

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
д.т.н., професору Литвину Василю Володимировичу

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

докторки технічних наук, професорки

Говорущенко Тетяни Олександрівни

на дисертаційну роботу

Луцика Іллі Ігоровича

«Методи та засоби створення адаптивних програмних систем на основі онтологій»,
подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 *«Інформаційні технології»*
за спеціальністю 121 *«Інженерія програмного забезпечення»*

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Розвиток технологій проектування та розробки програмного забезпечення підвищує рівень вимог користувачів до функціональності програмних систем. Внаслідок цього гостро постає проблема розробки методів адаптації програмних систем, базовою вимогою яких є вирішення завдань оперативної підтримки прийняття рішень на основі оперування великими масивами інформації.

Для ефективної роботи програмних систем необхідна їх адаптація до особливостей конкретної проблемної області та варіантів вимог користувача. У таких випадках доцільним є використання засобів штучного інтелекту. Проблема адаптації програмного забезпечення полягає в ефективному формуванні стабільної конфігурації системи, яка б не була надмірною у розмірах та не витрачала великої кількості ресурсів. Тому, під час розробки адаптивних систем слід визначати зовнішні та додаткові компоненти з достатнім рівнем абстракції, щоб зменшити ступінь зв'язності та покращити ефективність роботи системи.

Таким чином, вдосконалення процесу адаптації для адаптивних та самоадаптивних систем, що дозволило б покращити модифікацію програмного

забезпечення відповідно до змінних вимог, вподобань користувача та з врахуванням мінімізації використання ресурсів системи є актуальним.

Все це зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Луцика Іллі Ігоровича, присвяченої розв'язанню важливої та актуальної задачі удосконалення процесу проєктування та розроблення адаптивних програмних систем на основі уніфікованої онтологічної моделі з використанням розроблених методів динамічного визначення налаштувань та модифікації функціональності програмної системи та інтерфейсу користувача з урахуванням даних про вимоги та потреби користувача.

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

Дисертацію виконано на кафедрі програмного забезпечення Національного університету «Львівська політехніка». Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри – програмне та математичне забезпечення автоматизованих систем. Зокрема, дисертаційні дослідження виконувалися в межах кафедральної науково-дослідної роботи «Розробка адаптивних програмних систем з використанням онтологічного підходу», номер держреєстрації 0124U004349.

3. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У результаті дисертаційної роботи здобувачем отримано такі основні нові результати:

1. *Вперше розроблено* метод побудови моделі адаптивної програмної системи на основі онтологічного підходу, що дозволяє враховувати особливості понять та зв'язків предметних областей під час проєктування програмного засобу та забезпечує можливість динамічного формування його системних характеристик.

2. *Вперше розроблено* метод визначення налаштувань програмної системи на основі онтологічних правил та зв'язків, використовуючи інформацію про вимоги та потреби користувача, що дає змогу опрацьовувати семантичні правила для окремих понять онтологічної моделі, а також забезпечує зменшення тривалості опрацювання інформації та скорочує процес адаптації програмної системи.

3. *Удосконалено метод* динамічної адаптації функціональності програмної системи та інтерфейсу користувача, який на відміну від наявних методів, дає змогу

враховувати інформацію про поточний активний пристрій та проводити модифікацію компонент відповідно до нових вимог чи потреб користувача без необхідності повторної конфігурації та розгортання програмних систем.

4. *Удосконалено метод* використання брокерів повідомлень у процесі адаптації програмного забезпечення, що, у поєднанні з горизонтальним масштабуванням онтологічної моделі, дозволяє зменшити навантаження на сервіс адаптації за рахунок розподілу запитів до бази знань.

5. *Отримала подальший розвиток* технологія створення адаптивних програмних систем на основі онтологічного підходу, яка, на відміну від уже наявних, усуває статичність структури онтологічної моделі та дає змогу уніфікувати процес адаптації програмних систем для різних предметних областей.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

Дисертаційна робота Луцика І.І. складається зі вступу, основної частини, що містить чотири розділи, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми створення адаптивних програмних систем, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проаналізовано проблему створення адаптивних програмних систем. Наведено основні проблеми використання класичних підходів проектування та розробки для створення програмних систем з можливістю динамічної адаптації. Розглянуто принципи використання онтологічних моделей у процесі проектування програмних систем. Встановлено, що під час використання концептуальних моделей структура програмної системи залишається статичною. У порівнянні з онтологічним підходом це не дозволяє вносити зміни в архітектуру чи враховувати конфігурацію та вимоги нових пристроїв. Визначено групи метрик, що спрямовані на контроль якості адаптивної програмної системи та онтологічної моделі.

У **другому розділі** наведено метод проектування онтологічних моделей на основі абстракцій об'єктів предметної області та методи визначення налаштувань та динамічної адаптації програмної системи. Розроблений метод побудови моделі

адаптивної програмної системи на основі онтологічного підходу дає змогу подати основні об'єкти програмної системи без прив'язки до структури предметної області. Спроектовано метод визначення налаштувань програмної системи на основі онтологічних правил та зв'язків, що забезпечує можливість створення нової конфігурації програмної системи в залежності від вимог користувача. Удосконалений метод динамічної адаптації функціональності програмної системи та графічного інтерфейсу дає змогу враховувати інформацію про користувача та поточний активний пристрій. Крім того, поданий метод дозволяє проводити адаптацію компонентів програмної системи без необхідності повторного розгортання та налаштування нової версії.

У **третьому розділі** наведено архітектуру програмної системи та алгоритм динамічної адаптації інтерфейсу користувача та функціональності програмної системи з використанням онтологічної моделі. Спроектована архітектура адаптивної програмної системи використовує принципи клієнт серверної та компонентно-орієнтованої архітектури, що у поєднанні з брокером повідомлень дає змогу виконувати адаптацію, враховуючи вимоги користувача, тип необхідної адаптації та програмну платформу, на якій відбувається адаптація. Визначено принципи рефлексії для забезпечення можливості динамічного визначення та зміни компонентів програмної системи. Запропоновано алгоритм, що дозволяє забезпечити можливість динамічної модифікації налаштувань та наповнення застосунку користувача без необхідності статичного створення конфігурацій.

У **четвертому розділі** роботи описано реалізацію прототипу адаптивної програмної системи. Наведено приклади використання спроектованих методів у процесі визначення налаштувань та адаптації компонентів програмної системи. Проведено порівняльний аналіз абстрактного та класичного підходів до проектування онтологічних моделей у відповідності до метрик якості онтологій та швидкодії процесу визначення оптимальних характеристик системи.

Висновки дисертаційної роботи відображають наукову новизну, практичну цінність та результати проведених досліджень.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Луцика І.І. достатньо обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, підкріплені успішною реалізацією, ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень, яке продемонструвало збігання теоретичних досліджень з реальними результатами.

Обґрунтованість наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, є достатньою і базується на детальному аналізі джерел за даною проблемою, чіткій постановці задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, правильним застосуванням математичного апарату при теоретичному розгляді наукових положень дисертації, а також проявляється у якісному та аргументованому формулюванні висновків.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами експериментальних досліджень та коректним застосуванням методів, які були використані під час виконання роботи.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, логічно випливають із результатів, отриманих за допомогою чітких викладок. Тому можна стверджувати, що висновки та практичні рішення, отримані у роботі, коректні, достатньо обґрунтовані й можуть бути рекомендовані до використання.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

6. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення одержаних результатів підтверджує розроблена бібліотека для створення адаптивних програмних систем та створений сервіс бази даних та знань, що реалізує метод визначення налаштувань програмної системи з використанням технології брокера повідомлень RabbitMQ. Практичну значущість одержаних наукових результатів дисертації підтверджено також їх впровадженням у ПП «ЛІНК АП СТУДІО». Теоретичні результати дослідження використано при виконанні науково-дослідної роботи кафедри програмного забезпечення

Національного університету «Львівська політехніка», а також при підготовці дидактичних матеріалів з дисципліни «Наукові дослідження та семінари за їх тематикою».

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота написана українською мовою. Дисертація написана логічно, доступно, на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології. Матеріали дисертаційної роботи викладено послідовно, доступно для розуміння і сприйняття. Стиль мовлення задовольняє вимоги до текстів науково-технічного змісту. Текст дисертації в достатній мірі проілюстрований таблицями та рисунками, а також фрагментами програмного коду. Здобувач використовує загальноприйнятую термінологію. Дисертаційна робота має логічну структуру.

Дисертаційна робота викладена на 158-и сторінках (в тому числі 116 сторінок основного тексту) та складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох основних розділів, у яких міститься 31 рисунок, 7 таблиць, а також списку використаних джерел із 123 найменувань та чотирьох додатків; робота написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології, стиль викладу матеріалу послідовний та логічний.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Луцика І. І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інженерії програмного забезпечення.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Луцика Іллі Ігоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить

елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Отримані результати свідчать про індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертаційній роботі не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Основні положення дисертації опубліковано у 9 наукових працях. Серед них – 2 статті у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у науковому фаховому виданні, що індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus; 3 публікації у матеріалах конференцій, що індексовані у наукометричній базі Scopus; 3 публікації у матеріалах наукових та науково-практичних конференцій.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

8. Зауваження до дисертації

Незважаючи на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи, варто відзначити деякі недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1) У Вступі здобувач визначає 5 завдань (стор. 18), які слід розв'язати для досягнення поставленої мети дослідження, проте за результатами проведених дисертаційних досліджень формулює 8 висновків (стор. 129-131), хоча варто було б сформулювати не більше 5 висновків – по одному висновку за кожним розв'язаним завданням.

2) Підрозділи 2.3, 3.2 присвячені розробленню методів, але при описі цих методів не зазначені вхідні дані кожного з методів, а також їх результуючі дані.

3) На с.69 дисертації здобувач зазначає, що метод горизонтального масштабування при поділі процесу опрацювання онтології сприяє покращенню часу опрацювання правил, але здобувач не деталізував, як саме горизонтальне масштабування впливатиме на продуктивність при великій кількості одночасних запитів, як саме розподіляються підмоделі та які алгоритми забезпечують ефективність.

4) Хоча онтологічні моделі є потужним інструментом та забезпечують динамічну адаптацію, проте їх впровадження може бути складним для масштабних

систем через високі вимоги до обчислювальних ресурсів, процес створення онтологій все ще значною мірою залежить від експертів предметної галузі, послідовний режим обробки онтологічних правил може бути повільним для великих моделей, що призводить до виникнення ризику зниження швидкодії системи при обробці великих обсягів даних, а також онтологічні моделі можуть бути не універсальними та потребувати значної адаптації для інших галузей, що знижує їх застосовність. З тексту дисертації незрозуміло, чи автор розглядав такі потенційні ризики використання онтологій і як він пропонує їх мінімізувати (наприклад, за допомогою створення онтологій із залученням алгоритмів машинного навчання тощо). В роботі також слабо описані такі ризики використання онтологій у великих системах, як складність підтримки, оновлення та інтеграції нових компонентів. Недостатньо розглянуті також такі ризики впровадження, як складність оновлення онтологій, конфлікти у розподілених системах, технічна підтримка тощо.

5) В тексті дисертації вказані переваги використання онтологій, проте було б корисно навести більш детальне порівняння їх застосування з іншими методами динамічної адаптації (наприклад, на основі нейронних мереж, дерев рішень чи гібридних систем).

6) У роботі наведено результати апробації, але тестування проводилося на обмежених наборах даних та сценаріях, що може не відображати реальної складності застосування у виробничих умовах. Не вказано, чи порівнювались створені методи з іншими сучасними підходами на достатньо великій вибірці систем, чи проводились тести в реальних умовах або на великомасштабних даних. Взагалі порівняння з іншими методами має вузький характер і базується більше на теоретичних припущеннях, ніж на практичних експериментах.

7) Здобувачем у дисертації розроблено алгоритм динамічної адаптації інтерфейсу та функціональності програмної системи з використанням онтологічної моделі та принципів рефлексії. Хоча принцип рефлексії і надає гнучкість, проте рефлексія як основний механізм адаптації може негативно вплинути на продуктивність, особливо при масштабуванні та в системах із високими вимогами

до швидкодії. Дисертанту варто було б розглянути можливість використання альтернативних механізмів адаптації, наприклад, rule-based систем із машинним навчанням.

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової та практичної цінності.

9. Висновки щодо дисертаційної роботи в цілому

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Луцика Іллі Ігоровича на тему «Методи та засоби створення адаптивних програмних систем на основі онтологій» 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 галузі 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, а здобувач Луцик Ілля Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

Декан факультету інформаційних технологій
Хмельницького національного університету,
докторка технічних наук, професорка

Тетяна ГОВОРУЩЕНКО

