

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
Сергію ПОЛОЖАЄНКО

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора кафедри
комп'ютеризованих систем та програмних технологій Інституту комп'ютерних
систем Національного університету «Одеська політехніка»

Фоміна Олександра Олексійовича
на дисертаційну роботу здобувача
Нікітченка Максима Ігоровича

«Методи забезпечення консистентності моделей програмних систем в
інкрементальних процесах розробки та засоби їх інтеграції з інструментальними
середовищами»,

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 дисертаційного дослідження

Сучасна індустрія розробки програмного забезпечення переживає фундаментальну трансформацію, пов'язану з повсюдним впровадженням практик безперервної інтеграції та доставки. У цих умовах ключовим фактором успіху стає швидкість внесення змін та автоматизація контролю якості на всіх етапах життєвого циклу. Проте, існуючі підходи до модельно-орієнтованого проектування часто стають «вузьким місцем» у швидкісних конвеєрах розробки через громіздкість стандартів обміну метаданими та відсутність ефективних засобів інкрементальної валідації. Традиційні інструменти моделювання,

орієнтовані на монолітні файлові структури, погано інтегруються з сучасними системами контролю версій, що ускладнює командну роботу та призводить до десинхронізації між архітектурним задумом та кодом. Тому наукова задача адаптації методів UML-моделювання до вимог гнучких методологій через використання простих в обробці форматів даних та алгоритмів швидкої перевірки консистентності є вкрай затребуваною.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню цієї проблеми шляхом створення методів та засобів, які дозволяють вбудувати перевірку архітектурної якості безпосередньо в автоматизовані процеси розробки, що робить тему дослідження актуальною для розвитку галузі інженерії програмного забезпечення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано в рамках пріоритетних напрямів наукової діяльності Національного університету «Одеська політехніка» і є складовою частиною держбюджетних науково-дослідних робіт: «Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів» (№ 210-63, держ. реєстр. 0122U002161) та «Методи та технології моделювання і забезпечення якості складних програмних систем у динамічних середовищах» (№ 264-73, держ. реєстр. 0125U003655).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, забезпечується обраною методологією дослідження, яка базується на системному поєднанні теоретичного моделювання з практичною реалізацією програмних компонентів. Достовірність отриманих результатів гарантується коректним використанням формальних методів опису метамоделей та суворим математичним доведенням теореми про

інкрементальну консистентність, що дозволило теоретично обґрунтувати можливість оптимізації процесів валідації без втрати точності.

Вагомим доказом обґрунтованості запропонованих рішень є їх конструктивна реалізація у вигляді діючого прототипу програмного засобу. Проведені автором експериментальні дослідження на репрезентативних наборах тестових даних підтвердили адекватність розроблених моделей та високу ефективність алгоритмів. Зокрема, порівняльний аналіз із існуючими методами повного перебору переконливо засвідчив переваги запропонованого підходу за критеріями швидкодії та використання системних ресурсів.

Висновки та рекомендації роботи логічно впливають з проведеного аналізу та результатів експериментів, не суперечать фундаментальним положенням інженерії програмного забезпечення та узгоджуються з сучасними тенденціями розвитку CASE-засобів.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні важливої задачі забезпечення цілісності програмних архітектур шляхом синтезу формальних методів верифікації та гнучких підходів до управління даними. Найбільш суттєві наукові здобутки, отримані особисто автором, полягають у наступному.

1. Вперше розроблено гібридну метамодель представлення програмної архітектури, яка, на відміну від монолітних рішень, реалізує принцип декомпозиції описів: структурні дані подаються у легковаговому форматі JSON, а поведінкові аспекти з використанням стандарту XMI. Завдяки формалізації правил відповідності між цими представленнями створено єдиний інформаційний простір, що забезпечує безшовну інтеграцію суворих проектних специфікацій із гнучкими інструментами версійного контролю.

2. Вперше запропоновано стратегію каскадної валідації UML-моделей, що передбачає поетапну фільтрацію помилок: від експрес-діагностики

статичних порушень за допомогою OCL-обмежень до глибокого логічного виведення прихованих колізій через SAT-солвер. Разом це дозволило досягти якісно нового рівня детекції семантичних дефектів, недосяжного для класичних синтаксичних аналізаторів.

3. Вперше сформульовано та доведено теорему про достатні умови інкрементальної консистентності. Вона встановлює математичні межі області перевірки, гарантуючи, що локальна валідація зміненого фрагмента є достатньою для підтвердження глобальної коректності всієї моделі. Це стало теоретичним базисом для мінімізації обчислювальних витрат та дозволило імплементувати процедуру верифікації у конвеєри CI/CD.

4. Набув подальшого розвитку метод синхронізації різнорідних представлень моделі, який базується на графо-аналітичному підході до відстеження залежностей. Завдяки введенню класифікації ребер графа вдалося формалізувати процедуру поширення змін, що забезпечило можливість автоматичного, детермінованого вирішення колізій між структурним та поведінковим шарами системи в режимі реального часу.

Одержані результати відзначаються істотною науковою новизною, що підтверджується публікацією основних положень у рецензованих фахових виданнях та апробацією на наукових конференціях.

4. Повнота викладення результатів дисертації в публікаціях

За своїм змістом та наповненням дисертаційна робота здобувача Нікітченка Михайла Ігоровича повністю відповідає Стандарту освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії зі спеціальності 121 – «Інженерія програмного забезпечення» (галузь знань 12 – «Інформаційні технології»).

Дисертація є завершеною кваліфікаційною працею, яка свідчить про вагомий особистий внесок здобувача у розвиток методів моделювання та забезпечення якості програмних систем. Основні результати дисертаційного

дослідження викладено в 12 публікаціях, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України, 6 праць у матеріалах міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій. 2 статті надруковані без співавторів.

Публікації охоплюють усі розділи дисертації та достатньо повно відображають зміст досліджень і отримані результати. Аналіз опублікованих праць та особистого внеску здобувача підтверджує, що всі наукові положення, висновки та рекомендації, які виносяться на захист, отримані автором самостійно в період роботи над дисертацією (2022–2026 рр.) та коректно узагальнені в рукописі. Порушень академічної доброчесності в матеріалах дисертації та наукових публікаціях не виявлено.

5. Значення роботи для науки та практики

Наведені в дисертації результати досліджень дають підстави зробити висновок про наукову цінність роботи, що підтверджується виконаними експериментальними дослідженнями, проведеними для обґрунтування ефективності запропонованих рішень.

Наукове значення виконаної роботи полягає у розширенні методологічної бази автоматизованого проектування програмного забезпечення. Автором систематизовано підходи до валідації UML-діаграм та запропоновано нові методи зменшення алгоритмічної складності верифікаційних процедур. Вагомим науковим результатом є доведення можливості декомпозиції задачі глобальної перевірки цілісності моделі на набір локальних операцій без втрати гарантій коректності, що відкриває шлях до створення адаптивних алгоритмів аналізу якості програмного забезпечення в реальному часі.

Практичне значення одержаних результатів визначається їх спрямованістю на вирішення прикладних проблем індустрії розробки. Створений дисертантом комплекс програмних засобів дозволяє реалізувати концепцію раннього виявлення архітектурних помилок, що суттєво знижує вартість їх виправлення. Підтримка популярного формату JSON та інтеграція з

консольними інтерфейсами робить розробку доступною для використання у сучасних хмарних середовищах та системах автоматизованого збирання, усуваючи бар'єри між аналітиками та розробниками.

Розроблену методику інкрементальної перевірки узгодженості впроваджено в освітній процес кафедри інженерії програмного забезпечення з метою підвищення якості підготовки фахівців за спеціальністю 121. Крім того, її застосовано під час виконання дослідно-конструкторських робіт в ІТ-компаніях ТОВ «Дискрет» та ТОВ «Курс», що підтверджується відповідними актами впровадження.

6. Академічна доброчесність

Дисертаційна робота Нікітченка М.І. є результатом самостійного, оригінального наукового дослідження. Автор особисто отримав усі основні наукові результати, сформулював наукові положення, новизну та висновки, про що свідчить розділ «Особистий внесок здобувача» в тексті дисертації. Ідеї, підходи та результати інших дослідників, використані у роботі, належним чином відмічені посиланнями на першоджерела в списку використаної літератури. Перевірка тексту дисертації та опублікованих праць здобувача не виявила ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації. Структура і зміст роботи повністю відповідають принципам академічної доброчесності та вимогам до дисертаційних досліджень.

7. Дискусійні положення та зауваження

Високо оцінюючи науковий рівень, теоретичну глибину та практичну значущість виконаної роботи, вважаю за необхідне висловити декілька зауважень і рекомендацій, які мають дискусійний характер і не знижують загальної цінності дисертації.

1. Перший розділ роботи перевантажено загальними відомостями про історію розвитку парадигми модельно-орієнтованої розробки та еволюцію стандартів OMG. Цю оглядову інформацію бажано було б подавати більш

стисло, зосередившись безпосередньо на невирішених проблемах існуючих підходів до забезпечення консистентності.

2. Автору слід було б більш чітко розмежувати області доцільного застосування запропонованого легковагового JSON-формату та класичного стандарту XML. Хоча переваги першого для Web-середовищ очевидні, в роботі недостатньо уваги приділено сценаріям, де використання XML залишається безальтернативним (наприклад, у суворо регламентованих процесах сертифікації програмного забезпечення).

3. Для експериментального дослідження продуктивності валідації використовувалися синтетичні моделі з фіксованим показником зв'язності. Доцільно було б пояснити такий вибір та зазначити, наскільки обрана топологія зв'язків корелює з реальними архітектурними патернами, що зустрічаються у промислових проектах.

4. Не показано, яким чином обираються параметри обмеження простору пошуку при трансляції UML-моделей у логіку Alloy. Відсутнє чітке обґрунтування, як саме визначається мінімальна глибина перевірки, достатня для виявлення транзитивних циклів без надмірного споживання ресурсів.

5. Ефективність запропонованого методу інкрементальної валідації, як впливає з результатів моделювання, залежить від обсягу одночасно внесених змін. Проте у роботі не визначено порогового значення кількості змін, при перевищенні якого інкрементальний підхід стає менш ефективним за повну перевірку моделі.

6. При викладенні змісту дисертації здобувач допускає окремі неточності термінологічного плану, особливо при адаптації специфічних англomовних термінів інженерії програмного забезпечення.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і жодним чином не знижують її наукової цінності та практичної значущості.

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 завершеною самостійною науковою працею. У ній вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності та надійності модельно-орієнтованої розробки складних програмних систем шляхом забезпечення гарантованої узгодженості їхніх моделей. Дисертація виконана на високому науковому та методичному рівні; отримані результати (в тому числі формальна метамодель з двома поданнями, метод автоматизованої верифікації моделі на основі OCL-інваріантів та Alloy, теорема інкрементальної консистентності, метод двосторонньої синхронізації моделі з кодом) є новими, достатньо обґрунтованими та мають важливе практичне значення для галузі інженерії програмного забезпечення. Результати дисертації пройшли широку апробацію: опубліковані у фахових виданнях, доповідалися на конференціях і впроваджені у виробничу та освітню практику.

Вважаю, що подана дисертаційна робота повністю відповідає вимогам, визначеним «Порядком присудження ступеня доктора філософії», затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами). Її автор, Нікітченко Максим Ігорович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний рецензент:

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

Олександр ФОМІН