

Висновки та напрямки подальших досліджень. Застосування в технологічний процес при виготовленні деталей операції магнітно-абразивне полірування, як доповнення до операції шліфування призводить до підвищення зносостійкості поверхонь деталей. Вибір нових режимів різання та умов МАП потребують продовження досліджень.

Список літератури

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработки изделий и режущих инструментов Л.: Машиностроение. -1986. -172 с.
2. Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С.Хомич. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218с.
3. Болховитинов Н. Б. Атлас макро и микроструктур металлов и сплавов. /Болховитинова Е.Н. - М.: Машиностроение..1964. 162с.
4. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986 – 544с.
5. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин – М.: Машиностроение. 1988. - 240 с.
6. Мешков Ю.Я. Сравнительный анализ двух моделей прочности твердых тел. / Ю.Я. Мешков – Металлофизика и новейшие технологии. Институт металлофизики им. Г.В.Курдюмова НАН Украины, том 27, № 3 март 2005. - 291 с.
7. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. Минск: Наука и техника, 1981.-328с.
8. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник – К.: Політехніка, 2006. – 328с.
9. Пахолюк А.П., Пахолюк О.А. Основы материаловедения и конструктивные материалы: Посібник – Львів: Світ, 2005 – 172с.
10. Чердиченко В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебн. пособие для вузов / под ред. В.С.Чердиченко. – М.: Омега – Л. 2009. – 752с.
11. Гуляев А.П. О прочности./ А.П. Гуляев – Металловедение и термическая обработка металлов – М.: Машиностроение, №7 1993.- 2с.
12. Л.А. Бугай Исследование потери эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов эксплуатируемых в шахтных условиях / Бугай Л.А., Нечаев В.П.// Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип. 40. – С135-138.
13. Хоменко О.Є. Гірничі обладнання для підземної розробки рудних родовищ: Довідковий посібник./ О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко, Д.В. Мальцев - Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 340 с.
14. Бойко Н.И. Ресурсосберегающие технологии повышения качества поверхностных слоев деталей машин: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. / под. ред. Н.И.Бойко. – М.: Маршрут, 2006. – 198с.
15. Барон Ю.М. Влияние магнитной и магнитно-абразивной обработки на фазовый состав и структуру поверхностного слоя инструментальных сталей. Научный журнал «МЕТАЛЛООБРАБОТКА» №4(70): Издательство «Политехника» Санкт-Петербург, 2012 – 12-17с.

Рукопис подано до редакції 09.04.2021

УДК 004.896:681.3:621.311

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

МОДЕЛІ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ КОМПЕТЕНЦІЙ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОТИВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ

Мета. Виклад результатів розробки математичних структурно-логічних моделей продукційної форми подання диспетчерських компетенцій в інтелектуальних системах, які використовуються для автоматизації протиаварійного керування режимами електроенергетичних систем. Аналіз показав, що на сьогоднішній день відсутній єдиний підхід до реалізації універсального засобу подання диспетчерських компетенцій для різних професійних середовищ. Можна констатувати, що потрібна розробка такого формального апарату подання продукційних знань, який забезпечить ефективність рішень і простоту програмної реалізації.

Методи дослідження полягають в об'єднанні математичної моделі електричної мережі і моделі функціонування програмної системи підтримки рішень. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики. Отримана модель подання продукційних знань має розвинений математичний апарат і теоретичну базу і може бути застосована для аналізу і прогнозування безлічі станів продукційної системи.

Наукова новизна полягає в новій моделі подання продукційних знань, яка заснована на структурі кластерів семантичних мереж. Новизна полягає в нових структурних і логічних моделях продукцій, що забезпечує побудову баз професійних компетенцій у вигляді продукційних мереж. За основу продукції взята модель онтології семантичної мережі. Розроблені правила генерації як елементарних продукцій, так і їх мереж на основі репрезентації семантичних мереж. Розроблено синтаксис продукцій і їх формально-лінгвістичний базис.

Практична значимість роботи полягає в практичній можливості оперативно оцінювати аварійні ситуації і ефективно застосовувати інтелектуальні системи підтримки рішень. Розглянутий підхід до синтезу структури правил не накладає обмежень на вхідний вид експертної інформації. Особливу цінність має можливість застосування отриманих результатів в гірничо-металургійному комплексі.

Результатами роботи є формальні моделі онтологій продукційних мереж, що дозволяє враховувати причинно-наслідкові зв'язки між об'єктами БЗ і моделювати динаміку логічного висновку. Результати дослідження можуть бути використані при реалізації проектів автоматизованих систем диспетчерського керування для особливо відповідальних електроенергетичних систем гірничодобувного і металургійного комплексів.

Ключові слова: аварійний стан, продукція, енергосистема, формалізм, база знань, автоматизація, компетенція

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-133-141

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Складність сучасних технологічних, економічних, соціальних систем досягає сьогодні рівня, що вимагає якісно нових підходів к аналізу та прийняттю управлінських рішень. Дана обставина обумовлена значним ускладненням структурної ієрархії і логікою взаємозв'язку компонентів керованих систем. Внаслідок цього все більш гостро ставиться завдання моделювання і впровадження адекватних і ефективних моделей досягнення оптимальних керуючих рішень. До такого формалізму висуваються жорсткі вимоги щодо адекватності подання, наочності, несуперечності, повноти та теоретичної глибини застосовуваної формальної мови. Наступним етапом на цьому шляху є побудова баз знань (БЗ) для експертних систем різного типу. Відмінною рисою сучасних управлінських завдань є необхідність врахування динамізму, одночасності і паралельності ланцюгів подій. Крім того, високі параметричні розмірності моделей, прийняття рішень в темпі реальних процесів призводять до необхідності відмови від чисто розрахункових методів аналізу. У багатьох професійних середовищах навіть застосування потужних засобів обчислювальної техніки не забезпечує повного рішення за прийнятний час. Створення суто численних моделей призводить до породження статичних формалізмів, зміна структури яких вимагає нового формулювання завдання і переробки програмного забезпечення. Таким чином, є актуальною проблема побудови нових структурно-логічних моделей подання диспетчерських компетенцій в інтелектуальних керуючих системах.

Аналіз досліджень і публікацій. У сучасних умовах, коли збитки від помилкових управлінських рішень мають тенденцію до різкого зростання, недосконалість механізмів подання знань в інтелектуальних системах стає критичною. Ця проблема детально розглянута в роботі [1]. В області побудови систем підтримки управлінських рішень вже давно працюють вітчизняні і закордонні вчені. Тут, перш за все, слід відзначити роботи Башликова А.А., Самойлова В.Д., Любарського Ю.Я., Лор'єра Ж.Л., Таунсенда К., Ульмана Дж. та інших. Проведений аналіз показує, з одного боку, великий інтерес до проблеми побудови та використання баз знань, а, з іншого боку, відсутність єдиних підходів і стійких детермінованих методик її вирішення. Звісно ж, що таке рішення може бути знайдено на шляху об'єднання алгоритмічних підходів і налагоджених евристик.

На основі аналізу ставиться завдання розробки і впровадження принципово нових підходів до опису та управління складними системами. Одним з можливих рішень є розробка евристичних підходів до подання складних об'єктів і моделювання процесів прийняття управлінських рішень [1, 2]. Основою таких підходів є застосування різних мов подання компетенцій в складі систем логічної обробки знань, систем штучного інтелекту і, зокрема, експертних систем. Останні надають потужні засоби обробки експертної інформації і забезпечують можливість детального аналізу ситуації при значній економії обчислювальних ресурсів. Аналіз показує, що найбільш повними можливостями для подання динаміки і логіки складних структур мають продукційні системи подання знань в експертних системах [3]. Безліч інших способів подання знань мають обмеження, складні для сприйняття і важкі в інструментальній реалізації. До таких способів можна віднести числення предикатів, динамічні спискові структури, триплети, семантичні мережі. Логіка предикатів, наприклад, не забезпечує моделювання розвинених структур даних [4]. Можливою формою подання продукційної форми подання знань у професійній галузі є мережі Петрі [5, 6]. В роботі [7] проаналізовані мови мереж Петрі для формалізації опису бізнес-процесів складних систем. Робота [8] аналізує основи математичної логіки як теоретичного базису для побудови моделей продукційних правил. В роботі [9] розглянуто центральні

теми математичної логіки першого порядку, мов, структур і дедукції. В роботі [10] розглянуті лінгвістичні основи семантичної розмітки Корпусу української мови як четвертого етапу подання інформації про одиниці Корпусу. Наведено опис програмного забезпечення. Матеріалом послужив частотний словник публіцистичного стилю обсягом в 40 тис. лексем, створений на вибірці в 16 млн словоформ україномовного тексту. Робота [11] викладає підхід до створення інтелектуальних систем, орієнтованих на вирішення комплексних завдань, в основі якого лежать семантичні моделі баз знань і узгоджені з ними семантичні моделі машин обробки бази знань. В роботі [12] доводиться, що продукційна модель досі є одним з найбільш поширених і затребуваних формалізмів подання знань. Розглядається рішення задачі візуалізації продукційних баз знань. Відзначено, що перспективним є використання спеціалізованих нотацій, що розширюють існуючі, зокрема UML. Прикладом подібної нотації є Rule Visual Modeling Language (RVML). В роботі розглянуті основні елементи RVML і програмних засобів, що забезпечують його підтримку. Робота [13] присвячена розробці математичної моделі інкорпорації і успадкування онтологій професійних знань диспетчерського управління електроенергетичними системами, формалізована система еволюційного узагальнення теоретико-множинної моделі базових концептів онтологій. У тому числі розглянуті моделі онтологій, побудовані для продукційної моделі подання знань. В роботі [14] відзначено, що в міру збільшення масштабів експертних систем, заснованих на правилах, ефективність систем стає нагальною проблемою. Найбільш важливим фактором продуктивності при впровадженні виробничої системи є алгоритм перевірки умов. Запропоновано новий метод, заснований на широко використовуваному алгоритмі зіставлення. У статті [15] розглянутий підхід, заснований на продукційній граматиці, для автоматичного створення математичних виразів. Стаття пропонує генератор математичних виразів на основі різних типів виразів.

Постановка завдання. На сьогоднішній день відсутній єдиний підхід до реалізації універсального засобу подання експертних диспетчерських компетенцій. Отже, потрібна розробка такого формального апарату подання продукційних форм диспетчерських компетенцій, який, спираючись на глибоку теоретичну базу, забезпечить ефективність рішень і простоту програмної реалізації. Одним з таких засобів є апарат мереж Петрі. Розглянемо можливості його застосування для побудови логічних моделей прийняття управлінських рішень в продукційних експертних системах. Обмежимося детермінованою мережевою моделлю, що забезпечує розгалужені ланцюжки міркувань. Мережі Петрі дозволяють моделювати паралелізм в роботі продукцій, використовувати оціночні характеристики на кожному етапі міркувань, природним чином представляють вихідну експертну інформацію, забезпечують розширюваність БЗ. Разом з тим, мережі Петрі характеризуються винятковою наочністю і відносною простотою програмної реалізації. Особливо важливим є той факт, що мережі Петрі описують причинно-наслідкові залежності процесів функціонування складних систем. Продукції, побудовані на мережах Петрі, набувають простоту і потужність цих мереж. З іншого боку, мережа Петрі, структурована у вигляді мережі продукцій, може розглядатися як сукупність елементарних мереж правил. З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок про те, що системи, що допускають моделювання мережами Петрі, можуть представлятися продукціями на базі цих мереж.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо можливості побудови продукційних мереж подання знань і логічного висновку. В якості моделі продукції пропонується застосовувати наступний формалізм

$$r = \{P, T, I, O\}, \quad (1)$$

де $P = \{P^l, P^o, P'\}$ – кінцева множина позицій продукції; $P^l = \{p_i^l | I = 1, N^l\}$ – кінцева множина вхідних позицій продукції; N^l – кількість вхідних позицій продукції; $P^o = \{p_i^o | I = 1, N^o\}$ – кінцева множина вихідних позицій продукції; N^o – кількість вихідних позицій продукції; $P' = \{p' | I = 1, N'\}$ – кінцева множина додаткових позицій продукції ($P' = \{p', p''\}$); N' – кількість додаткових позицій продукції; $T = \{t_k\}$ – кінцева множина переходів продукції; $I: T \rightarrow P^l$ – вхідна функція, що відображає множину переходів продукції в множину вхідних позицій; $O: T \rightarrow P^o$ – вихідна функція, яка відображає множину переходів в множину вихідних позицій.

З наведеного опису випливає, що продукція повинна розглядатися як двочастковий орієнтований граф. На рис. 1 наведені мережі Петрі для продукцій типу «І» і «АБО» відповідно.

Результатом роботи продукції буде деяке нове маркування

$$\mu' = \{ \mu'_i | i=1, N \}, \mu' \in R(C, \mu), \quad (2)$$

де $R(C, \mu)$ – множина досяжності на мережі C ; N – кількість позицій мережі C .

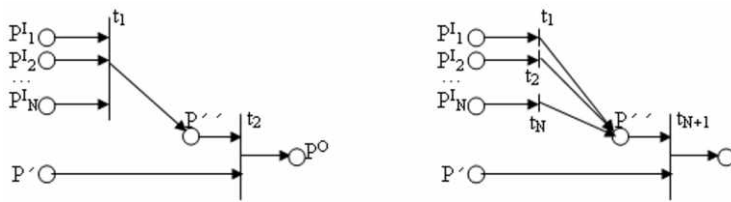


Рис. 1. Продукції, реалізовані на мережах Петрі

Це маркування відповідає умові реалізації всіх дозволених правил. У такій системі можна стверджувати, що система досягла рішення задачі, якщо вона довела логічний процес до одного з термінальних станів. Тоді значення вектору μ' , відповідне термінального

стану, будемо називати відповіддю або рішенням.

Мережі Петрі є асинхронними моделями. При необхідності прив'язки до часу моменти часу представляються у вигляді подій. Таким чином, синхронні (паралельні) системи можуть описуватися в термінах асинхронних моделей. Тому продукції, одержувані на мережах Петрі, дозволяють представляти як асинхронні, так і паралельні процеси. При реалізації продукційних мереж слід враховувати ряд обмежень, що накладаються на сформовану модель: будь-яка позиція не може бути одночасно входом і виходом одного і того ж переходу

$$I(t_i) \cap O(t_i) = \emptyset. \quad (3)$$

В продукціях фішки мають сенс сигналу. Оскільки для j -ї вихідній позиції будь якої i -ї продукції P_{ij}^o виконується умова $\mu(P_{ij}^o) \leq 1$, то кількість фішок у вхідних позиціях буде обмежено кількістю приєднаних до них зліва продукцій.

Оскільки за один цикл роботи (один прохід перегляду БЗ) кожна продукція спрацьовує тільки один раз, в продукцію введена додаткова позиція p' . Для повторної ініціалізації продукції в цю позицію повинна бути поміщена фішка. При цьому розширені вхідні і вихідна функції будуть мати вигляд

$$I(r) = \{p_1^I, \dots, p_N^I, p'\}, \quad (4)$$

$$O(r) = \{p^o\}. \quad (5)$$

Виконання правила здійснюється відповідно до принципів спрацьовування мереж Петрі. Нехай $M^I = \{\mu_k^I\}$ - вектор всіх можливих маркувань вхідних позицій правила. Тоді

$$M^I \subset R(C, \mu), \quad (6)$$

$$k = 1, N^{\mu},$$

де N^{μ} - загальна кількість можливих маркувань; $\mu_k^I = \{\mu(p_i^I)\}$, $\mu(p_i^I)$ - маркування i -ї вхідній позиції правила, включаючи позицію p' , $i = 1, N^I + 1$.

Умову спрацьовування продукції типу "I" можна виразити таким чином

$$(\forall 1_k) (\exists \mu_k^I) (rk \in R, \mu_k^I \in M_k^I): \sum \mu(p_{ki}^I) + \mu(p_k') \geq N_k^I + 1; (p_{ki}^I) \in P_k^I, \quad (7)$$

де R - множина продукцій.

Функція наступного стану, застосована до правилом «I», відобразить маркування μ^I в μ^I : $\mu^I = \delta(\mu^I, r)$. В результаті вектор μ^I отримає все нульові значення елементів, а вектор μ_k^o матиме вигляд

$$\mu_k^o = \{\mu_{ki}^o\} (\forall \mu_{ki}^o) (\mu_{ki}^o = 1), j = 1, N^o.$$

Визначимо оціночні характеристики фішок в вихідних позиціях правила. Прийемо, що вага кожної фішки в вихідних позиціях $p_i^o \in m_p^o$, тоді для продукції типу «I» ця вага визначиться через ваги фішок у вхідних позиціях m_p^I

$$m_p^o = \prod m_{ip}^I. \quad (8)$$

Мережа Петрі, відповідна продукції типу «АБО», має наступний закон спрацьовування

$$(\forall 1_k) (\exists \mu_k^I) (r_k \in \mu_k^I \in M_k^I): \sum \mu(p_{ki}^I) + \mu(p_k') \geq 2; p_{ki}^I \in P_k^I. \quad (9)$$

Функція наступного стану, що застосована до правилу «АБО», також відобразить вектори маркувань вхідних і вихідних позицій в нові стани

$$\mu^I = \delta(\mu^I, r), \quad (10)$$

$$\mu^o = \delta(\mu^o, r). \quad (11)$$

Слід зазначити специфіку роботи правила типу «АБО». Продукція типу «АБО» вважається

спрацювала, коли спрацював хоча б один перехід з безлічі переходів $t = \{T\}$ і є фішка в службовій позиції p' . Тут також визначимо оціночні характеристики фішок в вихідній позиції. Зберігаючи прийняті позначення для продукції типу «АБО» отримаємо

$$m_p^o = 1 - \prod (1 - m_{ip}^l). \quad (12)$$

Зазначимо, що під час підрахунку результуючих ваг фішок додаткові позиції не враховуються.

Розглянемо тепер можливість злиття продукцій для побудови продукційної мережі. Така мережа утворюється при злитті вихідних позицій одних продукцій з вхідними позиціями інших. Нехай $P_a = \{p_{a1}, p_{a2}, \dots, p_{am}\}$ і $P_b = \{p_{b1}, p_{b2}, \dots, p_{bm}\}$ - дві множини позицій які зливаються. Спочатку кожна позиція з P_f копіюється m раз, а кожна позиція з P_b - n раз. Позиції копіюються разом з їх маркуванням і інцидентними дугами. Потім кожна пара позицій (p_{ai}^i, p_{bi}^i) замінюється новою позицією $p = p_{ai} \cup p_{bi}$ з маркуванням $\mu(p) = \mu(p_{ai}) + \mu(p_{bi})$ і відповідними інцидентними дугами.

Прийняте трактування змісту і ролі додаткових позицій p' правил виділяє їх з процесу злиття. Перед початком нового циклу в усі додаткові позиції поміщається по одній фішці. При необхідності повторної ініціалізації одного або групи правил заново ініціюються їх додаткові (службові) позиції. У продукційній мережі спрацьовують всі правила, які можуть спрацювати, чим забезпечується паралелізм і адекватність модельованим процесам логічного висновку. Злиття позицій продукцій відповідає операції конкатенації на мережах Петрі. Оскільки кожна з продукцій є мережею Петрі зі своєю мовою, то мова

$$L_1 \dots L_N = \{X_1 \dots X_N | X_1 \in L_1, \dots, X_N \in L_N\}, \quad (13)$$

є конкатенацією мов L_1, \dots, L_N , також є мовою мережі Петрі [7]. Узагальнюючи сказане, можна формально визначити мережу продукцій, побудовану на базі мережі Петрі, як множину продукцій, об'єднаних за описаними вище правилами

$$R_C = (R), \quad (14)$$

де $R = \{r_1, \dots, r_N\}$ - множина продукцій мережі, N - кількість продукцій в мережі.

Завдання досяжності для всіх вихідних позицій з множини P^o зводиться до з'ясування питання спрацьовування правил, обумовлене структурою мережі і їх поточним маркуванням. Завдання досяжності для вхідних позицій обумовлене як початковим маркуванням, так і специфікою зв'язку продукцій. У мережі не можуть виникати тупики в світлі прийнятої інтерпретації маркування. Тому будь-який перехід є потенційно реалізованим і, в принципі, можливе створення певної структури мережі для забезпечення деякого наперед заданого маркування.

Отримані структурно-функціональні моделі дозволяють здійснити уніфікацію математичних моделей продукцій на основі теоретико-множинної інтерпретації. Розробимо уніфіковану структурно-логічну модель продукційної форми репрезентації професійних знань. За основу візьмемо модель кластера семантичної мережі.

Введемо формальне правило подання продукції: продукція R - це множина кластерів

$$N_S^{Clust} = \{N_{Si}^{Clust}, i = 1, n^{Clust}\}$$

семантичної мережі N_S , таких, що

$$\forall (N_{Si}^{Clust}) (N_{Si}^{Clust} \in N_S^{Clust} \wedge N_S^{Clust} \subseteq N_S)$$

і пов'язаних між собою таким співвідношенням

$$R : \text{Lop}_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust}, \quad (15)$$

де Lop - логічна операція, зв'язка - AND (\wedge) або OR (\vee), які стосуються перших $n-1$ кластерів семантичної мережі. Операція NOT (\neg) застосовується при $n=1$ і зазвичай в базах знань імплементується в смислову умовну компоненту (антецедент) продукції; \rightarrow - логічна операція імплікації [8, 9].

Вводячи логічні зв'язки кон'юнкції і диз'юнкції, можна записати для продукції типу «І»

$$R : N_{S1}^{Clust} \wedge N_{S2}^{Clust} \wedge \dots \wedge N_{Sn-1}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust} \text{ або } R : \bigwedge_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust}; \quad (16)$$

для продукції типу «АБО»

$$R: N_{S1}^{Clust} \vee N_{S2}^{Clust} \vee \dots \vee N_{Sn-1}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust} \text{ або } R: \bigvee_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust}. \quad (17)$$

Під активізацією або актуалізацією семантичної мережі (її кластера, сегмента) будемо розуміти внесення семантичної мережі (або її ідентифікатора) в контрольовану область пам'яті («дошку оголошень») для її участі в операціях інтелектуальної системи [10–12].

Прийmemo, що при інтерпретації кластерів семантичної мережі кожен кластер мережі розглядається як одна лінгвістична константа або значення лінгвістичної змінної при будь-яких операціях в рамках діючої формальної системи. Для практичної реалізації обсяг кластерів семантичної мережі може виявитися досить значним, тому доцільно використовувати ідентифікатори кластерів або індекси кластерів, отримані їх динамічної сепарацією з урахуванням відповідних контекстів. Графічна ілюстрація запропонованої моделі продукції приведена на рис.2.

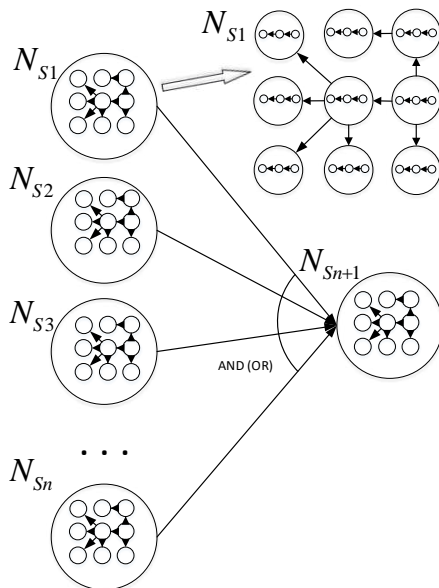


Рис. 2. Модель продукції на основі кластерів семантичної мережі

будови продукції на базі кластерів семантичної мережі.

Основний кінцевий термінальний алфавіт продукції являє собою множину кластерів семантичної мережі рівня бази знань

$$\begin{aligned} \Sigma = A_i = \{ \varepsilon_j \} \cup N_S^{Clust}, \\ N_{Si}^{cj} \in N_S^{cj}, \\ N_S^{cj} \subseteq N_S. \end{aligned}$$

При побудові продукції необхідно користуватися тільки кластерами з даного алфавіту. Наприклад, для c_i -го контексту:

$$N_S^{Cj} = \{ N_{Sk}^{Cj} / k = 1, n_N \},$$

де n_N – кількість кластерів, пов'язаних з c_j -м контекстом.

Як було зазначено вище, формалізуємо основну частину продукції – її ядро.

Введемо інтерпретацію семантичної мережі продукції N_S як мережі кластерів, засновану на формалізмі семантичних мереж:

$$N_S = \langle N_S^{Clust}, I^{Clust}, G^{Clust} \rangle, \quad (19)$$

де $N_S^{Clust} = \{ N_{Si}^{Clust}, i=1, n^{Clust} \}$ – множина кластерів (концептів), що утворюють семантичну мережу продукції; $I^{Clust} = \{ i_l, l=1, n_l \}$ – множина зв'язків між кластерами N_{Si}^{Clust} (концептами); $G^{Clust} = \{ g_q, q=1, n_q \}$ – множина відображень інцидентності множини зв'язків на множину кластерів (концептів).

У формулі (19) компоненти моделі мають такий оригінальний зміст. Зв'язки між кластерами семантичних підмереж $I^{Clust} = \{ i_l, l=1, n_l \}$ означають з'єднання повністю ідентичних висловлювань з фактів, що відносяться до різних кластерів. Тобто i^{Clust} можна визначити, як

На рис. 2. проілюстрована детальна схема продукції, що показує наявність семантичних мереж в її вузлах [13].

Спрацьовування продукції (логічна реалізація імплікації) відбувається на основі обчислення (антецедента) – логічних виразів

$$\bigwedge_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \text{ або } \bigvee_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust}.$$

У разі істинності результату виразу в контрольовану область пам'яті («дошку оголошень») заноситься консеквент продукції – N_{Sn}^{Clust} .

Як відомо, в загальному випадку продукційна модель задається кортежем наступного вигляду [14, 15]

$$R = \langle S, L, A \rightarrow B, Q \rangle, \quad (18)$$

де S – клас ситуацій, для яких продукція R є адекватною; L – умова спрацьовування продукції; $A \rightarrow B$ – ядро (структура) продукції; Q – неформальне обґрунтування продукції.

Формалізуємо основну частину продукції – її ядро, взявши за основу запропоновану в роботі концепцію по-

$$\forall (s_i, s_k \mid s_i \in f_i \in N_{S_i}^{Clust}, s_k \in f_k \in N_{S_k}^{Clust}), (s_i = s_k) i^{Clust} : (s_i, s_k) \rightarrow s, \quad (20)$$

де відображення інцидентності має вигляд

$$g_q: c_i = (s), s \in f_i \wedge s \in f_k. \quad (21)$$

Таким чином, синтез продукції в рамках розробленої теоретико-множинної інтерпретації описується, як процедура конкатенації множин кластерів підмножин семантичної мережі БЗ, що відповідають такій умові:

$$\exists (N_{s_1}^{Clust}, \dots, N_{s_{n-1}}^{Clust}, N_{s_n}^{Clust}) \left(\bigcap_{k=1}^{n-1} N_{s_k}^{Clust} = s_{s_n} \right) \vee \left(\bigcap_{k=1}^{n-1} N_{s_k}^{Clust} = s_{a_n} \right) \rightarrow \\ N_{s_1}^{Clust}, \dots, N_{s_{n-1}}^{Clust}, N_{s_n}^{Clust} \in R \quad (22)$$

Після об'єднання кластерів і створення продукції, остання буде являти собою оргграф наступного виду

$$R = G_{Clust}, G_{Clust} = \{V(G_{Clust}), A(G_{Clust})\}, \quad (23)$$

де $V(G_{Clust})$ – множина кластерів семантичної мережі, $V(G_{Clust}) = N_S^{Clust} = \{N_{S_k}^{Clust}, k=1, n_{Clust}\}$; $A(G_{Clust})$ – множина зв'язків між кластерами.

Введемо для об'єднання кластерів G_{Clust} (як для оргграфа продукції) окрему інтерпретацію проходження вершин, яка залежить від умов завдання і, в загальному випадку, може бути довільною

$$I^{Clust} = (P_s^{Clust}, P_e^{Clust}),$$

де P_s^R – інцидентор початкових вузлів (кластерів) дуг продукції, $P_s^R(N_{S_k}^{Clust}, N_{S_{k+1}}^{Clust})$; P_e^R – інцидентор кінцевих вузлів (кластерів) дуг продукції, $P_e^R(N_{S_k}^{Clust}, N_{S_{k+1}}^{Clust}) = s_i^{ci}, s_i^{ci} \in N_{S_n}^{Clust}$.

Тепер загальна формальна модель графа продукції R

$$G^R = \{V(G^{Clust}), A(G^{Clust}), I^R\}, \\ G^R = \{V(G^{Clust}), A(G^{Clust}), P_s^R, P_e^R\}. \quad (24)$$

Розробимо формальну мову продукції.

Так як інтерпретація продукції залежить від контексту, то при побудові формальної мови необхідне урахування груп (класів) контекстів. Визначимо множину контекстів для інтерпретації продукції

$$C^R = \{c_i \mid i=1, n_c\}, \quad (25)$$

де n_c – кількість контекстів (предметних областей).

Множина класів контекстів для продукції

$$G^{Rc_i} = \{g_m^{Rc_i} \mid m=1, n_g\},$$

де n_g – кількість класів контекстів.

Тоді кластер семантичної мережі продукції, пов'язаний з c_i -м контекстом:

$$N_R^{ClustC_i} = G_R^{c_i} = \{V(G_{Clust}), A(G_{Clust})\}, N_R^{c_i} \subset N.$$

З огляду на можливість класифікації сегментів (кластерів) семантичної мережі продукції за контекстами g_m^{sci} можна записати

$$N_R^{ClustC_i} = \{\{R_{1gcj}^{ci}\}, \{R_{2gcj}^{ci}\}, \dots, \{R_{mgcj}^{ci}\}, \dots, \{R_{ngcj}^{ci}\}\}, \quad (26)$$

де $\{R_{mgcj}^{ci}\}$ – продукційне правило, утворює сегмент (кластер) семантичної мережі і відповідає класифікаційній ознаці g_m^{ci} .

Прийmemo, що БЗ нормалізована, і виділені кластери мережі не дублюються, тоді властивості продукцій повинні бути наступними

$$N_R^{C_i} = R_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cup R_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup R_{ng_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcup_{m=1}^{n_g} R_{mg_m^{c_i}}^{c_i}, \quad (27)$$

$$R_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cap R_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap R_{ng_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcap_{m=1}^{n_g} R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} = \emptyset, \quad (28)$$

$$\forall R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} (R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \subseteq N_R^{C_i}), \quad \forall R_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \forall R_{qg_m^{c_i}}^{c_i} (R_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \neq R_{qg_m^{c_i}}^{c_i}), \quad (29)$$

Вираз (27), по суті, описує продукційну мережу $N_R^{C_i}$ C_i -го контексту, по відношенню до якої можливе здійснення індуктивних або дедуктивних висновків.

$$L(G)_{g_m^{C_i}}^{R_{C_i}} = \langle \Sigma_{g_m^{C_i}}^R, N_{g_m^{C_i}}^R, P_{g_m^{C_i}}^R, S_{g_m^{C_i}}^R \rangle, \quad (30)$$

де G – формальна граматики продукційної мережі; Σ^R – основний кінцевий термінальний алфавіт продукційної мережі; N^R – допоміжний кінцевий нетермінальний алфавіт; P^R – правила підстановки (продукції) формальної граматики мережі; $\exists a, \exists b, (a, b) \in P^R: a \rightarrow b$; S – стартовий нетермінальний символ граматики G ; $N^R \cap \Sigma^R = \emptyset$ і $P^R \subset ((N^R \cup \Sigma^R)^+ \times (N^R \cup \Sigma^R)^*)$.

Тепер задамо правила формальної граматики P на продукційної мережі для мови $L(G)_{g_m^{C_i}}^{R_{C_i}}$:

$$N^P \rightarrow P_{g_m^{C_i}}^R \mid P_{g_m^{C_i}}^R [P_{g_m^{C_i}}^R],$$

$$P^R \rightarrow N_{Ra}^{Clust} N_{Rc}^{Clust},$$

$$N_{Ra}^{Clust} \rightarrow N_{sa} \mid [N_{sa}],$$

$$N_{Rc}^{Clust} \rightarrow N_{sc},$$

де $P_{g_m^{C_i}}^R$ – продукція мережі. Якщо ознакою сегментації є контекстна ознака $g_m^{C_i}$, то $N^{P_{C_i}} = N_{mgi}^{P_{C_i}}$; N_{Ra}^{Clust} , N_{Rc}^{Clust} – відповідно кластери семантичних мереж, задані як антецедент і консеквент продукції; N_{sa} – семантична мережа, віднесена до кластера мереж антецедента; N_{sc} – семантична мережа, віднесена до кластера мережі консеквента.

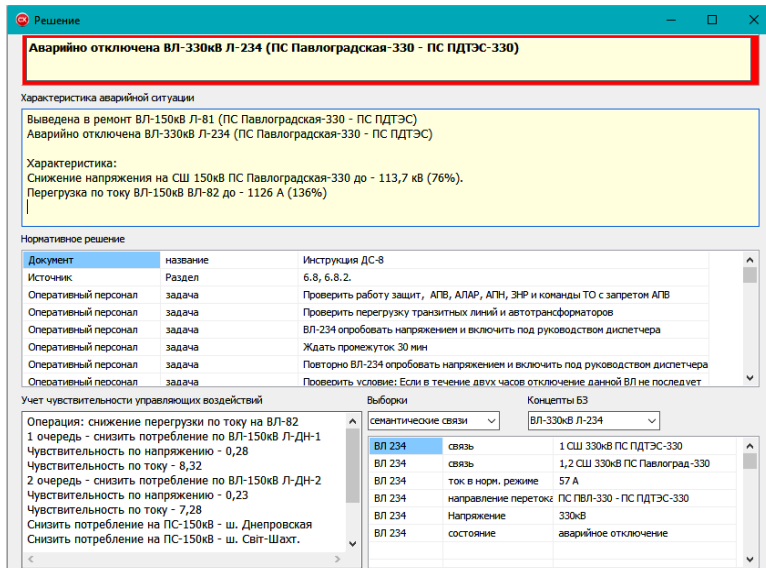


Рис. 3. Форма результатів аналізу аварійної ситуації і генерації протиаварійних рекомендацій

функціонує відповідно до розроблених структурно-логічних моделей і підтверджує їх практичну працездатність в промислових умовах.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті дослідження можливості побудови продукційних мереж на базі апарату мереж Петрі та їх програмної реалізації можна зробити висновок про те, що апарат мереж Петрі є простим і досить універсальним засобом опису і програмної реалізації побудованих на його основі ситуаційних моделей. Розглянутий підхід до синтезу структури правил не накладає обмежень на вихідний вид експертної інформації і не вимагає її формалізації. Отримана модель має розвинений математичний апарат і теоретичну базу для аналізу і прогнозування безлічі станів логічної системи. У подальших дослідженнях планується оцінити можливості застосування запропонованих математичних моделей в різних професійних областях і в умовах обмежень різного характеру.

Список літератури

1. Сулейманов В.Н., Котов И.А. Инструментальная реализация модели продукционного представления знаний // В.Н. Сулейманов, И.А. Котов – Энергетика и электрификация – 1991 – № 2 – С. 53 – 55.

На основі розроблених математичних моделей був реалізований програмний комплекс системи підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу для управління режимом енергосистеми в аварійній ситуації. Формування бази знань для програмного комплексу приведено в [16]. Програмна форма результатів аналізу аварійної ситуації і генерації протиаварійних рекомендацій приведена на рис. 3.

На основі аналізу результатів тестування розробленого програмного комплексу СППР можна зробити висновок про те, що СППР відповідає всім вимогам, сформульованим у роботі,

2. **Осипов В.П., Сивакова Т.В., Судаков В.А., Нечаев Ю.И.** Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений / В.П.Осипов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша – 2018 – № 205 – 23 с.
3. **Рассел С., Норвиг П.** Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг; пер. К.А. Птицын – 2-е изд. – М.: Вильямс – 2018 – 1407 с.
4. **Vajgl M., Lukasová A., Žáček M.** Knowledge bases built on web languages from the point of view of predicate logics / M. Vajgl, A. Lukasová, M. Žáček – AIP Conference Proceedings 1836, Vol. 020058 – 2017 – 11 p.
5. **Devillers R., Hujsa T.** Analysis and Synthesis of Weighted Marked Graph Petri Nets. In: Khomenko V., Roux O. (eds) Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. PETRI NETS 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 10877. Springer, Cham. – 2018 – P. 19-39.
6. **Ochoa M.P., Davila J.** Modeling of an automated integral logistics system using colored petri nets // M.P. Ochoa, J. Davila – Ingeniería y competitividad, Vol. 21, No. 1 – 2019 – 15 p.
7. **Buchs D., Kliekovič S., Linard A.** Petri Nets: A Formal Language to Specify and Verify Concurrent Non-Deterministic Event Systems. In: Carreira P., Amaral V., Vangheluwe H. (eds) Foundations of Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems. Springer, Cham. – 2020 – pp 177-208.
8. **Detlovs V., Podnieks K.** Introduction to Mathematical Logic / Vilnis Detlovs, Karlis Podnieks – Riga: University of Latvia – 2017 – 238 p.
9. **Leary C.C., Kristiansen L.** A Friendly Introduction to Mathematical Logic. 2nd Edition. Milne Library, SUNY Geneseo, Geneseo, NY – 2015 – 365 p.
10. **Дарчук Н.П.** Можливості семантичної розмітки корпусу української мови (кум) // Н.П. Дарчук – Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Вип. 15, Серія 9. Сучасні тенденції розвитку мов – 2017 – С. 18–28.
11. **Голенков В.В. и др.** Семантическая модель представления и обработки баз знаний / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, И.Т. Давыденко, Д.В. Шункевич – Труды XIX Международной конференции «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» (DAMDID/ RCDL'2017), Москва, Россия, 10–13 октября – 2017 – С. 334–341.
12. **Дородных Н.О., Юрин А.Ю., Коршунов С.А.** Средства поддержки моделирования логических правил в нотации RVML / Н.О. Дородных, А.Ю. Юрин, С.А. – Программные продукты и системы / Software & Systems – No. 4(31) – 2018 – С. 667–672
13. **Моркун В.С., Котов І.А.** Моделі інкорпорації професійних онтологій для інтелектуалізації управління режимами енергосистем: монографія / В.С. Моркун, І.А. Котов – Кривий Ріг: Редакційно-видавничий відділ ДВНЗ «КНУ», 2020 – 210 с.
14. **Kang J.A., Cheng A.M.K.** Shortening matching time in OPS5 production systems / J.A. Kang // IEEE Transactions on Software Engineering – 2004 – Vol. 30, Issue 7 – P. 448–457
15. **Milani M.M.R., Hosseinpour S., Pehlivan H.** Rule-Based Production of Mathematical Expressions / M.M.R. Milani, S. Hosseinpour, H. Pehlivan – Mathematics – 2018 – No.6(254) – 19 p.
16. **Morkun V.S., Kotov I.A.** Knowledge base formation for automation of dispatch control over power systems of the mining and metallurgical complex // V.S. Morkun, I.A. Kotov – Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – №4 – 2021 – P. 103–109

Рукопис подано до редакції 09.04.2021

УДК 624.15.001

В.Г. ШАПОВАЛ, д-р техн. наук, проф., Д.О. ШАШЕНКО, канд. техн. наук, доц.
 Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
 І.О. ПОНОМАРЕНКО, здобувач,
 Черкаський державний технологічний університет

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТНИХ УТРИМУЮЧИХ СПОРУД

Мета. Визначити єдину методику, яка дозволить розрахувати конструктивні параметри дискретних утримуючих споруд.

Методи дослідження. У роботі виконано теоретичні дослідження геомеханічних процесів з використанням аналітичних і чисельних математичних методів. Аналіз і узагальнення результатів теоретичних досліджень.

Наукова новизна. Запропоновано нову методику, що дозволяє розраховувати конструктивні параметри дискретних протизсувних утримуючих конструкцій при одночасній оцінці стійкості ґрунту, який знаходиться між його елементами.

Практична значимість. Викладені в даній роботі матеріали досліджень дозволяють при проектуванні протизсувних дискретних споруд обґрунтовано розрахувати такі параметри:

- відстань, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;
- оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;
- відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції;