

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Кисельова Анна Геннадіївна



УДК 621.314 : 621.316.7

**КОНТЕКСТНО-ЗАЛЕЖНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В
МІКРОГРІД**

Спеціальність 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор
Ямненко Юлія Сергіївна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут» (м. Київ),
професор кафедри промислової електроніки

Офіційні опоненти — доктор технічних наук, професор
Домнін Ігор Феліксович,
Інститут іоносфери Національної академії
наук та Міністерства освіти і науки України
(м. Харків), директор

— кандидат технічних наук,
Лук'яненко Лук'ян Миколайович,
Інститут електродинаміки
Національної академії наук України (м. Київ),
старший науковий співробітник

Захист відбудеться «29» квітня 2014 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.19 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ») за адресою: 03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корп. 12, ауд. 412.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці НТУУ «КПІ» за адресою: 03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «__» березня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.Б.Швайченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження полягає в тому, що сучасний стан енергетики вимагає розробки нових ефективних підходів до скоординованого керування процесами генерації, перетворення, накопичення та споживання електричної енергії в енергетичних системах різних рівнів, зокрема в мікрогрід. Об'єднання електротехнічних пристроїв в єдину систему із забезпеченням заданої якості споживання електроенергії досягається шляхом застосування перетворювальних пристроїв, які дозволяють об'єднати різнорідні за фізичним принципом роботи генератори і споживачі енергії в одну мережу.

В роботах Шидловського А.К., Стогнія Б.С., Кириленка О.В., Сокола Є.І., Михальського В.М., Юрченка М.М., Сенька В.І., Павлова Г.В., Денисова О.І., Домніна І.Ф., Харитоновна С.О., Жуйкова В.Я., Ямненко Ю.С. розроблені основи теорії керування електротехнічними об'єктами, в тому числі з альтернативними і відновлювальними джерелами та напівпровідниковими перетворювачами. В роботах Бідюка П.І., Глушкова В.М., Черняхівської Л.Р., Dey Sigg, Alois Ferscha, Hans-Wemer Gellersen розроблені основи теорії створення інтелектуальних систем керування на основі когнітивного аналізу. Проте ці розробки не вирішують задачі системного керування перетворювачами електричної енергії для невеликих електротехнічних комплексів, таких як мікрогрід, що містять визначену кількість джерел, навантажень та накопичувачів енергії, а також можуть мати зв'язок з зовнішньою електричною мережею. Системне керування має виконувати задачі, пов'язані із прогнозуванням та інтелектуальним реагуванням на дії всіх електроустановок, об'єднаних за допомогою перетворювачів в єдине інформаційне середовище, з метою раціонального використання енергії, оперативного керування штатними та аварійними режимами роботи мікрогрід з урахуванням вимог забезпечення комфортності користувача.

Побудова системи керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії, заснованої на обліку інформації про поточний стан мікрогрід, зібраної у вигляді контексту, не зводиться до побудови декількох систем, які спільно вирішують загальну задачу. По-перше, вплив параметрів контексту таких окремих систем на спільний об'єкт керування може виявитися взаємозалежним і суперечливим, а, по-друге, досить часто можуть зустрічатися ситуації, коли серед параметрів контексту є залежні один від одного. Іншим аспектом, що ускладнює побудову багатопараметричних систем керування, є відсутність можливості пов'язати з кожним елементарним впливом на перетворювач один параметр контексту мікрогрід. Залишається і навіть збільшується та частина проблем побудови систем керування, яка пов'язана зі складністю формалізації контексту і станів мікрогрід.

Розробка контекстно-залежної системи керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід з використанням принципів об'єктно – когнітивного аналізу є актуальною задачею, яка на сьогоднішній день потребує вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі промислової електроніки НТУУ «КПІ» згідно з планами дослідження за темами: НДР «Розробка наукових засад побудови джерел живлення мікроконтролерів для створення нової технології захисту інформації в комп'ютерних мережах» (№ д/р 0109U002766, терміни виконання: 2012-2014 рр.); НДР «Математики з ЄС та України для наук про життя (EUMLS)», що фінансується Єврокомісією за програмою Мобільності Дії Марі Кюрі (номер гранту 295164, терміни виконання: 2012 – 2016 рр.); НДР «Принципи енергоефективного керування електротехнічними пристроями локальних об'єктів та мереж Smart Grid» (№ д/р 0112U002016, терміни виконання: 2012-2014 рр.); НДР «Розробка програмного забезпечення для багатомодуляційних перетворювачів параметрів електроенергії» (№ д/р 0113U007390, терміни виконання: 2013-2016 рр.).

Мета та задачі наукового дослідження. Метою дисертаційної роботи є покращення якості прийняття рішень в контекстно-залежній системі керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в гетерогенній інфраструктурі мікрогрід з використанням принципів об'єктно-когнітивного аналізу.

Поставлена мета вимагає вирішення наступних наукових задач:

1) аналіз та прогнозування контексту мікрогрід, що забезпечить верифікацію даних, на основі яких прийматимуться рішення стосовно керування перетворювачами електроенергії;

2) створення програмного середовища розробки правил керування перетворювачами для різномісних мікрогрід з урахуванням побажань експертів та користувачів;

3) розробка методу прийняття рішень в контекстно-залежній системі керування перетворювачами на основі об'єктно-когнітивного аналізу;

4) розробка онтологічної бази знань та алгоритму, що реалізує запропонований метод прийняття рішень, для формування керуючих впливів на перетворювачі електроенергії із застосуванням моделей подання знань: онтологій, правил і прецедентів;

5) розробка методики створення контекстно-залежної системи підтримки прийняття рішень для керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії.

Об'єктом дослідження є процес керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід.

Предметом дослідження є контекстно-залежна система керування перетворювачами в мікрогрід.

Методи дослідження. Досягнення поставленої мети реалізовано з використанням методів обробки часових рядів, теорії графів, методів інженерії

знань, онтологій, теорії прийняття рішень, дескриптивної логіки, теорії систем масового обслуговування, мережі Петрі.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому, що:

1) запропоновано новий підхід до керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід, якій поєднує силову та інформаційну частини мікрогрід на основі контексту, прогнозування параметрів якого з регуляризацією вибірки членів часового ряду дозволило підвищити якість прийняття рішень з керування;

2) вперше запропоновано використання онтологічного підходу до керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід, що дозволило виявити та врахувати приховані взаємозв'язки та взаємозалежності між класами онтології та зберегти цілісність і несуперечливість знань в процесі їх накопичення, обробки та представлення;

3) вперше запропоновано метод прийняття рішень в контекстно-залежній системі керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід, який дозволяє знаходити максимально близькі прецеденти відносно правил визначення проблемних ситуацій з використанням міри подібності класів і властивостей класів онтології.

Практична цінність результатів роботи

1) для контекстно-залежної системи керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії створено методику розробки програмного забезпечення, яка полягає в застосуванні методів об'єктно-когнітивного аналізу, методів обробки даних контексту, а також в інтеграції моделей правил і прецедентів на основі онтології мікрогрід;

2) розроблено програмне забезпечення методу прийняття рішень з керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід на основі прецедентів, описаних в онтологічній базі знань, що дозволяє в три рази скоротити час вибору сервісу керування перетворювачами порівняно з методом прийняття рішень тільки на основі дескриптивної логіки;

3) сформульовані рекомендації з використання алгоритмів фільтрації і прогнозування параметрів контексту в залежності від їх характеристик і походження та запропоновано алгоритм регуляризації вибірки часового ряду для прогнозу параметрів контексту, який зменшує похибку прогнозу з (6-5)% до (2-1,5)%;

4) створено редактор візуального моделювання правил і прецедентів для системи контекстно-залежного керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії, застосування якого дозволило автоматизувати роботу експертів і користувачів, підвищити рівень її візуалізації та наочності.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є узагальненням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, проведених автором самостійно. Роботи [3,6,7,8] написана автором дисертації особисто. У роботах,

опублікованих із співавторами, дисертанту належать: [1, 2, 10] – аналіз побудови розрахунково-керуючої гетерогенної інфраструктури мікрогрід з використанням об'єктно-орієнтованого підходу; [9, 17] – розробка моделі контексту для мікрогрід; [4,21,24] – аналіз, тестування, регуляризація методів обробки контекстних даних в мікрогрід; [20] – аналіз методів для прогнозування активних зон та обґрунтування використання ЕМ- алгоритму; [5,23] – розробка наукових основ проектування контекстно-залежних систем керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід; [13,16,19] – розвиток онтологічного підходу до описання інформаційного середовища мікрогрід; [12,14] – розробка нового методу прийняття рішень в контекстно-залежній системі керування перетворювачами електроенергії; [22] – створення інструментарію автоматизованого проектування правил і прецедентів для керування перетворювачами електроенергії.

Впровадження та пропозиції з використання отриманих результатів

Результати наукових досліджень, проведених в ході виконання дисертаційної роботи, впроваджені у навчальний процес: НТУУ «КПІ» при підготовці фахівців за напрямом 6.050802 «Електронні пристрої та системи» у дисциплінах «Комп'ютерні технології-1», «Комп'ютерні технології-2»; ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ» при підготовці фахівців за спеціальністю 7/8.05010102 «Інформаційні технології проектування» у дисципліні «Бази даних та знань». Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при створенні інтелектуальних систем керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії.

Апробація результатів дисертації

Результати досліджень, які включено в дисертацію, доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції «Електроніка та нанотехнології» (ELNANO), м. Київ (Україна), 2008, 2009, 2010, 2012, 2013 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», м. Київ (Україна), 2009, 2010, 2011 рр.; конференції молодих вчених «Електроніка», м. Київ (Україна), 2009, 2010 рр.; VI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Комп'ютерні технології: наука і освіта», м. Миколаїв (Україна), 2011 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Математика та науки про життя», м. Київ (Україна), 2012, 2013рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Моделювання», м. Київ (Україна), 2010 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальний аналіз інформації», м. Київ (Україна), 2009, 2010 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Силова електроніка і енергоефективність», м. Харків (Україна), 2012, 2013 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Mathematics and Life Sciences», м. Київ (Україна), 2012, 2013 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Topical Problems of Education in the Field of Electrical and Power Engineering “Doctoral School of energy and Geotechnology”», м. Пярну (Естонія) 2014 р.

Публікації. За результатами досліджень, що викладені в дисертації, опубліковано 24 наукові праці, з них 8 у фахових виданнях, серед яких 4 без співавторів і 1 входить до наукометричної бази Directory of Open Access Journals (DOAJ).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел з 102 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг роботи складає 148 сторінок основного тексту, в тому числі 41 рисунок і 23 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність виконаної роботи, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну, практичне значення та реалізацію результатів дисертації, наведено відомості про їх апробацію та публікації.

У першому розділі розглянуто принципи побудови інтелектуальних систем керування електроживленням мікрогрід, яка за допомогою перетворювачів параметрів електричної енергії, що виконують системоутворюючу функцію, об'єднує генератори і акумулятори енергії, а також комутатори навантажень в спільну інфраструктуру. Мережі мікрогрід або підключається до центральних мереж електропостачання, або працює автономно. В мікрогрід застосовують децентралізоване керування окремими джерелами енергії і навантаженнями для досягнення раціонального використання електроенергії та оперативного керування в штатних і аварійних режимах роботи з урахуванням потреб споживача. В інфраструктурі мікрогрід присутні силова електрична, інформаційна та комунікаційна складові. Алгоритмічна складність керування такою інфраструктурою суттєво залежить від кількості джерел енергії і навантажень, а також фізичних параметрів зовнішнього середовища.

Запропоновано здійснювати керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід шляхом виділення трьох ієрархічних рівнів.

На вищому (третьому) рівні ієрархії формуються команди керування інфраструктурою в цілому (збільшити/зменшити сумарну потужність генераторів електроенергії, збільшити/зменшити потужність споживачів електроенергії, збільшити/зменшити $\cos\phi$). На основі команд вищого рівня формують команди середнього (другого) рівня ієрархії керування, які надходять на окремі вузли електропостачання (перевести вузол електропостачання в режим генератора потужності/напруги/струму, ввімкнути/вимкнути вузол електропостачання, тощо). На найнижчому (першому) рівні формуються сигнали керування окремими перетворювачами параметрів електроенергії і керованими ключами згідно з режимами роботи відповідних вузлів енергопостачання і груп навантажень.

Система керування мікрогрід третього рівня повинна забезпечити вирішення наступних задач:

- 1) контроль параметрів якості електроживлення згідно з існуючим стандартом (повна потужність S , реактивна потужність Q , активна потужність P , коефіцієнт потужності χ , кут зсуву між струмом та напругою φ , тощо);
- 2) забезпечення зміни режимів електроспоживання навантажень з метою раціонального використання електроенергії;
- 3) розробка правил комутації перетворювачів параметрів електроенергії з метою мінімізації перенавантаження системи;
- 4) розробка правил функціонування мікрогрід з урахуванням вимог користувача.

Компоненти інфраструктури мікрогрід територіально розподілені і керуються незалежно один від одного на різних відрізках часу. Область інфраструктури, яка містить керовані перетворювачі, є активною зоною. Стан роботи мікрогрід і її окремих активних зон залежить від режимів електроспоживання навантажень та ряду зовнішніх факторів (температури, сили і напрямку вітру, рівня освітленості та ін.), які вимірюються системою датчиків і утворюють контекст як інформаційну складову інфраструктури мікрогрід.

Задачі керування третього рівня відносять до класу слабо структурованих, що обумовлює необхідність використання контексту для визначення станів інфраструктури мікрогрід на основі експертних знань, представлених у формі правил і прецедентів. Контекстно-залежна модель станів мікрогрід формує правила керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії на основі онтологічного та об'єктно-когнітивного аналізу. Для цього необхідно розробити нормативний і дескриптивний блоки контекстно-залежної системи керування (КЗСК) напівпровідниковими перетворювачами електроенергії.

У другому розділі визначені складові нормативного блоку КЗСК перетворювачами електроенергії, в якому виконується попередня обробка та прогнозування параметрів контексту мікрогрід.

Достовірність прогнозування параметрів контексту збільшується за рахунок попередньої обробки часових рядів (ЧР), що надходять з датчиків мікрогрід (рис. 1). Задачею обробки ЧР є зниження похибки прогнозування на заданому часовому горизонті прогнозу. Параметром, за яким мінімізується ця похибка, є розмір вибірки членів ряду, попередніх по відношенню до прогнозованого члену ЧР. Похибка прогнозування має знаходитись в довірчому інтервалі, що досягається за допомогою регуляризації вибірки.

Для фільтрації ЧР досліджено наступні методи: 1) просте ковзаюче середнє; 2) подвійне просте ковзаюче середнє; 3) просте експоненційне згладжування; 4) подвійне експоненційне згладжування; 5) фільтр Калмана. Оцінки можливості використання методів фільтрації виконувались на тестових ЧР з накладанням завад з нормальним розподілом ймовірності. На основі отриманих даних: похибки прогнозування членів досліджених часових рядів; обсягу використаних обчислювальних ресурсів; часу, що витрачається на обчислення - сформовано рекомендації експерту, щодо використання в КЗСК кожного з досліджених методів фільтрації.

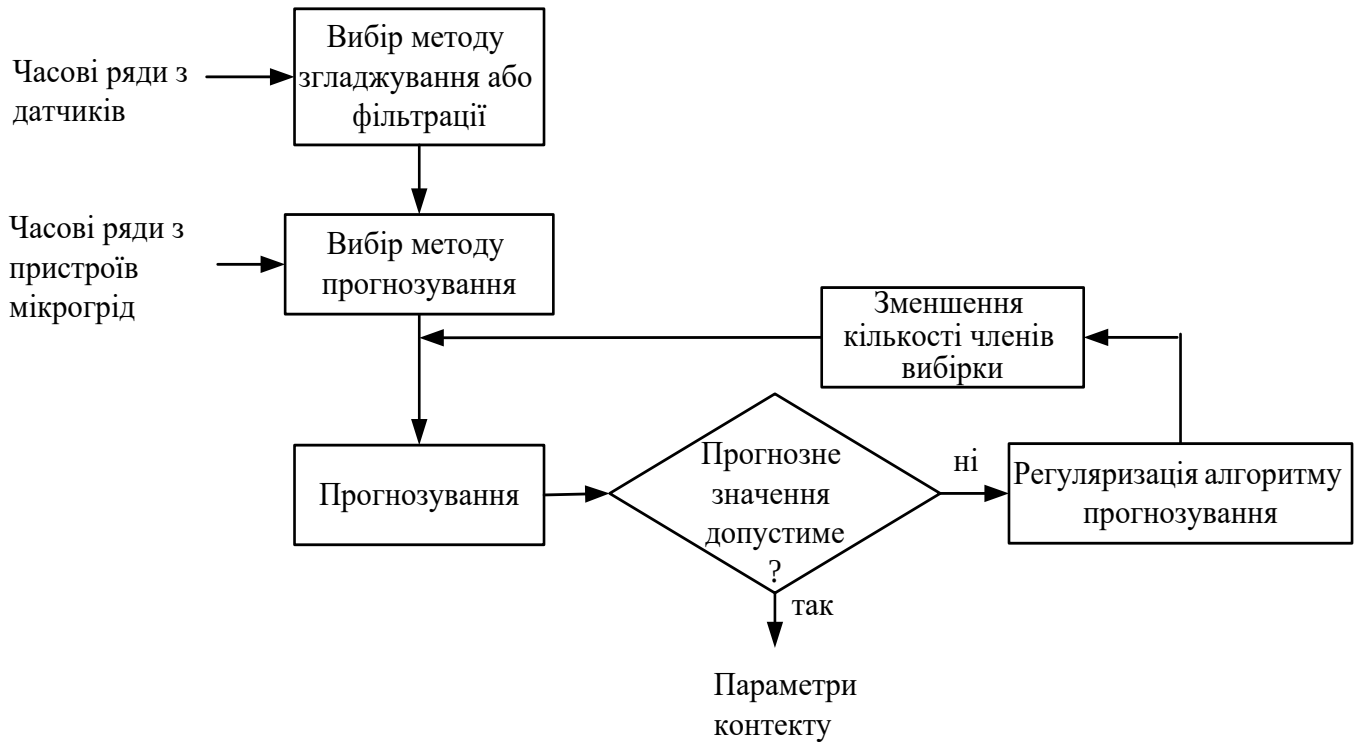


Рис.1 - Алгоритм обробки даних нормативним блоком

Параметри алгоритмів прогнозування наведено в табл.1.

Таблиця 1. Параметри алгоритму прогнозування

Умовні позначення параметрів	Опис умовних позначень
γ	Часовий горизонт прогнозу
t_{max}	Інтервал прогнозування ЧР
n	Кількість членів вибірки
t_k	Поточний момент часу
n_{min}	Мінімальна кількість членів вибірки
n_{max}	Максимальна кількість членів вибірки

Прогнозування членів часових рядів виконується за наступним алгоритмом:

- 1) отримання поточного часового ряду;
- 2) визначення параметрів γ , n ;
- 3) зчитування значення поточного члена ЧР $Y(t_k)$. За умови $t_k < t_{max}$ для поточного члена ЧР в момент часу t_k знаходиться прогнозоване значення $X(t_k + \gamma)$ на часовому горизонті прогнозу γ , яке запам'ятовується в динамічному списку прогнозованих членів ЧР;
- 4) розрахунок і збереження в лінійному списку значення середньоквадратичного відхилення (СКВ) $Q(t_k)$ прогнозованого члена ЧР у порівнянні з виміряним.

5) виявлення за критерієм Ірвіна аномальних членів ряду, для яких СКВ їх прогнозних значень знаходиться за межами довірчого інтервалу ($Q(t_k) > Q_{до\bar{v}}$):

$$\lambda(t_k) = \frac{|Q(t_k) - Q(t_{k-1})|}{|Q(t_k)|},$$

де $\lambda(t_k)$ – коефіцієнт Ірвіна, $Q(t_k)$, $Q(t_{k-1})$ – СКВ членів ЧР в моменти часу t_k і t_{k-1} ;

6) порівняння розрахованого коефіцієнту Ірвіна $\lambda(t_k)$ з табличним значенням $\lambda_{таб}$. Якщо значення коефіцієнту Ірвіна перевищує табличне значення, зменшується кількість членів вибірки n і алгоритм повторюється з першого кроку. Якщо коефіцієнт Ірвіна є меншим за табличне значення, то прогнозні значення членів ЧР вважаються достовірними на інтервалі часу до t_{max} .

Розроблений алгоритм функціонує разом з алгоритмом визначення активних зон. Для виділення активних зон мікрогрід використовують ЕМ (англ. *expectation-maximization*) алгоритм байєсовської мережі. ЕМ алгоритм дозволяє вибрати параметри контексту, які відповідають працюючим перетворювачам електроенергії, з використанням ітераційної процедури максимізації достовірності цих параметрів на основі апостеріорних ймовірностей неявних параметрів контексту мікрогрід θ (наприклад, номер зони, де знаходиться користувач):

$$q^{(i+1)} = \arg \max_{\theta} \sum_z P(z | x, \theta^{(i)}),$$

де $P(z | x, \theta^{(i)})$ – розподіл апостеріорних ймовірностей інтервалів роботи x перетворювачів електроенергії z з врахуванням неявних параметрів θ ; $q^{(i+1)}$ – максимізоване значення очікуваної логарифмічної достовірності $(i+1)$ -ї ітерації.

Використання алгоритмів фільтрації і прогнозування з регуляризацією вибірки

разом з алгоритмом виділення активних зон дозволяє зменшити обсяг математичних операцій при формуванні правил керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії та зменшити похибку прогнозування з (5-6) % до (1,5-2) %.

У третьому розділі розроблений дескриптивний блок КЗСК, в якому за допомогою онтологічної бази знань будуються логічні висновки з прийняття рішень по керуванню перетворювачами електроенергії на основі правил і прецедентів. Запропонована онтологічна база знань (БЗ) мікрогрід *Onto^{DK}* акумулює знання та досвід експертів у вигляді ієрархії сутностей мікрогрід і відносин між сутностями *Onto^{domain}*, правил розпізнавання проблемних ситуацій *Onto^{rules}* і прецедентів виходу з проблемних ситуацій (ПС) в мікрогрід *Onto^{cbr}*:

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

Правила розпізнавання класу проблемних ситуацій в $Onto^{rules}$ записуються мовою формального опису онтологічних правил *SWRL* (*Semantic Web Rule Language*) у вигляді диз'юнктивів Хорна:

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

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

Екземпляром класу ПС в $Onto^{cbr}$ є прецедент $I^{cbr}_i = \langle category_i, i_name_i, Ds_i, Sl_i \rangle$. Кожен прецедент складається з імені – i_name_i , параметрів ПС – Ds_i , вирішення ПС – Sl_i і визначення класу ПС – $category_i$.

Розроблено метод пошуку рішень з керування перетворювачами електроенергії, який дозволяє визначити поточну ПС і обрати прецедент для її вирішення. Алгоритм пошуку рішення з вибору прецеденту керування перетворювачами в мікрогрід, згідно з запропонованим методом, показаний на рис. 2.

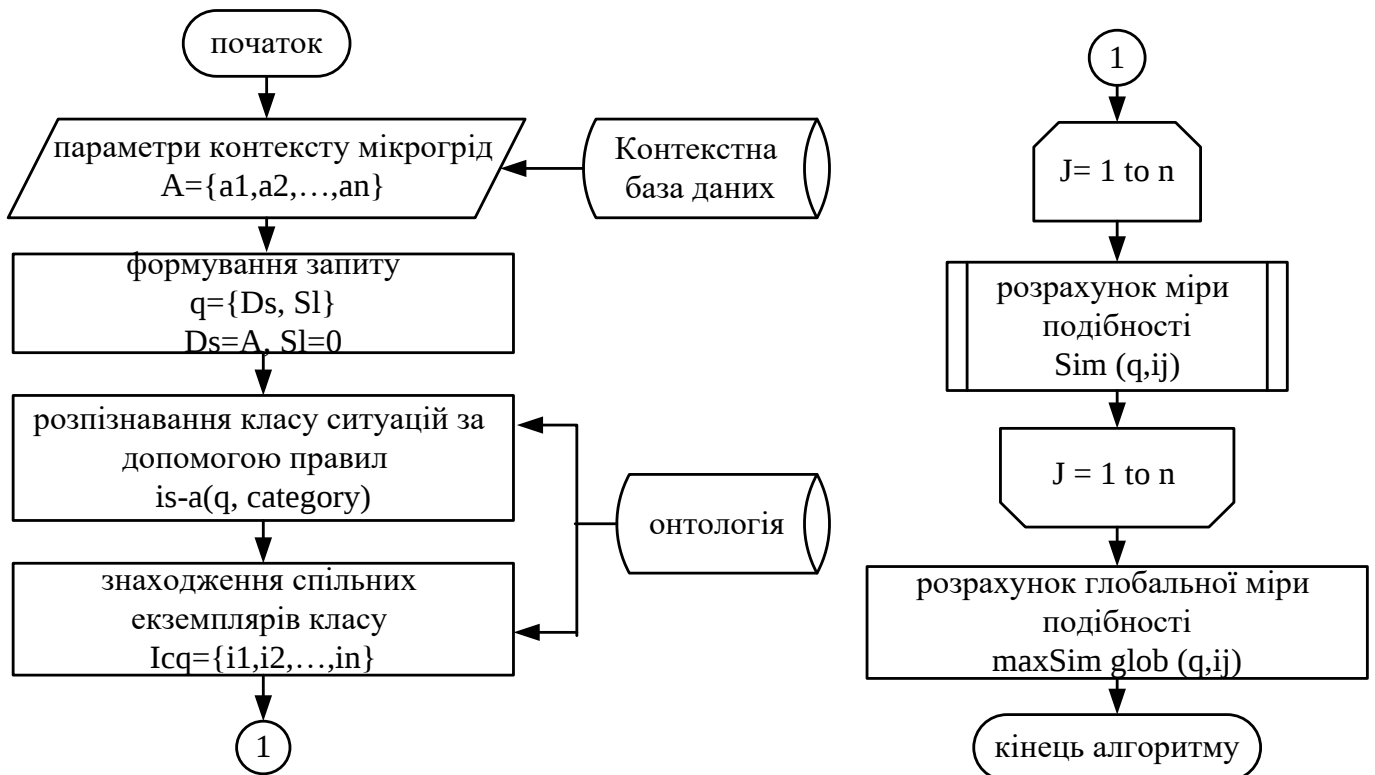


Рис. 2 - Алгоритм прийняття рішення з вибору прецеденту керування перетворювачами електроенергії

При ініціалізації алгоритму створюється запит q , який містить набір екземплярів класів, що відповідає заданим параметрам контексту A бази даних

(БД). Спочатку визначається клас ПС 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*»:

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

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; f_{sim_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 символьних 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 метод дозволяє співставити поточний стан мікрогрід з правилами розпізнавання ПС і обрати необхідний прецедент виходу з неї, що в свою чергу веде до вирішення задачі багаторазового використання знань і інтерактивної взаємодії з користувачем.

У четвертому розділі розроблена методика, на основі якої реалізована КЗСК напівпровідниковими перетворювачами, структура якої зображена на рис. 3.

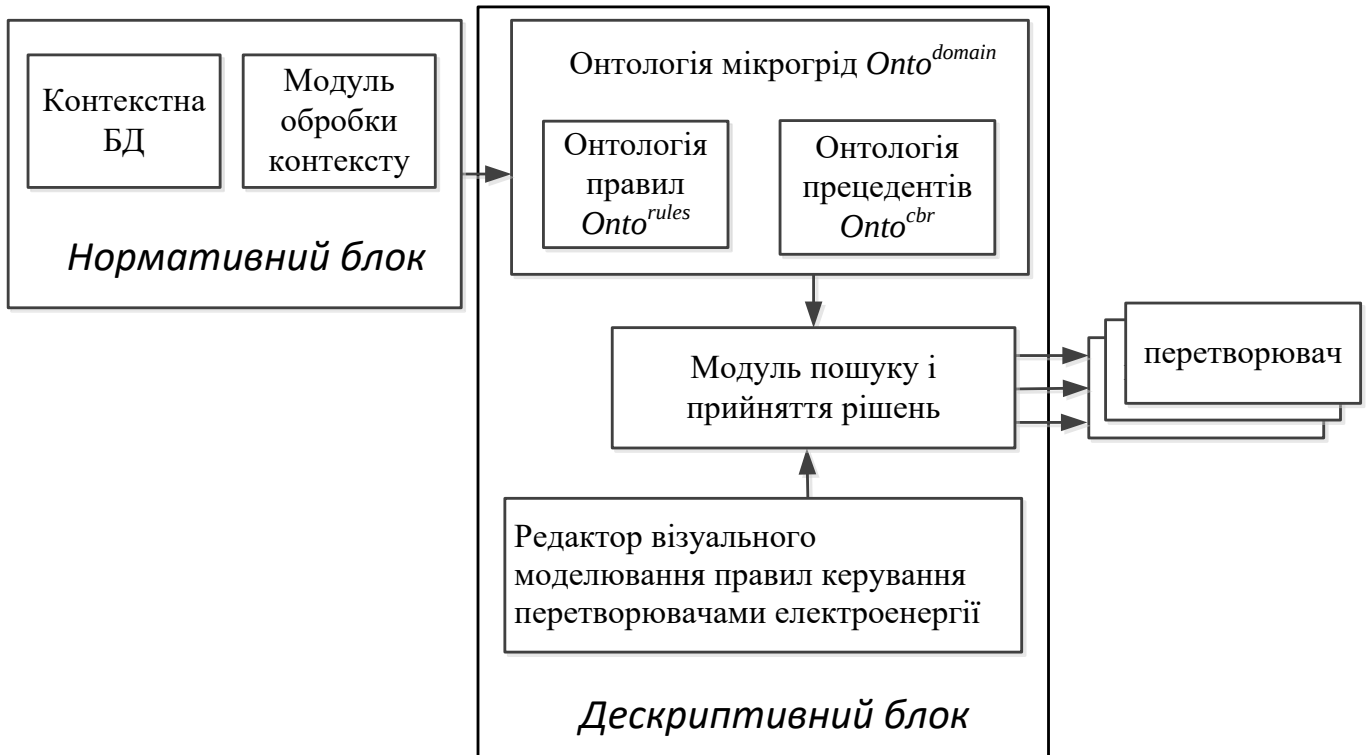


Рис. 3 – Структура контекстно-залежної системи керування перетворювачами

Структура КЗСК перетворювачами складається з нормативного блоку, до якого входять контекстна база даних (БД) і модуль обробки контексту, та дескриптивного блоку, який містить онтологію мікрогрід, модуль пошуку та прийняття рішень і редактор візуального моделювання правил керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід.

Нормативний блок виконує аналіз та прогнозування параметрів контексту, що забезпечує верифікацію даних, на основі яких приймаються рішення з керування.

Дескриптивний блок безпосередньо формує правила керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії та спрощує взаємодію користувача з КЗСК, дозволяє створювати нові правила і вносити зміни у вже існуючі. Загальний вид програмного середовища візуального редактора показано на рис. 4.

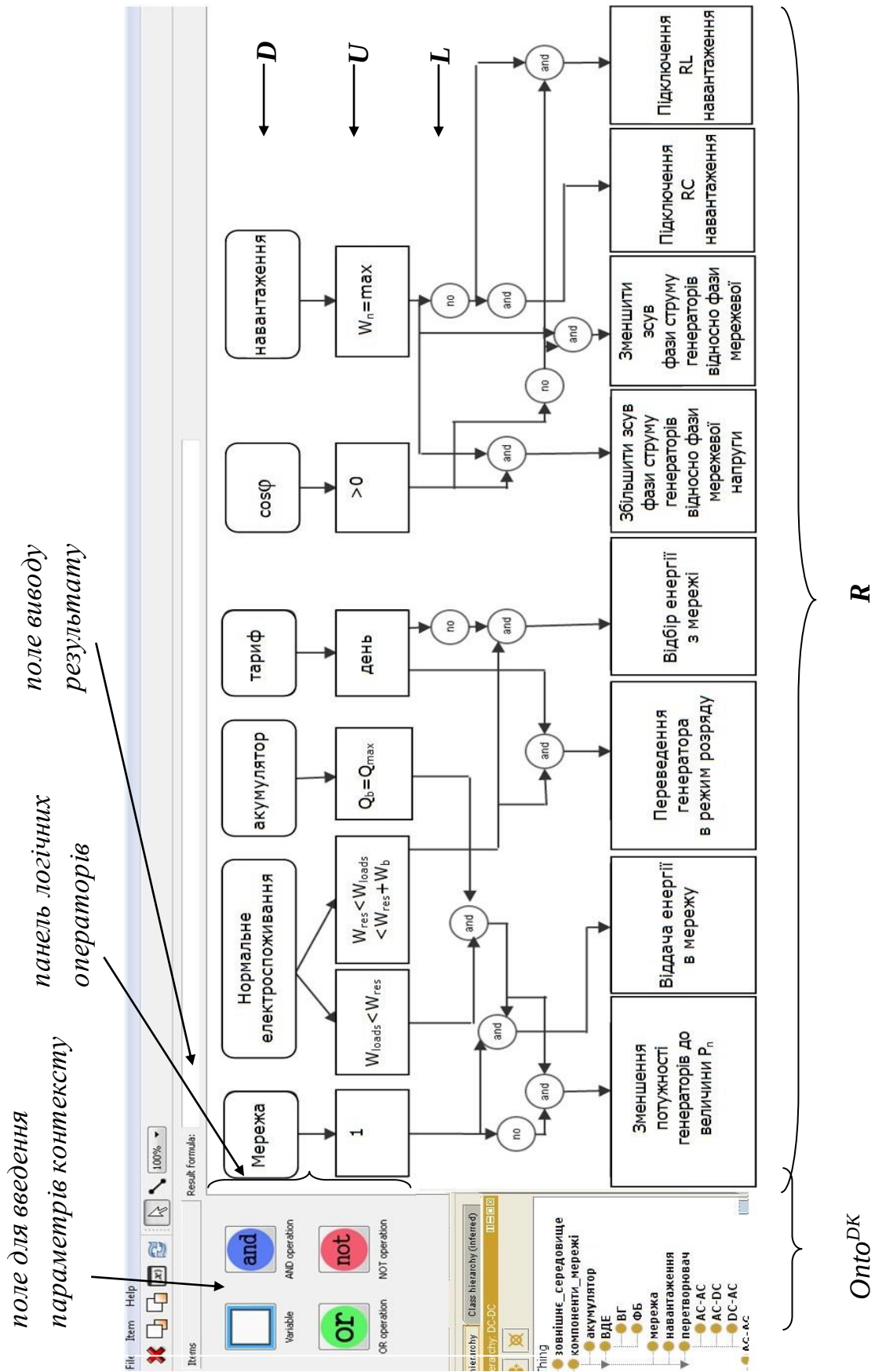


Рис.4 – Загальний вид програмного середовища візуального редактора

Програмне забезпечення редактора візуального моделювання правил керування працює з онтологією *Onto^{DK}* і складається з наступних компонентів:

- 1) поле для введення контекстних даних;
- 2) панель логічних операторів;
- 3) поле виводу результату.

Правила керування перетворювачами електроенергії мають чотирирівневу структуру: на першому рівні **D** відображається поточний стан мікрогрід («мережа», «нормальне електроспоживання», «акумулятор» і «тариф»); на другому рівні **U** – числові значення його параметрів (наявність підключення до мережі, значення балансу потужностей, рівень заряду акумуляторних батарей, тип тарифу); на третьому рівні **L** – логічні оператори, за допомогою яких поєднуються правила та прецеденти («AND», «OR», «NO»); на четвертому рівні **R** формуються команди керування до засобів другого рівня систем керування перетворювачами електроенергії (зменшення потужності генераторів до значення сумарної потужності навантажень P_n , передача енергії в мережу центрального електропостачання, тощо).

За допомогою розробленого графічного інтерфейсу користувач (експерт) КЗСК виконує такі функції:

- 1) проектування правил керування перетворювачами для виходу з ПС;
- 2) вибір з БД прецедентів найближчого за семантичною подібністю прецеденту виходу з ПС.

Протягом експлуатації КЗСК її онтологічна БЗ розширюється додаванням нових прецедентів.

Процес прийняття рішень досліджено за допомогою моделювання КЗСК перетворювачами електроенергії в мікрогрід мережею Петрі. Графічно мережа Петрі зображується як дводольний орієнтований граф з вершинами-переходами і вершинами-позиціями, які з'єднані дугами, що відповідають функціям відповідності вершин. Паралельним процесам відповідають стани мережі Петрі, за умови виникнення яких активується декілька переходів. На рис. 5 наведена модель потоків даних КЗСК, на основі яких формуються команди керування перетворювачами.

Оцінка показника завантаженості центрального процесора контекстно-залежної системи керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід, яка виконана за допомогою моделі масового обслуговування, підтвердила, що система може працювати в режимі реального часу, генеруючи команди керування підсистемам другого та першого ієрархічних рівнів.



Рис.5 – Модель потоків даних в контекстно-залежній системі керування перетворювачами

ВИСНОВКИ

Результатом виконаного в дисертаційній роботі дослідження є покращення якості прийняття рішень в контекстно-залежній системі керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в гетерогенній інфраструктурі мікрогрід з використанням принципів об'єктно-когнітивного аналізу. Здобуто такі теоретичні і практичні результати:

1. Запропоновано новий підхід до керування перетворювачами електроенергії в гетерогенній інфраструктурі мікрогрід, який враховує багатопараметричний контекст, що утворюється датчиками та користувачами мікрогрід у вигляді часових рядів.

2. Для підвищення рівня достовірності рішень з керування перетворювачами електроенергії, застосовані алгоритми фільтрації і прогнозування членів часових рядів, отриманих з датчиків активних зон мікрогрід, в яких прогнозування виконується з регуляризацією вибірки, що дозволило зменшити похибку прогнозування з (5-6)% до (1,5-2)%.

3. Запропоновано структуру і методику створення контекстно-залежної системи керування перетворювачами електроенергії, яка містить нормативний і дескриптивний блоки і дозволяє поєднувати силову та інформаційну складові мікрогрід.

4. Запропоновано онтологічну модель бази знань контекстно-залежної системи керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід, яка дозволяє акумулювати знання та досвід користувачів у вигляді ієрархії сутностей мікрогрід і відносин між сутностями, правил керування перетворювачами в проблемних ситуаціях в мікрогрід.

5. Розроблено метод пошуку рішень з керування перетворювачами електроенергії, який дозволяє побудувати за допомогою онтологічної бази знань логічний висновок на основі правил і прецедентів. Перевагою дескриптивної складової методу є використання мір подібності класів онтології та їх властивостей, що дозволяє знаходити найбільш близький прецедент керування перетворювачами. Запропонований метод дозволив у три рази зменшити час вибору сервісу керування перетворювачами порівняно з методом прийняття рішень тільки з використанням дескриптивної логіки.

6. Розроблено тестове середовище для дослідження методів обробки часових рядів, що утворюють параметри контексту, за допомогою якої отримані оцінки: похибки прогнозування членів досліджених часових рядів; обсягу використаних обчислювальних ресурсів; часу, що витрачається на обчислення.

7. Розроблено імітаційну модель контекстно-залежної системи керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід з застосуванням теорії систем масового обслуговування, яка підтвердила можливість використання системи в режимі реального часу.

8. Відповідно до стандартів семантичної мережі (*SemanticWeb*), розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення методу прийняття рішень з керування

перетворювачами електроенергії, яке дозволяє експерту і користувачу спільно розробляти онтологію бази знань мікрогрід і правила прийняття рішень.

9. Створено редактор візуального моделювання правил і прецедентів для системи контекстно-залежного керування перетворювачами електроенергії в мікрогрід, застосування якого дозволило автоматизувати роботу експертів і користувачів.

10. Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування при розробці інтелектуальних систем керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії та впроваджені в навчальний процес НТУУ «КПІ» та ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Петергеря Ю.С. Особенности построения вычислительно-управляющей сети локального объекта / Петергеря Ю.С., Киселева А.Г. // Электроника и связь: тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2008. – Ч.1 –С.208 — 213.

2. Петергеря Ю.С. Об'єктно-орієнтоване моделювання системи керування електроспоживанням локального об'єкту/ Петергеря Ю.С., Кисельова А.Г., Мудрієвський С.О. // Электроника и связь: тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2009.– Ч. 2. – С.264 – 270.

3. Киселева А.Г. Управление нагрузками локального объекта с использованием треугольника предвидения / Киселева А.Г.// Электроника и связь: тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2010. – Ч.4 –С.83–87.

4. Киселев Г.Д. Обработка входных данных в мультимодальных приложениях / Киселев Г.Д., Киселева А.Г., Сергеев А.А., Шалагинов А.В. // Электроника и связь: тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2011. – Ч. 2. – С. 86–92.

5. Жуйков В.Я. Контекстно-зависимое управление преобразователями электроэнергии в микрогريد локального объекта/Жуйков В.Я., Ямненко Ю.С., Терещенко Т.А., Киселева А.Г. // Техническая электродинамика. – 2012. – Ч.2. – С.95-100.

6. Киселева А.Г. Синтез логического вывода при управлении преобразователями электроэнергии в микрогريد / Киселева А.Г. // Технічна електродинаміка. – 2012. –Ч.4. – С.105-110.

7. Киселева А.Г. Обработка контекстных данных в системах управления преобразователями электроэнергии в микрогريد / Киселева А.Г. // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит . – 2013. – №8 – Ч.2. – С.168-171.

8. Kyselova A. Context data analysis for microgrid control system / Kyselova A. // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. (входить до науково-метричної бази Directory of Open Access Journals (DOAJ)).— 2013. — №58. — Р.46-50.

9. Петергеря Ю.С. Контекстно-зависимая система управления электропотреблением локального объекта/ Петергеря Ю.С., Кисельова А.Г.// Материалы девятой международной конференции «Интеллектуальный анализ информации». — К.: НТУУ «КПИ». — 2009. — С.307-314.

10. Петергеря Ю.С. Распределенная система управления электропотреблением локального объекта / Петергеря Ю.С., Кисельова А.Г. // XI Международная научно-техническая конференция “Системный анализ и информационные технологии-САИТ. — К.: НТУУ «КПИ», — 2009. — С.548.

11. Буранов Д.О. Використання ліній електропередачі для керування навантаженнями локального об’єкту / Буранов Д.О., Кисельова А.Г., Мудрієвський С.О., Невмержицький О.В. // Наукове видання — К.: АБЕРС. — 2009. — 28 С.

12. Киселева А.Г. Поддержка принятия решений в системе управления локальным объектом / Киселева А.Г. // Збірник статей конференції «Електроніка-2010». — Ч.1. — К.: АБЕРС. — 2010 р. — С. 172- 175.

13. Петергеря Ю. С. Онтологический подход к разработке системы управления электропотреблением / Петергеря Ю. С., Кисельова А. Г. // XI Международная научно-техническая конференция “Системный анализ и информационные технологии-САИТ-2010”. — К.: НТУУ «КПИ». — 2010 р. — С.474.

14. Петергеря Ю.С. Модель процесса принятия решений при управлении электропотреблением/ Петергеря Ю.С., Киселёва А.Г. // Збірник статей конференції «Моделювання-2010» - Институте проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. — Киев. — 2010. — С.230-235.

15. Петергеря Ю.С. Построение логического вывода в контекстно-зависимой системе управления электропотреблением/ Петергеря Ю.С., Киселёва А.Г. //Материалы десятой международной конференции «Интеллектуальный анализ информации». Министерство образования и науки Украины, НТУУ «КПИ». — К.: НТУУ «КПИ». — 2010. — С.369-376.

16. Кисельов Г.Д. Розробка контекстно-залежних застосувань / Кисельов Г.Д., Кисельова А.Г. // Комп’ютерні технології: наука і освіта: 5-а Всеукраїнська науково-практична конференція: збірник статей. — Київ. — 2010.— С.100–102.

17. Kyselova A. Hidden Markov Model for Dealing with Contexts Application /Kyselova A., Shalaginov A. // CAD in Machinery Design. Implementation and Educational Problems: 18-th Ukrainian–Polish Conference «CADMD’2010», October 14-16, 2010, Lviv, Ukraine: Proc. — Lviv: Vezha& Co , 2010. — P. 20–22.

18. Киселева А.Г. Применение методов линейного предсказания и экстраполяции в контекстно-зависимых приложениях / Киселева А.Г., Киселев Г.Д., Шалагинов А.В. // Материалы одиннадцатой международной конференции (ИАИ-2011). - К.:НТУУ «КПИ» — 2011. — С.269-276.

19. Киселева А.Г. Онтологический подход в системах поддержки принятия решений / Киселева А.Г. // Материалы 3 международной научно-практической конференции «Системный анализ, информатика, управление–2012».—Запорожье. — 2012. — С.141-143.

20. Киселева А.Г. Прогнозирование активной зоны в системе управления электропотреблением / Киселева А.Г., Шалагинов А.В., Ямненко Ю.С. // Вторая международная конференция «автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды-2011». – Россия, Красная Поляна. – 2011. – С.68-73.

21. Киселёва А.Г. Обработка контекстных данных в интеллектуальных системах / Киселёва А.Г., Киселёв Г.Д. // Open Semantic Technology for Intelligent Systems. – Минск. – 2012. – С.359-364.

22. A. Kyselova Context-aware energy efficient control system. Proceedings of International Seminar “Mathematics for Life Sciences”. –2012. – Kyiv. – P. 37.

23. Zhuikov, V. Integration of context-aware control system in microgrid / Zhuikov, V.; Kyselova, A. // Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference. – Kiev. – 2013. – P.386-390.

24. Pichkalov, I. Optimal control of uninterruptible power system with diesel generator / Pichkalov, I.; Kyselova, A.; Kyselova, O.; Kyselov, G., // Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference. – Kiev. – 2013. – P.378-380.

АНОТАЦІЯ

Кисельова А.Г. Контекстно-залежна система керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2014.

Дисертація присвячена дослідженню і розробці інтелектуальної контекстно-залежної системи керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід з використанням принципів об’єктно-когнітивного аналізу.

З використанням методів інженерії знань розроблено математичне забезпечення системи підтримки прийняття рішень з керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії. Створена онтологічна база знань мікрогрід, в якій введено поняття проблемної ситуації та створено метод і алгоритми підтримки прийняття рішень для виходу з проблемних ситуацій.

Описано процес створення нормативного і дескриптивного блоків контекстно-залежної системи керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мікрогрід. Експериментальні дослідження показали, що система керування перетворювачами може працювати в реальному часі.

Ключові слова: мікрогрід, перетворювачі електроенергії, керування, параметри контексту, онтологія, база знань, підтримка прийняття рішень, проблемна ситуація, прецедент, семантична мережа.

АННОТАЦИЯ

Киселева А.Г. Контекстно-зависимая система управления полупроводниковыми преобразователями электроэнергии в микрогрид. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 - Полупроводниковые преобразователи электроэнергии. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 2014.

Диссертация посвящена исследованию и разработке интеллектуальной контекстно-зависимой системы управления полупроводниковыми преобразователями электроэнергии в микрогрид с использованием принципов объектно-когнитивного анализа. Микрогрид является частью «SmartGrid» и, соответственно, наследует ее ключевые компоненты и представляет собой электрически распределенную сеть, содержащую нагрузки и распределенную генерацию электроэнергии (распределенные генерирующие установки, устройства аккумулирования), которая может работать скоординировано и контролируемо как будучи присоединенной к основной энергосистеме, так и в изолированном режиме.

Показано, что эффективное управление инфраструктурой микрогрид возможно при условии распределения средств управления по трем иерархическим уровням. Первый уровень состоит из драйверов силовых ключей, второй уровень из микропроцессоров, что относится к нормативному подходу к управлению преобразователями, который основывается на жестких, четко заданных алгоритмах управления, в основе которых лежат физические законы. На высшем третьем уровне создается система интеллектуального управления, которая, используя принципы объектно-когнитивного анализа состояний микрогрид, описанные параметрами контекста, формирует команды управления сетью в целом (увеличить/уменьшить суммарную мощность генераторов электроэнергии, увеличить/уменьшить мощность потребителей электроэнергии и т.д.). Сформированные команды управления подаются на отдельные узлы электропитания и преобразователи параметров электроэнергии.

С применением методов инженерии знаний разработано математическое обеспечение системы поддержки принятия решений по управлению полупроводниковыми преобразователями электроэнергии. Разработана онтологическая база знаний микрогрид, которая обеспечила полноту описания предметной области при получении и интеграции общих и конкретных знаний, поступающих из различных источников и описываемых различными моделями представления знаний: предметной онтологией, правилами определения проблемных ситуаций и прецедентами выхода из них. В онтологической базе знаний определено понятие проблемной ситуации в микрогрид и разработан метод и алгоритмы поддержки принятия решений по выходу из проблемной ситуации, включающие вывод на основе правил принятия решений и вывод на основе прецедентов проблемных ситуаций, содержащихся в онтологии. Описание

алгоритмов с соблюдением стандартов семантической сети (*Semantic Web*) позволило консолидировать накопленные знания и обеспечить доступ к ним удаленным пользователям. Разработаны все этапы создания контекстно-зависимой системы управления преобразователями электроэнергии в микрогрид, включающие создание нормативного и дескриптивного блоков. Проведенные эксперименты показали, что система управления преобразователями может работать в режиме реального времени.

Ключевые слова: микрогрид, преобразователи электроэнергии, управление, параметры контекста, онтология, база знаний, поддержка принятия решений, проблемная ситуация, прецедент, семантическая сеть.

ABSTRACT

Kyselova A.G. Context-aware control system of power semiconductor converters inside a micro-grid. – Manuscript.

Thesis for candidate of science degree in the speciality 05.09.12 – semiconductor converters of electric energy. – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnical Institute», Kyiv, 2014.

The dissertation is devoted to development of intelligent context-aware control system of power semiconductor converters inside a micro-grid using the principles of cognitive, object-oriented analysis. Mathematical software for decision-making system of power semiconductor converters was developed using knowledge-engineering methods. The developed ontological knowledge base of the micro-grid provides a complete description of the subject area concerning the obtainment and integration of general and specific knowledge, delivered from different sources and described by various models of knowledge representation: domain ontology, the rules for identifying the problem situations and precedents of withdrawing from them. The algorithm description using the Semantic Web standards allowed to consolidate the accumulation of knowledge and to provide access to it to the remote users. Experiments made have shown that the context-aware control system of power semiconductor converters inside a micro-grid may be operated in real-time.

Keywords: microgrid, power converters, control, context, ontology, knowledge base, decision support system, problem situation, precedent, semantic web.