

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне
та практичне значення результатів дисертації
Іванова Сергія Сергійовича «Математичне моделювання задач цифрової обробки
зображень на основі чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій», яка
представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 11 – Математика та статистика
за спеціальністю 113 – Прикладна математика

1. Іванов Сергій Сергійович у процесі підготовки дисертаційної роботи виконав індивідуальний план з навчальної та наукової роботи в повному обсязі. Дисертація Іванов Сергія Сергійовича на тему «Математичне моделювання задач цифрової обробки зображень на основі чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій» є завершеною науково-дослідною роботою, яка присвячена математичному моделюванню задач цифрової обробки зображень з використанням нових інформаційних операторів, розробці нових методів обчислення інтегралів від швидко осцилюючих функцій двох та трьох змінних загального виду у випадку, коли інформація про функції задається значеннями на лініях, площинах; дослідженню якості побудованих кубатурних формул.

2. **Науковий рівень дисертації відповідає діючим вимогам до атестації** здобувачів ступеня доктора філософії, а саме вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022 та № 502 від 19.05.2023), а саме: щодо пунктів 6 і 7 – дисертація подана у вигляді спеціально підготовленого рукопису, виконана державною мовою, є кваліфікаційною науковою працею, виконаною особисто здобувачем, характеризується єдністю змісту, має встановлену вимогами структуру: анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, додатки, містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які виконують конкретне наукове завдання, що має істотне значення для математичного моделювання задач цифрової обробки зображень.

3. **Актуальність досліджень.** Актуальність теми дослідження безпосередньо впливає з необхідності мати нові математичні моделі, нові методи обчислень в галузі цифрової обробки зображень, які залежать від типу задання вхідної інформації. У випадку розв'язання задачі чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій багатьох змінних вибір кубатурної формули залежить від відомої інформації про функцію, зокрема це можуть бути сліди функції на площинах, лініях або значення функції в точках.

4. **Наукова новизна результатів, отриманих особисто дисертантом:**
вперше:

- запропоновані моделі та методи розв'язання задач цифрової обробки зображень на основі чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій багатьох змінних загального виду з використанням нових інформаційних

операторів: операторів інтерфлетації та інтерлінації з допоміжними функціями у вигляді кусково-сталих та лінійних сплайнів;

- розглянуто математичні моделі процесу обробки зображень з використанням кубатурних формул наближеного обчислення інтегралів від швидко осцилюючих функцій двох та трьох змінних загального виду у випадку, коли інформація про функції задається їх значеннями на площинах, лініях;
- запропоновано побудову математичних моделей процесу обробки зображень на основі кубатурних формул, які є оптимальними за порядком точності на класі диференційовних функцій;
- представлено математичні методи та моделі процесу обробки зображень на основі кубатурної формули наближеного обчислення подвійного інтегралу від швидко осцилюючих функцій загального виду, яка в своїй побудові використовує економні схеми інтерполяції, побудовані на використанні операторів інтерлінації.

Отримані результати розкривають перспективи використання нових інформаційних операторів при розв'язанні задач цифрової обробки зображень, зокрема у вдосконаленні наявних алгоритмів чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій багатьох змінних загального виду при різних типах задання інформації.

5. Практична цінність дослідження полягає в розширенні класу математичних моделей та методів розв'язання задач цифрової обробки зображень із залученням кубатурних формул для чисельного інтегрування функцій багатьох змінних, зокрема швидко осцилюючих функцій загального вигляду, у випадках, коли вхідні дані представлені значеннями функції на площинах, лініях. Запропоновані математичні методи та моделі забезпечують можливість вибору оптимального за порядком точності чисельного алгоритму в задачах цифрової обробки зображень. Математичне моделювання процесу обробки зображень із застосуванням кубатурних формул, що відзначаються високою точністю, є ефективним з точки зору використання дискретних значень функції для досягнення заданої точності, що перевищує показники класичних методів. Цей підхід забезпечує оптимальне співвідношення між кількістю використовуваних значень функції та точністю обчислень, що є особливо актуальним для задач цифрової обробки зображень. Використання такого типу алгоритмів для розв'язання задач цифрової обробки зображень буде сприяти підвищенню швидкодії обчислень.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі інформаційних комп'ютерних технологій і математики навчально-наукового інституту «УПА» ХНУ імені В. Н. Каразіна відповідно плану науково-дослідної роботи кафедри за темою «Математичне моделювання та нові обчислювальні методи» (ФН №23-01, 2022-2025рр.). Здобувач є виконавцем досліджень в частині створення нових методів чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій (іррегулярний випадок) з використанням нових інформаційних операторів (операторів інтерфлетації та інтерлінації) про що свідчить акт впровадження результатів дисертаційної роботи у наукову роботу кафедри інформаційних комп'ютерних технологій (акт від 24.02.2025 р.).

6. Оформлення дисертації відповідає діючим вимогам, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40. Робота виконана в науковому стилі, її зміст викладено в логічній послідовності розв'язування завдань дослідження. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг становить 130 сторінок машинописного тексту. Дисертація містить 4 таблиці та 3 рисунки по тексту, список використаних джерел містить 125 найменувань, 5 додатків.

7. Перелік наукових праць за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача. Всі наукові результати дисертації опубліковані, апробація результатів є достатньою, отже вимоги пунктів 8 і Постанови КМУ від 12.01.2022 р. №44 виконані.

У відкритому друці за темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, у тому числі: 5 статей в наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 5 тез доповідей та матеріалів конференцій.

Публікації, що відтворюють наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Іванов С. С., Нечуйвітер О. П., Ковальчук, К. Г. Оптимальне інтегрування швидко осцилюючих функцій загального виду. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2021. Вип. 33. С. 68–72. (Б).
Ключові слова: кубатурна формула, інтеграл від швидкоосцилюючої функції, клас диференційовних функцій.

DOI: 10.15407/fmmit2021.33.068

URL: <http://fmmit.lviv.ua/index.php/fmmit/article/view/204>

(Наказ МОН України № 886 від 02.07.2020, Б)

Особистий внесок здобувача: отримано оцінку знизу для похибки чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій (трьох змінних) загального виду на класі диференційовних функцій, у випадку, коли інформація задана слідами функцій на площинах; Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: сформульовано теоретичні основи отримання оцінки похибки чисельного інтегрування функцій (трьох змінних) загального виду на класі диференційовних функцій; Особистий внесок Ковальчук К.Г.: взяв участь в чисельній перевірці теоретичного результату.

2. Іванов С. С., Нечуйвітер О. П., Ковальчук, К. Г. Нові інформаційні оператори в задачах чисельного інтегрування функцій трьох змінних. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях : зб. наук. пр. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. № 1. С. 82-91. (Б).

Ключові слова: чисельне інтегрування функцій багатьох змінних, кубатурна формула, інтерлінація функцій, інтерфлетация функцій.

DOI: 10.20998/2222-0631.2022.01.10

URL: <http://mmtt.khpi.edu.ua/article/view/277122>

(Наказ МОН України № 894 від 10.10.2022, Б)

Особистий внесок здобувача: отримано оцінку похибки наближеного обчислення потрібного інтегралу, у випадку, коли інформація задана слідами функції на лініях, на класі диференційовних функцій. Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: розроблено загальні теоретичні основи побудови кубатурних формул наближеного обчислення потрібного інтегралу, у випадку, коли інформація задана слідами функцій.

цій на площинах, лініях; Особистий внесок Ковальчук К.Г.: взяв участь в проведенні чисельного експерименту та аналізі отриманих результатів.

3. Іванов С. С., Нечуйвітер О. П., Ковальчук, К. Г. Наближене обчислення подвійних інтегралів від швидко осцилюючих функцій загального виду. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2023. Вип. 37. С. 37–41. (Б).

Ключові слова: кубатурна формула, інтеграл від швидкоосцилюючої функції загального виду, клас диференційованих функцій.

DOI: 10.15407/fmmit2023.37.037

URL: <http://fmmit.lviv.ua/index.php/fmmit/article/view/301/269>

(Наказ МОН України № 886 від 02.07.2020, Б)

Особистий внесок здобувача: побудовано та досліджено кубатурну формула наближеного обчислення подвійних інтегралів від швидко осцилюючої функцій (двох змінних) загального виду, у випадку, коли інформація задана слідами функцій на лініях; кубатурна формула в своїй побудові використовує кусково-лінійні сплайни в якості допоміжних функцій; Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: отримано оцінку знизу для чисельного інтегрування функцій (двох змінних) загального виду на класі диференційованих функцій; Особистий внесок Ковальчук К.Г.: взяв участь в чисельній перевірці теоретичних тверджень.

4. Іванов С. С., Нечуйвітер О. П. Оптимальна за порядком точності кубатурна формула наближеного обчислення потрійних інтегралів від швидко осцилюючих функцій загального виду. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2023. № 1. С. 59–67. (Б).

Ключові слова: інтеграли від швидко осцилюючих функцій багатьох змінних, кубатурні формули, цифрова обробка сигналів та зображень.

DOI: 10.34229/2707-451X.23.3.5

URL: <http://cctech.org.ua/13-vertikalnoe-menyu-en/503-abstract-23-3-5-arte>

(Наказ МОН України № 1188 від 24.09.2022, Б)

Особистий внесок здобувача: доведено оптимальність за порядком точності кубатурної формули наближеного обчислення від швидко осцилюючих функцій (трьох змінних) загального виду на класі диференційованих функцій, у випадку, коли інформація задана слідами функцій на площинах. Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: побудована кубатурна формула наближеного обчислення від швидко осцилюючих функцій (трьох змінних) загального виду.

5. Іванов С. С., Нечуйвітер О. П., Ковальчук, К. Г. Нові інформаційні оператори в задачах чисельного інтегрування функцій трьох змінних. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків : НТУ «ХПІ», 2024. № 1 (6). С. 53-63. (Б).

Ключові слова: нові цифрові технології, алгоритми, методи, чисельне інтегрування функцій багатьох змінних, кубатурна формула, інтерлінація функцій.

DOI: 10.20998/2222-0631.2024.01(6).07

URL: <http://mmtt.khpi.edu.ua/article/view/311697>

(Наказ МОН України № 894 від 10.10.2022, Б)

Особистий внесок здобувача: побудовано кубатурну формулу наближеного обчислення подвійних інтегралів від швидко осцилюючої функцій (двох змінних) за-

гального виду, у випадку, коли інформація задана слідами функцій на лініях (кубатурна формула в своїй побудові використовує кусково-сталі сплайни в якості допоміжних функцій); розроблено методику проведення чисельного експерименту, проаналізовано результати обчислень щодо підтвердження теоретичних результатів; Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: розроблено загальні теоретичні основи побудови кубатурних формул наближеного обчислення подвійного інтегралу, у випадку, коли інформація задана слідами функцій на лініях. Особистий внесок Ковальчук К.Г.: взяв участь в проведенні чисельного експерименту.

Наукові роботи, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Іванов С. С., Нечуйвітер О. П. Аспекти оптимального інтегрування швидко осцилюючих функцій загального виду. *Збірник тез доповідей науково-педагогічних працівників та аспірантів LIV конференції Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків, 11-14 травня 2021 р.)*. Харків, 2021. С. 134.

URL: <http://repo.uipa.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6626/1/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9A%D0%90%20%D0%A2%D0%95%D0%97%20%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%92%D0%95%D0%9D%D0%AC%2021-134.pdf>

Особистий внесок здобувача: розроблено алгоритм отримання оцінки знизу для похибки чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій (трьох змінних) загального виду на класі диференційовних функцій, у випадку, коли інформація задана слідами функцій на площинах. Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: розроблено теоретичне підґрунтя для створення алгоритму отримання оцінки похибки чисельного інтегрування функцій (трьох змінних) загального виду на класі диференційовних функцій.

7. Іванов С. С. Наближене обчислення подвійних інтегралів в оцінках ризиків системи управління якістю підприємства. *Збірник тез доповідей LVI студентської наукової конференції Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків, 01-05 листопада 2021 р.)*. Харків, 2021. Т. 3. С.20.

URL: <https://science.uipa.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/collection-of-abstracts-3.pdf>

8. Іванов С.С. Якість кубатурних формул наближеного обчислення інтегралів від швидко осцилюючих функцій / Іванов С.С., Нечуйвітер О.П. // *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення* : [матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 14 -15 березня 2023 року] / за заг. ред. д.т.н., проф. Р. М. Тріща, к.т.н., доц. Г. С. Грінченко. Українська інженерно-педагогічна академія. Харків : УІПА, 2023. – С. 109-110.

URL: <https://science.uipa.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/collection-of-abstracts-of-the-conference.pdf>

Особистий внесок здобувача: створено алгоритм отримання оцінки якості кубатурних формул наближеного обчислення інтегралів від швидко осцилюючих функцій. Особистий внесок Нечуйвітер О.П.: теоретично обґрунтовано алгоритм отримання оцінок знизу для оптимальних за порядком точності кубатурних формул.

9. Іванов С. С., Летута А. А. Наближене обчислення потрійних інтегралів від швидко осцилюючих функцій загального виду з використанням нових інформаційних операторів. *Студенти та молодь – для майбутнього країни* : мате-

ріали VII міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти та молодих учених (м. Бахмут, м. Харків, 17 листоп. 2023 р.). Бахмут : ННППІ УПА, 2023. Т. 3. С. 56.

URL: <https://science.uipa.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/volume-3-polytechnic-sciences.pdf>

Особистий внесок здобувача: проаналізовано оптимальні за точністю алгоритми обчислення інтегралів від швидко осцилюючих функцій багатьох змінних (регулярний випадок). Особистий внесок Летута А.А.: взято участь у розробці методики щодо обчислення потрійних інтегралів від швидко осцилюючих функцій загального виду, які в своїй побудові використовують нові інформаційні оператори.

10. Іванов С. С., Летута А. А. Кубатурна формула наближеного обчислення потрійних інтегралів від швидко осцилюючих функцій загального виду. *Освіта та технології для розвитку суспільства* : LVIII наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти академії, м. Харків, 13-17 листоп. 2023 р. Харків : УПА, 2023. С. 13-14.

URL: <https://science.uipa.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/Volume-2-collection-of-abstracts.pdf>

Особистий внесок здобувача: висвітлено використання чисельного інтегрування функцій багатьох змінних в математичному моделюванні, зокрема інтегрування швидко осцилюючих функцій в цифровій обробці сигналів та зображень.

Особистий внесок Летута А. А.: висвітлено алгоритм отримання оцінки похибки наближення потрійних та подвійних інтегралів від швидко осцилюючих функцій загального виду на класі Гельдера.

Наведені публікації містять результати безпосередньої роботи дисертанта на окремих етапах дослідження, повною мірою відображають основні положення та висновки роботи. Авторська участь здобувача в опублікованих наукових працях погоджена зі співавторами.

8. Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені та обговорені на : Міжнародній науковій конференції «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XLVII)», присвяченій 30-річчю незалежності України (Київ, 2021 р.); LIV конференції науково-педагогічних працівників та аспірантів Української інженерно-педагогічної академії (Харків, 2021 р.); LVI студентській науковій конференції Української інженерно-педагогічної академії (Харків, 2021 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення» (Харків, 2023 р.); Міжнародному науковому симпозиумі, присвяченому 100-річчю від дня народження академіка В.М. Глушкова, «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XLVIII)», (Київ, 2023 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених (Бахмут - Харків, 2023 р.); LVIII науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти академії «Освіта та технології для розвитку суспільства» (Харків, 2023р.).

9. Загальний висновок. Дисертація Іванова Сергія Сергійович є завершеною кваліфікаційною науковою працею, має теоретичну та практичну цінність, в якій викладено результати наукового дослідження щодо розв'язання задач цифрової обробки зображень, зокрема чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій багатьох змінних загального виду з використанням нових інформаційних

операторів. Проведені дослідження характеризують Іванова Сергія Сергійович як кваліфікованого та зрілого наукового працівника, здатного проводити теоретичні та практичні дослідження в галузі прикладної математики.

Подана дисертаційна робота «Математичне моделювання задач цифрової обробки зображень на основі чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій» Іванова Сергія Сергійовича відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Враховуючи актуальність, теоретичну та практичну цінність роботи, наукову значущість результатів досліджень, рівень та самостійність досліджень дисертанта, рекомендувати дисертацію ІВАНОВА Сергія Сергійович «Математичне моделювання задач цифрової обробки зображень на основі чисельного інтегрування швидко осцилюючих функцій», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика до публічного захисту у разовій спеціалізованій вченій раді в галузі знань 11 – Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика після її утворення рішенням Вченої ради навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та введення в дію відповідного наказу.

Рішення про наукову і практичну цінність дисертації прийнято одноголосно.

Головуючий,
в.о. завідувача кафедри харчових
технологій, легкої промисловості і
дизайну навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна
академія» Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна,
д.ф.-м.н., професор



Олег ЛИТВИН