

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-40-48>

УДК 004.89:620.91

ПОДАННЯ ЗНАНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМАМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Моркун В.С., Котов І.А., Сердюк О.Ю., Гапоненко І.А.

KNOWLEDGE REPRESENTATION IN INTELLIGENT AUTOMATION SYSTEMS FOR CONTROL OF POWER SYSTEMS OF THE MINING AND METALLURGICAL COMPLEX UNDER UNCERTAINTY

Morkun V.S., Kotov I.A., Serdiuk O.Y., Haponenko I.A.

У статті розглянута проблема урахування невизначеності інформації для побудови баз знань в системах підтримки рішень оперативного керування режимами електроенергетичних систем. Обґрунтовано, що формулювання логіки управління проводиться, переважно, на рівні якісних уявлень і понять. Останні можуть бути формалізовані у вигляді логіко-лінгвістичних моделей, які повинні розглядатися з точки зору теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних. Проведено аналіз існуючих підходів до подання та обробки нечітких знань про керування енергосистем гірничо-металургійного комплексу. Обґрунтовано підхід до подання інкорпорації різних форм репрезентації професійних онтологій на базі нечіткої логіки. Методи дослідження полягають у використанні апарату нечіткої логіки, формальних мов, теорії систем штучного інтелекту і систем підтримки рішень. Реалізовано програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного керування нормальними і аварійними режимами енергосистеми гірничо-металургійного комплексу. Запропонована схема впровадження системи підтримки прийняття рішень в середу діючої автоматизованої системи диспетчерського керування енергосистем. Розроблено нову структуру компонентування ядра системи підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: граматика, лінгвістична змінна, онтологія, енергосистема, метаправило, фазифікація

Вступ. Сьогодні стають все більш складними завдання автоматизації керування сучасними енергосистемами гірничо-металургійного комплексу у відповідності до ускладнення їх структур і бізнес-процесів. Багато технологічних і бізнес-процесів неможливо формалізувати математичним апаратом прийнятної обсягу або в прийнятний час. Завдання керування складними об'єктами в чому вирішуються на основі накопиченого досвіду керівника – особи, що приймає рішення (ОПР). Методи, які використо-

вуються ОПР, є приблизними і спираються на знання в конкретній професійній сфері.

Особливого значення набуває оперативне керування складними технічними об'єктами в темпі реальних технологічних процесів. При аварійних або кризових ситуаціях гострота проблеми оперативного керування значно наростає. В таких ситуаціях ОПР не в змозі адекватно реагувати в темпі розвитку процесу. Головними причинами такого становища є надзвичайно великий обсяг інформації, що вимагає безпомилкової оцінки за мінімальний час, і психологічний тиск на ОПР внаслідок підвищеної відповідальності. Виникає проблема інтелектуальної автоматизації керування. Для досягнення максимального ефекту керування в якості засобів автоматизації використовуються системи підтримки прийняття управлінських рішень (СППР). Основною платформою, на яку спираються СППР, є бази знань (БЗ) професійних областей. Отже, є актуальною задача розробки і впровадження в контури автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСКТП) уніфікованої, інтегральної моделі представлення професійних онтологій.

Постановка проблеми. Моделі форм подання знань і відповідних їм онтологій дозволяють синтезувати і використовувати бази знань в будь-яких професійних областях.

Результат суб'єктивізму джерел знань проявляється у вигляді їх імовірнісного характеру, ненадійності, недостовірності, нечіткості. Важливою проблемою при управлінні складними динамічними системами є формалізація невизначеності, неточності і недостовірності вихідної інформації для прийняття рішень. Ця обставина природно призводить до неточності і недостовірності вироблених управлінських рішень. Тому разом з інкорпорацією різних

форм представлення знань в практичних СППР обов'язково повинне вирішуватися завдання обліку чинників недостовірності і неповноти вихідних лінгвістичних характеристик проблемної ситуації [1, 2].

Отже, необхідна розробка механізмів фазифікації моделей знань в рамках ієрархії онтологій знань. Ієрархія онтологій спирається на модель нижнього рівня атомарних висловлювань, що утворюють концептуальний тезаурус. У зв'язку з цим, урахування невизначеності семантичних концептів є базовим завданням при формуванні моделей нечіткості всіх рівнів ієрархії онтологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В області побудови систем підтримки управлінських рішень великий внесок внесли вітчизняні та зарубіжні вчені – Башликов А. А., Венделін А. Г., Геловані В. А., Євланов Л. Г., Заде Л. А., Ларічев О. І., Любарський Ю. Я., Лорьер Ж. Л., Люггер Дж. Ф., Поспелов Г. С., Поспелов Д. А., Саати Т., Самойлов В. Д., Таунсенд К., Терелянській П. В., Тиугу Е. Х., Ульман Дж., Уотермен Д., Фішберн П. К., Форсайт Ф., Чавчанідзе В. В. та багато інших. Зокрема, значний внесок в розвиток теорії і практики використання нечітких знань внесли Заде Л. А., Башмаков І. А., Берштейн Л. С., Борисов А. Н., Ісідзука М., Карелін В. П., Коровін С. Я., Ротштейн А.

Будь-які подання знань в більшості випадків реалізуються в лінгвістично вільних формах і конче пов'язані з необхідністю урахування суб'єктивізму джерел цих знань [3].

Нечітко-множинний підхід застосовується в умовах неповноти інформації про досліджувані явища чи об'єкти. Нечітка логіка дозволяє формалізувати нечіткі експертні знання, які зазвичай виражаються у вигляді висловлювань в термінах природної мови або професійного сленгу. Формалізація нечітких висловлювань ґрунтується на введенні понять нечіткої і лінгвістичної змінних, нечіткого безлічі і нечіткого відносини [4 - 8].

Як висновок, можна констатувати, що в розглянутих роботах пропонується розглядати дані концепти як лінгвістичні змінні, значеннями яких є терми нечітких значень з характеристиками їх недостовірності [9].

Мета статті. Для постановки мети роботи необхідно визначити структуру та функціональний сценарій функціонування СППР. В роботі було поставлено і вирішено конкретне оперативне завдання по контролю аварійної ситуації і автоматичної генерації керуючих диспетчерських рішень в енергосистемі гірничо-металургійного комплексу. Результатом циклу роботи СППР повинні бути нормативно-інструктивні концепти професійних онтологій диспетчерського керування. СППР повинна передбачати її використання в складі автоматизованих систем контролю і керування електроенергетичних комплексів для автоматизації процесу прийняття рішень під час оперативних перемикань схем, регулювання рівнів напруги і перетоків потужності в електроенер-

гетичних системах в нормальних і аварійних режимах в умовах невизначеності.

Для впровадження СППР повинні бути визначені можливі точки впровадження СППР в тракти передачі даних комплексу автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК). Передбачається, що точками впровадження ядра СППР в середу АСДК можуть бути: блок автоматизованих робочих місць, блок технологічної мережі обміну даними, блок збору даних і телеуправління. Комплекс АСДК + СППР підвищує ступінь автоматизації комп'ютерної підтримки прийняття рішень і якість процесу керування в умовах невизначеності, а саме, виключаються помилки керуючого персоналу під час оперативних перемикань схеми, регулювання рівнів напруги, розподілу величин генерації і перетоків потужності в ЕЕС, що забезпечує зниження збитків від невірних або несвоєчасних управлінських рішень в аварійних ситуаціях.

Виходячи із сформульованої мети, в роботі поставлені наступні завдання:

- розробити математичні моделі фазифікації тезауруса атомарних концептів;
- розробити математичні моделі застосування метаправил, як модуля нечіткого управління базою знань;
- розробити модель СППР, яка передбачає використання в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних комплексів і може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень в умовах невизначеності;
- реалізувати програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного управління нормальними і аварійними режимами енергосистеми гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності;
- розробити нову схему компонування БЗ і блока логічного висновку (БЛВ);
- розробити схему впровадження СППР в середу діючої АСДК енергосистем.

Результати досліджень. Введемо загальний підхід до фазифікації концептів БЗ, спираючись на відомі методики [9 - 11]. Будемо вважати множину всіх концептів (атомарних лексичних одиниць)

$$S = \{s_k \mid k = 1, n_s\} \quad (1)$$

множиною-універсумом лінгвістичних змінних [10, 12, 13]. Тобто

$$\forall (s_k \mid s_k \in S) : s_k = \langle \beta_k, T_k, X_k, G, M \rangle, \quad (2)$$

де β_k – найменування k -ої лінгвістичної змінної;

T_k – терм-множина лінгвістичної змінної, що представляє собою множину найменувань нечітких значень лінгвістичної змінної;

X_k – область визначення (універсум) нечітких значень лінгвістичної змінної β_k ;

G – синтаксична процедура генерування в заданому контексті нових значень лінгвістичної змінної β ;

M – семантична процедура формування нечіткої множини.

Однак, в заданому окремому контексті професійної області – $c_i, c_i \in C$ – для підмножини $S^{C_i} \subset S$ лінгвістичних змінних можна також виділити підмножину концептів, що утворюють терм-підмножину нечітких значень – $S_T^{C_i} \subset S$ – для кожної лінгвістичної змінної з підмножини S^{C_i} . Тоді лінгвістичну змінну пропонується представляти у наступному вигляді:

$$\forall S^{C_i} \exists S_T^{C_i} (S^{C_i} \subset S, S_T^{C_i} \subset S, S^{C_i} \cap S_T^{C_i} = \emptyset): \quad (3)$$

$$\langle s_k^{C_i}, S_T^{C_i}, X_k, G, M \rangle,$$

де $S_k^{C_i} \in S^{C_i}$.

У даній формальній системі елементи терм-підмножини $S_T^{C_i}$ можуть розглядатися як ідентифікатори підмножини значень, що характеризують предметну область завдання. Отже, підмножина термів $S_T^{C_i}$ може розглядатися в якості множини значень лінгвістичної змінної $S_k^{C_i}$ і, отже, утворює клас її значень або тип. Тому, слідуючи, наприклад, синтаксису мови програмування C , можна записати

$$S_T^{C_i} \quad S_k^{C_i}. \quad (4)$$

У свою чергу, як було зазначено раніше, $S_T^{C_i} \subset S$ – терм-підмножина нечітких значень лінгвістичної змінної і $S_k^{C_i} \in S^{C_i} \subset S$

$$S_T^{C_i} = \{s_{Tj}^{C_i} \mid j = 1, m_T\}, \quad (5)$$

де $s_{Tj}^{C_i}$ – нечітка змінна.

Відповідно до визначення нечіткої змінної стосовно розробленої моделі БЗ напишемо [10, 13 – 16]

$$s_{Tj}^{C_i} = \langle \alpha, X, \{x \mid \mu_A(x)\} \rangle. \quad (6)$$

В даному виразі прийнято, що в практичній системі застосовується операція іменування (ідентифікації) нечітких змінних

$$O_{id} : s_{Tj}^{C_i} \rightarrow \alpha. \quad (7)$$

Якщо ж в якості імен нечітких змінних використовувати їх лексичні вирази, то

$$s_{Tj}^{C_i} = \langle s_{Tj}^{C_i}, X, \{x \mid \mu_A(x)\} \rangle. \quad (8)$$

Прийнята в роботі схема фазифікації тезауруса атомарних висловлювань на основі формалізму лінгвістичної змінної і її нечітких значень – нечітких змінних – для урахування невизначеності семантичних концептів приведена на рис. 1.

Виходячи з прийнятої моделі урахування невизначеності елементів множини тезауруса, як базового рівня еволюції онтологій БЗ, розробимо математичні моделі урахування невизначеності для всіх рівнів ієрархії знань.

У загальному випадку рівень атомарних концептів є підмножина нечітких змінних, які можуть бути узагальнені лінгвістичними змінними [10]

$$s_{Tj}^{C_i} = \{s_{Tj1}^{C_i} \mid \mu_X(s_{Tj1}^{C_i}), s_{Tj2}^{C_i} \mid \mu_X(s_{Tj2}^{C_i}), \dots, s_{Tjn}^{C_i} \mid \mu_X(s_{Tjn}^{C_i})\}, \quad (9)$$

$$s_{Tj}^{C_i} = \{(s_{Tij}^{C_i} \mid \mu_X(s_{Tij}^{C_i})) \mid j = 1, n\},$$

$$s_{Tj}^{C_i} = \langle O_{id}(s_k^{C_i}), S_T^{C_i}, X_k, G, M \rangle.$$

Для фазифікації тезауруса атомарних концептів шляхом побудови функцій приналежності можуть використовуватися існуючі методи [10, 14].

Розглянемо розробку моделі фазифікації подання онтологій рівня метазнань в умовах невизначеності. Про метаправила можна говорити, як про модулі нечіткого управління по відношенню до БЗ.

Іншими словами, повинне вирішуватися основне завдання про можливість застосування метаправила в умовах невизначеності. Ця обставина вимагає введення в структуру метаправила модуля порогової чутливості або активізації метаправила. Невизначеність консеквента метаправила цікава не точним результатом, а граничним значенням сигналу для запуску метаправила. Для вирішення питання про запуск метаправила агреговані вхідні величини нечітких сигналів повинні фільтруватися вихідною пороговою функцією чутливості метаправила – MR .

Так як на вхід метаправила подаються не концепти з їх невизначеністю, а стани БЗ і інтелектуальної системи в цілому з можливістю їх виникнення, то в рамках прийнятої концепції метаправил пропонується інтерпретувати показники невизначеності вхідних умов як імовірнісні характеристики. На основі наведених міркувань можна зробити висновок про можливість застосування до моделювання метаправил апарату гібридних нечітких нейронних мереж [14, 17 - 20]. В [17] відзначається, що «при деяких припущеннях можна представити систему нечіткого прийняття рішень шляхом використання багатошарової мережі з прямим розповсюдженням сигналу». Таким чином, реалізується фундаментальне положення про те, що метазнання грають когнітивно-керуючу роль інтелектуальної системи по відношенню до БЗ.

Зробимо конструювання метаправила, як модуля нечіткого управління в термінах штучної нейронної мережі (ШНМ). Загальний вираз для метапродукції

$$MR : \underset{i=1}{Lop} S_{MRi} \rightarrow O_{KBj}. \quad (10)$$

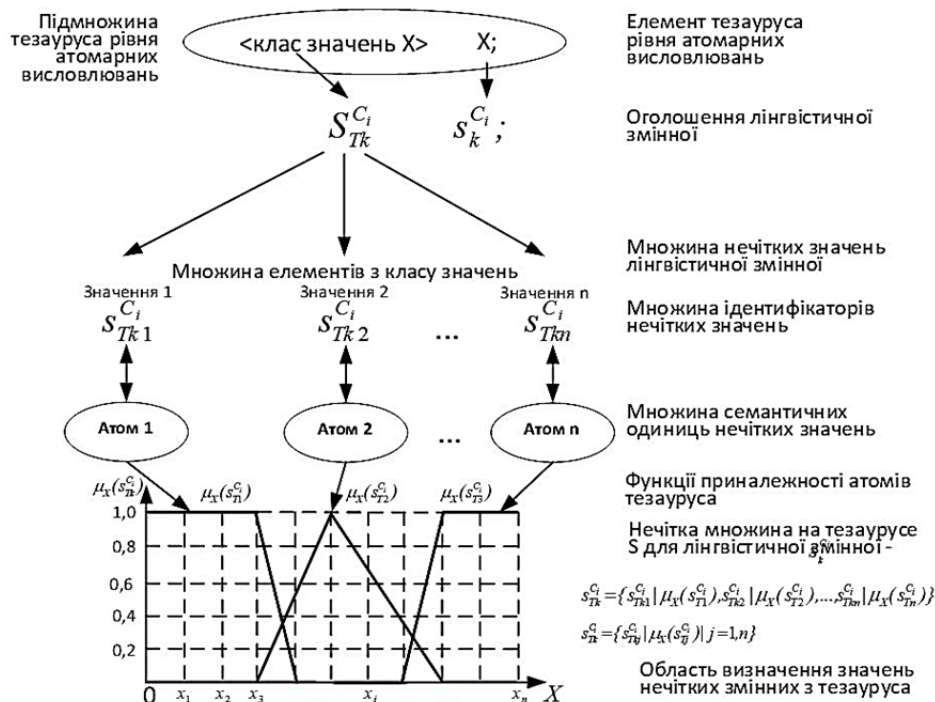


Рис. 1. Схема фазифікації тезауруса атомарних концептів

У якості логічної операції *Lop* будемо розглядати тільки операцію I, так як продукції типу АБО можуть бути розбиті на групи I-правил. В якості концептів S_{MRI} розглядаються сигнали, які характеризуються нечіткими значеннями. Отримаємо загальну функціональну схему метаправила у вигляді нечіткого нейрона типу I, що наведена на рис. 2.

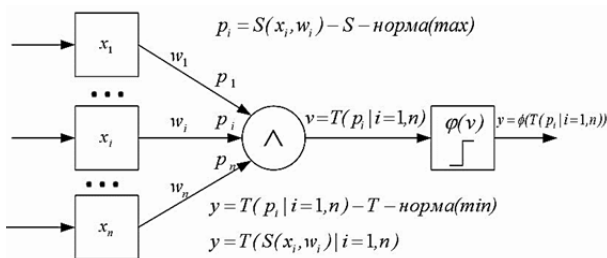


Рис. 2. Модель метаправила у вигляді I-нейрона

Застосуємо модель I-нейрона для конструювання метаправила у вигляді модуля нечіткого управління. Введемо в модель функції належності [17]. За основу візьмемо правило нечіткої імплікації Ларсена для продукції виду $A \rightarrow B$

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_R(x, y) = \mu_A(x) \mu_B(y), \quad R \subseteq X \times Y.$$

Так як

$$\mu_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n),$$

$$x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n.$$

і за визначенням імплікації для нечітких множин

$$B = A \circ R = A \circ (X \rightarrow Y),$$

то, отже,

$$\mu_B(y) = \sup_{x \in X} \{T(\mu_A(x), \mu_{A \rightarrow B}(x, y))\}, \quad (11)$$

$$\sup = s \Leftrightarrow s \in S_X \wedge \forall y \in S_X : s \leq y,$$

$$S_X = \{y \in M | \forall x \in X : x \leq y\}.$$

Якщо T-норму уявити добутком, то (11) можна відобразити так

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_n \in X} \{ \mu_{A_1}(x_1) \mu_{A_2}(x_2) \dots \mu_{A_n}(x_n) \mu_B(y) \}, \quad (12)$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_n \in X} \{ \mu_B(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}(x_i) \}.$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_n \in X} \{ \mu_{A_1}(x_1) \dots \mu_{A_n}(x_n) \mu_{A_1}(x_1) \dots \mu_{A_n}(x_n) \mu_B(y) \},$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_n \in X} \{ \mu_{A_1}(x) \mu_{A_2}(x) \dots \mu_{A_n}(x) \mu_B(y) \},$$

Супремум забезпечується в разі $\mu_{A_i}(x) = 1$. Тоді (12) можна представити у вигляді (13)

$$\mu_B(y) = \mu_B(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}(\bar{x}_i). \quad (13)$$

Дефазифікація $\mu_B(y)$ виконується одним з відомих методів.

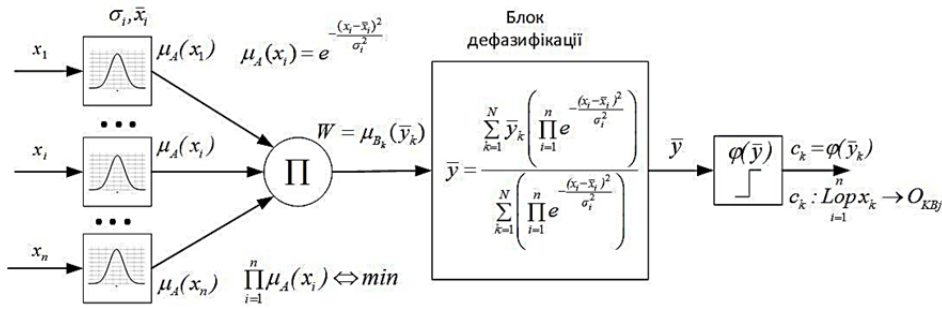


Рис. 3. Метаправило, як модуль нечіткого управління базою знань

На основі отриманих формальних моделей розробимо функціональну модель метаправила, як модуля нечіткого управління базою знань, наведену на рис. 3. В якості апроксимуючої форми нечіткої множини, наприклад, прийемо функцію Гауса, як форму нормального розподілу для ймовірнісної інтерпретації невизначеності вхідних подій метаправила.

Блок дефазифікації побудований на основі методу середнього центру – Centre Average Defuzzification (CAD). За основу прийнятий вираз

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}_k \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_{ki}}(\bar{x}_i) \right)}{\sum_{k=1}^N \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_{ki}}(\bar{x}_i) \right)}. \quad (14)$$

Отримані математичні моделі для запропонованої в роботі моделі онтологій БЗ дозволяють будувати нечіткі СППР в різних професійних областях.

Універсум функції інтерпретації нечітких метаправил може бути представлений як бінарне відношення метаправил, які інтерпретують і інтерпретованих.

$$\tilde{F}^{MR} : R \subseteq \{ (MR_{2j}^{C_i} | \mu_X(MR_{2j}^{C_i})) | j = 1, n \} \times \{ (MR_{1k}^{C_i} | \mu_X(MR_{1k}^{C_i})) | k = 1, m \}, \quad (15)$$

$$\tilde{F}^{MR} : \tilde{R}_2^{MRC_i} R \tilde{R}_1^{MRC_i}.$$

Для k -ої функції інтерпретації метазнань

$$\tilde{f}_k^{MR} : Op(\tilde{R}_n^{MR} \circ \tilde{R}_{n-1}^{MR} \circ \dots \circ \tilde{R}_2^{MR} \circ \tilde{R}_1^{MR}, I_j) \rightarrow \rightarrow (\tilde{R}_j^{MR}, I_j) | \tilde{f}_j^{MR} \in \tilde{F}^{MR}, \quad (16)$$

$$\tilde{f}_k^{MR} : r^{MR} \subseteq \{ \circ_{j=1}^n (\tilde{R}_{2j}^{MRC_i} | \mu_X(R_{2j}^{MRC_i})) \} \times \{ (\tilde{R}_1^{MRC_i} | \mu_X(R_1^{MRC_i})) \},$$

$$\tilde{f}_k^{MR} : \tilde{R}_2^{MRC_i} r^{MR} \tilde{R}_1^{MRC_i}.$$

З урахуванням невизначеності метаправил R^{MRC_i} формальна модель інкорпорації матиме такий вигляд:

$$O_{KB_{MR}} = \langle \bigcup_{i=1}^{n_c} \bigcup_{k=1}^{n_s} (\tilde{S}_{MRk}^{C_i} | \mu_X(S_{MRk}^{C_i})) \bigcup_{k=1}^{n_o} F_k^{C_i}(\tilde{P}(G_s) | \mu_X(P(G_s)), \tilde{A}(G_s) | \mu_X(A(G_s)), M_\Sigma), F(\tilde{R}(B3)), \tilde{F}^{MR} \rangle. \quad (17)$$

Онтологія розділяє підмножини метаправил по їх ролі в інтерпретації. Згідно формальної онтологічної моделі, прийнятої в рамках єдиної інкорпорації подання знань, кожне метаправило має інтерпретуватися як мінімум одним іншим метаправилом. Семантика даної відносини метаправил полягає в тому, що метаправила можуть розглядатися як функції, що викликаються з інших функцій.

Операція агрегації реалізується як композиція метаправил. В рамках конкретного завдання метаправила можуть належати як під

$$\text{множині } \circ_{j=1}^n \tilde{R}_{1j}^{MR}, \text{ так і } \tilde{R}_2^{MRC_i}.$$

Для оцінки ефективності розроблених моделей можна спиратися на висновки з [14, 21]. Зокрема, в теоремі Ванга (L.-X. Wang) [21] про універсальний апроксиматор доведено, що для нечіткої задачі, побудованої на нечітких продукціях, що використовують гаусові функції приналежності, композиції входів у вигляді добутку, імплікації Ларсена (Larsen), центроїдну дефазифікацію, може бути побудована нечітка експертна система, близько апроксимуюча задану нечітку задачу. Тому, побудовані математичні моделі онтологій з урахуванням невизначеності можуть бути використані в якості БЗ для побудови СППР.

На основі отриманих математичних і структурно-логічних моделей розроблений програмний комплекс автоматизації керування енергосистемами гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності.

Розглянемо роботу СППР при контролі конкретної аварійної ситуації. Відключення в ремонт ПЛ 150кВ Л-81 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330). Аварійне відключення ПЛ 330кВ Л-234 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330). Аварійний режим характеризується зниженням напруги на СШ 150кВ ПС Павлоградська-330 і перевантаженням по струму ПЛ 150кВ Л-82 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330). Перетоки потужності по автотрансформаторам зна-

чених підстанцій перевищують допустимі рівні навантаження в аварійних режимах, пов'язаних з відключенням ПЛ 330кВ Л-234 (ПС Павлоградська-330 – ПдТЕС-330).

Ставиться завдання відстеження зазначеного аварійного режиму, автоматичної роботи тригерів для сенсорних точок, запуску логічного висновку і формування строгих режимних рекомендацій для оперативного персоналу. Основні установки програмного комплексу наступні. Принципова схема електричної мережі 330кВ АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі» з параметрами літа 2020 року. Для мережі обрані сенсорні точки і контрольовані параметри режиму. Контрольований тип аварійної ситуації призводить до зниження напруги на 2СШ 150кВ ПС Павлоградська-330 до 113,7кВ (76% від U_n) і зростання струму по ВЛ 150кВ Л-82 до 1339А (162% від I_n).

При роботі програмного комплексу рееструються аварійні викиди контрольованих параметрів, спрацьовують відповідні їм тригери, і запускаються транзакції.

Результатом циклу роботи СППР є нормативно-інструктивні матеріали диспетчерського управління, отримані з рівнів професійних онтологій БЗ, а також рекомендації керуючих коригувальних впливів, їх величин і напрямків зміни. Програмна панель с результатами обробки аварійної ситуації показана на рис. 4.

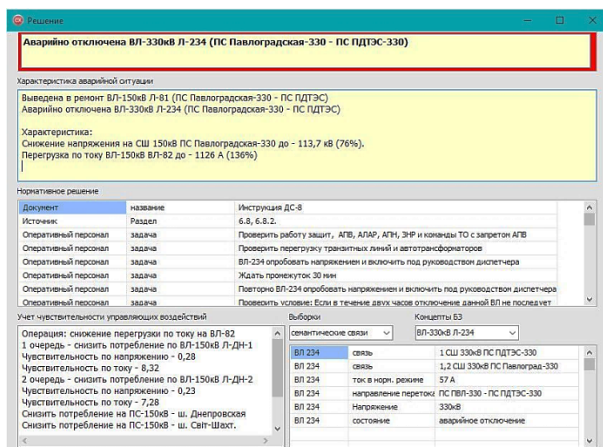


Рис. 4. Панель прийнятих рішень і вибірки БЗ

На основі аналізу результатів тестування розробленого програмного комплексу СППР можна зробити висновок про те, що СППР відповідає всім вимогам, сформульованим у роботі, функціонує відповідно до розроблених структурно-логічних моделей і підтверджує їх практичну працездатність в промислових умовах.

Розроблена СППР, яка побудована на основі інкорпорації уніфікованих професійних онтологій, передбачає її використання в якості інтелектуальної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних комплексів і може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень під час оперативних перемикань схем, регу-

лювання рівнів напруги і перетоків потужності в електроенергетичних системах в нормальних і аварійних режимах. Тому ставиться завдання впровадження СППР в комплекс апаратно-програмних засобів діючої АСДК енергосистем. Для реалізації стикування комплексу СППР з блоками АСДК повинна бути врахована специфіка функціонування СППР.

Запропонована нова структура компонування ядра СППР. Відмінною особливістю розробленої СППР є наявність блока апаратно-програмних тригерів, блока транзакцій метаправил, блока інтерпретатора транзакцій метаправил, блока онтологій, а також нової схеми компонування БЗ і БЛВ. В основу нової структури ядра СППР покладено об'єднання механізму логічного висновку у вигляді метазнань і бази знань онтологій, одночасна інкорпорація і еволюційна сумісність різних форм подання знань в єдиній БЗ онтологій, прив'язка метазнань логічного висновку до тригерів запуску, пов'язаних з подіями об'єктів управління ЕЕС. Запуск і процес логічного висновку ставляться в безпосередню і пряму відповідність станам об'єктів управління. При цьому ліквідується залежність способу функціонування СППР від специфіки професійної області. Узагальнена структурна схема розробленої СППР з новою компоновкою ядра БЗ приведена на рис. 5. На відміну від класичної схеми пропонується замінити блок логічного висновку інтерпретатором потоку метаправил.

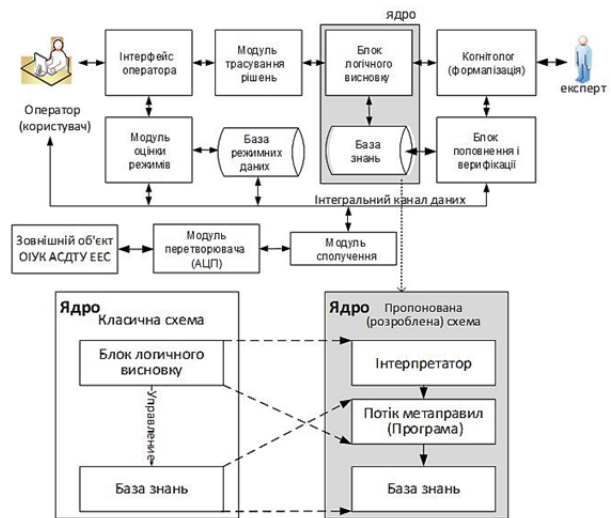


Рис. 5. Укрупнена блокова схема СППР з новою компоновкою ядра БЗ

З огляду на компоновку ядра СППР, визначені її можливі точки впровадження в тракти передачі даних комплексу АСДК, показані на рис. 6. Для цієї мети було враховано безліч архітектурних рішень АСДК [22 – 29].

В отриманій зв'язці АСДК + СППР завдання автоматизації прийняття рішень і управління режимами ЕЕС вирішується тим, що комплекс включає блок збору даних і телеуправління, пов'язаний з блоком інформаційних підсистем ОІУК, який через блок збору і відображення інформації взаємодіє з

блоком технологічної мережі обміну даними, до якого, в свою чергу, підключені блок сховищ оперативних і ретроспективних даних, блок АРМ, блок ПО систем телеуправління і пов'язані з ними блоки ядра СППР.

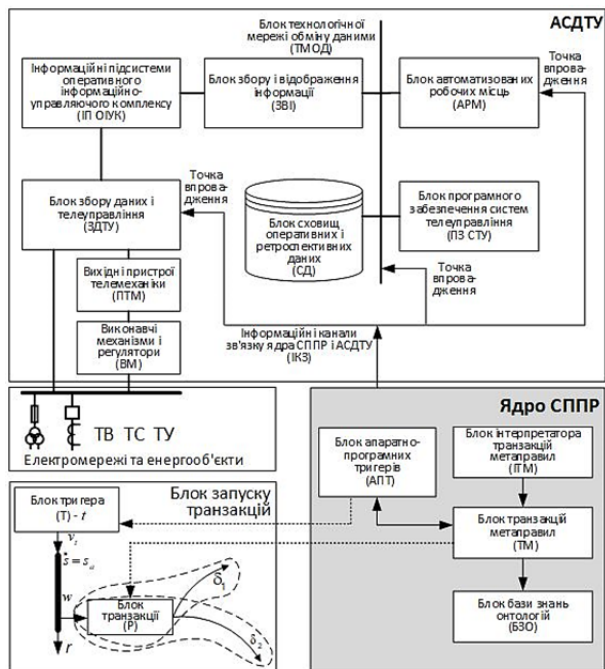


Рис. 6. Деталізована схема включення блока ядра СППР в тракті передачі даних комплексу АСДК енергосистеми

Висновки. Реалізовано програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерського оперативного керування нормальними і аварійними режимами енергосистеми в умовах невизначеності. Визначено структуру та функціональний сценарій роботи СППР. Поставлено і вирішено конкретне оперативне завдання по контролю аварійної ситуації і автоматичної генерації керуючих диспетчерських рішень. Результатом циклу роботи СППР є нормативно-інструктивні концепти професійних онтологій диспетчерського управління, а також величини і напрямки управляючих дій на основі матриць чутливості.

В результаті отриманих математичних і структурно-логічних моделей, а також проведених успішних тестів розробленого програмного забезпечення можна констатувати, що вирішені наступні завдання поставлені в роботі:

- розроблені математичні моделі фазифікації тезауруса атомарних концептів;
- розроблені математичні моделі застосування метаправил, як модуля нечіткого управління БЗ;
- розроблена модель СППР, яка передбачає використання в складі автоматизованих систем контролю і управління електроенергетичних систем гірничо-металургійних комплексів, яка може застосовуватися для автоматизації процесу прийняття рішень в умовах невизначеності;
- реалізовано програмний комплекс системи підтримки рішень для автоматизації диспетчерсько-

го оперативного керування нормальними і аварійними режимами енергосистеми гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності;

– розроблена нова схема компонування БЗ і блока логічного висновку;

– розроблено схему впровадження СППР в середу діючої АСДК енергосистеми гірничо-металургійного комплексу.

Основною перевагою запропонованого підходу є досягнення універсальності в побудові і використанні бази знань. Відзначимо деякі основні позитивні риси використання нечіткої логіки в системах прийняття рішень при управлінні складними технічними системами. Перш за все, не потрібно занадто великої кількості правил. Перевагу отримує паралельна обробка правил. Суперечливість правил в базі знань не має такого жорсткого характеру, як при двійковій логіці. Всі зазначені обставини наближають нечітку базу знань до образу мислення людини – ОПР.

Розроблені моделі, підходи і методики інваріантні по відношенню до конкретних професійних галузей і мають універсальність. Розроблена модель дозволяє будувати СППР в різних професійних областях, використовуючи єдиний підхід і методологію. Це дає можливість повторного використання раніше розроблених блоків інтелектуальних систем в нових програмах. В кінцевому підсумку, впровадження таких СППР в практику ліквідації кризових ситуацій в енергосистемах гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності.

Пропонований в роботі підхід не пов'язаний з конкретною професійною областю і тому може розглядатися як універсальний. Однак, передбачається, що базовою з можливих областей застосування запропонованого механізму автоматизації оперативного протиаварійного керування режимами електроенергетичних систем гірничо-металургійного комплексу в умовах невизначеності.

Основний напрямок подальших досліджень полягає в уніфікації розроблених моделей для різних професійних областей.

Л і т е р а т у р а

1. Акимов В.А., Жарёнов А.Б. Неопределенность в прогнозировании и планировании. Общенаучный аспект/ Инф. сб. ЦСИ ГЗ. – М.: ДГЗ МЧС России – № 28 – 2006. – С. 97-104
2. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, Гл. редакция физ.-мат. лит. – 1990.
3. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно – М.: Мир – 1993 – 368 с.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир – 1976.
5. Сеченов М. Д., Щеглов С. Н. Анализ неформальных моделей представления знаний в системах принятия решений // Известия ЮФУ. – Технические науки, 2010. - №7.

6. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука – 1990.
7. Берштейн Л.С., Карелин В.П., Целых А.Н. Модели и методы принятия решений в интегрированных интеллектуальных системах. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ – 1999 – 278 с.
8. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь – 1989.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. — М.: Радио и связь – 1982 – 432 с.
10. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH – СПб.: БХВ-Петербург – 2005 – 736 с.
11. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети – М.: Горячая линия-Телеком – 2007 – 284 с.
12. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control – 1965 – Vol. 8 – P. 338 – 353.
13. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений – М.: Мир – 1976 – 167 с.
14. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие – М.: Издательство Физико-математической литературы – 2001 – 224 с.
15. Мальшев Н.Г., Бернштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. — М.: Энергоиздат – 1991 — 136 с.
16. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком – 2007 – 288 с.
17. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского – М.: Горячая линия Телеком – 2006 – 452 с.
18. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика– 2-е изд., стереотип.– М.: Горячая линия-Телеком – 2002 – 382 с.
19. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / А.В. Колесников; под ред. А.М. Яшина – СПб.: СПбГТУ – 2001 – 711 с.
20. Yan H.H. et al. Power system security assessment using a hybrid expert system/neural network architecture // Proc. of IEEE. ISCS. New York. 1992. P. 1713-1716.
21. Wang L.-X. Fuzzy systems are universal approximators // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems – San Diego – 1992 – p. 1163-1169
22. Кириленко О.В., Прихно В.Л., Черненко П.О. Розробка ієрархічного оперативного_керуючого комплексу та впровадження його в енергооб'єднанні України // О.В. Кириленко, В.Л. Прихно, П.О. Черненко – К.: Наука та інновації – 2008 – Т.4 – № 6 – С. 12–25.
23. Рубаненко О.Є., Рубаненко О.О., Кравцов К.І. Розробка та дослідження структури системи автоматичного керування нормальними режимами електроенергетичних систем // О.Є. Рубаненко, О.О.Рубаненко, К.І. Кравцов – Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – №4 – 2012 – С. 40 – 45
24. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин – М.:«Машиностроение» – 2009 – 176 с.
25. Титов Н., Прохвятилов В., Кривонос А., Левенец Н., Бородин Д., Гальперин М.И. Модернизация оперативного-информационного комплекса АСДУ Днепропетровских электрических сетей // «Современные технологии автоматизации». Электроэнергетика – №1 – 2006 – С. 28 – 33
26. Автоматизированная система диспетчерского управления на основе комплексов технических средств «Алгоритм», оперативно-информационного управляющего комплекса «Kvadrant». Техническое решение. – СПб.: ЗАО «Алгоритм» – 2013 – 65 с.
27. Чичёв С.И. Модель автоматизированной системы технологического управления электросетевым комплексом 6 – 220 кВ ПАО «МОЭСК» – М.: Издательский дом «Спектр» – 2017 – 228 с.
28. Головкин С.В., Турпищев Ш.А., Рогов А.В., Аникеев А.В. Автоматизированное рабочее место диспетчера электрических сетей // Вестник Астраханского государственного технического университета – Астрахань: АГТУ – №1(67) – 2019 – С. 23 – 29.
29. Бурикин О.Б., Кравцов К.І., Кулик В.В. Автоматизация оптимального керування потоками потужності в електроенергетичних системах на основі критеріального методу // Вінниця: Вісник Вінницького політехнічного інституту. Енергетика та електротехніка – №2 – 2007 – С. 66 – 71.

References

1. Akimov V.A., Zharyonov A.B. Neopredelennost v prognozirovani i planirovani. Obshenauchnyj aspekt / Inf. sb. CSI GZ. – М.: DGZ MChS Rossii – № 28 – 2006. - С. 97-104
2. Melihov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.Ya. Situacionnye sovetuyushie sistemy s nechetkoj logikoj. - М.: Nauka, Gl. redakciya fiz.-mat. lit. – 1990.
3. Asai K., Vatada D., Ivai S. Prikladnye nechetkie sistemy: Per. s Yapon./ K. Asai, D. Vatada, S. Ivai i dr.; pod redakciej T. Terano, K. Asai, M. Sugeno – М.: Mir – 1993 – 368 с.
4. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennyh reshenij. – М.: Mir – 1976.
5. Sechenov M.D., Sheglov S.N. Analiz neformalnyh modelej predstavleniya znanij v sistemah prinyatiya reshenij // Izvestiya YuFU. – Tehnicheskie nauki, 2010. - №7.
6. Melihov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.Ya. Situacionnye sovetuyushie sistemy s nechetkoj logikoj. – М.: Nauka – 1990.
7. Bershtejn L.S., Karelin V.P., Celyh A.N. Modeli i metody prinyatiya reshenij v integrirovannyh intellektualnyh sistemah. – Rostov n/D: Izd-vo RGU – 1999 – 278 с.
8. Borisov A.N., Alekseev A.V., Merkureva G.V. i dr. Obrabotka nechetkoj informacii v sistemah prinyatiya reshenij. – М.: Radio i svyaz – 1989.
9. Kofman A. Vvedeniye v teoriyu nechetkih mnozhestv: Per. s franc. — М.: Radio i svyaz – 1982 – 432 с.
10. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH – SPb.: BHV-Peterburg – 2005 – 736 с.
11. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti – М.: Goryachaya liniya-Telekom – 2007 – 284 с.
12. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control – 1965 – Vol. 8 – P. 338 – 353.
13. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ee primeneniye k prinyatiyu priblizhennyh reshenij – М.: Mir – 1976 – 167 с.
14. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Yu. Nechetkaya logika i iskusstvennyye nejronnyye seti: Ucheb. posobie – М.: Izdatelstvo Fiziko-matematicheskoy literatury – 2001 – 224 с.
15. Malyshev N.G., Bernshtejn L.S., Bozhenyuk A.V. Nechetkie modeli dlya ekspertnyh sistem v SAPR. — М.: Energoizdat – 1991 — 136 с.

16. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. – M.: Goryachaya liniya – Telekom – 2007 – 288 c.
17. Rutkovskaya D., Pilinskij M., Rutkovskij L. Nejrornyie seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: Per. s polsk. I.D. Rudinskogo – M.: Gorya-chaya liniya – Telekom – 2006 – 452 c.
18. Kruglov V.V., Borisov V.V. Iskusstvennye nejrornyie seti. Teoriya i praktika – 2-e izd., stereotip.– M.: Goryachaya liniya-Telekom – 2002 – 382 c.
19. Kolesnikov A.V. Gibridnye intellektualnye sistemy. Teoriya i tehnologiya razrabotki / A.V. Kolesnikov; pod red. A.M. Yashina – SPb.: SPbGTU – 2001 – 711 c.
20. Yan H.H. et al. Power system security assessment using a hybrid expert system/neural network architecture // Proc. of IEEE. ISCS. New York. 1992. P. 1713-1716.
21. Wang L.-X. Fuzzy systems are universal approximators // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems – San Diego – 1992 – p. 1163-1169
22. Kirilenko O.V., Prihno V.L., Chernenko P.O. Rozrobka iyerarhichnogo operativno-keruyuchogo kompleksu ta vprovadzhennya jogo v energoob'jednanni Ukraini // O.V. Kirilenko, V.L. Prihno, P.O. Chernenko – K.: Nauka ta innovaciyi – 2008 – T.4 – № 6 – C. 12–25.
23. Rubanenko O.Ye., Rubanenko O.O., Kravcov K.I. Rozrobka ta doslidzhennya strukturi sistemi avtomatichnogo keruvannya normalnimi rezhimami elektroenergetichnih sistem // O.Ye. Rubanenko, O.O. Rubanenko, K.I. Kravcov – Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. Tehnichni nauki – №4 – 2012 – C. 40 – 45
24. Chichyov S.I., Kalinin V.F., Glinkin E.I. Informacionno-izmeritel'naya sistema centra upravleniya elektricheskikh setej / S.I. Chichyov, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin – M.: «Mashinostroenie» – 2009 – 176 c.
25. Titov N., Prohvatilov V., Krivonosov A., Levenec N., Borodin D., Galperin M.I. Modernizatsiya operativno-informacionnogo kompleksa ASDU Dnepropetrovskih elektricheskikh setej // «Sovremennye tehnologii avtomatizatsii». Elektroenergetika – №1 – 2006 – C. 28 – 33
26. Avtomatizirovannaya sistema dispatcherskogo upravleniya na osnove kompleksov tehniceskikh sredstv «Algoritm», operativno-informacionnogo upravlyayushhego kompleksa «Kvadrant». Tehnicheskoe reshenie. – SPb.: ZAO «Algoritm» – 2013 – 65 c.
27. Chichyov S.I. Model avtomatizirovannoj sistemy tehnologicheskogo upravleniya elektrosetevym kompleksom 6 – 220 kV PAO «MOESK» – M.: Izdatelskij dom «Spektr» – 2017 – 228 c.
28. Golovko S.V., Turpishev Sh.A., Rogov A.V., Anikeev A.V. Avtomatizirovannoe rabochee mesto dispatchera elektricheskikh setej // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta – Astrahan: AGTU – №1(67) – 2019 – C. 23 – 29.
29. Burikin O.B., Kravcov K.I., Kulik V.V. Avtomatizatsiya optimalnogo keruvannya potokami potuzhnosti v elektroenergetichnih sistemah na osnovi kriterialnogo metodu // Vinnicya: Visnik Vinnickogo politehnicnogo institutu. Energetika ta elektrotehnika – №2 – 2007 – C. 66 – 71.

Morkun V.S., Kotov I.A., Serdiuk O.Y., Haponenko I.A. Knowledge representation in intelligent automation systems for control of power systems of the mining and metallurgical complex under uncertainty

The article considers the problem of taking into account the uncertainty of information for the construction of knowledge bases in decision support systems for operational management of power systems. It is substantiated that the

formulation of control logic is carried out mainly at the level of qualitative ideas and concepts. The latter can be formalized in the form of logical-linguistic models, which should be considered in terms of the theory of fuzzy sets and linguistic variables. An analysis of existing approaches to the presentation and processing of fuzzy knowledge about the management of power systems of the mining and metallurgical complex. The approach to the representation of the incorporation of various forms of representation of professional ontologies on the basis of fuzzy logic is substantiated. The main concepts and formal linguistic models of fuzzification of the representation of the evolution of the incorporation of ontologies of all levels in the context of semantic concept uncertainty have been developed. All the obtained formal linguistic models of concept fuzziness correspond to the structures of forms of knowledge representation. A formal linguistic model has been developed for accounting for the fuzzy meta-rules as modules for fuzzy management of the knowledge base based on the fuzzy neuron model. Fuzzification principles are implemented when performing operations on knowledge base concepts. Models of ontologies of all levels of the knowledge base have been developed, taking into account the fuzzy representation of the semantics of concepts. Research methods include the use of fuzzy logic, formal languages, artificial intelligence systems theory and decision support systems. The software complex of the decision support system for automation of dispatch operational management of normal and emergency modes of the power system of the mining and metallurgical complex is implemented. The scheme of introduction of the decision support system in the environment of the operating automated system of dispatching management of power systems is offered. Possible points of implementation of the decision support system in the data transmission paths of the complex of the automated dispatch control system have been determined. The points of introduction of the core of the software complex into the environment of the power system control system are the block of automated workstations, the block of the technological data exchange network, the block of data collection and telecontrol. A new structure of the core of the decision support system has been developed.

Keywords: grammar, linguistic variable, ontology, power system, meta-rule, fuzzification

Моркун Володимир Станіславович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: morkunv@gmail.com

Котов Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра моделювання та програмного забезпечення, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: rioexito@gmail.com

Сердюк Олександра Юріївна – асистент, кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: o.serdiuk@i.ua

Гапоненко Ірина Анатоліївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу науки і досліджень, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, E-mail: irinagaponenko44@gmail.com