

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Пучка Івана Вікторовича

на тему **«Агентне моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних реплікованих структур даних для опису станів системи»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Актуальність теми дисертації.

Зростаючі глобальні загрози та актуальні для багатьох країн Європи плани імплементації зеленого переходу в енергетиці вимагають створення енергетичних архітектур, здатних до автономного відновлення та локального балансування енергії. Запропонований у дисертації Пучка І.В. підхід до агентного моделювання з використанням неконфліктних реплікованих структур даних дозволяє формувати децентралізовані системи управління, що зберігають узгодженість станів навіть за розривів зв'язку чи втрати окремих вузлів. Дослідження відповідає світовим тенденціям переходу до розумних, відновлюваних і кіберстійких енергетичних мереж, де питання синхронізації та узгодженості даних у розподілених середовищах набувають вирішального значення.

Актуальність роботи підтверджується тим, що вона виконується відповідно до плану наукових досліджень Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, зокрема в рамках НДР «Розвиток наукових засад алгебраїчної теорії сильного штучного інтелекту стосовно кібернетичної безпеки об'єктів критичної інфраструктури в галузі енергетики» (№ ДР 0123U100913, 2023-2027 рр.) та «Розвиток розподіленої енергетики в умовах ринку електричної енергії України з використанням технологій та систем цифровізації. Розділ 1. Організаційні та математичні моделі взаємодії учасників децентралізованого ринку електроенергії» (№ ДР 0125U000237, 2025-2026 рр.).

Дисертаційній роботі присвячена вирішенню наукового завдання забезпечення узгодженої та стійкої роботи високоінтелектуальних енергетичних мереж у розподіленому середовищі з використанням агентного підходу. Для цього розроблено модель синхронізації станів агентів на основі неконфліктних реплікованих структур даних, яка дозволяє підтримувати узгодженість інформації без централізованого керування, забезпечує

масштабованість, відмовостійкість і передбачувану поведінку системи навіть за мережових затримок чи пошкоджень зв'язку.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Уперше розроблено новий підхід до узгодження станів агентів у мультиагентних системах із використанням неконфліктних структур даних. На відміну від централізованих і консенсусних методів, запропонований підхід забезпечує передбачувану збіжність системи без необхідності забезпечення її глобальної координації.

2) Вперше створено агентну модель інтелектуальних енергетичних мереж, у якій синхронізація станів виконується за допомогою неконфліктних реплікованих структур даних. Такий підхід, порівняно з традиційними рішеннями, підвищує стійкість системи до відмов, покращує масштабованість і стабільність роботи навіть за умов високого навантаження та нестійких мережових з'єднань.

3) Проведено аналіз впливу зростання мережових затримок на швидкість поширення станів, поданих через неконфліктні репліковані структури даних. Отримані експериментальні результати підтвердили лінійну масштабованість розробленої системи.

4) Запропоновано використовувати акторну модель для побудови високоінтелектуальних енергетичних мереж. Її особливістю є відсутність спільних структур синхронізації та використання локального прийняття рішень. Такий підхід сприяє стабільній продуктивності й полегшує потенційне масштабування системи.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України у відділі математичного і комп'ютерного моделювання під керівництвом член-кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора Мохора Володимира Володимировича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розроблення підходу до агентного моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних реплікованих структур даних для опису станів системи виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Пучка І.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми Комп'ютерні науки.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Пучка Івана Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Викладення матеріалу характеризується технічною точністю, лаконічністю та внутрішньою узгодженістю. Використана термінологія узгоджується із сучасними міжнародними стандартами програмної інженерії. Посилання на наукові джерела подані системно й перевірено, а запозичення оформлені належним чином.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 115 сторінок.

У вступі наведено обґрунтування обраної теми дисертаційного дослідження, розкрито сутність і стан досліджуваної науково-технічної проблеми, зазначено обґрунтування доцільності проведення досліджень за обраною тематикою, наведено відомості про зв'язок роботи із науковими програмами та планами Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію роботи та публікації у наукових виданнях, які відображають результати роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до агентного моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж. Розглянуто принципи побудови мультиагентних систем, методи забезпечення узгодженості

станів у розподілених обчисленнях, застосування неконфліктних реплікованих структур даних (CRDT) та акторної моделі у високонавантажених системах.

У другому розділі здійснено формалізацію та проектування агентної моделі розподіленої енергетичної мережі. Запропоновано підхід до синхронізації станів агентів на основі CRDT, визначено структуру агентів, простір їхніх станів і правила переходів між ними.

У третьому розділі розроблено симуляційну модель розподіленої енергетичної мережі. Обґрунтовано вибір інструментів реалізації, описано архітектуру симулятора, механізми взаємодії агентів і поширення станів, а також реалізацію процесів синхронізації та масштабування системи.

У четвертому розділі проведено експериментальну перевірку запропонованої моделі синхронізації станів. Визначено сценарії моделювання, параметри симуляцій і методику аналізу даних, за результатами чого підтверджено ефективність моделі, її масштабованість і стійкість до мережових збоїв.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 4 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 3 статті у виданнях, віднесених до першого – другого квартилів (Q1–Q2) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях (в тому числі 1 міжнародній конференції, матеріали якої індексується в Scopus).

В опублікованих працях за авторством/співавторством здобувача повністю відображено сутність отриманих результатів та їх наукова новизна. У роботах, які було опубліковано здобувачем у співавторстві, було використано тільки ті ідеї та положення, які є результатами особистих наукових пошуків. Для всіх наведених у переліку публікацій здобувача наукових праць зазначено його особистий внесок.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Попри високу наукову та практичну цінність дисертаційного дослідження, окремі аспекти роботи потребують подальшого уточнення й розвитку.

1) У першому розділі наведено ґрунтовний аналіз сучасних підходів до агентного моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж, проте майже відсутні приклади практичного застосування цих підходів у реальних енергетичних системах, а також специфіку роботи децентралізованих систем, що могло б підсилити прикладну частину огляду та підкреслити актуальність обраного напрямку досліджень.

2) У другому розділі здійснено формалізацію та проектування агентної моделі розподіленої енергетичної мережі з використанням CvRDT для опису станів системи, визначено структуру агентів, їхні атрибути та правила переходів, а також обґрунтовано підхід синхронізації станів агентів за допомогою дельт-оновлень. З урахуванням сучасного стану розвитку технологій, було б доцільно розглянути можливість інтеграції блокчейну для верифікації станів агентів та збереження історії їх змін, що може забезпечити додаткову прозорість і незмінність даних у розподіленій мережі.

3) У третьому розділі наведено аргументацію вибору мови програмування Scala та фреймворку Akka із зазначенням їх переваг порівняно з середовищами C++ та Python. Водночас доцільно було б доповнити цей аналіз розглядом інших середовищ і технологій, що також використовуються для побудови мультиагентних систем – зокрема Erlang/Elixir, Go, Julia чи інших спеціалізованих симуляційних платформ. Таке порівняння дозволило б повною мірою обґрунтувати вибір обраного інструментарію.

4) У четвертому розділі наведені результати симуляцій підтверджують коректність розробленої моделі в узагальненому випадку. Водночас експериментальна частина не охоплює специфіку поведінки конкретних енергетичних систем. Для підвищення прикладного значення роботи доцільно в подальшому здійснити перевірку моделі на основі схем і даних реальних децентралізованих енергосистем.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пучка Івана Вікторовича на тему «Агентне моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних

реплікованих структур даних для опису станів системи» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає стандарту спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44., а Пучко Іван Вікторович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за обраною спеціальністю.

Рецензент:

в.о. заступника директора з наукової роботи

Інституту проблем

моделювання в енергетиці

ім. Г.Є. Пухова НАН України

д.т.н.,с.д.



Володимир ЄВДОКИМОВ