

Голові разової спеціалізованої вченої
ради в Національному університеті
«Одеська політехніка»,
доктору технічних наук, професору,
завідувачу кафедри комп'ютеризованих
систем та програмних технологій
Навчально-наукового інституту
комп'ютерних систем
Сергію ПОЛОЖАЄНКО

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора,
професора кафедри комп'ютеризованих систем та програмних технологій
Навчально-наукового інституту комп'ютерних систем
Національного університету «Одеська політехніка»
Павленка Віталія Даниловича
на дисертаційну роботу здобувача
Нікітченка Максима Ігоровича
«Методи забезпечення консистентності моделей програмних систем в
інкрементальних процесах розробки та засоби їх інтеграції
з інструментальними середовищами»,
що подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду
Національного університету «Одеська політехніка»
Міністерства освіти і науки України
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення,
галузь знань 12 – Інформаційні технології

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність обраної теми дисертації обумовлена стрімким зростанням складності сучасних програмних систем та необхідністю переходу до модельно-орієнтованих підходів для управління їхньою архітектурою. В умовах поширення гнучких методологій розробки та практик DevOps виникає гостре протиріччя між вимогами до формальної строгості UML-моделей, що традиційно забезпечується стандартом XMI, та потребою у їх гнучкій інтеграції в ітеративні процеси, де перевагу мають легковагові формати, такі як JSON. Наявний конфлікт форматів та підходів призводить до розриву між проектною

моделлю та її програмною реалізацією, що провокує явище «архітектурного дрейфу» та накопичення прихованих дефектів, виправлення яких на пізніх стадіях життєвого циклу експоненційно збільшує вартість розробки. Тому створення науково-методичного апарату, який би поєднував гнучкість опису статичної структури з формальною строгістю поведінкової семантики, є критично важливим завданням.

Саме тому дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі підвищення ефективності та достовірності процесу розробки шляхом забезпечення гарантованої консистентності UML-моделей з двома поданнями при використанні форматів JSON та XMI, є своєчасною та актуальною.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська політехніка» при виконанні держбюджетних тем: НДР № 210-63 «Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів» (номер держ. реєстрації 0122U002161) та НДР № 264-73 «Методи та технології моделювання і забезпечення якості складних програмних систем у динамічних середовищах» (номер держ. реєстрації 0125U003655)..

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується коректним застосуванням методів системного аналізу, теорії множин та теорії графів для формалізації метамоделей та залежностей між ними, а також використанням апарату математичної логіки для побудови правил валідації. Застосування об'єктно-орієнтованого підходу дозволило розробити гнучку архітектуру програмних засобів, що відповідає сучасним стандартам інженерії програмного забезпечення. Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю теоретичних викладок із результатами експериментальних

досліджень розробленого прототипу інструментальних засобів (плагіна). Експериментальна перевірка на тестових наборах моделей обсягом до 5000 класів довела ефективність запропонованого методу інкрементальної валідації. Зокрема, кількісні показники підтверджують, що використання розроблених методів дозволяє скоротити час перевірки консистентності у 12 разів (до 0,3 с) та зменшити вимоги до оперативної пам'яті у 2 рази порівняно з методами повного перебору. Високий показник F-міри при виявленні архітектурних дефектів свідчить про надійність запропонованих алгоритмів.

Висновки дисертаційної роботи не суперечать відомим науковим фактам та базуються на глибокому аналізі існуючих підходів до забезпечення якості модельно-орієнтованої розробки. Основні положення роботи пройшли достатню апробацію на наукових конференціях та опубліковані у фахових виданнях.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна результатів дисертації полягає у створенні нового науково-методичного апарату для забезпечення архітектурної цілісності програмних систем в умовах ітеративної розробки. Найбільш вагомими науковими здобутками, отриманими здобувачем особисто, є:

- *вперше розроблено* формальну метамодель UML з двома поданнями, яка, на відміну від існуючих монолітних підходів, базується на сегрегації структурного (у форматі JSON) та поведінкового (у форматі XMI) описів системи, що поєднані формально визначеним відношенням відповідності, що, в свою чергу, дозволило розв'язати протиріччя між вимогами до формальної строгості архітектурних моделей та потребою у їх гнучкій інтеграції з системами контролю версій;

- *вперше запропоновано* метод автоматизованого забезпечення консистентності UML-моделі, який поєднує використання OCL-інваріантів для швидкої перевірки локальної узгодженості та трансформацію у специфікацію Alloy для глибокої верифікації транзитивних залежностей. В результаті такий

підхід забезпечує вищу точність виявлення семантичних дефектів порівняно з традиційними синтаксичними валідаторами;

– *вперше сформульовано та доведено* теорему інкрементальної консистентності, яка теоретично обґрунтовує достатність локалізованих перевірок для збереження глобальної узгодженості моделі при внесенні змін, що стало теоретичним підґрунтям для зниження обчислювальної складності валідації та забезпечило можливість інтеграції процесу у конвеєри CI/CD;

– *набув подальшого розвитку* метод двосторонньої синхронізації моделей, який відрізняється використанням графа залежностей з класифікованими ребрами для відстеження впливу змін, що дозволило реалізувати механізм автоматичного виявлення та вирішення конфліктів між структурним та поведінковим поданнями в реальному часі.

Наукові завдання, які відповідають меті дисертаційної роботи, виконані повністю. Здобувач володіє методологією наукової діяльності у повній мірі.

4. Повнота викладення результатів у публікаціях

Опубліковані праці повністю відповідають структурним частинам дисертації та вичерпно репрезентують зміст і результати проведених досліджень. Розгляд публікацій та оцінка особистого внеску здобувача засвідчують, що ключові наукові положення, висновки й рекомендації, винесені на захист, є результатом самостійної роботи автора, виконаної у період з 2022 по 2026 рік та систематизованої у дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 12 публікаціях. Із них: 6 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук, 6 публікації у працях і матеріалах наукових конференцій. При цьому 2 статті надруковані без співавторів.

Оформлення дисертаційної роботи Нікітченка Максима Ігоровича відповідає вимогам освітньо-наукової програми для здобуття ступеня доктора

філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», розробленої згідно зі стандартом вищої освіти галузі знань «12 Інформаційні технології» для третього рівня вищої освіти.

5. Значення роботи для науки та практики

Наукове значення роботи полягає у поглибленні теоретичних основ інженерії програмного забезпечення в частині забезпечення якості архітектурних рішень. Запропонована автором концепція розділення моделі на структурне та поведінкове подання з формалізованим механізмом їх синхронізації створює підґрунтя для подальшого розвитку методів Model-Driven Engineering. Доведені в роботі теоретичні положення щодо інкрементальної валідації розширюють розуміння процесів верифікації складних систем і можуть бути використані при розробці нових стандартів моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні дієвого інструментарію, який дозволяє інтегрувати суворі архітектурні практики у гнучкі процеси розробки, такі як Agile та DevOps. Крім того, практичні результати роботи вже знайшли апробацію: у дисертації наводяться акти впровадження. Зокрема, методика інкрементальної перевірки узгодженості впроваджена в навчальний процес кафедри інженерії програмного забезпечення (для підвищення якості підготовки фахівців за спеціальністю 121), а також використана при дослідно-конструкторських роботах в ІТ-компанії (*ТОВ «Дискрет»* та *ТОВ «Курс»*), про що свідчать відповідні акти впровадження. Таким чином, результати дисертації мають практичне підтвердження і можуть бути рекомендовані до широкого впровадження в інструменти промислової розробки програмного забезпечення.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

У дисертаційній роботі Нікітченка М. І. порушень академічної доброчесності не виявлено. Текстові запозичення, використані здобувачем, супроводжуються посиланнями на відповідні джерела. Отримані наукові

результати, висновки та рекомендації є результатом самостійних досліджень автора. Ідеї та розробки співавторів, з якими опубліковано наукові праці, відокремлені та належним чином відзначені у дисертації. Дисертаційна робота перевірена на наявність академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації. Виявлені збіги пов'язані з використанням загальноживаної термінології, стандартних фраз наукового стилю, назв організацій та посилань на власні публікації здобувача. Отже, можна стверджувати, що Нікітченко М.І. дотримувався принципів академічної доброчесності, а наукові результати, викладені у роботі, є оригінальними.

7. Дискусійні положення та зауваження

Рецензуючи дисертаційну роботу, слід відзначити її високу якість. Водночас є декілька зауважень і рекомендацій:

1. У першому розділі роботи зазначається, що «формат ХМІ має надлишкову складність, що ускладнює його використання в системах контролю версій», проте аналізу конкретних метрик надлишковості (наприклад, співвідношення корисного навантаження до метаданих) у порівнянні із запропонованим JSON-підходом приділено недостатньо уваги.

2. У поясненні до математичної моделі вводиться поняття функції валідації. Доцільно було б додати більш розгорнуте пояснення того, як саме поводить себе функції відображення при виникненні циклічних залежностей між елементами моделі, оскільки поточний опис розглядає переважно лінійні зв'язки.

3. До лістингів, що ілюструють трансляцію UML-обмежень у мову Alloy, надано дещо стислі коментарі. Зокрема, пояснення семантики використаних предикатів Alloy розміщене у загальному описі підрозділу, а не безпосередньо біля відповідних фрагментів коду, що створює певні незручності при спробі співставити логіку трансляції з кінцевим результатом.

4. У розділі 4 під час опису експериментальної перевірки вказано, що для оцінки продуктивності використовувалися моделі з кроком збільшення у 500 класів (від 500 до 5000). Проте у поясненні відсутнє чітке обґрунтування вибору саме такого діапазону та кроку. Доцільно було б пояснити, чи проводилося порівняння на значно менших (до 100 класів) або більших вибірках для визначення граничних ефектів масштабування.

5. У підрозділі 3.2 описано алгоритм двонаправленої синхронізації змін. Проте при описі сценаріїв вирішення конфліктів не до кінця зрозуміло, на якому саме етапі відбувається звернення до користувача у випадку, коли автоматичне вирішення конфлікту неможливе, і як це реалізовано алгоритмічно.

6. У тексті дисертації наявні окремі пунктуаційні та стилістичні неточності.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Вони мають характер рекомендацій і свідчать про прагнення рецензента бачити подальший розвиток дослідження; загальні висновки дисертації та рівень виконання роботи залишаються високими.

8. Загальний висновок

Дисертаційна робота Нікітченка Максима Ігоровича «Методи забезпечення консистентності моделей програмних систем в інкрементальних процесах розробки та засоби їх інтеграції з інструментальними середовищами» є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності модельно-орієнтованої розробки та має вагоме значення для галузі інженерії програмного забезпечення.

З огляду на актуальність теми, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, обґрунтованість наукових положень і висновків, а також повноту їх викладення у фахових публікаціях та відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам

пунктів 6, 9-11 «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 (зі змінами). Автор дисертації, Нікітченко Максим Ігорович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» у галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютеризованих
систем та програмних технологій
Національного університету «Одеська
політехніка»

Віталій ПАВЛЕНКО