

ОБ'ЄКТНО-КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Анотація

В статті описано особливості побудови інформаційної складової системи керування електропостачанням. Обґрунтовано доцільність використання об'єктно-когнітивного підходу до керування, що дозволяє оцінити поточний стан системи електроживлення, а також підвищити якість керуючих рішень в гетерогенній інфраструктурі систем електропостачання.

Ключові слова: система електроживлення, об'єктно-когнітивний підхід, онтологія, прецедент.

Аннотация

В статье описаны особенности построения информационной составляющей системы управления электропитанием. Показано преимущество использования объектно-когнитивного подхода при управлении, что позволяет оценивать текущее состояние системы электропитания, а так же повысить качество принимаемых управляющих решений в гетерогенной структуре системы электропитания.

Ключевые слова: система электропитания, объектно-когнитивный подход, онтология, прецедент.

Summary

The article describes the design features of the informational component of the power management system. The necessity of using object-cognitive approach is shown, which allows evaluating the instantaneous status of the electric power supply system and increases the quality of decisions in the heterogeneous structure of the power supply system.

Keywords: power grid, object-cognitive approach, ontology, case-base reasoning.

Вступ. Сучасний стан енергетики вимагає розробки нових ефективних підходів до скоординованого керування процесами генерації, перетворення, накопичення та споживання електричної енергії в енергетичних системах [1,2]. В зв'язку з необхідністю економії енергії невідновлюваних джерел, запаси яких поступово вичерпуються, все частіше використовуються

відновлювані джерела енергії (ВДЕ), технічний потенціал яких в перспективі дозволяє мінімізувати використання електростанцій на викопному паливі. Однак їх практичне використання має ряд особливостей, пов'язаних з нестабільним обсягом генерованої енергії і низькою питомою потужністю, що вимагає модернізації інфраструктури існуючих мереж, спрямовану на забезпечення узгодженої роботи необмеженої кількості різнотипних джерел енергії, які представляють собою розосереджену систему електроживлення, на спільне навантаження.

Керування розосередженими системами електроживлення.

Інтеграція різнотипних джерел енергії в єдину мережу здійснюється на основі концепції активно-адаптивного керування SmartGrid [3]. Реалізацією основних принципів побудови розосереджених систем електроживлення, сконфігурованих за технологією SmartGrid займається ряд відомих фірм. Cisco і Siemens виготовляють телекомунікаційне обладнання, ABB і Eaton - силове [4]. При застосуванні технології SmartGrid здійснюється узгоджене керування електротехнічним устаткуванням мережі за допомогою перетворювачів електричної енергії в єдиному інформаційному просторі [3].

На відміну від звичайних перетворювачів електроенергії, для керування якими використовуються моногенні дані, такі як струм або напруга, процес керування SmartGrid ґрунтується на вимірюванні і обробці гетерогенних даних навколишнього середовища, наприклад потужності сонячного випромінювання, швидкості вітру, температури, вологості, параметрів режимів роботи електротехнічного устаткування, серед яких можна виділити просторовий розподіл джерел енергії та їх вихідну потужність, запас енергії в системі акумулювання енергії, рівень втрат в мережі, потужність споживання навантажень.

Регулювання режимів електроживлення на основі законів неперервного керування ускладнюється змінною структурою мережі і великим обсягом контекстних даних, тому разом з методами неперервного керування доцільно використовувати знання експертів, які задаються у формі продукційних

правил на основі статистичних даних, отриманих в мережах з аналогічною топологією.

Інтеграція продукційних правил, створених експертами і користувачами здійснюється на основі знань про структуру і параметри системи електроживлення, для чого вводять поняття класу – групи об'єктів, які мають спільні ознаки, які описують їх математичними моделями і набором зв'язків і утворюють онтологічну базу знань системи електроживлення [5]. Для пошуку одного з оптимальних рішень з керування системою електроживлення на логічному рівні доцільно використовувати об'єктно-когнітивний підхід [6], який містить наступні види аналізу:

1) об'єктно-орієнтований аналіз, для якого використовується словник основних понять у вигляді класів;

2) онтологічний аналіз, використовуваний для формування знань у вигляді семантичної моделі мережі, в основі яких лежить опис процесу керування в термінах класів, зв'язків і дій над ними;

3) когнітивний аналіз, який застосовується для побудови когнітивних моделей прийняття рішень у вигляді орієнтованого графа, в якому вершини відповідають класам (об'єктам), а дуги - зв'язкам між класами (властивостям), залежно від характеру причинно-наслідкових відносин.

Об'єктно-когнітивний підхід дозволяє описати процеси в мережі електроживлення на семантичному рівні з використанням предикатних зв'язок клас-властивість (рис. 1.). На основі семантичної моделі мережі, в яку входять класи з певним набором властивостей і відносин можливо формувати логічні правила з керування мережею, що дозволить визначати режими роботи електротехнічного устаткування, і утворити логічно-продукційну частину ієрархічної системи керування. Перехід на безперервний рівень керування здійснюється за допомогою прецедентів [6] - описів «події» або «випадку» в сукупності з детальним зазначенням дій, що вживаються в даному конкретному випадку.

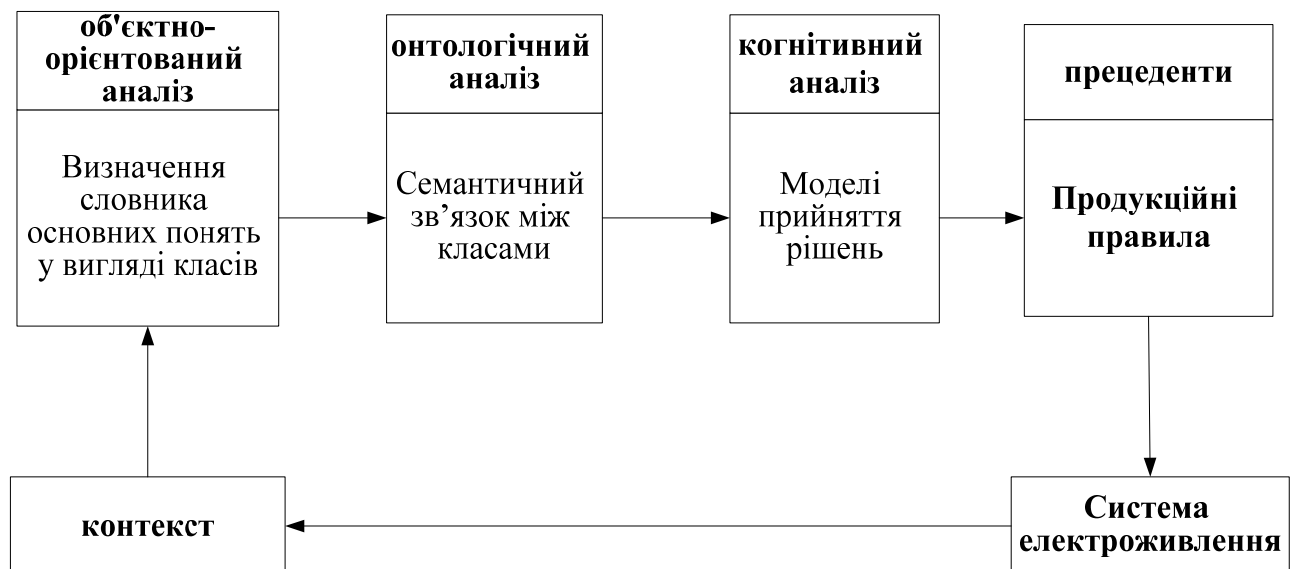


Рис.1. Послідовність обробки даних при об'єктно-когнітивного підході

Система керування регулює значення параметрів електроенергії в мережі електроживлення за правилами, які мають наступну структуру:

Якщо: → стан мережі до подачі керуючого впливу. Набір ознак, що визначають приналежність до класу стану;

То:

- 1) логічний (вищий) рівень керування → зміна конфігурації мережі та / або режимів роботи електротехнічного устаткування;
- 2) безперервний (нижчий) рівень керування → формування задавального впливу окремими перетворювачами електричної енергії.

Зазначений підхід дозволяє задіяти інтелектуальні методи обробки даних у процесі регулювання, спростити масштабування і підвищити ефективність керування розосередженою мережею електроживлення.

Для наповнення продукційних правил створених експертами числовими контекстними даними, використовуються прецеденти, тобто набори контекстних даних, які характеризують режим роботи системи електроживлення, що мав місце раніше і може бути адаптованим та повторно використаним для керування в поточному режимі роботи.

Процедура вибору режиму роботи системи електроживлення складається з наступних етапів:

- 1) знаходження найбільш подібного прецеденту до поточного режиму роботи системи електроживлення з набору збережених даних;
- 2) повторне використання обраного прецеденту для вибору раціонального режиму роботи за вартісним критерієм;
- 3) аналіз та адаптація отриманого рішення до поточного режиму роботи;
- 4) збереження адаптованого рішення як частину нового прецеденту в базі знань (БЗ).

Тому, в системі керування електроживленням, окрім контекстних даних, використовуються дані про структуру системи електроживлення, яка описується онтологією системи електроживлення ($\text{Onto}^{\text{domain}}$), знання експертів, які описуються у онтології продукційних правил ($\text{Onto}^{\text{rules}}$) і використовуються для керування системою електроживлення на основі онтології прецедентів (Onto^{cbr}) [6], які разом утворюють онтологічну БЗ.

Основна відмінність запропонованої онтологічної БЗ від вже існуючих [6] - це інтеграція методів штучного інтелекту, що дозволяють поєднати логічний висновок [6,7] на основі $\text{Onto}^{\text{domain}}$ з виведенням прецедентів Onto^{cbr} і з продукційними правилами $\text{Onto}^{\text{rules}}$. Онтології ($\text{Onto}^{\text{domain}}$), (Onto^{cbr}) і ($\text{Onto}^{\text{rules}}$) утворюють онтологічну БЗ системи електроживлення (Onto^{DK}).

$$\text{Onto}^{\text{DK}} = \langle \text{Onto}^{\text{domain}}, \text{Onto}^{\text{cbr}}, \text{Onto}^{\text{rules}} \rangle$$

Основний зміст розроблюваної онтологічної бази знань системи керування електроживленням відображено в фактах і аксіомах, які містять інформацію про класи, екземпляри класів і атрибути. Процес формалізації онтологічної БЗ здійснюється за допомогою попередньої ідентифікації ієрархії структури системи електроживлення, що складається з класів та їх зв'язків, та поділяється на наступні підетапи:

1) Отримання знань про систему електроживлення на основі математичних моделей систем генерування енергією та перетворювачів, які до них під'єднані;

2) Аналіз набутих знань;

3) Ідентифікація списку класів контекстних даних, а також властивостей і відношень між ними.

На основі вказаних підетапів формується онтологія верхнього рівня – Onto^{DK} , яка містить наступні основні класи, які відповідають типам контексту: час, локація, користувач, навколишнє середовище, інфраструктура.

Онтологічна база знань системи електроживлення. Onto^{DK} побудована відповідно до загальних вимог, які висуваються до проектування онтологій [6] і має таку структуру:

$$\text{Onto} = \langle C, I, R, V, A \rangle,$$

де Onto – онтологія, C – класи онтології, I – екземпляри класів онтології, $R = \{W, S, P\}$, V – значення атрибутів (параметри контексту), A – продукційні правила $\text{Onto}^{\text{rules}}$, W – парадигматичні відношення: причинно-наслідкові, відношення узагальнення та агрегації, S – синтагматичні відношення, задані дескриптивною логікою, P – властивості класів або екземплярів, наприклад, «використовує», «містить» і т.д. Кожен клас може мати будь-яку кількість відношень з іншими класами.

Для підвищення семантичної однозначності онтології використовується поняття «Концептуальна структура», що використовується для семантичної візуалізації онтології системи електроживлення, а також дозволяє наочно уявити класи, їх атрибути, значення та властивості (рис. 2).

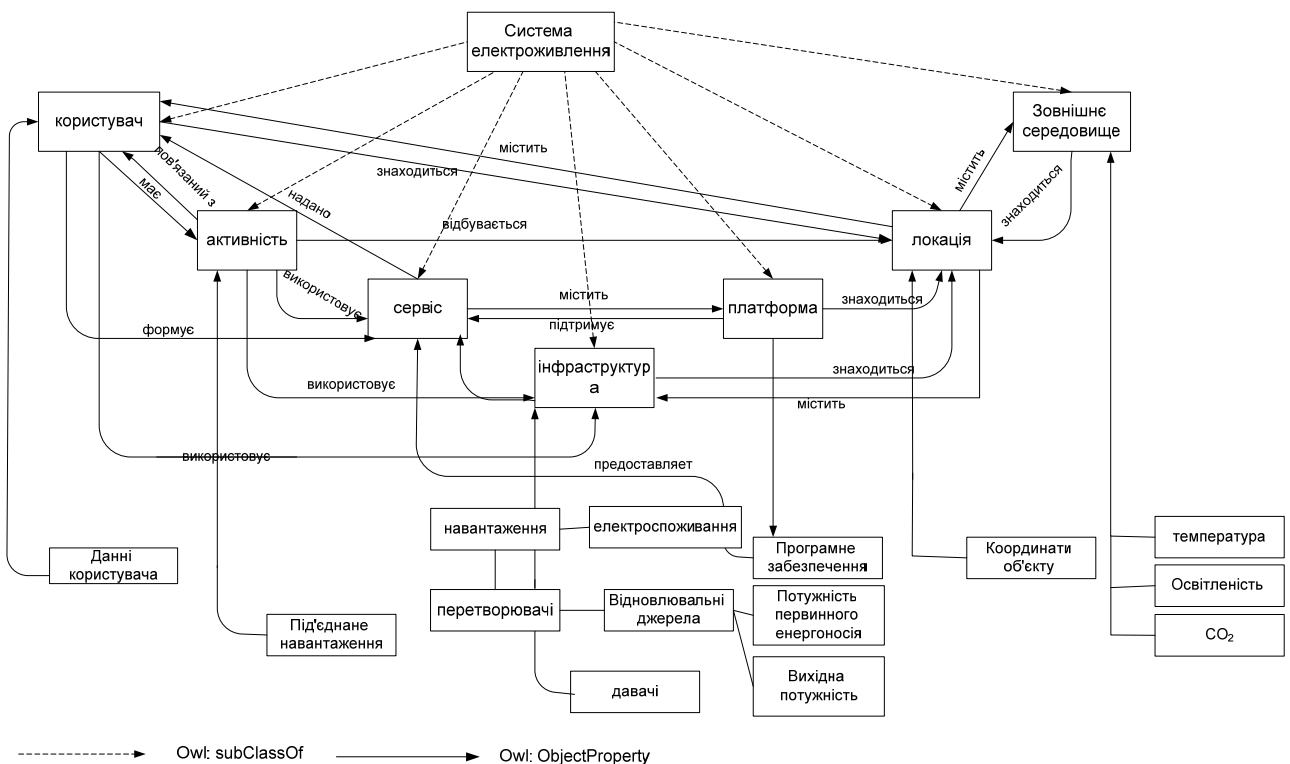


Рис. 2 - Концептуальна структура онтологічної бази знань

На рисунку 2. показана онтологія системи керування електроживленням. На першому рівні знаходяться класи верхнього рівня онтологічної БЗ Onto^{DK} : користувач, активність, сервіс, інфраструктура, платформа, локація, зовнішнє середовище. З кожним з цих класів згідно з ієрархічним принципом керування, пов'язані підкласи, що представляють доменний рівень онтології, а саме $\text{Onto}^{\text{domain}}$, що містять знання про специфіку конкретного об'єкту системи електроживлення, наприклад, житловий будинок.

Онтологія прецедентів. В основі онтології прецедентів Onto^{cbr} лежить процедура логічного виведення, що враховує знання експертів [7,8]. Прецеденти описуються у вигляді об'єктів, виражених через сукупність параметрів опису правила керування електроживленням:

Прецедент = «Опис, Рішення».

Прецеденти представлені класами онтологічної БЗ. Вони формуються на підставі параметрів контексту з різних давачів, що фіксують стан системи електроживлення. «Опис» прецеденту умовно розділено на три частини:

- 1) онтологія $\text{Onto}^{\text{domain}}$, яка містить дані про структуру системи електроживлення;
- 2) оброблені контекстні дані, що входять до класів - локація, користувач, інфраструктура, час тощо;
- 3) правила керування електроживленням, як успішні, так і неуспішні, представлені у вигляді сценаріїв керування перетворювачами, які виконувалися у подібному режимі роботи.

У полі «рішення» прецеденту зберігається інформація про реакцію системи керування електроживленням на застосування правила керування і про досягнутий результат. Для фіксації результату кожному прецеденту присвоюється відповідний коефіцієнт достовірності.

Онтологія прецедентів Onto^{cbr} є онтологію нижнього рівня відносно Onto^{DK} і умовно відділена від $\text{Onto}^{\text{domain}}$. Onto^{cbr} можна представити у вигляді мережі, вузлами якої є прецеденти $I^{\text{cbr}} \in \text{Onto}^{\text{cbr}}$, які в свою чергу містять екземпляри класів $\text{Onto}^{\text{domain}}$ як властивості.

Прецедент містить атрибути екземпляра класу $\text{Onto}^{\text{domain}}$. Схема зв'язків R_c між вузлами-екземплярами класів і вузлами-прецедентами є схемою під'єднання атрибутів, в якій кожен прецедент C^{cbr} успадковує атрибути класів, які в нього входять. Відповідно до структури Onto^{DK} , Onto^{cbr} містить кортеж $\langle C, I, Pr, V \rangle$, де C - множина класів у Onto^{cbr} ; I - екземпляр класу; Pr - властивості класу; V - значення контекстних даних.

Екземпляр i -го класу має вигляд: $I^{\text{cbr}(i)} = \langle \text{category}^i, i_name^i, P^i, Ds^i, Sl^i, Sc^i \rangle$, де category^i - i -й клас режиму роботи системи електроживлення (визначається на підставі онтологічних правил $\text{Onto}^{\text{rules}}$, які були отримані після аналізу контекстних даних, $\text{category}^i \in C^{\text{domain}}$, i_name^i - ім'я i -го прецеденту, $i_name^i \in C^{\text{domain}}$, $P^i = \{i^{\text{ok}}, i^{\text{sm}}, w^{\text{ik}}\}$, $i = 1 \dots m$, m - множина описів прецедентів, w^{ik} - вага простого / складеного атрибута в прецеденті (за

замовчуванням приймається рівним 1), i^{ok} - k-й екземпляр (містить екземпляри класів з властивостями, атрибутами та значеннями i-го прецеденту, взятого з онтології $Onto^{domain}$), $i^{sm} = \langle Pr^i, V \rangle$, $Pr^i = \langle name, type \rangle$, name – ім'я властивості, $type \in C^{domain}$ - тип властивості.

Прецедент на підставі розроблених правил $Onto^{rules}$ відноситься до одного з заздалегідь визначених класів правил керування електроживленням $category^i$ та описується класами з атрибутами в онтології $Onto^{domain}$. Параметри прецеденту використовуються для: 1) опису поточного режиму роботи системи електроживлення Ds^i ; 2) сценарію дій Sc^i ; 3) опису необхідного режиму роботи системи електроживлення Sl^i .

Для написання продукційних правил в $Onto^{rules}$ використовується мова Semantic Web Rule Language (SWRL). Правила мають вигляд: antecedent \rightarrow consequent. Мова SWRL є розширенням OWL DL у вигляді диз'юнктивів Хорна і має наступний синтаксис:

Axiom :: = rule

Rule :: = 'Implies (' Antecedent (' {atom} ') '

Consequent :: = 'Consequent (' {atom} ')',

де Axiom - стандартна аксіома OWL DL, rule - правило, Antecedent - умова в правилі, Consequent – висновок правила. Умова і висновок складаються з атомів (atom).

RuleAn: $C1(?x) \wedge C2(?y) \wedge P1(?x, ?y) \wedge C3(?x, ?z) \rightarrow C2(?z, ?y)$,

де $(C1, C2, C3) \in C$; C – множина класів онтології $Onto^{cbr}$; $P1 \in P$; $?x, ?y$ – екземпляри; $?z$ – змінна, числове значення.

В таблиці 1. наведений приклад правила визначення поточного режиму роботи системи електроживлення, описаного на мові SWRL.

Табл.1. Правила визначення поточного режиму роботи.

Опис правил формалізованою мовою SWRL	Опис правил звичайною мовою
$Stan(?s) \wedge \text{маєОпис} (?s, ?w, ?g) \wedge$ $\text{електроспоживання} (?s, ?w) \wedge$	Якщо в поточному режиму системи

електроживлення(?s,?g) ^ має_поточне_значення_контексту(?g,?w,?a) ^ swrlb:greatThan(?a, ?g) ^swrlb:lessThan(?a, ?w) ^ має_прогнозне_значення_контексту (?g,?w,?t) ^ swrlb:greatThan(?a, ?w) ^swrlb:lessThan(?a, ?g) ^ має_тариф(?s, ?y) ^swrlb:greatThan(?y, 18:00) ^ swrlb:lessThan(?y, 9:00) → перехід_системи_акумуляування_з_режиму_ елетроспоживання_в_режим_електроживлення	електроживлення значення генерованої енергії ВДЕ менше енергії споживання І прогнозне значення електроживлення менше електроспоживання І тариф денний, То- перехідсистеми акумуляування з режиму елетроспоживання в режим електроживлення
---	--

Таким чином, структури $\text{Onto}^{\text{rules}}$ та Onto^{cbr} дають можливість створювати логічні висновки на основі яких приймаються рішення щодо керування системою електроживлення.

Алгоритм пошуку рішення з вибору прецеденту в системі керування електроживленням, показаний на рис. 3.

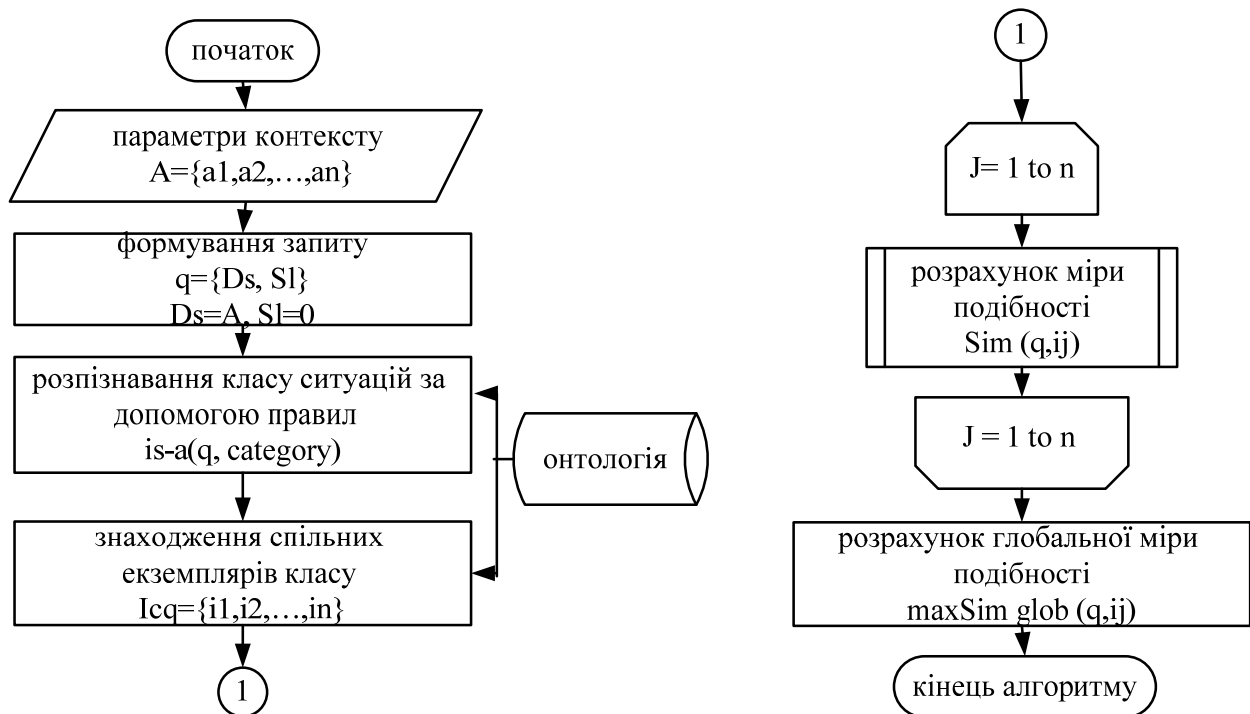


Рис. 3 - Алгоритм прийняття рішення з вибору прецеденту в системі керування електроживленням

При ініціалізації алгоритму створюється запит q , який містить набір екземплярів класів, що відповідає заданим параметрам контексту A бази даних (БД). Спочатку визначається клас PC з використанням розроблених правил класифікації на основі співставлення запиту і класів $Onto^{domain}$, після чого відокремлюються всі екземпляри (I_{cq}) $Onto^{domain}$, що відповідають запиту, та записуються в $Onto^{rules}$. Далі розраховується міра подібності запиту екземплярів в $Onto^{rules}$ з прецедентами-екземплярами $Onto^{cbr}$ на основі зв'язків, визначених у $Onto^{domain}$.

При пошуку враховуються відношення екземпляр-клас (is-a) та частина-ціле (part-of). Відношення «is-a» дозволяє врахувати ступінь таксономічної подібності класів $Onto^{rules}$ та $Onto^{cbr}$ із запитом q . Визначення ступеня подібності «is-a» здійснюється наступним чином:

$$Cs(c_i) = \{c_j \in C : R(c_i, c_j) = "is - a" \vee c_i = c_j\}$$

$$Sim_{is-a}(c_i, c_j) = \frac{|Cs(c_i) \cap Cs(c_j)|}{|Cs(c_i) \cup Cs(c_j)|},$$

де $Cs(c_i)$ – множина класів в онтології $Onto^{domain}$; c_i, c_j – класи в онтологіях $Onto^{domain}$ і $Onto^{cbr}$, які входять в множину C онтології $Onto^{DK}$; R – відношення «is-a» між класами.

Запропоновано також використовувати локальний ступінь подібності для відношення «part-of»:

$$Sim_{po}(q, i_j) = \frac{\sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m fsim_t(a_j^q, a_k^{i_j}) * w_j}{l + m}, t \in T, a \in A,$$

де $a_1^q, \dots, a_j^q, a_1^{i_j}, \dots, a_k^{i_j}$ – атрибути порівнюваних екземплярів з однаковими іменами та типами даних; $k=1, \dots, n$, n – кількість складених ознак в описі прецеденту; l, m – кількість атрибутів у кожному з екземплярів; $fsim_t$ –

функція порівняння атрибутів визначених типів даних T в Onto^{DK} ; w_j – ваговий коефіцієнт атрибута j .

Для порівняння значень атрибутів числових типів використано нормовану дистанцію (відстань Хемінга). Значення атрибутів символічних типів порівнюються поелементно, і залежно від атрибуту використовується чітке порівняння або розраховується кількісний показник ступеня подібності атрибутів. На основі отриманих даних розраховується глобальний ступінь подібності:

$$Sim_I(q, i_j) = Sim_{is-a}(q, i_j) * w_{is-a} + Sim_{po}(q, i_j) * w_{po},$$

де q – запит; i_j – прецедент; w_{is-a} , w_{po} – вагові коефіцієнти відношень «is-a», «part-of».

Запропонований підхід дозволяє співставити поточний стан системи електроживлення з правилами розпізнавання класу ситуацій і обрати необхідний прецедент виходу з неї, що в свою чергу веде до вирішення задачі багаторазового використання знань і інтерактивної взаємодії з користувачем.

Висновки. Результатом впровадження пропонованого об'єктно-когнітивного підходу до керування системою електроживлення є покращення якості прийняття керуючих рішень в гетерогенній інфраструктурі системи.

Онтологічна модель бази знань дозволяє акумулювати знання та досвід користувачів у вигляді ієрархії сутностей системи електроживлення і відношень між сутностями, правил керування перетворювачами в різних режимах роботи.

Розроблений алгоритм пошуку рішень керування перетворювачами електроенергії, дозволяє побудувати за допомогою онтологічної бази знань логічний висновок на основі правил і прецедентів. Перевагою дескриптивної складової алгоритму є використання мір подібності класів онтології та їх властивостей, що дозволяє знаходити найбільш близький прецедент керування перетворювачами.

1. Жуйков В.Я. Формирование синусоидального напряжения разнотипными источниками энергии / Жуйков В.Я., Вербицкий Е.В., Осипенко К.С. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013, № 8(114), Т.2, с. 104-107.
2. Ромашко В.Я. Аналіз втрат енергії в системі відбору максимальної потужності сонячної батареї. // Ромашко В.Я., Вербицкий Є.В., Киричек Є.І. Технічна електродинаміка – 2014, № 4, с. 55-57.
3. Dey A. K. Understanding and Using Context, Personal and Ubiquitous Computing, 2001. Vol. 5, № 1. pp. 4–7.
4. А.В. Кириленко, Ю.И. Якименко, В.Я.Жуйков, С.П. Денесюк Преобразователи параметров электроэнергии в smart системах энергетики. труды института электродинамики.-спец.выпуск. К.: 2010, с. 17.
5. Lasseter R. MicroGrids, IEEE PES Winter Meeting., 2002. - pp.25-26.
6. М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова Системный анализ: проблемы, методология, приложения; НАН Украины; НТУУ "КПИ" ; ННК «ИПСА». - К.: Наукова думка, 2005. - 743 с.
7. Zhuikov, V.; Kyselova, A. Integration of context-aware control system in microgrid, Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference .– Kiev. pp.386-390.
8. Kyselova A. Context data analysis for microgrid control system, Visnyk NTUU “KPI”. Informatics, operation and computer science, 2013, №58 pp.46-50.