

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з наукової
роботи Інституту проблем
моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова Національної академії
наук України, д.т.н., проф.



Олександр ЧЕМЕРИС

«30» вересня 2025 р.

ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ №3

засідання науково-технічного семінару
відділу математичного та комп'ютерного моделювання
Інституту проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України

м. Київ

«30» вересня 2025 р.

ПРИСУТНІ 17 осіб:

чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Мохор В.В., д.т.н., проф. Чемерис О.А., д.т.н., доц. Шкарупило В.В., к.т.н., доц. Душеба В.В., д.т.н., проф. Винничук С.Д., д.т.н., с.н.с. Борукаєв З.Х., д.т.н., с.н.с. Гільгурт С.Я., д.т.н., с.н.с. Владимирський О.А., д.т.н., с.н.с. Яцишин А.В., д.т.н., с.н.с. Артемчук В.О., д.т.н., с.д. Зубок В.Ю., к.т.н. Кравцов Г.О., к.т.н. Потенко О.С., аспіранти Примушко А.М., Сіроткін О.В., Ярошинський М.С., Пучко І.В.

ГОЛОВУВАВ: д.т.н., доц. Шкарупило В.В., провідний науковий співробітник відділу математичного та комп'ютерного моделювання ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ:

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта відділу математичного та комп'ютерного моделювання ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України Пучка Івана Вікторовича

за матеріалами дисертаційної роботи «Агентне моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних реплікованих структур даних для опису станів системи», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» (Освітньо-наукова програма «Комп'ютерні науки»).

Тему дисертаційної роботи «Агентне моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних реплікованих структур даних для опису станів системи» затверджено на засіданні Вченої ради ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (протокол № 18 від «30» грудня 2021 р.) та перезатверджено на засіданні Вченої ради ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (протокол №6 від «26» червня 2025 р.).

Науковим керівником затверджений член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, Мохор В.В.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: д.т.н., проф. Чемерис О.А., д.т.н., доц.. Шкарупило В.В., к.т.н., доц.. Душеба В.В., д.т.н., проф. Винничук С.Д., д.т.н., с.н.с. Борукаєв З.Х., д.т.н., с.н.с. Гільгурт С.Я., д.т.н., с.н.с. Артемчук В.О., д.т.н., с.д. Зубок В.Ю., к.т.н. Кравцов Г.О.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Мохор В.В., д.т.н., проф. Чемерис О.А., д.т.н., доц.. Шкарупило В.В., к.т.н., доц.. Душеба В.В., д.т.н., проф. Винничук С.Д., д.т.н., с.н.с. Борукаєв З.Х., д.т.н., с.н.с. Гільгурт С.Я., д.т.н., с.н.с. Артемчук В.О., д.т.н., с.д. Зубок В.Ю., к.т.н. Кравцов Г.О.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Дисертаційне дослідження спрямоване на розроблення підходу до агентного моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із застосуванням неконфліктних реплікованих структур даних для представлення станів системи. Актуальність дослідження зумовлена розвитком таких мереж, їх децентралізованим характером функціонування з асинхронною взаємодією та високою інтенсивністю інформаційних потоків. Робота зосереджена на розв'язанні ключових завдань синхронізації станів системи у процесі моделювання цих мереж, що постають через обмеження традиційних підходів до узгодження станів.

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

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки в Україні. Робота виконувалась 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.).

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано підхід до синхронізації станів агентів мультиагентної системи на основі неконфліктних структур даних, який, на відміну від централізованих/консенсусних підходів, забезпечує детерміновану збіжність без глобальної координації.
2. Вперше імплементовано агентну модель високоінтелектуальних енергетичних мереж на основі підходу синхронізації станів за допомогою неконфліктних реплікованих структур даних, що, на відміну від класичних підходів синхронізації, підвищує стійкість до відмов та забезпечує масштабованість та передбачувану поведінку під високими навантаженнями й мережевою нестабільністю.
3. Вперше проаналізовано вплив зростання мережевих затримок на час поширення станів, представлених за допомогою неконфліктних реплікованих структур даних, що дало змогу експериментально підтвердити лінійну масштабованість системи.
4. Запропоновано використовувати акторну модель при моделюванні високоінтелектуальних енергетичних мереж, яка, відрізняється від існуючих відсутністю спільних структур синхронізації та локальним ухваленням рішень, що забезпечує передбачувану продуктивність і спрощує масштабування системи.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи:

Теоретичне значення роботи полягає у розвитку теоретичних основ моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж як децентралізованих багатоагентних систем, у яких узгодженість станів досягається без централізованих механізмів консенсусу. Запропонована модель дала змогу вперше формалізувати підхід до синхронізації станів агентів на основі неконфліктних реплікованих структур даних, що забезпечує узгодженість у розподіленому середовищі з асинхронною взаємодією. Отримані результати закладають теоретичні основи для створення нових

верифікованих і відмовостійких систем керування високоінтелектуальними енергетичними мережами.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Розроблено комплект програмного забезпечення для моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж на основі неконфліктних реплікованих структур даних, яке забезпечує автоматизацію прийняття рішень щодо балансування, верифікацію децентралізованих алгоритмів керування та відтворюване оцінювання стійкості до мережових затримок і відмов.
2. Визначено оптимальні параметри роботи розробленого програмного забезпечення за різних профілів мережових затримок для коректної синхронізації станів і мінімізації часу їх поширення.
3. Розроблене програмне забезпечення придатне до практичного застосування як інженерний інструмент для аналізу, проєктування та оптимізації моделей високоінтелектуальних енергетичних мереж. Крім того, розроблене ПЗ може бути використано при розробленні стратегій керування такими мережами.

5. Апробація/використання результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались на науково-практичних конференціях: науково-практична конференція «Резильєнтність динамічних систем», Київ, Україна; 2024 14th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece: IEEE, Oct. 2024.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Пучка Івана Вікторовича визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 8 наукових публікацій. З них 2 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б за спеціальністю, 4 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus, зокрема 3 статті у виданнях, віднесених до першого — третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 2 тез доповідей на всеукраїнській і міжнародній науково-технічних конференціях.

Статті у наукових фахових виданнях України категорії Б:

1. **Пучко І.В.,** Примушко А.М., Кравцов Г.О. Розробка методичних рекомендацій використання функціональної парадигми програмування в мові Scala. Електрон. Моделювання. 2021. Т. 43, № 6, с. 95–106, DOI: 10.15407/emodel.43.06.095.

Особистий внесок – структурування та написанні методичних рекомендацій.

2. Примушко А.М., **Пучко І.В.**, Ярошинський М.С., Сінько Д.П. Програмний дизайн розподіленої високонавантаженої системи електроенергетичної мережі на базі моделі акторів із застосуванням смарт-контрактів. Електрон. Моделювання. 2024. Т. 46, № 3, с. 57–72, DOI: 10.15407/emodel.46.03.057.

Особистий внесок – брав участь в розробці високорівневого дизайну розподіленої електроенергетичної системи на основі моделі акторів та кластерної топології

Стаття у виданні, індексованому у наукометричній базі Scopus:

3. Yaroshynskyi M., Prymushko A., **Puchko I.**, Sirotkin O., and Sinko D. Akka as a tool for modelling and managing a smart grid system. J. Edge Comp. 2025. Vol. 4, no. 1, pp. 105–115, DOI: 10.55056/jec.822. **Scopus**.

Особистий внесок – брав участь у проєктуванні моделі управління інтелектуальною мережею, побудованої на ієрархічній структурі акторів. Провів експериментальні дослідження, обробив та візуалізував результати

Статті у виданнях, індексованими у наукометричній базі Scopus, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank:

4. Prymushko A., **Puchko I.**, Yaroshynskyi M., Sinko D., Kravtsov H., and Artemchuk V. Efficient State Synchronization in Distributed Electrical Grid Systems Using Conflict-Free Replicated Data Types. IoT. 2025. Vol. 6, no. 1, p. 6, DOI: 10.3390/iot6010006. **Scopus Q1**.

Особистий внесок – брав участь в розробці моделі розподілених електроенергетичних систем, що базується на неконфліктних реплікованих типах даних. Спроектував і виконав основну частину розроблення програмного забезпечення “Vigilant Hawk” для симуляції розподілених електроенергетичних систем на базі акторної моделі та інструментарію Akka. Провів експериментальні дослідження, отримав та обробив результати, виконав їхню візуалізацію у вигляді графіків.

5. Sirotkin O., Prymushko A., **Puchko I.**, Kravtsov H., Yaroshynskyi , and Artemchuk V. Parallel Simulation Using Reactive Streams: Graph-Based Approach for Dynamic Modeling and Optimization. Computation. 2025. Vol. 13, no. 5, p. 103, DOI: 10.3390/computation13050103. **Scopus Q2**.

Особистий внесок – брав участь в оптимізації симуляції на основі графів та реактивних потоків за допомогою визначених функцій переходу.

6. Yaroshynskyi M., **Puchko I.**, Prymushko A., Kravtsov H., and Artemchuk V. Investigating the Evolution of Resilient Microservice Architectures: A Compatibility-Driven Version Orchestration Approach. Digital. 2025. Vol. 5, no. 3, p. 27, DOI: 10.3390/digital5030027. **Scopus Q2**.

Особистий внесок – брав участь у дослідженні та порівняльному аналізі існуючих стратегій управління еволюцією API. Розробив експериментальні сервіси на базі Spring Boot з використанням gRPC та для перевірки моделі

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. **Пучко І.В.**, Примушко А.М., Ярошинський М.С., Кравцов Г.О. Підвищення резильєнтності динамічних систем при синхронізації станів за допомогою CRDT, Матеріали науково-практичної конференції 'Резильєнтність динамічних систем, 2024, с. 50–52, Київ, Україна.
8. Prymushko A., Yaroshynskyi M., and **Puchko I.** Representation and synchronization of states of distributed electrical grid systems based on conflict free replicated data types, in 2024 14th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece: IEEE, Oct. 2024, pp. 1–5. DOI: 10.1109/DESSERT65323.2024.11122143. **Scopus**.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Пучка Івана Вікторовича «Агентне моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних реплікованих структур даних для опису станів системи», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки» Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Агентне моделювання високоінтелектуальних енергетичних мереж із використанням неконфліктних реплікованих структур даних для опису станів системи», подану Пучком Іваном Вікторовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.т.н., старший дослідник, Зубок Віталій Юрійович, провідний науковий співробітник відділу математичного і комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

Члени:

Рецензенти:

д.т.н., старший дослідник, Гончар Сергій Феодосійович, заступник директора з науково-технічної роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,

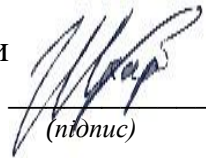
д.т.н., старший дослідник, Євдокімов Володимир Анатолійович, заступник директора з наукової роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

Опоненти:

д.т.н., с.н.с., Зайцев Євген Олександрович, завідувач відділу теоретичної електротехніки Інституту електродинаміки Національної академії наук України,

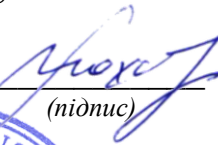
к.т.н., доцент, Кудерметов Равіль Камілович, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка».

Головуючий на засіданні,
провідний науковий співробітник
відділу математичного та
комп'ютерного моделювання
ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України
д.т.н., доц.


(підпис)

Вадим ШКАРУПИЛО
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Гарант освітньо-наукової програми,
член-кореспондент НАН України,
д.т.н., проф.


(підпис)

Володимир МОХОР
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

В.о вченого секретаря
ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України,
д.т.н., с.н.с.


(підпис)

Володимир АРТЕМЧУК
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)