення, які відображають ознаки можливих захворювань.

Вибір рішення доводиться проводити в умовах невизначеності інформації про симптоматику. Виникає задача обмеження вихідної множини потенційних діагнозів на кожному з чотирьох етапів оперативного оцінювання:

$$\left\{ \left| D_{ij}^{(1)} \right|, \left| D_{ff}^{(2)} \right|, \left| D_{ij}^{(3)} \right|, \left| D_{sj}^{(4)} \right| \right\} = D \quad (22)$$

підмножиною діагнозів:

$$\left\{ \left\{ D_{ij}^{(1)} \right\}, \left\{ D_{ff}^{(2)} \right\}, \left\{ D_{ij}^{(3)} \right\}, \left\{ D_{sj}^{(4)} \right\} \right\} = D^* \quad (23)$$

при $\{KU_{ij} \geq 0.5\}, \{KU_{ff} \geq 0.5\}, \{KU_{ij} \geq 0.5\}, \{KU_{sj} \geq 0.5\}$ відповідно.

Після визначення підмножин діагнозів на другому, третьому та четвертому етапах оперативного оцінювання станів складних об'єктів проводиться їх уточнення, яке призводить до утворення нової підмножини:

$$\left\{ \left\{ D_{ij}'^{(1)} \right\}, \left\{ D_{ff}'^{(2)} \right\}, \left\{ D_{ij}'^{(3)} \right\}, \left\{ D_{sj}'^{(4)} \right\} \right\} = D' \quad (24)$$

Вирішення цієї задачі полягає у визначенні необхідної підмножини (рис. 2):

$$\left\{ D_{sj}'^{(4)} \right\} \subset D' \text{ при } \{KU_{sj} \rightarrow \max\}. \quad (25)$$

Розвиток моделі, поданої в розділі 2, розробка нового методу багатоетапного просторово розподіленого оперативного оцінювання станів складних об'єктів та розвиток методу дихотомії для настроювання параметрів функцій належності, що описані в розділі 3, підвищили вірогідність прийняття рішень, а також збільшили швидкодію обробки інформації, що підтверджено верхньою межею складності процесів прийняття рішень, яка близька до квадратичної та визначається форматом і розмірністю динамічних об'єктів, швидкодією комп'ютерних засобів та архітектурою і програмною платформою технічних засобів.

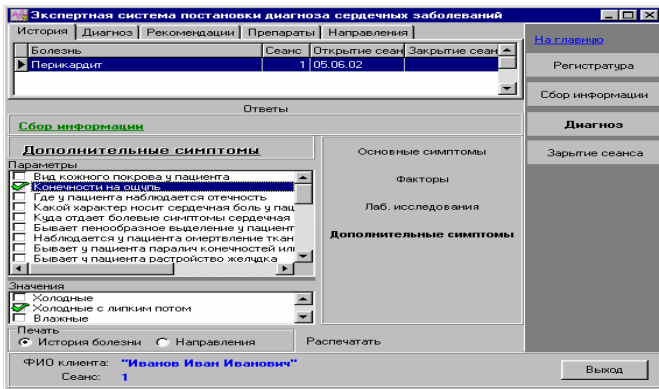


Рис. 2 – Заключний результат оперативного оцінювання станів пацієнта

Запропоновані розробки апробовано згідно з договором про науково-технічну діяльність між Харківським національним університетом радіоелектроніки та лікарняним закладом МОЗ України (м. Зіньків, Полтавська область).

У додатку наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, відповідно до поставленої мети, наведено теоретичне узагальнення і нове розв'язання актуальної науково-практичної задачі, яка полягає в розробці методів і моделі з використанням нечіткої логіки для оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності нечіткого простору станів. Запропоновані методи та інструментальні засоби орієнтуються на підвищення вірогідності рішень, що приймаються.

Отримані результати мають важливе наукове та практичне значення для побудови інтелектуальних засобів прийняття рішень про стан складних об'єктів:

1. На основі критичного аналітичного огляду літературних джерел за темою наукових досліджень у роботі розглянуто особливості розвитку методів, моделей та інструментальних засобів на основі нечіткої логіки у складних об'єктах. Виконано детальне дослідження існуючих підходів та проблем моделювання нечітких процесів оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності, на основі нечітких мереж Петрі, нечітких інтервальних мереж Петрі, нейро-фаззі мереж Петрі. Виявлено, що моделі нечітких інтегрованих кольорових мереж Петрі враховують тільки значення функцій належності, а не їх аналітичні форми, це дозволяє говорити про поверхневий опис предметної області і значний спад якості прийнятих рішень.

Аналіз існуючих результатів показав, що у розглянутій області ще не запропоновано таких інтелектуальних рішень, які б задовольнили будь-який клас задач. Сформульовано постановку завдання досліджень, яке полягає в побудові моделі подання нечітких процесів та розробці методу нечіткого логічного виведення і його моделювання на основі цих процесів.

2. Вперше запропоновано метод багатоетапного просторово розподіленого оперативного оцінювання станів складних об'єктів, який використовується в стратегії нечіткого логічного виведення і ґрунтується на використанні нечітких інтервальних уявлень про простір станів складних об'єктів. Метод дає можливість врахувати неточності в базах даних і знань за рахунок настроювання параметрів функцій належності і подання заключних пояснень незалежно від правил, а також підвищити вірогідність дослідження взаємодіючих процесів і динаміки розвитку процесів у процедурах нечіткого логічного виведення за рахунок використання моделі на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі.

3. Набула подальшого розвитку нечітка мережева модель на основі нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі, яка включає розширену нечітку інтегровану мережу Петрі і, на відміну від існуючих, використовує в явному вигляді не тільки значення функцій належності, але і їх аналітичні форми, а також результати виконання логічних операцій на нечіткій логіці. Дана модель дозволяє суттєво підвищити вірогідність рішень у задачах оперативного оцінювання станів складних об'єктів.

4. Набув подальшого розвитку метод бінарного пошуку для задачі настроювання параметрів функцій належності як розширений метод дихотомії. Запропонований метод, на відміну від існуючих, ґрунтується на заданні необхідної точності підбору параметрів функцій. Метод дозволяє підвищити вірогідність прийняття рішень, а також суттєво збільшити швидкодію обчислювального процесу в практичних реалізаціях.

5. Запропоновані та обґрунтовані в дисертаційній роботі нові методи, модель і засоби є теоретичною базою реалізації методичних, алгоритмічних та програмних засобів оперативного оцінювання станів складних об'єктів з використанням нечіткої логіки.

Запропоновано та обґрунтовано методичні засоби нечіткого логічного виведення, які базуються на багатоступеневому просторово розподіленому оперативному оцінюванні станів складних об'єктів за допомогою використання нечітких інтервальних уявлень про простір станів складних об'єктів у рамках розробленого методу в стратегії. Запропоновано та обґрунтовано методичні засоби настроювання параметрів функцій належності, які є результатом подальшого розвитку методу бінарного пошуку як розширеного методу дихотомії.

6. Запропоновано та обґрунтовано інструментальні засоби вирішення прикладних задач прийняття рішень, розроблена та програмно реалізована система оперативного оцінювання станів складних об'єктів.

7. Ефективність теоретичних і практичних положень дисертаційної роботи підтверджено під час впровадження розробок на реальному об'єкті. Критерієм ефективності реалізованих методів, моделі та алгоритмів є вірогідність прийняття правильних рішень та час прийняття цих рішень (акт впровадження від 10.11.2009 р.; м. Зіньків, Полтавська область). За даними експертних оцінок вірогідність рішень підвищилася до 20% при одночасному зниженні працевитрат і вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Наукові положення, висновки і рекомендації, що викладено в дисертації, були використані під час підготовки та читання курсів «Логічні технології в штучному інтелекті», «Нечіткі (fuzzy) системи» на кафедрі штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 08.12.2009 р.), а також у науково-технічних дослідженнях та звітах про НДР з тем № 164, № 195 та № 245 (акт впровадження від 25.05.2010 р.).

Результати теоретичних і практичних досліджень доцільно розвивати й використовувати у наукових та науково-технічних розробках і впровадженнях в інтелектуальних засобах управління, обробки даних та знань складних об'єктів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Творошенко И.С. Структура и функции интеллектуальных средств принятия решений в сложных системах / И.С. Творошенко // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 462-470.

2. Кучеренко Е.И. Интеллектуальные технологии в задачах принятия решений технологических комплексов на основе нечеткой интервальной логики / Е.И. Кучеренко, В.А. Филатов, И.С. Творошенко, Р.Н. Байдан // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 2. – С. 92-96.

3. Кучеренко Е.И. Процессы принятия решений в сложных системах на основе нечетких интервальных представлений / Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2003. – Т. 1, № 7. – С. 79-86.

4. Бодянский Е.В. О синтезе нечетких алгоритмов на основе композиции фрагментов правил и моделей / Е.В. Бодянский, Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – Вып. 128. – С. 19-28.

5. Кучеренко Е.И. Прикладные аспекты моделирования нечетких процессов в сложных системах / Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // Сборник научных трудов ХУВС. – 2010. – Вып. 1 (23). – С. 127-131.

6. Кучеренко Е.И. О методах настройки функций принадлежности в нечетких системах / Е.И. Кучеренко, А.В. Корниловский, И.С. Творошенко // Системы управления, навигации и связи. – 2010. – Вып. 1 (13). – С. 94-98.

7. Творошенко И.С. Анализ процессов принятия решений в интеллектуальных системах / И.С. Творошенко // Системы обработки информации. – 2010. – Вып. 2 (83) – С. 248-253.

8. Гонгало П.В. Логические аспекты в процедурах интеллектуализации процессов принятия решений / П.В. Гонгало, В.О. Корсаков, И.С. Творошенко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 6-й Международный молодежный форум, 23-25 апр. 2002 г.: тезисы докл. – Харьков, 2002. – Ч. 2. – С. 312-313.

9. Творошенко И.С. Отображение взаимодействующих процессов в интеллектуальных системах на основе нечетких интервальных представлений / И.С. Творошенко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 7-й Международный молодежный форум, 22-24 апр. 2003 г.: тезисы докл. – Харьков, 2003. – С. 294.

10. Кучеренко Є.І. Сучасні інформаційні технології в задачах комп'ютерної діагностики / Є.І. Кучеренко, І.С. Творошенко // Інформаційні технології «Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»: 11-а Міжнародна науково-практична конференція, 15-16 трав. 2003 р.: тези допов. – Харків, 2003. – С. 28.

11. Творошенко И.С. Сетевые модели в интеллектуальных системах принятия решений / И.С. Творошенко // Теория и техника передачи, приема и обработки информации: Международная научная конференция, 7-10 окт. 2003 г.: тезисы докл. – Харьков-Туапсе, 2003, – С. 347-348.

12. Творошенко І.С. До питання проблеми розробки методів моделювання процесів в інтелектуальних системах прийняття рішень, що функціонують в умовах невизначеності / І.С. Творошенко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 8-й Международный молодежный форум, 13-15 апр. 2004 г.: тезисы докл. – Харьков, 2004. – Ч. 2. – С. 225.

13. Творошенко И.С. Об интеллектуальных средствах принятия решений в сложных системах / И.С. Творошенко // Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы – 2004: Международная научно-техническая конференция, 20-25 сент. 2004 г.: тезисы докл. – Таганрог-Донецк, 2004. – Т. 2. – С. 226-229.

14. Творошенко И.С. Информационные технологии в задачах компьютерной диагностики с использованием интеллектуальных систем / И.С. Творошенко, А.П. Дехтярь // Клиническая информатика и Телемедицина / Компьютерная Медицина

– 2005: Международная научно-техническая конференция, 23-25 июня 2005 г.: тезисы докл. – Харьков, 2005. – Т. 2, № 1. – С. 138.

15. Творошенко И.С. Методика решения задач моделирования процессов в практических реализациях интеллектуальных систем принятия решений / И.С. Творошенко, А.П. Дехтярь // Туполевские чтения: Международная молодежная научная конференция, 10-11 ноября 2005 г.: тезисы докл. – Казань, 2005. – С. 51-52.

16. Творошенко И.С. Методы и модели интеллектуального анализа пространства состояний сложного объекта / И.С. Творошенко // Информационно-управляющие системы и комплексы: Международная научно-техническая конференция, 27-28 апр. 2010 г.: тезисы докл. – Николаев, 2010. – С. 17-19.

АНОТАЦІЯ

Творошенко І.С. Методи і моделі оперативного оцінювання станів складних об'єктів з використанням нечіткої логіки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2010.

Дисертаційна робота присвячена розробці нових методів та моделі з використанням нечіткої логіки для оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності нечіткого простору станів.

У роботі проведено аналітичний огляд особливостей розвитку методів, моделей та інструментальних засобів на основі нечіткої логіки у складних об'єктах. Отримано нові наукові результати, що мають переваги над існуючими рішеннями. Розроблено нечітку мережеву модель на основі розширень нечіткої інтервальної інтегрованої кольорової мережі Петрі. Розроблено новий метод у стратегії нечіткого логічного виведення, що ґрунтується на багатоетапному просторово розподіленому оперативному оцінюванні станів складних об'єктів за допомогою використання нечітких інтервальних уявлень про простір станів складних об'єктів. Розширено метод оперативного настроювання параметрів функцій належності з використанням положень методу дихотомії. Розроблено структуру та функції інструментальних засобів вирішення прикладних задач. Програмно реалізована система оперативного оцінювання станів складних об'єктів. Запропоновані методи та засоби орієнтовані на підвищення вірогідності рішень, що приймаються.

Подальшим етапом дослідження у даному напрямку є удосконалення математичного апарату побудови моделей і адаптація отриманих результатів на об'єктах предметних областей.

Ключові слова: нечітка логіка, нечітка мережа Петрі, нечітке логічне виведення, нечітка множина, функція належності, коефіцієнт впевненості, лінгвістична змінна, терм, дихотомія.

АННОТАЦІЯ

Творошенко И.С. Методы и модели оперативного оценивания состояний сложных объектов с использованием нечеткой логики. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2010.

Диссертационная работа посвящена разработке новых методов и модели с использованием нечеткой логики для оперативного оценивания состояний сложных объектов, функционирующих в условиях неопределенности нечеткого пространства состояний. Предложенные методы и средства ориентированы на повышение достоверности принимаемых решений при жестком ограничении на временные и материальные ресурсы.

Проведен аналитический обзор особенностей развития методов, моделей и инструментальных средств на основе нечеткой логики в сложных объектах. Выполнен анализ существующих подходов и проблем моделирования нечетких процессов оперативного оценивания состояний сложных объектов, функционирующих в условиях неопределенности, в частности, на основе нечетких сетей Петри, нечетких интервальных сетей Петри, нейро-фаззи сетей Петри. Выявлено, что модели нечетких интегрированных раскрашенных сетей Петри учитывают только значения функций принадлежности, а не их аналитическую форму, это позволяет говорить о поверхностном описании предметной области и значительном снижении качества принятых решений. Анализ последних достижений показал, что в рассмотренной области еще не предложено таких интеллектуальных решений, которые подходили бы к любому классу задач. Сформулирована постановка задачи исследований.

Получены новые научные результаты, которые имеют преимущества над существующими решениями. В работе впервые предложен новый метод многоэтапного пространственно распределенного оперативного оценивания состояний сложных объектов, который используется в стратегии нечеткого логического вывода на этапах формализации и анализа нечетких знаний. Метод дает возможность учитывать неточности в базах данных и знаний, а также повышать достоверность исследования взаимодействующих процессов и динамики развития процессов в процедурах нечеткого логического вывода за счет использования модели на основе нечеткой интервальной интегрированной раскрашенной сети Петри.

Получила дальнейшее развитие нечеткая сетевая модель на основе нечеткой интервальной интегрированной раскрашенной сети Петри, которая, в отличие от

существующих, использует в явном виде не только значения функций принадлежности, но и их аналитические формы, а также результаты выполнения логических операций на нечеткой логике. Такая модель позволяет существенно повысить достоверность принятия решений в задачах оперативного оценивания состояний сложных объектов.

Получил дальнейшее развитие метод бинарного поиска для задачи настройки параметров функций принадлежности, который, в отличие от существующих, базируется на задании необходимой точности подбора параметров функций. Разработанный метод позволил повысить достоверность принятия решений, а также существенно увеличить скорость вычислительного процесса в практических реализациях.

Предложены и обоснованы инструментальные средства принятия решений в практической реализации, разработана и программно реализована система оперативного оценивания состояний сложных объектов.

Опытная эксплуатация технических и программных средств интеллектуальной системы подтвердила высокую достоверность принятия решений по теме исследований.

Результаты теоретических и практических исследований целесообразно развивать и использовать в научных и научно-технических разработках и внедрениях в системы управления сложными объектами, которые функционируют в условиях неопределенности и ограничений на ресурсы. Перспективным направлением исследований является дальнейшее совершенствование математического аппарата построения моделей и адаптация полученных результатов на объектах предметных областей.

Ключевые слова: нечеткая логика, нечеткая сеть Петри, нечеткий логический вывод, нечеткое множество, функция принадлежности, коэффициент уверенности, лингвистическая переменная, терм, дихотомия.

ABSTRACT

Tvoroshenko I.S. Methods and models for rapid estimation of complex objects states applying fuzzy logic. - Manuscript.

The thesis for attaining the [scientific](#) degree of candidate of engineering sciences (Ph. D.) in specialty 05.13.23 – systems and facilities of artificial intelligence. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2010.

The thesis is devoted to development of new methods and a model applying fuzzy logic for rapid estimation of the states of complex objects functioning under uncertainty of fuzzy states space.

The paper analyzes the development features of methods, models and tools based on fuzzy logic in complex objects. New scientific results, which have advantages over existing solutions, have been obtained. The fuzzy network model, based on the

extensions of fuzzy interval integrated colored Petri nets, has been developed. A new method in the strategy of fuzzy logic inference, based on multistage spatially distributed rapid estimation of research facilities states using fuzzy interval representations about the state space of research facilities, has been developed too. The method of operational function parameters setting applying the method of dichotomy has been extended. The structure and functions of tools for applied problems solving have been developed. The software for the system of rapid estimation of complex objects states has been implemented. The proposed methods and tools are created for increase of the decisions probability.

The subsequent stage of research in this direction is to improve the mathematical tools of model design and adapt the results for the objects considered.

Keywords: fuzzy logic, fuzzy Petri nets, fuzzy logic output, fuzzy set, membership function, the coefficient of confidence, linguistic variable, term, dichotomy.

Підп. до друку _____ 2010 р. Формат 60X 84¹/₁₆. Спосіб друку – ризографія.

Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. № _____.

Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14, ХНУРЕ

Віддруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.

Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14