

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Дифучина Антона Юрійовича на тему «Методи візуального програмування

Петрі-об'єктних моделей»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Розробка сучасних інформаційних систем для третьої платформи, що включає хмарні обчислення, великі дані, мобільні пристрої та онлайн взаємодію, потребує нових підходів, технологій та моделей реалізації процесів проектування, розроблення, модифікації, аналізу, забезпечення якості, впровадження і супроводження програмного забезпечення. При цьому традиційний процес розробки моделей інформаційних систем є настільки довготривалим і трудомістким, що витрати на створення моделі можуть перевищувати витрати на її використання.

Одним з потужних інструментів розробки моделей складних інформаційних систем, який має важливе прикладне значення, є візуальні засоби представлення моделей та конструювання моделі застосунку з використанням графічного редактора та засобів анімації. Моделі і методи однозначного перетворення візуального представлення у обчислення на базі застосування візуальних об'єктів для опису завдання на виконання обчислень дозволяють перетворити візуальне представлення у візуальне програмування. Розроблення формальної мови програмування, в якій код моделі повинен бути реалізований як частина програмного забезпечення, дозволяє досягти такого перетворення.

Отже, розробка нових підходів, методів та програмних засобів, що спрямовані на підвищення ефективності програмних засобів представлення складних моделей систем та їх програмної реалізації з метою імітаційного моделювання та подальшого створення програмного коду є актуальним науковим завданням.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

У дисертаційній роботі автором отримано низку нових наукових результатів, серед яких необхідно виділити такі:

- вперше розроблено візуальну мову програмування Петрі-об'єктних моделей, що дозволяє спростити процес побудови моделей, підвищити наочність сприйняття моделей та час виконання імітаційного моделювання шляхом організації дворівневого способу побудови моделей. На відміну від



існуючих рішень в області імітаційного моделювання, візуальна мова програмування Петрі-об'єктних моделей надає універсальний та гнучкий інструмент для побудови моделей дискретно-подійних систем, а процес виконання імітаційного моделювання не залежить від обчислювальних ресурсів користувача;

- удосконалено Петрі-об'єктну модель за рахунок введення поняття групи Петрі-об'єктів, колекції Петрі-об'єктів та групи колекцій Петрі-об'єктів, що, на відміну від існуючих засобів представлення імітаційної моделі, надають можливість тиражувати Петрі-об'єкти з заданими наборами параметрів, тиражувати колекції взаємопов'язаних Петрі-об'єктів та тиражувати зв'язки між Петрі-об'єктом та групою Петрі-об'єктів, між Петрі-об'єктом та групою колекцій Петрі-об'єктів. За рахунок тиражування однотипних фрагментів моделі та тиражування зв'язків створені умови для швидкого конструювання моделей з великою кількістю елементів та значного скорочення обсягу їх візуального представлення;

- вперше запропоновано клієнт-серверну архітектуру програмного забезпечення з імітаційного моделювання на основі Петрі-об'єктного підходу, використання якої дозволяє задіяти ресурси віддаленого серверу для проведення імітаційного моделювання, що забезпечило стабільність часу виконання, зменшення витрат на інфраструктуру обчислювальних ресурсів користувачів та можливість організації спільного доступу до розробки моделей.

Результати дисертаційної роботи дозволяють підвищити ефективність програмних засобів представлення складних моделей систем для цілей імітаційного моделювання за рахунок зменшення складності конструювання моделі та збільшення швидкодії алгоритмів імітації, зручності сприйняття моделі, зменшення кількості помилок при створенні зв'язків між елементами моделі та зменшення часу на модифікацію моделі.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі інформатики та програмної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках ініціативних тем «Створення засобів імітаційного моделювання дискретно-подійних систем» (д/р номер 0117U000923) під керівництвом професора кафедри, д.т.н., професора Томашевського В.М., «Методи візуального програмування Петрі-об'єктних моделей» (д/р номер 0117U000918) під керівництвом професора кафедри, д.т.н., професора Стеценко І.В.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів обумовлені коректним використанням математичного апарату імітаційного моделювання, теорії побудови трансляторів, формалізмів моделювання дискретно-подійних систем, теорії алгоритмів, а також підтверджуються результатами обчислювальних експериментів.



Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання – підвищення ефективності програмних засобів розробки складних моделей систем на основі формалізму стохастичних мереж Петрі, 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 Дифучина А. Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Візуальні мови програмування».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Дифучина Антона Юрійовича 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. Текст дисертації викладений з дотримання наукового стилю, загальноприйнятої в інформаційних технологіях термінології, характеризується послідовністю викладення матеріалу, чіткістю формулювань та логічністю.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 100 сторінок. Текст дисертації містить 29 рисунків та 7 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації – розроблення методу візуального програмування Петрі-об'єктних моделей, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, показано зв'язок з науковими темами, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані про впровадження результатів, публікації та особистий внесок здобувача.

**Перший розділ** присвячено аналізу проблеми моделювання програмних засобів з використанням стохастичних мереж Петрі. Аналіз наукових праць вітчизняних і зарубіжних авторів показав, що мережі Петрі є ключовим формалізмом для моделювання дискретно-подійних систем.

Сформульовано вимоги до імітаційної моделі, а саме, код моделі повинен бути реалізований як частина програмного забезпечення, а модель повинна

мати можливість інтегруватися зі сховищем даних та інтерфейсом кінцевого користувача. Обґрунтовано переваги використання візуальних засобів представлення моделей програмних засобів та конструювання моделі на базі графічного редактора для розроблення моделей складних інформаційних систем. Виконано порівняльний аналіз сучасних програмних засобів моделювання стохастичними мережами Петрі.

У відомих роботах недостатньо уваги приділяється універсальному формалізму опису моделі, що призводить до значного збільшення кількості різнотипних елементів, необхідних для представлення широкого класу систем, що моделюються, і відповідно збільшення складності застосування моделі.

З іншого боку, при побудові моделей з використанням універсальної мови програмування у випадку великої кількості однотипних елементів виникає складність відлаштування зв'язків між елементами моделі за відсутності наочного їх представлення.

Все це разом дозволило автору визначити відповідні завдання для дослідження.

У **другому розділі** наведено формальний опис Петрі-об'єктних моделей, визначені правила функціонування мережі Петрі, представлено метод Петрі-об'єктного моделювання, введені операції над Петрі-об'єктами, розроблено алгоритм імітації Петрі-об'єктної моделі та бібліотеки java-класів Петрі-об'єктного моделювання. Встановлено, що при значному збільшенні кількості подій в моделі її застосування ускладнюється, оскільки численні дуги створюють заплутану мережу, яку важко редагувати та змінювати. Також, використання виключно редактора мережі Петрі у програмному забезпеченні виявило, що необхідний потужний візуальний інструментарій для конструювання Петрі-об'єктної моделі, оскільки зв'язування Петрі-об'єктів текстовою мовою програмування потребує значних витрат часу і супроводжується помилками людини.

Визначені такі переваги Петрі-об'єктних моделей при розробленні моделей інформаційних систем: універсальність формального опису динаміки дискретно-подійної системи; тиражування елементів моделі, динаміка яких визначена мережею Петрі; більша швидкодія у порівнянні зі звичайною стохастичною мережею Петрі.

У **третьому розділі** розроблено граматику мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей; проаналізовано формальні мови та засоби імітаційного моделювання дискретно-подійних систем; визначені терміни «візуальне моделювання» та «візуальне програмування»; представлений синтаксис формальної мови, її семантика, а також алфавіт мови візуального програмування; розроблені набори графічних елементів мови візуального програмування (символи мови), що можуть бути перетворені у



змістові конструкції Петрі-об'єктної моделі, а також їх графічне представлення; розроблено імітаційну модель, що відтворює обробку запитів клієнт-серверним застосунком; показано, що Петрі-об'єктна модель, описана візуальною мовою програмування, може бути трансформована в алгоритмічну мову і запущена на виконання алгоритмом імітації.

У **четвертому розділі** розроблено транслятор мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей, який виконує лексичний аналіз, синтаксичний аналіз та семантичний аналіз; запропонована текстова інтерпретація символів алфавіту мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей мовою TypeScript; визначені дії для виконання імітації моделі та зміни її станів; розроблено архітектуру транслятора, який складається з послідовності програмних компонент, що виконують сканування послідовності символів, парсинг мовного виразу, семантичний аналіз та генерують код; запропоновано розподілити роботу транслятора між клієнтською (лексичний та синтаксичний аналіз) та серверною (семантичний аналіз мовного виразу) частинами системи; отримано результат перетворення транслятором візуального представлення моделі у JSON формат, а також результат перетворення JSON представлення моделі у java-код та запуск моделі на імітацію.

У **п'ятому розділі** представлено експериментальне дослідження ефективності розробки Петрі-об'єктних моделей мовою візуального програмування; досліджено коректність результатів обчислень алгоритму імітації для моделей, що складаються з одного, двох, чотирьох Петрі-об'єктів, а також для мережі масового обслуговування, що складається з чотирьох систем; порівняно результати аналітичного розрахунку та результати імітації мережі масового обслуговування; досліджено складність процесу розробки моделі мовою візуального програмування у порівнянні з існуючими програмними засобами; виконано порівняння розробки візуального представлення заданої моделі звичайною стохастичною мережею Петрі, розфарбованою мережею Петрі та візуальною мовою програмування Петрі-об'єктних моделей; встановлено, що кількість рутинних дій, які виконує розробник моделі для створення одного Петрі-об'єкта, буде набагато більшою при програмуванні текстовою мовою у порівнянні із запропонованою візуальною мовою програмування Петрі-об'єктних моделей; представлені результати експериментального дослідження швидкодії алгоритму імітації Петрі-об'єктної моделі; встановлено, що при збільшенні складності одного Петрі-об'єкта і відповідно зменшенні кількості Петрі-об'єктів, з яких побудована модель, від 5 до 20 спостерігається значне зменшення часу виконання; доведено ефективність алгоритму імітації Петрі-об'єктної моделі за показником

швидкодії та визначено рекомендований рівень складності одного Петрі-об'єкта – 20 подій.

У **висновках** представлено основні наукові результати дисертаційного дослідження: розроблено мову візуального програмування Петрі-об'єктних моделей; розроблено формальну граматику мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей; розроблено транслятор мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей; концепція Петрі-об'єктної моделі розширена поняттями конектор Петрі-об'єктів, група Петрі-об'єктів, колекція Петрі-об'єктів та група колекції Петрі-об'єктів; доведено коректність побудови моделей та результатів моделювання; визначено переваги використання мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей у порівнянні з існуючими програмними засобами з моделювання стохастичними мережами Петрі.

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 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у фаховому науковому журналі з переліку до 12.03.2020 р. (технічні науки); 1 статті у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, віднесеному до четвертого квартилю (Q4) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 1 стаття у науковому журналі, проіндексованому GoogleScholar.

Також результати дисертації були апробовані на 2 міжнародних наукових конференціях, проіндексованих у Web of Science Core Collection та Scopus.

Усі публікації здобувача відповідають високому науковому рівню та висвітлюють результати наукового дослідження, що представлені у дисертації, достатньо повно. У публікаціях дотримано принципи академічної доброчесності. Особистий внесок здобувача в опублікованих у співавторстві наукових працях є вагомим. Ключова наукова стаття з дисертаційного дослідження «Транслятор мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей» опублікована здобувачем одноосібно.

Отже, наукові результати, представлені в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача, а рівень публікацій відповідає вимогам п.8 «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.



### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У розділі 4.2 йде мова про архітектуру транслятора, але представлена тільки його структура без розподілу на клієнтську та серверну частини.

2. Не представлений інтерфейс клієнтської частини, де користувач створює візуальну модель з використанням мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей. Представлено тільки моделі у форматі JSON та мовою Java.

3. У тексті роботи виявлені друкарські помилки. Наприклад, розділ 2.1 має назву «Стохастична мереже Петрі...», на сторінці 41 вказано «У наступному розділі статті...», та ін.

4. Декілька рисунків оформлені англійською мовою, наприклад рисунки 3.2, 4.1 – 4.3.

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 Дифучина Антона Юрійовича на тему «Методи візуального програмування Петрі-об'єктних моделей» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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.

Здобувач Дифучин Антон Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

### **Рецензент:**

Доцент кафедри інформатики  
та програмної інженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
кандидат технічних наук, доцент

М.П.

  
«29» травня 2023 року  
