

крытой и подземной разработки месторождений полезных ископаемых. Сб. научн. тр.- Кривой Рог: ГП «НИГРИ», 2007. Стр. 17-25.

6. Перспектива и технология отработки магнетитовых кварцитов в Кривбассе /Ф.И. Караманиц, В.С. Ричко, Ю.А. Плужник, А.П. Григорьев, Вал. В. Цариковский, Е.И. Яценко //Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник. Выпуск 92, Кривой Рог: КТУ, 2008. Стр. 47-50.

7. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. № 173 від 19.06.96. Зареєстровано в Міністерстві м. Київ юстиції України 24 липня 1996 р. за N 379/1404.

8. Орещук Л. Сила уверенности и единства. Газета Металлург, 2008-05-08; <http://ukraine.arcelormittal.com>.

9. Бабец Е.К. Развитие подземной добычи железной руды на Украине в период 1991-2010 г.г. // Сборник научных работ державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут», вип. №53. Кривий Ріг.- 2011г., стр.14-20.

10. Порцевский А.К. Подземные горные работы. Для студентов специальностей «Открытые горные работы», часть 1,2- «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых». Учебное пособие в 4 частях. Московский государственный университет, М. 2005 г. 80 стр.

Рукопис подано до редакції 15.04.2017

УДК 004.89: 621.311.161

І.А. КОТОВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ФОРМАЛЬНО-ЛІНГВІСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ЕВРИСТИЧНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Метою роботи є розробка формальних методів уніфікації форм представлення знань в системах штучного інтелекту для автоматизації прийняття управлінських рішень в кризових ситуаціях, обґрунтування використання формально-лінгвістичного підходу до подання професійних знань в системі підтримки рішень диспетчера енергосистеми, а також до опису евристик при реалізації логічного висновку. Теоретична розробка і практичне впровадження уніфікованої, інтегральної моделі подання знань в СППР є актуальною науковою проблемою.

У роботі використані **методи математичної логіки**, формальної лінгвістики, регресійного аналізу, матричного аналізу, електроенергетичних систем, пошукового і формуючого експерименту з подальшою автоматизованою обробкою даних з метою перевірки висунутих в роботі гіпотез.

Наукова новизна роботи полягає в розробці моделі взаємозв'язку і взаємозалежності форм представлення професійних знань і моделі їх ієрархічного узагальнення, застосування єдиних евристик до різних структур представлення знань. Розроблені моделі, підходи і методики інваріантні по відношенню до конкретних професійних галузях і мають високий ступінь універсальності. Запропоновано єдиний системно-діалектичний підхід до подання та аналізу знань. Розроблено єдині евристики стосовно як до окремих компонентів знань, так і їх мережевим структурам.

Практична значимість роботи полягає в практиці впровадження запропонованої моделі системи підтримки рішень в практику ліквідації кризових ситуацій в електроенергетичних системах, що дозволить скоротити збитки і підвищити якість управління їх технологічними процесами.

Результатами роботи є єдиний системно-діалектичний підхід до подання та аналізу професійних знань. Запропоновано взаємопов'язана ієрархія форм представлення знань, що включає в себе знання різних рівнів про когнітивної діяльності системи підтримки рішень диспетчера. Розроблено формальна модель уніфікації форм представлення знань, формальна система введення обмежень для специфікації форм представлення знань. Запропоновано методики впровадження блоків системи підтримки рішень в управлінські інформаційні цикли діючих технологічних ланцюгів.

Ключові слова: евристика, автоматизація, база знань, диспетчеризація, режим, ситуаційний, лінгвістичний, семантика, експерт, регресія, енергосистема, оптимальний, інкорпорація.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При управлінні режимами електроенергетичних систем вироблення адекватних керуючих впливів, які є оптимальними з точки зору якісного функціонування системи, пов'язана з обробкою великої кількості оперативної диспетчерської інформації. При цьому, у зв'язку зі значними витратами часу на її обробку значно ускладнено формування характеристик керуючих впливів при виникненні і розвитку більш важкого режиму.

Ця проблема є вкрай актуальною і потребує подальших досліджень і рішень. В останні роки досягнуто суттєвих результатів у розвитку методів інтелектуалізації управління і евристичного аналізу режимів електроенергетичних систем. Основними теоретичними платформами є методи систем штучного інтелекту, теорії розпізнавання образів, планування експериментів,

формальних систем і числень. Ідея спільного рішення проблеми забезпечення режиму енергосистеми полягає в тому, що основна маса вихідної схемно-режимної інформації обробляється попередньо, а оперативні дії, що управляють визначаються за допомогою відносно простих швидких алгоритмів на основі даних про попереднє нормальне режимі і векторі параметрів збурень.

Успіх у вирішенні завдань управління режимом енергосистеми в чому визначається репрезентативністю навчальної вибірки характерних параметрів якості передаварійного режиму. Таким чином, пошук оптимальних управлінських впливів передбачає вирішення наступних завдань: розпізнавання аварійної ситуації та її класифікацію; визначення місць докладання управлінських впливів і їх види залежно від ситуації, що аварійної ситуації; визначення дозування диспетчерських впливів.

Аналіз досліджень і публікацій. Сьогодні існує велика кількість практичних розробок в професійній області проблеми. Вони мають теоретичну глибину і демонструють ефективність результатів у створенні математичного та програмного забезпечення експертних систем для цілей управління режимами ЕЕС в нормальних і післяаварійних режимах [1-7].

Проведений аналіз існуючих основних форм представлення знань і можливостей їх застосування в професійній області диспетчерського управління енергосистемами виявив необхідність інкорпорації в одній системі різних форм представлення знань [8-11]. Необхідність такого підходу диктується вимогою комплексного використання евристик, що мають подвійне якісно-кількісний і причинно-наслідковий зміст.

В роботі [12] розглянута математична модель представлення й обробки знань, представлених у вигляді семантичних мереж. Розроблений теоретичний базис дозволяє синтезувати системи управління базами знань на природній мові. Реалізація продукційних правил, викладена на апараті теорії мереж Петрі, запропонована в [13]. Використаний механізм конкатенації моделей дозволяє створювати продукційні мережі, які реалізують прямий ланцюжок міркувань.

Постановка завдання. Проведений аналіз дозволяє сформулювати завдання побудови системи підтримки управлінських рішень диспетчера. За навчальною вибіркою (коли відомі збурення і оцінка тяжкості аварійної ситуації) повинна будуватися функція від вимірюваних параметрів режиму і збурення, що розділяє режими за ступенем тяжкості. Методи теорії розпізнавання образів дозволяють отримати підкласи аварійних режимів, що відрізняються ступенем їх тяжкості. За результатами багаторазових розрахунків більш важкого режиму, вироблених відповідно до плану факторного експерименту, будується залежність відгуку від керуючих впливів

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_iX_i + \dots + B_nX_n, \quad (1)$$

де B_i - коефіцієнти, що визначаються за результатами експериментів, $i=1, n$; X_i - керуючі впливи.

Застосування методів таксономії передбачає вибір підмножини керуючих станцій X , які можуть бути залучені до управління. З огляду на взаємний вплив станцій в перехідному режимі, можна об'єднати їх в класи (таксони) за ступенем впливу друг на друга. При цьому одна станція може бути присутнім тільки в одному класі.

Виклад матеріалу і результати. Як зазначено в [14], формально завдання визначення підмножини керуючих вузлів енергосистеми полягає в знаходженні перетворення $Y=F(X)$ (X – вихідний n -мірний простір факторів, Y – новий m -мірний простір, $n>m$). При цьому розмірність в просторі Y повинна бути мінімальною, але достатньою для розпізнавання даного класу - таксона. Далі вирішується задача вибору оптимальних керуючих впливів на основі методів теорії планування експериментів.

Для конкретної передаварійної і аварійної ситуації, що утворюють рядок плану експериментів, повинна проводитися серія розрахунків траєкторії режиму з метою визначення оптимальних дозувань керуючих впливів.

Після обробки результатів всіх експериментів отримують залежність (зазвичай поліноміальних), що зв'язує параметри, що характеризують нормальний передаварійний режим, структуру мережі і збурення (незалежні фактори), з оптимальними дозуванням керуючих впливів [14,15]. З викладеного випливає, що процес пошуку керуючих диспетчерських впливів з використанням статистичних методів проходить в три етапи: розпізнавання тяжкості аварійної си-

туації; пошук місць докладання і виду керуючих впливів; визначення оптимальних керуючих дозувань.

Очевидно, що сукупність моделей взаємозв'язку підмножин впливають і контрольованих параметрів режиму може бути представлена у вигляді матриці чутливості

$$\begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1k} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \dots & \beta_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{m1} & \beta_{m2} & \dots & \beta_{mk} \end{pmatrix},$$

де $\beta_{ij} = (n_i p_j)$ - відношення впливу; n_i, p_j - відповідно керовані і контрольовані параметри режиму об'єкта диспетчерського контролю.

Відношення впливу β_{ij} реалізується у вигляді стандартних регресійних моделей (2)

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \dots \sum_{n=1}^k b_{i\dots n} X_i \dots X_n + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (2)$$

де $b_0, b_i, b_{ij}, b_{i\dots n}, b_{ii}$ - оцінки коефіцієнтів рівняння регресії, що визначаються за результатами експериментів.

Після статистичного дослідження отриманих моделей на адекватність вони можуть бути використані в якості нових знань про управління режимом конкретного об'єкта диспетчерського контролю. Вказана обставина істотно полегшує введення системи підтримки рішень до режим реального часу.

Далі можна будувати режимну базу знань системи підтримки рішень диспетчеризації. Побудова бази знань здійснюється шляхом поєднання директивних матеріалів диспетчерських інструкцій і нових знань, отриманих на основі експериментальних даних режимних досліджень. Пропонується розглядати базу знань як інкорпорацію формальних мов уявлення диспетчерської інформації. Прийmemo, що в кожному формальному мові рівнів пропонованої моделі $L(G)_k^b$ елементи алфавіту кожного рівня є лінгвістичними змінними, які пройшли операцію фазифікації. Тоді для b -й професійній області k -го рівня ієрархії онтологій маємо

$$A_k^b = \{a_k^b \mid a_k^b : \langle \beta^b, T^b, X^b, G^b, M^b \rangle\}, \quad (3)$$

де β - ідентифікатор лінгвістичної змінної; T - базова терм-множина значень лінгвістичної змінної; X - область визначення лінгвістичної змінної a_k^b з ім'ям β ; G - граматики (синтаксична процедура) генерації нових значень для змінної a_k^b ; M - семантична процедура формування нечіткої множини.

Тоді, з урахуванням (2)

$$L(G)_k^b = \langle A_k^b, N_k^b, P_k^b, S_k^b \rangle \quad (4)$$

або
$$L(G)_k^b = \langle \langle \beta^b, T^b, X^b, G^b, M^b \rangle, N_k^b, P_k^b, S_k^b \rangle. \quad (5)$$

У роботі пропонується багаторівнева система інкорпорації онтологій, які висловлюються їх формальними мовами. Причому, мови верхніх рівнів є узагальненнями мов підлягають рівнів.

Таким чином, математична модель уніфікованої інкорпорації онтологій буде представлятися класом мов в деякій професійній області $b \in B'$, $B' \subseteq B$, для яких справедливий вираз

$$L(G)_S^b \subset L(G)_A^b \subset L(G)_O^b \subset L(G)_L^b \subset L(G)_D^b. \quad (6)$$

Для побудови даної ієрархії прийmemo, що алфавіт мови кожного рівня можна розбити на дві підмножини: Σ^f - підмножина базових (фундаментальних) символів, що утворюють предметний понятійний апарат, заснований на інтерпретації, Σ^r - підмножина символів, використовуваних як відносин - R . Тобто

$$R = \Sigma^r, \Sigma = \Sigma^f \cup R. \quad (7)$$

При нормалізації бази знань і відсутності надмірності

$$\Sigma^f \cup R = \emptyset.$$

Тоді представлення структури бази знань (KB_k^b) кожного рівня відобразиться кортежем

$$KB_k^b = \langle \Sigma^f, R \rangle, \quad (8)$$

а мову можна інтерпретувати як

$$L(G)_k^b = \langle KB_k^b, N_k^b, P_k^b, S_k^b \rangle. \quad (9)$$

Умовної точкою входу в ієрархію онтологій можна вважати $L(G)_D^b$.

Перехід на кожен нижній рівень проводиться шляхом введення обмежень на структуру бази знань і правила граматики поточного рівня. У свою чергу, перехід на кожен верхній рівень проводиться шляхом введення нових відносин і нових суперграматик.

Введемо функцію, яка буде показувати мову одного рівня в мову іншого рівня. В контексті розробленої моделі для двох сусідніх рівнів можна записати

$$\begin{aligned} \overline{L(G)_{i+1}^b} &= \Sigma^* - L(G)_i^b = R_{i+1}, \\ \overline{L(G)_{i+1}^b} &= \{a \in \Sigma^*, a \notin \Sigma_i\}, \\ L(G)_{i+1}^b \setminus L(G)_i^b &= \{a \in \Sigma^*, a \in \Sigma_{i+1}, a \notin \Sigma_i\}, \\ F_{i \rightarrow i+1} &= \langle L(G)_i^b \cup L(G)_{i+1}^b, C_{i+1} \rangle, \end{aligned}$$

або $F_{i \rightarrow i+1} = \langle L(G)_i^b \cup R_{i+1}, C_{i+1} \rangle, \quad (10)$

де $F_{i \rightarrow i+1}$ - функція породження мови $i+1$ -го рівня на базі мови i -го рівня; C_{i+1} - контекст $i+1$ -го рівня, на основі якого проводиться визначення потужності множини $L(G)_{i+1}^b$.

Інтерпретація останнього виразу полягає в тому, що мова наступних рівнів утворюється шляхом введення нових зв'язків, що належать алфавітом мови. Як лінгвістичного контексту рівня C_{i+1} прийемо мовні одиниці рівня $i+1$, що не входять до складу мови $L(G)_{i+1}^b$, проте однозначно визначають зміст висловлювань, що належать до мови.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розроблений формальний і практичний інструментарій уявлення диспетчерських знань і побудована база знань диспетчерського управління дозволили здійснити безпосередній синтез експертної системи. Остання реалізована у вигляді інтерактивного програмного комплексу з оперативної налаштуванням періодичності вибірки даних телевимірювань. Функціонування системи в режимі реального часу реалізується шляхом використання значення змінної таймера і запуску засобу за вибіркою даних телевимірювань.

Загальна схема функціонування комплексу експертної системи наступна:

системою підтримки рішень створюється інформаційний файл з поточною датою і часом необхідних даних телевимірювань. У зазначений файл заносяться імена файлів, що містять необхідні кодові номери телевимірювань;

після заданого відліку часу таймером управління передається утиліті відображення натуральних величин даних телевимірювань. Як параметр зазначеній програмі передається рядок шляху доступу до створеного раніше інформаційному файлу;

після зчитування вихідної інформації і запуску з експертної системи службової програми, остання звертається в банк даних центральної ЕОМ обчислювальної мережі інформаційно-керуючого комплексу, де за заданими номерами телевимірювань визначає їх натуральні значення;

проводиться запис натуральних значень необхідних параметрів режиму електричної мережі в вихідний інформаційний файл;

повертається управління системі підтримки рішень;

вводяться в дію внутрішні процедури системи з зчитування і первинної обробки даних телевимірювань;

за результатами отриманої інформації включається механізм логічного висновку і управління передається блоку діалогу з користувачем;

після закінчення діалогу в залежності, від його результатів відбувається або повернення в основне меню системи, або передача керування на черговий відлік таймера.

Результати випробувань є задовільними і на їх основі можна зробити висновки про основні напрямки впровадження системи підтримки рішень:

по відношенню до завдань забезпечення нормального режиму: забезпечення статичної стійкості; регулювання перетоків; оперативне коректування режиму; відображення поточних параметрів режиму; контроль дій оперативного персоналу;

по відношенню до завдань прогнозування і ліквідації аварій: усунення порушень паралельної роботи; прогнозування аварійних ситуацій; загальне керівництво ліквідацією аварій;

по відношенню до завдань забезпечення роботи персоналу: рекомендації щодо безпечного режиму роботи перетинів; забезпечення якнайшвидшого доступу до оперативної інформації; забезпечення інтерфейсу з системою передачі та обробки оперативних даних;

з метою навчання і тренажу: навчання та перевірка професійних знань і навичок оперативно-диспетчерського та технологічного персоналу.

Рекомендованими напрямками впровадження системи підтримки рішень можуть бути автоматизовані робочі місця диспетчерського персоналу, інженера-технолога, інженера служби оптимізації електричних режимів, інженера по розробці і експлуатації математичного забезпечення. При цьому в подальшій роботі при впровадженні експертної системи слід враховувати специфіку конкретного програмного комплексу АСДУ.

Список літератури

1. Интегрированные экспертные системы диагностирования в электроэнергетике/ **Б.С. Стогний, В.А. Гуляев, А.В. Кириленко и др.**/ Под ред. **Б. С. Стогния.**– К.: Наук, думка, 1992.- 246 с.
2. **Лорьер Ж.-Л.** Системы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1991. – 586 с.
3. **Любарский Ю.Я.** Представление знаний об объекте управления в диспетчерских информационных системах//Программирование.–1978.–№1– С. 41–50.
4. **Змитрович А.И.** Интеллектуальные информационные системы. – Минск: НТООО "ТетраСистемс", 1997. – 368 с.
5. **Любарский Ю.Я.** Автоматизация анализа ситуаций в диспетчерских информационных системах // Электрические станции,–1978.–№ 11.– С. 13–17.
6. **Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И.** Отечественные оперативно-информационные комплексы АСДУ энерго-системами. "Электрические станции", 2001г., №2, стр. 27-31.
7. **Башлыков А.А.** Проектирование систем принятия решений в энергетике.– М.: Энергоатомиздат, 1986.– 120 с.
8. **Сулейманов В.Н., Котов И.А.** Комплексный подход к представлению знаний в экспертных системах // Энергетика и электрификация.– 1991.– № 1– С. 52–54.
9. Представление и использование знаний / Под ред. **Уэно Т., Исидзука М.** – М.: Мир, 1989. – 230 с.
10. **Любарский Ю.Я.** Интеллектуальные информационные системы / **Любарский Ю.Я.** – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 232 с
11. **Котов И.А.** Автоматизация интеллектуальных систем поддержки решений оперативного управления путем инкорпорации профессиональных онтологий / Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирования. - Харьков: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 44 (1216) – С. 63 – 76
12. **Сулейманов В.Н., Котов И.А.** Инструментальная реализация представления знания в виде семантических сетей//Энергетика и электрификация.– 1992.– № 4.– С. 51–55.
13. **Котов И.А., Константинов Г.В.** Представление логических моделей принятия решений в производственных экспертных системах на основе аппарата сетей Петри / Разраб. рудн. месторожд., 2008. - Кривой Рог. КТУ. – Вып. 92. – С. 189–193.
14. **Чебан В.М.** Управление режимами электроэнергетических систем в аварийных ситуациях: Учеб. Пособие для электроэнергет. спец. вузов / **В.М. Чебан, А.К. Ландман, А.Г. Фишов.** – М.: Высш.шк., 1990. – 144с.
15. **Барин В. А. , Совалов С. А.** Режимы энергосистем: Методы анализа и управления. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.

Рукопис подано до редакції 31.03.2017

УДК 65.011.56:656.054.1

О.В. МИКИТИН, магістрант, В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет