

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне
значення результатів дисертації
ТИЧКОВА ДМИТРА ВОЛОДИМИРОВИЧА
на тему: «Інформаційно-вимірювальна система
для дослідження низькоінтенсивних електричних полів»
для здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Публічна презентація наукових результатів дисертації Тичкова Дмитра Володимировича відбулася на засіданні кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій (далі – ПМКТ) Черкаського державного технологічного університету (далі – ЧДТУ) 10 вересня 2025 року, протокол № 3.

ПРИСУТНІ:

Бондаренко М.О., завідувач кафедри ПМКТ, д-р техн. наук, професор;
Андрієнко В.О., доцент кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу, канд. техн. наук, доцент;
Базіло К.В., професор кафедри ПМКТ, д-р техн. наук, професор;
Бутенко Т.І., доцент кафедри фундаментальних дисциплін та прикладного матеріалознавства, канд. техн. наук, доцент;
Гальченко В.Я., професор кафедри ПМКТ, д-р техн. наук, професор;
Голуб С.В., завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, д-р техн. наук, професор;
Квасніков В.П., завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Державного університету «Київський авіаційний інститут», д-р техн. наук, професор;
Осадчук О.В., завідувач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету, д-р техн. наук, професор;
Рудаков К.С., доцент робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем, канд. техн. наук, доцент;
Тичков Д.В., здобувач ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» 4-го року навчання;
Тичков В.В., доцент кафедри ПМКТ, канд. техн. наук, доцент;
Топтун А.В., асистент кафедри ПМКТ, д-р філософії;
Трембовецька Р.В., професор кафедри ПМКТ, д-р техн. наук, професор;
Туз В.В., доцент кафедри ПМКТ, канд. техн. наук, доцент;
Філімонов С.О., доцент кафедри ПМКТ, канд. техн. наук, доцент;
Яценко І.В., професор кафедри електротехнічних систем, д-р техн. наук, професор.

Тему дисертації «Інформаційно-вимірювальна система для дослідження низькоінтенсивних електричних полів» затверджено на засіданні вченої ради

факультету електронних технологій, автотранспорту та машинобудування 26 червня 2025 року (протокол № 4). Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Туз Вячеслав Валерійович – призначений наказом Черкаського державного технологічного університету від 21 березня 2025 року № 92/03-03.

1. Актуальність теми дослідження.

Інтенсивне розширення ринку виробів, у конструкції яких ключову роль відіграють мікроелектронні пристрої та побудовані на їх основі системи, зумовлене їх відчутними техніко-економічними перевагами та технологічною придатністю до масового виготовлення. Подальше зростання номенклатури й обсягів виробництва таких пристроїв потребує не лише збільшення функціонально-експлуатаційних можливостей, а й модернізації матеріально-технічної бази: впровадження нових композиційних матеріалів, технологій мініатюризації та гібридної інтеграції.

Зменшення геометричних розмірів схем та міжкомпонентних проміжків у поєднанні з використанням матеріалів із різною природою електропровідності (провідники, напівпровідники, діелектрики), а також зі специфічними структурними формами (квантові точки, лінійні провідники, тонкі плівки, нано- та мікроструктури) і з урахуванням робочих режимів (напруга, частота тощо) неминуче веде до виникнення й акумулювання у матеріалах локальних електричних зарядів та відповідних електричних полів.

Електричні поля є невід'ємним чинником роботи будь-якого електронного вузла: окрім забезпечення функціонування основних схемних елементів (зокрема ємнісних структур і комірок оперативної пам'яті), вони можуть породжувати небажані ефекти – електростатичне «залипання» рухомих мікромеханічних компонентів, притягування мікрочастинок вологи й пилу з погіршенням тепловідведення та електропровідності, а також найкритичніше – електростатичний пробій, що викликає електромеханічне пошкодження та вихід елементів із ладу.

Відтак завдання високоточного вимірювання і контролю силових та енергетичних характеристик електричних полів наднизької інтенсивності із можливістю отримання і візуалізації їх просторово-часового розподілу має як прикладну, так і істотну наукову значущість.

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

Роботу виконано в Черкаському державному технологічному університеті в межах державної науково-дослідної роботи, що виконувалася з власної ініціативи, де здобувач був виконавцем протягом 2021 – 2022 років, а саме: "Комп'ютеризована система діагностування та контролю параметрів компонентів мікросистемної техніки методом атомно-силової мікроскопії" (№ держреєстрації 0121U113777; 12.2021 – 12.2022 рр). Здобувач як виконавець брав безпосередню участь в виконанні наведених досліджень.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності визначення характеристик статичних і квазістатичних електричних полів надмалої інтенсивності, що існують у мікроелектронних пристроях, шляхом розроблення нового методичного, математичного, інструментального та інформаційного

забезпечення, на основі якого створено інформаційно-вимірювальну систему, яка забезпечує високоточні й відтворювані вимірювання та просторово-часову візуалізацію розподілу силових і енергетичних характеристик цих полів.

Досягнення означеної мети передбачає виконання наступних завдань:

- провести аналіз існуючих методів та засобів визначення силових і енергетичних характеристик електричних полів мікроелектронних пристроїв і обґрунтувати шляхи підвищення точності та відтворюваності вимірювання цих характеристик для статичних і квазістатичних електричних полів наднизької інтенсивності, а також просторово-часової візуалізації розподілу цих характеристик;
- удосконалити математичну просторово-часову модель статичних і квазістатичних низькоінтенсивних електричних полів з урахуванням динаміки зміни цих полів та їх розмірів, а також впливу зовнішніх чинників;
- розробити й випробувати метод та побудовану на його основі інформаційно-вимірювальну систему для визначенні розподілу силових та енергетичних характеристик електричних полів та розташуванні зон із критичними значеннями цих параметрів;
- розв'язати задачу прогнозного моніторингу просторово-часового стану квазістатичного електричного поля на досліджуваних поверхнях мікроелектронних пристроїв для підвищення точності визначення місця і часу електричного пробоя, що дозволить своєчасно провести заходи щодо уникнення руйнування компонентів таких пристроїв.

Для вирішення поставлених задач використано окремі положення теорії електростатики й електродинаміки, а також методи аналітичних і числових розрахунків статичних і квазістатичних електричних полів мікроелектронних пристроїв та методи математичної статистики для оброблення експериментальних даних.

Об'єктом дослідження є процеси та явища, що впливають на зміну характеристик електричних полів мікроелектронних пристроїв.

Предмет дослідження – методи та засоби дослідження силових і енергетичних характеристик статичних і квазістатичних електричних полів.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації.

У дисертаційній роботі проведено теоретичне узагальнення і нове розв'язання науково-прикладної задачі визначення силових та енергетичних характеристик низькоінтенсивних електричних полів, що виникають у мікроелектронних пристроях, шляхом розроблення нового методичного, математичного, інструментального та інформаційного забезпечення. На цій основі створено інформаційно-вимірювальну систему, базовим обладнанням якої є атомно-силовий мікроскоп, що забезпечує підвищення точності та відтворюваності вимірювань, а також просторово-часову візуалізацію розподілу характеристик таких полів, що відповідає меті та задачам дослідження і відображено в науковій новизні.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, їхня новизна.

Дисертаційне дослідження містить у собі наступні наукові положення, розроблені особисто дисертантом:

- *вперше запропоновано* метод виявлення кризових ділянок на робочій поверхні мікросистемного пристрою, який полягає у визначенні розподілу силових та енергетичних характеристик електричних полів та розташуванні зон із критичними значеннями цих параметрів і, який, на відміну від відомих підходів, застосовує багаторазове сканування робочої поверхні, що дає змогу оцінити не лише факт утворення кризових ділянок, але й динаміку їх розвитку;
- *удосконалено математичну модель* розподілу електричних полів надмалої інтенсивності, яка ґрунтується на розв'язанні системи диференціальних рівнянь Лапласа, шляхом врахування змін параметрів полів, їх просторових розмірів та впливу зовнішніх факторів (температури, відносної вологості, електромеханічного впливу), чим забезпечується можливість уникати електричного пробоя, уточнивши розподіл полів цього типу і визначаючи діапазон безпечної зміни енергетичних характеристик на малих ділянках поверхонь компонентів пристроїв мікросистемної техніки;
- *вперше запропоновано* метод побудови вимірювального сенсору, який заключається у використанні електронно-променевого модифікування поверхні кварцової основи та формування на ній металевих електродів, яке на відміну від існуючих, використовує для формування електродів вакуумне середовище та забезпечує стабільний розподіл теплових полів, що дозволяє уникнути мікротріщин та збільшити термін безвідмовної експлуатації сенсору;
- *вперше розв'язана* задача прогнозного моніторингу просторово-часового стану квазістатичного електричного поля мікроелектронного пристрою, яка заключається у екстраполяції закономірності зміни характеристик цього поля у минулому і застосуванні цієї закономірності для визначення цього показника у майбутньому, яка, на відміну від існуючих вперше використовує цей метод для розв'язання нової задачі прогнозування місця та часу пробоя, що дозволяє підвищити точність прогнозів.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Наукові положення, висновки та рекомендації роботи обґрунтовано достатньою мірою. Обґрунтованість отриманих теоретичних результатів дисертації базується на використанні окремих положень теорій електростатики й електродинаміки, теорії інтегрального числення, теорії диференціальних рівнянь у частинних похідних, спеціальних функцій математичної фізики, теорії матриць, чисельних методів, методів моделювання, теорії похибок, теорії планування експериментів, методів математичної статистики, методів обчислювальної геометрії, методів штучного інтелекту, методів машинного навчання. Для підтвердження обчислювальної ефективності запропонованих методів та визначення їх точності використано наочні експерименти. Результати досліджень також верифіковані на експериментальних даних.

5. Рівень теоретичної підготовки здобувача, його особистий внесок у розв'язання конкретного наукового завдання. Рівень обізнаності здобувача з результатами наукових досліджень інших учених.

Дисертантом виконано змістовне дослідження предметної області, розглянуто основні методи та засоби визначення характеристик низькоінтенсивних електричних полів розподілених по діелектричній поверхні та в просторі. На основі опрацювання значної кількості літературних джерел, наукових публікацій, патентного пошуку автором роботи в максимальній мірі враховано наукові досягнення в обраному напрямку досліджень. Отримані результати свідчать про ґрунтовні теоретичні знання дисертанта в області інформаційно-вимірювальної техніки.

6. Наукове та практичне значення роботи.

Наукове значення роботи полягає у розробленні та формальному обґрунтуванні методу швидкісного багатопрохідного сканування з ковзним часовим вікном і статистичним детектором ознак деградації, який у реальному часі виконує картування робочої поверхні мікросистемного пристрою та ідентифікує кризові ділянки за введеними критеріями (порогова чутливість, показники стабільності, оцінки ризику пробою). Практичне значення полягає у створенні на основі цього методу інформаційно-вимірювальної системи для неруйнівного дослідження та візуалізації просторово-часового розподілу квазістатичних електричних полів малої інтенсивності, яка забезпечує прогностичний моніторинг змін цих полів на поверхні мікроелектронного пристрою, що підвищує достовірність виявлення небезпечних станів і своєчасність профілактичних дій.

7. Використання результатів роботи.

Результати дисертаційного дослідження знайшли практичне впровадження в навчальному процесі у навчальних курсах кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій Черкаського державного технологічного університету та кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", а також використані у діяльності підприємств України, як: приватного акціонерного товариства «Укрп'єзо» (м.Черкаси), приватного підприємства «Сенсорна електроніка» (м.Черкаси), малого навчально-виробничого підприємства, товариства з обмеженою відповідальністю «Лілея».

8. Повнота викладу матеріалів дисертації.

За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 5 наукових статей, із яких: 4 статті у виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; стаття у періодичному науковому виданні, включеному до наукометричної бази Scopus; одне авторське свідоцтво на комп'ютерну програму. Інші дві публікації – у матеріалах конференцій.

Повний перелік наукових публікацій:

1. Tychkov, D., Tytarenko, V., Chornii, A., Kovalenko, Yu., Macepa, S., Bondarenko, M. (2024). Information Technology for the Study of Ultra-Low Power Electric Fields. In: Faure, E., et al. Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 221. Springer, Cham. Online E-ISSN 2367-4520. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_25. (Scopus)

Статті у наукових фахових виданнях України

2. Тичков Д.В., Бондаренко М.О., Антонюк В.С. (2019). Особливості розрахунку та дослідження ємнісних перетворювачів діелектричної проникливості з різною формою електродів. *Перспективні технології та прилади*, 14, С. 140 – 145. ISSN 2313-5352. <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-14-24>. (Категорія Б).
Здобувачем проведено розрахунки ємнісних перетворювачів діелектричної проникливості для електродів прямокутної, круглої та кільцевої форми
3. Титаренко В.С., Тичков Д.В. (2022). Імітаційна модель інформаційно-вимірювальної системи електричних характеристик функціональних покриттів електронних пристроїв. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: технічні науки*. 3, С. 14 – 22. e-ISSN 2708-6070. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2022.265745>. (Категорія Б).
Здобувачем проведено імітаційне моделювання інформаційно-вимірювальної системи електричних характеристик функціональних покриттів електронних пристроїв.
4. Tychkov, D., Bondarenko, M. (2023). Mathematical model of static and quasi-static electric fields of ultra-low power under a polyelectrode cylindrical transducer. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 28(1), 13-22. e-ISSN 2708-6070. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2023.273684>. (Категорія Б).
Здобувачем запропоновано та складено математичну модель статичних і квазістатичних електричних полів надмалої потужності під поліелектродним циліндричним перетворювачем.
5. Тичков, Д., Волошко, О. (2023). Вплив зовнішніх факторів на точність та надійність визначення електричних полів надмалої потужності. *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, вип. 65(1), с. 58–64. ISSN (Online) 2663-3450. [https://doi.org/10.20535/1970.65\(1\).2023.283339](https://doi.org/10.20535/1970.65(1).2023.283339). (Категорія Б).
Здобувачем досліджено вплив зовнішніх факторів на точність та надійність визначення електричних полів надмалої потужності.

Свідоцтво України про реєстрацію авторського права

6. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір “Програма розрахунку стаціонарних та квазістаціонарних електричних полів надмалої потужності” №с202301030; заявники: Тичков Д.В., Білокінь С.О., Бондаренко М.О.; заявлено 22.02.23.
Здобувачем написано мовою програмування Python програму розрахунку статичних та квазістатичних електричних полів надмалої потужності

Матеріали й тези конференції

7. Тичков Д.В., Бондаренко М.О. (2019). "Дослідження динамічних електричних полів, що виникають внаслідок зовнішніх впливів на діелектричних поверхнях мікро- та нановиробів", в: *VIII Міжнар. наук.-техніч. конфер. "Датчики, прилади та системи – 2019", присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М., (сел.Лазурне, 16 – 20 вересня 2019 р.). – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – С. 73 – 75.*
Здобувачем досліджено динамічні електричні поля на діелектричних поверхнях від зовнішніх впливів
8. Тичков Д.В., Бондаренко М.О., Білокінь С.О. (2020). "Автоматизована система керування засобами нанометричного контролю", в: *X міжнарод. наук.-практ. конфер. "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем", (м.Чернігів, 19–20 квітня 2020 р.), Чернігів: ЧНТУ, Т.2. – С. 174–175.*
Здобувачем проведено розроблення функціональної та структурної схем автоматизованої системи керування засобами нанометричного контролю

У публікаціях, підготовлених в співавторстві, здобувачеві належать такі результати: у працях [1, 2, 3] – проведено розрахунки та імітаційне моделювання основних елементів інформаційно-вимірювальної системи електричних полів; у працях [4, 6] – складено математичну модель та програмне забезпечення статичних і квазістатичних електричних полів надмалої інтенсивності; у праці [8] – розроблено функціональну та структурну схеми автоматизованої системи керування засобами нанометричного контролю; у працях [5, 7] – досліджено динамічні електричні поля на діелектричних поверхнях від зовнішніх впливів.

Результати аналізу роботи, в тому числі за допомогою перевірки тексту дисертації з використанням системи TURNITIN на пошук та аналіз текстових збігів, свідчать про відповідність дисертації принципам академічної доброчесності.

9. Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення та результати досліджень доповідалися на наукових конференціях: VI International Scientific Congress "Innovations", (Varna, Bulgaria, 2020, 2021 pp.); VIII Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми інформатизації", (м.Черкаси, м.Харків, м.Баку, м.Бельсько-Бяла, 2020 р.); X Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем", (м.Чернігів, 2020 р.); XV Міжнародна конференція "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020)", (м.Вінниця, 2020 р.); VII Міжнародна науково-практична конференція "Information Technology for Education, Science, and Technics (ITEST 2024)", (м.Черкаси, 2024 р.); VIII Міжнародна науково-технічна конференція "Датчики, прилади та системи", присвячена пам'яті проф. Шарапова В.М., (м.Черкаси, 2019 – 2025 pp.).

10. Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертацію написано з дотриманням норм і правил граматики, а стиль викладу в ній матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість і доступність їх сприйняття.

Дисертація повною мірою відповідає пунктам 6–8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради про присудження ступеня доктора філософії в Черкаському державному технологічному університеті». Робота містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які виконують конкретне наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

Дисертацію виконано державною мовою та відповідно до наявних вимог щодо оформлення.

11. Відповідність змісту дисертації освітньо-науковій програмі, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації повністю відповідає спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка освітньо-наукової програми «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

12. Рекомендація дисертації до захисту.

Враховуючи рівень наукових досліджень, актуальність теми роботи та наукову новизну отриманих результатів, учасники фахового семінару кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій одногласно ухвалили рішення затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Тичкова Дмитра Володимировича на тему: «Інформаційно-вимірювальна система для дослідження низькоінтенсивних електричних полів» для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування та рекомендувати до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді Черкаського державного технологічного університету для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

У голосуванні брали участь 15 осіб. Результати голосування:

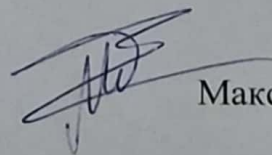
«ЗА» – 15,

«ПРОТИ» – немає,

УТРИМАЛИСЬ – немає.

Головуючий:

завідувач кафедри приладобудування,
мехатроніки та комп'ютеризованих
технологій, д-р техн. наук, професор



Максим БОНДАРЕНКО