

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Євдокимова Олександра Олеговича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки навчання точним наукам», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки**

На засіданні кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту за участі:

Карташова Олексія Вікторовича, к.ф.-м.н., доцента, в.о. завідувача кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Скоба Юрія Олексійовича, д.т.н., професора, професора кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Пічугіної Оксани Сергіївни, д.ф.-м.н., професора, професора кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Чумаченка Дмитра Ігоровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Коробчинського Кирила Петровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Халтуріна Володимира Олександровича, к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Московича Ігоря Володимировича, старшого викладача кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Трофимової Ірини Олексіївни, старшого викладача кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Болотової Тетяни Володимирівни, провідного інженера кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету

«ХАІ»;

Чухрая Андрія Григоровича, д.т.н., професора, професора кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Єрохіна Андрія Леонідовича, д.т.н., професора, професора кафедри програмної інженерії за сумісництвом, першого проректора Харківського національного університету радіоелектроніки;

Шовкопляс Оксани Анатоліївни, к.ф.-м.н., доцента, завідувача кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету;

Морозової Ольги Ігорівни, д.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Соколової Євгенії Віталіївни, к.т.н., доцента, доцента кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Ніколаєва Олексія Георгійовича, д.ф.-м.н., професора, професора кафедри вищої математики та системного аналізу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Савченко Ніни Валеріївни, к.ф.-м.н., доцента, завідувача кафедри вищої математики та системного аналізу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Яшиної Олени Сергіївни, к.т.н., доцента, доцента кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Гавриленко Олени Володимирівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри систем управління літальними апаратами Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Брисіної Ірини Вікторівни, к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедри вищої математики та системного аналізу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Кузніченка Володимира Михайловича, к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедри вищої математики та системного аналізу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Щербакової Юнни Анатоліївни, к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедри вищої математики та системного аналізу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Українець Наталії Анатоліївни, старшого викладача кафедри вищої математики та системного аналізу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Лучшевої Оксани Вадимівни, старшого викладача кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Дармофал Елеонори Анатоліївни, к.т.н., доцента, доцента кафедри екології та техногенної безпеки Національного аерокосмічного університету «ХАІ»,

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи Євдокимова Олександра Олеговича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки навчання точним наукам».

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

### **Актуальність теми дослідження**

Точні науки, насамперед математика, виконують роль «мови» сучасної науки й інженерії, забезпечують формування алгоритмічного мислення та слугують основою для моделювання складних систем. Тому рівень компетентностей у галузі точних наук є системоутворювальним чинником для підготовки фахівців у STEM, для розвитку технологічних секторів економіки та для здатності суспільства інтегрувати інновації.

Разом із тим, у національних і міжнародних освітніх вимірюваннях фіксується стійка негативна динаміка щодо математичної підготовки: зростає частка здобувачів, які не досягають базового рівня, і зменшується частка тих, хто демонструє високі результати. Для України це означає додаткові ризики в умовах обмежених ресурсів, коли якість підготовки кадрів у точних дисциплінах прямо впливає на технологічну стійкість держави. У глобальному вимірі аналогічні тенденції підтверджують, що проблема має не локальний, а системний характер.

Окремим проявом цієї проблеми є примітивізація математичної освіти, яка в науковому сенсі виражається не «спрощенням», а зміною структури навчальної діяльності: зростає частка завдань, де достатньо відтворити шаблон або виконати обчислення за відомою формулою, та зменшується частка навчальних дій, пов'язаних із побудовою доказу, виведенням формул, конструюванням алгоритму, аналізом умов застосовності методу. Унаслідок цього знання стають фрагментарними: студент може відтворити окремі процедури, але не володіє цілісним апаратом понять і не здатен переносити знання на нетипові задачі.

Сучасні цифрові платформи підтримки навчання частково знімають навантаження з викладача, зокрема в частині масової перевірки та створення варіативних завдань. Проте переважна більшість таких рішень ефективна насамперед для задач, де відповідь зводиться до числа, формули або вибору з

варіантів, і значно слабше підтримує теоретичні компоненти навчання – логічні міркування, доведення, виведення та побудову алгоритмів.

У дослідницькій традиції інтелектуальних навчальних систем (Intelligent Tutoring Systems, ITS) сформовано підхід, у якому навчальний процес розглядається як кероване набуття компетентностей, а система виконує функції діагностики та індивідуального навчального впливу. Результати робіт окремих наукових шкіл у галузі ITS демонструють, що адаптивність може бути реалізована через «внутрішній цикл» – покрокову підтримку розв’язання – та «зовнішній цикл» – вибір наступного завдання з урахуванням поточного стану здобувача. Разом з тим, практичні платформи комп’ютерного оцінювання, що широко застосовуються у викладанні математики, переважно зосереджуються на перевірці результату, і лише обмежено – на діагностиці структури помилки та поясненні її причини.

Сучасні методи машинного навчання, зокрема моделі відстеження знань (knowledge tracing), дають можливість будувати ймовірнісне уявлення про те, чи засвоїв студент певний навчальний компонент. Однак для навчання точним наукам критичним є питання формальної коректності: статистично правдоподібна відповідь не тотожна логічно правильному міркуванню. У складних темах (лінійна алгебра, аналіз, дискретна математика) ключовим стає не лише «правильний результат», а правильний шлях отримання результату, включно з використанням означень, лем і теорем у коректному порядку.

Перспективним інструментом подолання цієї межі є системи формальної перевірки доказів (Lean, Coq/Rocq, Isabelle/HOL). Вони дозволяють перевіряти правильність доказу по кроках у межах формальної логіки, забезпечуючи рівень строгості, який принципово недоступний статистичним моделям. Водночас масове використання таких систем в освіті стримується високим порогом входу, відсутністю звичного математичного користувацького інтерфейсу та складністю інтеграції в навчальні сценарії.

Паралельно розвиваються генеративні мовні моделі (LLM), здатні створювати варіативні формулювання умов задач і пояснювальні тексти. Проте такі моделі не гарантують алгоритмічної точності та формальної коректності, тому в навчанні точним наукам вони мають розглядатися як допоміжний інструмент, який потребує поєднання з детермінованими алгоритмами та/або формальними механізмами верифікації.

Таким чином, актуальним науковим завданням є розроблення інформаційної технології що усуває розрив між потребою в індивідуалізованому, діагностично

орієнтованому та теоретично спрямованому навчанні точним наукам і обмеженими можливостями масових платформ, щоб підвищити якість, адаптивність і надійність навчального процесу. Це визначає актуальність дисертаційної роботи.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» та узгоджується з тематикою досліджень у сфері інтелектуальних інформаційних систем, цифрових освітніх технологій і комп'ютерної підтримки навчання. Напрямок роботи відповідає актуальним потребам розвитку STEM-освіти та створення сучасних освітніх IT-рішень для України.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

У дисертації одержано такі нові наукові результати:

1. Уперше розроблено модель архітектури інтелектуальної навчальної системи для індивідуалізованого навчання точних наук та алгоритмічних дисциплін, яка інтегрує модель предметної області, модель студента з басівським 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, специфікації 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.

## **Теоретичне та практичне значення результатів роботи**

Теоретичне значення результатів полягає у розвитку моделей і методів комп'ютерної підтримки навчання точним наукам: формалізовано навчальні задачі як об'єкти з множинами понять і правил, вхідних даних, допустимих відповідей та процедур перевірки; розроблено діагностичне подання стану знань студента; обґрунтовано інтеграцію формальної верифікації математичних доведень і алгоритмічних рішень у адаптивний навчальний цикл; запропоновано модель мотиваційного регулювання навчальної діяльності.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що основні наукові положення дисертаційної роботи доведено до рівня алгоритмічних рішень, програмних модулів і прототипу інтелектуальної навчальної програми «Мирна».

Розроблений прототип забезпечує генерацію навчальних задач, перевірку правильності розв'язків, підтримку адаптивної логіки переходів між навчальними компонентами, елементи діагностики знань, подання формально верифікованого навчального матеріалу та мотиваційне регулювання навчального процесу.

Запропоновані моделі, методи та програмні рішення можуть бути використані у закладах вищої освіти для підтримки навчання математичних і суміжних точних дисциплін, у системах дистанційного та змішаного навчання, під час підготовки до стандартизованих іспитів з точних наук, а також при розробленні інтелектуальних освітніх платформ нового покоління.

Ефективність запропонованих рішень підтверджена їх практичною реалізацією у вигляді програмного прототипу, що дозволяє застосовувати результати роботи у реальному навчальному процесі та підтверджує можливість використання розробленої інформаційної технології як основи для побудови інтелектуальних навчальних систем нового покоління.

Результати роботи впроваджено (додаток А):

– в освітній процес кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків (акт впровадження №1);

– у навчальний процес Приватного закладу (організації, установи) Приватної Гімназії «Еммануїл», м. Мукачєво (акт впровадження №2 від 02.04.2026);

– у навчальний процес Аерокосмічного ліцею на базі Національного аерокосмічного університету «ХАІ», м. Харків (акт впровадження №3 від 20.05.2026).

### **Апробація результатів дисертації**

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях, зокрема на конференціях, індексованих у Scopus, а також на наукових семінарах відповідних підрозділів університету:

- Dependable System, Services and Technologies Conference (DESSERT 2022), Athens, Greece, 2022;
- XVI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», Дніпро, 2022;
- Digital Theme UK-Ukraine Research Twinning Conference, 27–30 March 2023;
- I Науково-практична конференція «Сучасні технологічні рішення для освіти, науки, бізнесу та міського господарства», Київ – Харків, 25 листопада 2025 р.;
- XVIII міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і автоматизація – 2025», Одеса, 30–31 жовтня 2025 р.;
- 20th International Conference ICTERI 2025, Nice, France, September 1-4, 2025;
- 5th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2025), Liverpool, United Kingdom, October 15–17, 2025;
- 5th International Conference on Machine Learning & Big Data Analytics (ICMLBDA 2025), MES College, Marampally, Kerala, India, 7–8 November 2025 (Hybrid Mode).

На 5th International Conference on Machine Learning & Big Data Analytics (ICMLBDA 2025) матеріал здобувача отримав відзнаку «Best Paper Award» у двох треках: «Next Gen Analytics» та «Data-Driven Models and Analytics for Circular Economy and Sustainable Innovation».

### **Дотримання принципів академічної доброчесності**

Дисертація О. О. Євдокимова є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

## Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача

За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, у яких відображено основні положення, результати та висновки дисертації. Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях зазначено після кожної позиції.

1. Kulik, A.; Trofymova, I.; Chukhray, A.; Stoliarenko, T.; Yevdokymov, O. Relevant Objectives of Developing SQL Adaptive Learning Technology. Proceedings of the 2022 IEEE 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2022. Conference paper. DOI: 10.1109/DESSERT58054.2022.10018757. EID: 2-s2.0-85147846036. Part of ISBN: 9798350333046. Greece. (Scopus). (Особистий внесок: участь у формулюванні актуальних задач розроблення адаптивної технології навчання SQL; аналіз вимог до інтелектуальної підтримки навчання SQL; підготовка матеріалів, пов'язаних із навчальними сценаріями та апробацією підходу).

2. Євдокимов О. О. Актуальні задачі розробки адаптивної технології навчання SQL. XVI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті». Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна. (Особистий внесок: постановка проблеми, систематизація актуальних задач розроблення адаптивної технології навчання SQL, підготовка тез і формулювання висновків).

3. Chukhray, A.; Stoliarenko, T.; Yevdokymov, O. Development of a web-based SQL intelligent tutoring system SQLTOR. Poster. Digital Theme UK-Ukraine Research Twinning Conference, 27 March – 30 March 2023. (Особистий внесок: участь у формуванні концепції веборієнтованої інтелектуальної навчальної системи SQLTOR, аналіз функціональних вимог і підготовка матеріалів постерної презентації).

4. Чухрай А. Г., Євдокимов О. О. та ін. Розроблення і впровадження інтелектуальної комп'ютерної системи підготовки школярів України до НМТ з точних наук: звіт з НДР. Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2024. (Особистий внесок: участь у розробленні концепції інтелектуальної комп'ютерної системи підготовки до НМТ з точних наук, аналіз предметної області, формування вимог до адаптивної підтримки навчання та підготовка відповідних розділів звіту).

5. Чухрай А. Г., Столяренко Т. Л., Євдокимов О. О., Дем'яненко В. А. Можливості використання інтелектуальних навчальних систем (ITS) в ЗВО для

курсів вищої математики. Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. № 102. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 10.02.2025. DOI: 10.32620/oikit.2024.102.07. (Особистий внесок: аналіз можливостей застосування ITS у курсах вищої математики; участь у класифікації типів математичних задач, визначенні обмежень наявних цифрових платформ і підготовці тексту статті).

6. Кулік А.; Зеленьк О.; Чухрай А.; Прохоров О.; Яшина О.; Гавриленко О.; Євдокимов О.; Торжков А.; Заярний О. The concept of intelligent training system for Ukrainian school final STEM exam preparation. System Research and Information Technologies. Educational and Scientific Complex «Institute for Applied System Analysis» of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 28.06.2025. DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2025.2.09. (Scopus). (Особистий внесок: участь у формуванні концепції інтелектуальної системи підготовки до фінального STEM-іспиту; аналіз вимог до діагностики знань, адаптивного добору задач і архітектури навчальної системи; підготовка фрагментів рукопису).

7. Євдокимов О. О., Чухрай А. Г., Столяренко Т. Л. Діагностичні моделі та сенсо-економічний підхід на основі блокчейну в інтелектуальних навчальних системах. Матеріали I Науково-практичної конференції «Сучасні технологічні рішення для освіти, науки, бізнесу та міського господарства»: Секція I. Рішення із використанням штучного інтелекту в галузі освіти та науки. Київ – Харків : ТОВ «Центр Дуальної освіти», 25 листопада 2025. 54 с. (Особистий внесок: розроблення й опис ідеї поєднання діагностичних моделей із сенсо-економічним мотиваційним механізмом; формулювання блокчейн-орієнтованого підходу до цифрових винагород; підготовка тез).

8. Євдокимов О. О., Мандрікова Л. В. Інтелектуальні навчальні програми та інтегровані асистенти доведень у навчанні квантових обчислень і програмування. Інформаційні технології і автоматизація – 2025: матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 30–31 жовтня 2025 р. Одеса : Видавництво ОНТУ, 2025. 1316 с. (Особистий внесок: формулювання підходу до інтеграції інтелектуальних навчальних програм і асистентів доведень; аналіз можливостей застосування формальної верифікації у навчанні квантових обчислень і програмування; підготовка тексту тез).

9. Chukhray, A.; Yevdokymov, O.; Mandrikova, L.; Dehtiarova, T.; Havrylenko, O. Diagnostic Models and a Crypto-Based Sense-Economic Approach to Enhancing Motivation in Intelligent Mathematics Learning Systems. 2026. DOI: 10.1007/978-3-

032-10477-9\_11. (Scopus). (Особистий внесок: участь у розробленні діагностичних моделей для інтелектуальних систем навчання математики, формуванні сгурто-based sense-economic мотиваційного підходу, аналізі результатів та підготовці рукопису).

10. Yevdokymov, O.; Chukhray, A.; Stoliarenko, T. Operationalizing the Formalizability of Mathematics Problems for Intelligent Tutoring Systems: Taxonomy, Measurement Protocol, and Educational Impact. Proceedings of the 5th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence, ProfIT AI 2025. Liverpool, United Kingdom, October 15–17, 2025. (Особистий внесок: розроблення таксономії формалізованості математичних задач, формулювання протоколу вимірювання, обґрунтування освітнього впливу та підготовка основного тексту публікації).

11. Yevdokymov, O.; Luchsheva, O. Development of a prototype intelligent web-based system for learning mathematics through an adaptive scenario. Aerospace Technic and Technology. No. 2, 2026. DOI: 10.32620/aktt.2026.2.06. (Особистий внесок: розроблення архітектури та прототипу веборієнтованої інтелектуальної системи навчання математики, реалізація адаптивного сценарію, аналіз працездатності прототипу та підготовка рукопису).

12. Yevdokymov, O.; Luchsheva, O. A Mathematical Model of Automatic Verification of Formalized Proofs and a Conservative Presentation Interface over Lean. Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems». 2026. Vol. 69. P. 33–40. DOI: 10.26565/2304-6201-2026-69-03. (Особистий внесок: розроблення математичної моделі автоматичної перевірки формалізованих доведень, формування підходу до консервативного інтерфейсу подання над Lean, аналіз прикладів застосування та підготовка тексту статті).

Усі основні наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно; у спільних публікаціях здобувачеві належать результати, зазначені в описі особистого внеску.

Усі співавтори погодилися із задекларованим особистим внеском здобувача у спільних публікаціях.

### **Висновок наукового керівника**

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Євдокимовим Олександром

Олеговичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Євдокимов Олександр Олегович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Євдокимова Олександра Олеговича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки навчання точним наукам», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Головуючий на засіданні  
кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
в.о. завідувача кафедри математичного  
моделювання та штучного інтелекту  
Національного аерокосмічного університету  
«Харківський авіаційний інститут»

**Олексій КАРТАШОВ**

Протокол № 9 від «28» травня 2026 р.