

РЕЦЕНЗІЯ

Соколової Євгенії Віталіївни
на дисертаційну роботу
Євдокимова Олександра Олеговича
на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки навчання
точним наукам»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації.

Навчання точним наукам у цифровому середовищі висуває до програмних систем вимоги, які істотно виходять за межі автоматизованого тестування. Для математичних та алгоритмічних дисциплін важливо не тільки встановити правильність остаточної відповіді, а й простежити послідовність дій здобувача освіти, виявити джерело помилки, перевірити логічну коректність міркування та обрати подальший навчальний вплив відповідно до поточного рівня знань. Масове застосування таких засобів потребує одночасного забезпечення персоналізації, математичної надійності, пояснюваності рішень і придатності програмної архітектури до подальшого розширення.

У цьому контексті тема дисертаційної роботи Євдокимова О. О. є актуальною. Автор розглядає інтелектуальну навчальну систему як узгоджену сукупність предметної моделі, моделі студента, засобів діагностики, параметричної генерації задач, адаптивного керування, формальної верифікації та мотиваційного регулювання. Особливо важливим є розмежування мовного або дидактичного шару й довіреного ядра коректності, роль якого для математичних доведень та алгоритмічних рішень виконують формальні засоби на основі Lean/Mathlib. Така постановка відповідає сучасним завданням комп'ютерних наук і програмної інженерії та орієнтована на створення освітніх систем, у яких результат роботи алгоритму може бути не лише отриманий, а й перевірений та інтерпретований.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їхньої достовірності та новизни.

Наукові результати роботи утворюють логічну послідовність: від аналізу обмежень сучасних освітніх платформ і формалізації науково-прикладного завдання — до побудови системних і математичних моделей, розроблення алгоритмічних методів, формування машинної моделі та реалізації програмного прототипу. Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому:

1. Уперше розроблено модель архітектури інтелектуальної навчальної системи для індивідуалізованого навчання точним наукам та алгоритмічним дисциплінам, яка інтегрує модель предметної області, модель студента з байєсівським оновленням стану знань, параметричну

генерацію задач, діагностичні моделі, формальну верифікацію, LLM-сервіси, мотиваційні механізми та фіксацію навчальних дій студента.

2. Удосконалено метод параметричної генерації навчальних задач із автоматичною перевіркою коректності вхідних даних, умов задачі та еталонного результату, що забезпечує формування математично коректних варіантів задач і автоматизовану діагностику відповідей студента.
3. Удосконалено метод інтеграції формальної верифікації математичних доведень і алгоритмічних рішень у навчальний процес на основі Lean/Mathlib, що забезпечує покрокову перевірку логічної коректності міркувань, специфікацій і властивостей алгоритмів.
4. Дістала подальшого розвитку інформаційна технологія підтримки навчання точним наукам, яка забезпечує інтеграцію моделей предметної області та студента, алгоритмічної генерації навчальних задач, формальної перевірки математичних і алгоритмічних розв'язків, адаптивного керування навчальною траєкторією та засобів мотиваційного впливу.

Обґрунтованість результатів забезпечено поєднанням методів системного аналізу, математичного й теоретико-множинного моделювання, теорії ймовірностей та баєсівського оновлення, теорії алгоритмів, формальної логіки, теорії типів, архітектурного і компонентного проєктування. Автор послідовно встановлює відповідність між поняттями предметного рівня та їхніми програмними поданнями: навчальна задача розглядається як шаблон із параметрами, обмеженнями й еталонною відповіддю; стан студента — як сукупність оцінок компонентів знань та історії взаємодій; діагностичний висновок — як результат аналізу спостережуваних ознак помилки; формальний артефакт — як джерело перевірюваного навчального матеріалу.

Практична перевірка не обмежується демонстрацією інтерфейсу. У четвертому розділі наведено функціональні сценарії прототипу «Мирна» та результати апробації на 19 завершених протоколах роботи з навчальним модулем методу Крамера. Проаналізовано 56 помилкових дій, із яких 49, тобто 87,5 %, було віднесено до відомих діагностичних класів. Ці дані підтверджують працездатність механізмів генерації, перевірки, журналювання та класифікації помилок саме на рівні програмного прототипу. Автор коректно не ототожнює таку апробацію з повномасштабним педагогічним експериментом.

З програмно-інженерної точки зору позитивну оцінку заслуговує перехід від системних моделей до машинної моделі, структур даних і модульної архітектури. Прототип передбачає клієнтський рівень на Angular, серверні компоненти на Java 17 і Spring/Spring Boot, зберігання даних у PostgreSQL та підтримку процесів складання й розгортання за допомогою GitHub Actions і GitHub Pages. Відомості про впровадження результатів у навчальний процес кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», Приватної гімназії

«Еммануїл» та Аерокосмічного ліцею на базі університету додатково підтверджують прикладне спрямування роботи.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до наукового напряму кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора Чухрая Андрія Григоровича.

Отже, поставлене в дисертації науково-прикладне завдання розроблення моделей, методів та інформаційної технології підтримки навчання точним наукам, які поєднують діагностику знань, адаптивний добір і генерацію задач, формальну перевірку доведень та алгоритмів і програмну реалізацію відповідних механізмів, виконано. Представлені результати свідчать, що здобувач володіє методологією наукової діяльності та здатний доводити теоретичні положення до інженерної реалізації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності.

За змістом дисертаційна робота Євдокимова О. О. відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та освітньо-науковій програмі «Інформаційні технології». Робота є завершеним науковим дослідженням, у якому сформульоване завдання послідовно розв'язано на модельному, алгоритмічному, інформаційно-технологічному та програмному рівнях. Особистий внесок здобувача простежується в розроблених моделях, методах, архітектурних рішеннях, прототипі та опублікованих працях; для спільних публікацій цей внесок окремо зазначено.

Аналіз представленого тексту дає підстави вважати дисертаційну роботу результатом самостійного дослідження здобувача. Запозичені наукові положення, відомості про програмні засоби та результати інших авторів супроводжуються посиланнями на відповідні джерела. Власний внесок здобувача у працях, підготовлених у співавторстві, конкретизовано. Формульні позначення, усталена фахова термінологія, назви програмних інструментів, нормативні формулювання та коректні самопосилання на опубліковані праці не дають підстав стверджувати про порушення принципів академічної доброчесності. У представлених матеріалах ознак фальсифікації, фабрикації або академічного плагіату не виявлено.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертацію написано українською мовою. Матеріал викладено в науковому стилі із послідовним переходом від постановки проблеми до формальних моделей, методів та програмної реалізації. Термінологію інтелектуальних навчальних систем, knowledge tracing, формальної верифікації та програмної інженерії переважно використано коректно; спеціальні іншомовні терміни й абревіатури пояснено в переліку скорочень або в основному тексті. Важливо, що автор розрізняє математичну істинність, яку забезпечує формальне ядро, і дидактичне подання, призначене для взаємодії зі студентом. Ілюстрації, таблиці та схеми підтримують

аргументацію й дають змогу простежити зв'язок між рівнями запропонованої інформаційної технології.

Структура роботи.

Дисертація складається з анотації українською та англійською мовами, переліку умовних скорочень і термінів, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 224 сторінки.

У вступі визначено науково-прикладну суперечність, мету, 10 завдань, об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення, наведено дані про впровадження, апробацію, публікації й особистий внесок здобувача.

У першому розділі проаналізовано стан цифрової підтримки навчання точним наукам, підходи до відстеження та діагностики знань, архітектуру інтелектуальних навчальних систем, можливості proof-checking і межі застосування генеративних мовних моделей. За результатами аналізу сформульовано вимоги до інформаційної технології.

Другий розділ містить вербальну, структурну, функціональну й математичну моделі системи, формалізацію навчальних задач, діагностичні моделі встановлення причин помилок, модель мотиваційного регулювання, опис простору параметричних задач і теоретичну модель квантового прискорення пошуку.

У третьому розділі розроблено методи інтеграції формальної верифікації математичних доведень та алгоритмів у навчальний процес, адаптивного вибору задач, параметричної генерації з контролем коректності, а також формування поетапного навчального контенту з формально верифікованих артефактів.

Четвертий розділ присвячено інформаційній технології та її прототипу: сформульовано вимоги, побудовано машинну модель, описано клієнтський, серверний, інтеграційний і інформаційний рівні, модель даних та основні програмні модулі. Окремо показано перехід від Lean/Mathlib-артефакту до HTML-матеріалу на прикладі методу Крамера та наведено результати функціональної й експериментальної апробації прототипу. Загальні висновки узгоджені з поставленими завданнями, а додатки містять відомості про публікації, апробацію, впровадження та діаграми ключових програмних класів.

Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць: чотири статті у наукових фахових виданнях України, з яких одна опублікована у виданні, внесеному до міжнародних наукометричних баз даних; сім праць у матеріалах наукових конференцій, із них три — у збірниках, внесених до міжнародних наукометричних баз даних; один звіт з науково-дослідної

роботи. Основні положення роботи апробовано на міжнародних і всеукраїнських наукових заходах, зокрема на конференціях, матеріали яких індексуються в Scopus.

Тематика публікацій охоплює послідовні етапи дослідження: вимоги до адаптивних технологій навчання, архітектуру інтелектуальних навчальних систем, діагностичні моделі, мотиваційний сенсо-економічний підхід, формалізованість математичних задач, програмний прототип адаптивного навчання та консервативний інтерфейс над Lean. Це дає підстави вважати, що основні наукові результати дисертації оприлюднено належним чином. Особистий внесок здобувача у працях, виконаних у співавторстві, конкретизовано в тексті дисертації.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Масштабованість визначено однією з вихідних вимог до інформаційної технології, однак оцінювання прототипу зосереджено переважно на функціональних сценаріях і даних навчальної апробації. Доцільно було б доповнити експериментальну частину результатами дослідження продуктивності інформаційної технології за різних навантажень, зокрема оцінкою часу генерації задач, часу перевірки відповідей та характеристиками роботи системи за одночасної взаємодії кількох користувачів.
2. Практичну демонстрацію формально верифікованого навчального контенту побудовано переважно на прикладі методу Крамера. Для підтвердження переносності запропонованого підходу доцільно було б навести ще один повний приклад іншого класу — наприклад, доведення властивості алгоритму або роботи з інваріантом — і формально описати трасованість між версією Lean/Mathlib-артефакту, графом залежностей та сформованим дидактичним HTML-матеріалом.
3. У роботі використано байєсівську модель оцінювання знань студента, однак недостатньо досліджено вплив початкових значень параметрів моделі та їхніх змін на результати адаптивного вибору навчальних завдань. Доцільним було б провести аналіз чутливості моделі до зміни її параметрів.
4. У дисертації запропоновано інтеграцію великих мовних моделей із формальною верифікацією, однак питання оцінювання впливу генеративних моделей на якість сформованого навчального контенту розкрито недостатньо. Доцільним було б порівняти результати автоматично сформованих матеріалів із матеріалами, підготовленими експертами.
5. Практична апробація зосереджена переважно на функціональній і діагностичній працездатності прототипу, тоді як зручність взаємодії користувача з формально верифікованим матеріалом окремо не оцінювалася. Доцільним було б провести дослідження користувацького досвіду із залученням студентів, які раніше не працювали з Lean/Mathlib, та оцінити зрозумілість підказок, когнітивне

навантаження, кількість помилкових дій і час опанування запропонованого інтерфейсу.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не ставлять під сумнів достовірність основних результатів і не зменшують наукової новизни та практичного значення дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Євдокимова Олександра Олеговича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки навчання точним наукам» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному науковому рівні. Сукупність одержаних теоретичних, алгоритмічних та програмних результатів розв'язує актуальне науково-прикладне завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології».

За актуальністю теми, обґрунтованістю положень, науковою новизною, практичною цінністю, повнотою оприлюднення результатів і дотриманням принципів академічної доброчесності дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 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.

Євдокимов Олександр Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри інженерії
програмного забезпечення
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

Євгенія СОКОЛОВА