

## **ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

**Панченка Артема Сергійовича**

**«Коалгебраїчні засоби специфікації статистичних обмежень поведінки  
розподілених систем»**

на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

### **1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи.**

Аспірант Панченко Артем Сергійович виконав у повному обсязі

Індивідуальний план виконання освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії. Освітня програма в обсязі 40 кредитів ECTS виконана у повному об'ємі.

Успішно складено наступні дисципліни:

- Залік з навчальної дисципліни “Іноземна мова для аспірантів (англійська)” (65 балів);
- Іспит з навчальної дисципліни “Іноземна мова для аспірантів (англійська)” (86 балів);
- Залік з навчальної дисципліни “Філософські засади та методологія наукових досліджень” (93 бали);
- Залік з навчальної дисципліни “Підготовка наукових публікацій та презентація результатів наукових досліджень” (85 балів);
- Іспит з навчальної дисципліни “Обрані методи інженерії ПЗ” (96 балів);
- Залік з навчальної дисципліни “Реєстрація прав інтелектуальної власності” (84 бали);
- Залік з навчальної дисципліни “Теорія обчислень і програмування” (95 балів).

Заплановані в індивідуальному плані види робіт були виконані своєчасно. Здобувач плідно співпрацював з науковим керівником протягом усього терміну навчання в аспірантурі.

### **2. Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Специфікація поведінки системи є описом змін її станів в процесі функціонування. Цей документ формально визначає бажану поведінку програмного або апаратного забезпечення і використовується для визначення та верифікації функцій і властивостей системи. Таке визначення є критичним для розробки, тестування та верифікації програмного забезпечення. Можна виділити два основних підходи до проведення аналізу системи, що проектується, з метою її специфікації, а саме - формальні та неформальні. Обидва підходи до специфікації програмного забезпечення мають свої переваги та недоліки. Вибір підходу залежить від вимог проекту, складності системи та необхідності формальної верифікації.

Формальні методи в специфікації програмного забезпечення застосовуються в тих випадках, коли важлива висока точність, несуперечливість і можливість формальної

верифікації системи. Окремо слід зазначити, що використання формальних методів специфікації програмних систем здешевлює процес розробки продуктів та зменшує потенційні витрати на усунення помилок.

Серед усіх засобів формальної специфікації програмних продуктів слід виділити специфікацію з використанням універсальних коалгебр - алгебраїчних об'єктів дуальних універсальним алгебрам. Коалгебраїчна специфікація є потужним формальним методом, який використовується для моделювання динамічних систем.

Окремо слід зазначити, що коалгебраїчні специфікації можуть бути інтегровані з іншими формальними методами, такими як алгебраїчні специфікації та модельна перевірка (model checking). Це забезпечує додаткові можливості для формального аналізу і верифікації саме складних систем, які як правило не можуть бути описані в рамках однієї моделі. Наприклад, алгебраїчні методи можуть бути використані для опису статичних аспектів системи, в той час як коалгебраїчні методи використовуються для динамічних аспектів, що забезпечує комплексний підхід до моделювання і верифікації. Формальна специфікація динаміки системи особливо необхідна для розподілених систем, оскільки вони мають додаткову невизначеність спричинену недетермінованістю процесів обміну інформацією між компонентами системи.

З викладеного вище можна зробити висновок, що формальні методи специфікації програмних продуктів та систем є підходом, що при правильному його використанні дозволяє забезпечити високу надійність системи та мінімізувати фінансові витрати на виправлення проєктних помилок, у випадку, якщо вони виникнуть. Використання універсальних коалгебр для специфікації поведінки програмних продуктів та систем має низку переваг над іншими формальними методами, зокрема, виразність моделювання дискретних динамічних систем, що в свою чергу дає можливість зменшити витрати на створення специфікації для подібних типів систем. Отже, науково-прикладна задача удосконалення моделей та методів специфікації поведінки дискретних динамічних систем, побудованих на основі універсальних коалгебр є актуальною.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення уніфікованих методів специфікації та аналізу дискретних динамічних систем різного типу включно з розподіленими за рахунок використання універсальних коалгебр.

Основні завдання дисертаційного дослідження:

1. Аналіз сучасного стану методологій формальної специфікації програмних продуктів, в тому числі з використанням універсальних коалгебр.
2. Розробка коалгебраїчних моделей для категорій дискретних динамічних систем, що породжують вихідні данні.
3. Дослідження властивостей ендofунктора дискретної динамічної системи з метою з'ясування факту наявності відповідної фінальної системи.
4. Використання монади Джірі для забезпечення рандомізації дискретних динамічних систем з виходами з метою формального визначення рандомних систем.
6. З'ясування існування фінальної системи для класу рандомних систем і її обчислення у разі існування.
7. Аналіз поведінки рандомної системи як композиції системи з виходами та монади Джірі.

### **Об'єкт та предмет дослідження.**

Об'єктом дослідження є процеси специфікації та аналізу поведінки розподілених обчислювальних систем різної природи, як детермінованих так і рандомних.

Предметом дослідження є колагебраїчні моделі дискретних динамічних систем та методи їх аналізу.

### **Методи дослідження.**

Дослідження виконано із застосуванням наступних принципів та методів.

1. Принципів теорії систем, що є загальною теоретичною базою дослідження.
2. Теорії категорій, що забезпечує універсальну формальну мову для дослідження систем різної природи.
3. Теорії універсальних коалгебр, що дозволяє моделювати поведінку дискретних динамічних систем різного типу включаючи розподілені в рамках єдиного фреймворку.
4. Фінальної семантики, яка визначає сенс властивостей і відношень притаманих всім системам заданого типу.
5. Методу коіндукції, який дозволяє доводити визначати та доводити властивості фінальної системи.

### **3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Тематика дисертаційної роботи пов'язана з дослідженнями, проведеними у межах науково дослідницької роботи «Integrated rail freight optimisation in Ukraine: Railway sleepers, rolling stock and logistics» (ДР № 0123U102700), при виконанні якої здобувач приймав участь як виконавець.

### **4. Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна.**

Дисертаційне дослідження виконано здобувачем самостійно, усі сформульовані в ньому положення та висновки з рекомендаціями обґрунтовані на основі особистих досліджень автора. Для аргументації окремих положень використані праці інших науковців, на які зроблені посилання. В індивідуальних наукових працях застосовано лише авторські ідеї та розробки.

Аспірант брав активну участь у наукових дискусіях, семінарах, підготовці наукових статей, опублікованих за темою дисертації, успішно доповідав результати досліджень на міжнародних конференціях.

Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна полягає у наступному

1. Вперше запропоновано формалізацію рандомізації дискретної динамічної системи шляхом лівої композиції її ендofунктора з монадою Джірі.
2. Вперше сформульовано та доведено достатню умову для збереження ендofунктором категорії множин слабких декартових квадратів, що дозволяє встановити факт існування фінальної системи.
3. Дістала подальшого розвитку техніка обчислення фінальної системи певного типу шляхом використання методу коіндукції у разі доведеного факту існування фінальної системи.

4. Дістав подальшого розвитку метод синтезу моделей для динамічного аналізу (імітаційного моделювання) складних систем з використанням техніки універсальних коалгебр.

**5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, одержаних Панченком А. С., при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечується коректним використанням адекватних підходів і методів сучасної математики, які, як це продемонстровано у численних авторитетних публікаціях, знайшли застосування у комп'ютерних науках. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в фахових наукових видання та таких, які індексуються у наукометричній базі Scopus. Результати доповідалися на міжнародних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи логічно випливають з її змісту.

**6. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.**

Результати дисертаційного дослідження Панченка А.С., були впроваджені у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту (акт від 14 грудня 2023р.) та використовуються при підготовці до дипломування бакалаврів і магістрів освітньо-професійного рівня та магістрів освітньо-наукового рівня на факультеті “Управління процесами перевезень” за освітніми програмами “Організація перевезень і управління на транспорті”, “Організація міжнародних перевезень”.

Результати дисертаційного дослідження були використані при дослідженні системи руху вагонопотоків на полігоні регіональної філії “Південна залізниця” АТ “Укрзалізниця” (акт впровадження від 12 грудня 2023р.), що дозволило забезпечити точність прогнозування часу доставки вантажу з сортувальних станцій на розгалужених полігонах залізничної мережі на рівні, близькому до 90% з похибкою 4 - 9%. Методи імітаційного моделювання з використанням універсальних коалгебр дали змогу зменшити потенційну кількість помилок при розробці систем моніторингу руху вагонопотоків до 15%. Так само результати дисертаційного дослідження було впроваджено на виробництві ПАТ “Турбогаз”. Використання методик коалгебраїчної специфікації на етапі проектування турбодетандерної техніки дало можливість підвищити надійність техніки, що виготовляється (акт впровадження від 27 грудня 2023р.)

**7. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.**

Матеріали дисертаційної роботи опубліковано в 5 наукових працях, серед яких 1 публікація у міжнародних виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 1 публікація у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, 3 тез доповідей:

**Статті у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз**

1. Grygoriy Zholtkevych, Artem Panchenko. About One Possible Tool for Analysing Safeness of Discrete Dynamic Systems. 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), IEEE, 2023

DOI:<http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT61349.2023.10416480>

Ключові слова: discrete system, actual system state, forecasted system state, dynamical transformation, endofunctor, universal coalgebra, coalgebraic morphism, colimit, eventual coalgebra

Посилання: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10416480>

(Особистий внесок: виведення частини моделей на основі універсальних коалгебр для розповсюджених динамічних систем а також написання частини тексту та його переклад).

2. Grygoriy Zholtkevych, Artem Panchenko. An Approach to Construct Final Random System with Output. In: Ermolayev, V., et al. Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications. ICTERI 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1698. Springer, Cham, 2022

DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20834-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20834-8_1)

Ключові слова: coalgebra, coalgebraic morphism, final system, anamorphism

Посилання: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-20834-8\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-20834-8_1)

(Особистий внесок: розробка теоритичних засад існування фінальної коалгебри для обраного типу динамічних систем, написання частини тексту та переклад а також виступ на конференції).

3. Grygoriy Zholtkevych, Artem Panchenko. Coalgebraic Understanding of Random Systems with Output. Conference: 17th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge TransferAt: Kherson, Ukraine Volume: Volume I: Main Conference, PhD Symposium, and Posters, 2021

Ключові слова: discrete system, system with output, random system, coalgebraic approach

Посилання: <https://ceur-ws.org/Vol-3013/20210296.pdf>

(Особистий внесок: розробка підходів до впровадження стохастичності до детермінованої моделі за допомогою монади вірогіднісного розподілу Джирі, написання частини тексту та переклад а також виступ на конференції).

4. Panchenko, A., Prokhorchenko, A., Panchenko, S., Dekarchuk, O., Gurin, D., & Medvediev, I. Predicting the estimated time of cargo dispatch from a marshaling yard. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(3 (106), 6–15. 2020

DOI <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209912>

Ключові слова: railroad, marshaling yard, cargo dispatch, expected departure time, machine learning

Посилання: <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/209912>

(Особистий внесок: розробка імітаційної моделі залізниці з оглядом на її природу, яку можна охарактеризувати як розподілену, написання частини тексту та переклад).

**Статті у наукових фахових виданнях України**

5. Grygoriy Zholtkevych, Artem Panchenko. The technique of modeling Cyberphysical systems using Coalgebra. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems», 2023, 58, 47-53.

DOI: <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2023-58-05>

Ключові слова: Cyber-Physical Systems, Coalgebra, Dynamic Systems Modeling, Category Theory, Final Coalgebra

Посилання: <https://periodicals.karazin.ua/mia/article/view/23500>

(Особистий внесок: вивчення теоритичних засад використання декартових квадратів для доведення існування фінальної коалгебри для побудованих моделей динамічних систем, написання частини тексту та переклад).

#### **8. Дотримання академічної доброчесності.**

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі [Strikeplagiarism.com](http://Strikeplagiarism.com)) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

#### **9. Апробація матеріалів дисертації.**

Результати проведених досліджень представлялись на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях у формі доповідей, за результатами яких були опубліковані матеріали наукових конференцій:

1. 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), IEEE
2. ICTERI 2021. Communications in Computer and Information Science
3. 17th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge

#### **10. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.**

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступно для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого автором дослідження. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

#### **11. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.**

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Панченка А. С. «Коалгебраїчні засоби специфікації та аналізу статистичних обмежень поведінки розподілених систем» повністю відповідає спеціальності 122 - «Комп'ютерні науки». Здобувачем повністю виконано освітню та наукову складову третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

#### **12. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту.**

Здобувач представив основні результати своєї дисертаційної роботи на розширеному засіданні кафедри теоретичної та прикладної інформатики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації (Витяг з протоколу № 11 розширеного засідання кафедри теоретичної та прикладної інформатики від 04 червня 2024 р) у формі презентації та наукової дискусії після її завершення. На даному засіданні були присутні 18 співробітників із різних

наукових та навчальних установ України, із яких 4 докторів наук та 10 кандидатів наук (докторів філософії). Дисертанту було задано 6 запитань, на які він надав вичерпні відповіді. Також виступили 2 науковця, які позитивно відізначались про дисертаційне дослідження Панченка А. С..

У рамках цього розширеного засідання було ухвалено одногосно (18 голосів) рекомендувати дисертаційну роботу аспіранта Панченка Артема Сергійовича «Коалгебраїчні засоби специфікації статистичних обмежень поведінки розподілених систем» до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань, 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

доктор технічних наук  
професор закладу вищої освіти кафедри  
теоретичної та прикладної інформатики  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна



В'ячеслав ФРОЛОВ