



ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. президента державного некомерційного підприємства "Державний університет "Київський авіаційний інститут"

Ксенія СЕМЕНОВА

"22" квітня 2025 року

ВИСНОВОК

Державного некомерційного підприємства "Державний університет "Київський авіаційний інститут" (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Чалого Олега Володимировича, поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка" на тему "Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною"

Витяг

із протоколу № 1 розширеного засідання кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій КАІ
від 3 квітня 2025 року

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій:

Квасніков Володимир Павлович д.т.н., професор
Філоненко Сергій Федорович д.т.н., професор
Дев'яткіна Світлана Сергіївна к.т.н., доцент
Єгоров Сергій Вікторович к.т.н., доцент
Квашук Дмитро Михайлович к.е.н., доцент
Сірий Дмитро Терентійович к.т.н., доцент
Шкварницька Тетяна Юріївна к.т.н., доцент
Яремич Тетяна Іванівна ст. викладач
Шевкун Сергій Миколайович к.т.н., докторант
Аспіранти : Бражій О.М., Шевченко Д. Т., Швалюк Є. П., Хіль Е.С.,
Приходько С.М., Федорченко С. В., Солдатов В.В., Червотока О.В., Шлома А.І.

Головуючий на засіданні — д.т.н., професор, професор кафедри технічного захисту інформації Лазаренко С.В.

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники інших кафедр КАІ:

Козловський В.В. д.т.н., професор, завідувач кафедри технічного захисту інформації КАІ;

Лазаренко С.В., д.т.н., професор, професор кафедри технічного захисту інформації КАІ;

Ларін В.Ю. д.т.н., професор, завідувач кафедри аеронавігаційних систем КАІ.

Серед присутніх 5 докторів технічних наук і 6 кандидатів технічних наук і 1 кандидат економічних наук.

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій ДНП "ДУ "КАІ" Чалого Олега Володимировича на тему "Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною", поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування" за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка".

Науковий керівник – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Аерокосмічного факультету КАІ Квасніков Володимир Павлович.

Дисертація виконувалась на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Аерокосмічного факультету КАІ. Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету Національного авіаційного університету (протокол № 15 від 04 жовтня 2021 року).

Виступили:

Здобувач Чалий Олег Володимирович представив презентацію за основними положеннями дисертації "Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною", поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування" за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка".

Доповідач обґрунтував актуальність обраної теми, визначив мету, завдання, методологію та методику, охарактеризував об'єкт та предмет дослідження, виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист, вказав науково-практичну значущість роботи, зазначив про впровадження результатів дослідження.

У презентації висвітлено основні положення дисертаційного дослідження "Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною". Обґрунтовано актуальність теми, яка полягає у необхідності підвищення точності вимірювань на координатно-вимірювальних машинах шляхом автоматизації процесів корекції похибок. Визначено, що об'єктом дослідження є процес вимірювання високоточних деталей на координатно-вимірювальній машині (КВМ), а предметом – методи та алгоритми автоматизованого керування для компенсації похибок. Сформульовано мету дослідження, яка полягає у розробці автоматизованої системи керування КВМ для зменшення похибок вимірювання за рахунок зменшення вібраційних, температурних та динамічних впливів. Наведено

основні результати роботи, зокрема розробку математичної моделі похибок вимірювання, алгоритмів їх корекції, оптимізації траєкторії вимірювань та експериментальне підтвердження ефективності запропонованих рішень. Визначено наукову новизну дослідження, яка полягає у створенні нових методів компенсації похибок, що дозволяють підвищити точність вимірювань на КВМ. Окреслено практичне значення роботи та перспективи подальших досліджень.

Після закінчення доповіді Чалого О. В. присутніми на засіданні фахівцями були поставлені наступні запитання:

Запитання до здобувача:

1 **Лазаренко С.В.**, д.т.н. професор, професор кафедри технічного захисту інформації;

Запитання: Які основні фактори впливають на точність вимірювання складних просторових поверхонь на КВМ?

Відповідь: Дякую за запитання. Основними факторами є геометричні похибки КВМ, температурні деформації, динамічні коливання, похибки сенсорів і алгоритмів обробки даних. У роботі запропоновано методи їх мінімізації шляхом математичного моделювання та автоматичної корекції похибок.

2. **Єгоров С. В.** к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій КАІ.

Запитання: Які методи використовувалися для автоматичної корекції похибок вимірювання на КВМ?

Відповідь: Дякую за запитання. Для автоматичної корекції похибок використовувалися методи математичного моделювання, інтерполяції та апроксимації похибок на основі експериментальних даних. Застосовано алгоритми компенсації систематичних похибок, засновані на багатофакторному аналізі дестабілізуючих впливів та врахуванні метрологічних характеристик КВМ.

3. **Лазаренко С.В.**, д.т.н., професор, професор кафедри технічного захисту інформації.

Запитання: Як у Вашій роботі реалізовано вимірювання складних просторових поверхонь на КВМ?

Відповідь: Дякую за запитання. У роботі розроблено алгоритми вимірювання складних просторових поверхонь із використанням оптимізованих траєкторій руху вимірювальної головки, методів апроксимації геометричних відхилень та компенсації похибок. Запропоновано математичну модель вимірювального процесу, яка враховує вплив динамічних і геометричних факторів на точність отриманих результатів..

4. **Шкварницька Т. Ю.** к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій:

Запитання: Яким чином у Вашій роботі враховано вплив температурних змін на точність вимірювань КВМ?

Відповідь: У роботі розглянуто температурні деформації як один із основних дестабілізуючих факторів, що впливають на точність вимірювань. Запропоновано математичну модель компенсації температурних впливів, яка враховує коефіцієнти теплового розширення матеріалів, температурні градієнти та особливості конструкції КВМ. Крім того, реалізовано алгоритм корекції похибок, заснований на експериментально визначених температурних характеристиках

машини.

5 Ларін В.Ю. д.т.н., професор, завідувач кафедри аеронавігаційних систем.

Запитання: Які алгоритми були використані для оптимізації траєкторії вимірювального зонда КВМ при скануванні складних просторових поверхонь, і як це вплинуло на точність вимірювань?

Відповідь:

У роботі застосовано алгоритми оптимізації траєкторії вимірювального зонда, зокрема методи мінімізації загальної довжини переміщень, адаптивного вибору точок вимірювання та корекції кута нахилу зонда залежно від локальної кривизни поверхні. Це дозволило зменшити вплив динамічних похибок, покращити рівномірність покриття вимірюваної області та підвищити точність реконструкції форми деталі. Додатково проведено аналіз впливу швидкості руху зонда на метрологічні характеристики процесу вимірювання.

6. Сірий Д.Т. к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій.

Запитання: Як у Вашій роботі реалізовано оцінку та корекцію похибок при вимірюванні складних геометричних елементів, таких як тор, криволінійні профілі та різьбові з'єднання?

Відповідь: Для оцінки та корекції похибок при вимірюванні складних геометричних елементів використано комбінацію методів апроксимації, багатоточкового вимірювання та корекції систематичних похибок. Розроблено алгоритми адаптивного вибору точок вимірювання, що враховують особливості форми деталі та можливі деформації. Для тору та різьбових з'єднань застосовано методи компенсації впливу нахилу зонда та геометричної орієнтації деталі, а для криволінійних профілів — коригування вимірювальної траєкторії з урахуванням локальної кривизни. Це дозволило підвищити точність вимірювань і зменшити вплив випадкових та систематичних похибок.

7. Козловський В.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри технічного захисту інформації.

Запитання: Які методи були використані для оцінки невизначеності вимірювань на КВМ і як вони враховують вплив дестабілізуючих факторів?

Відповідь: Для оцінки невизначеності вимірювань використано методи статистичного аналізу, метод Монте-Карло та аналітичні моделі похибок. Враховано основні дестабілізуючі фактори, зокрема геометричні відхилення, температурні деформації, динамічні коливання та варіативність зусилля контакту зонда. Розроблено алгоритм комбінованої оцінки невизначеності, що поєднує числове моделювання та експериментальні вимірювання для визначення вкладу кожного джерела похибок у загальну невизначеність результату. Це дозволило отримати більш точну оцінку метрологічних характеристик КВМ.

8. Ларін В.Ю. д.т.н., професор, завідувач кафедри аеронавігаційних систем.

Запитання: Як у Вашій роботі вирішується задача врахування динамічних похибок, що виникають при русі вимірювального зонда КВМ?

Відповідь: У роботі враховано динамічні похибки, що виникають через інерційні ефекти, прискорення та гальмування зонда під час вимірювання. Для їх мінімізації застосовано методи згладжування траєкторії руху, адаптивне регулювання швидкості переміщення та аналіз резонансних частот системи. Використано математичну модель, що описує залежність динамічних похибок від

кінематичних параметрів руху, що дозволило розробити алгоритм компенсації впливу цих похибок на результати вимірювань. Це забезпечило підвищення точності сканування складних просторових поверхонь при високих швидкостях вимірювань.

Після відповідей на запитання виступили:

Науковий керівник – д.т.н., проф., завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій КАІ Квасніков Володимир Павлович.

Квасніков В.П.: відзначив актуальність проведеного дослідження та його значний внесок у розвиток метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Дисертаційна робота виконана автором самостійно. Було підкреслено, що дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі, пов'язаної з підвищенням точності вимірювань на координатно-вимірювальних машинах шляхом автоматизації процесів керування та корекції похибок. Науковий керівник наголосив на високому рівні виконаних досліджень, обґрунтованості отриманих результатів та їх практичній цінності для промислових і метрологічних підприємств. Було відзначено наукову новизну запропонованих методів та алгоритмів корекції похибок, що підтверджено теоретичними розрахунками та експериментальними дослідженнями. Окрему увагу було приділено системному підходу здобувача до вирішення поставлених завдань та його здатності до наукової дискусії. За результатами дослідження дисертант опублікував наукові праці у фахових виданнях та представив результати на наукових конференціях, що підтверджує апробацію отриманих висновків. На завершення науковий керівник висловив упевненість у високому рівні виконаної роботи та відповідності її вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії по спеціальності 152 “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”.

Рецензенти дисертаційної роботи, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження:

Філоненко С.Ф. д.т.н., проф., професор кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій КАІ. Філоненко С.Ф. відзначив високий науковий рівень дисертаційного дослідження, його актуальність та практичну значущість для вдосконалення процесів вимірювання на координатно-вимірювальних машинах. Було підкреслено, що автор провів ґрунтовний аналіз сучасного стану проблеми, запропонував ефективні методи автоматизації та розробив алгоритми корекції похибок, які можуть бути впроваджені у метрологічних службах промислових підприємств.

Серед зауважень було зазначено, що у роботі варто було б більш детально розглянути вплив довготривалих змін температурного режиму на точність вимірювань та розширити аналіз впливу вібраційних навантажень. Також було висловлено побажання щодо подальшого розширення експериментальної бази дослідження шляхом застосування більшої кількості тестових деталей із різними геометричними параметрами. Окрім того, рецензент запропонував розглянути можливість застосування розроблених алгоритмів корекції у вимірювальних системах іншого типу, що могло б розширити сферу застосування отриманих результатів.

Незважаючи на зазначені зауваження, рецензент позитивно оцінив

дисертаційну роботу, наголосив на її завершеності, логічності викладу та відповідності вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Козловський В.В. д.т.н., проф., завідувач кафедри технічного захисту інформації КАІ високо оцінив наукову та практичну значущість дисертаційного дослідження, відзначивши його ґрунтовний підхід до автоматизації процесу вимірювання на координатно-вимірювальних машинах. Було підкреслено, що розроблена система автоматизованого керування сприяє підвищенню точності вимірювань, що є актуальним завданням для сучасної метрології та виробництва. Особливо відзначено наукову новизну математичних моделей та алгоритмів корекції похибок, а також достовірність отриманих результатів, підтверджених експериментальними дослідженнями.

Серед зауважень рецензент зазначив, що в роботі слід було б детальніше висвітлити питання можливих обмежень застосування розроблених алгоритмів у промислових умовах, зокрема в умовах значного шумового впливу або нестабільних температурних режимів. Також було висловлено побажання щодо подальшого розширення дослідження у напрямку оцінки довгострокової стабільності запропонованої системи керування та її адаптації до різних типів координатно-вимірювальних машин.

Рецензент наголосив, що зазначені зауваження не впливають на якість виконаної дисертаційної роботи, виконана на високому науково-технічному рівні отримані нові наукові результати в галузі метрології та приладобудування і відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та підтримав її позитивну оцінку.

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Ларін В.Ю. д.т.н., професор, завідувач кафедри аеронавігаційних систем КАІ відзначив наукову та практичну значущість результатів дослідження та їхню можливість впровадження у виробництво. Вперше запропоновано алгоритм автоматизованого керування координатно-вимірювальною машиною, що враховує динамічні зміни умов вимірювання та забезпечує корекцію похибок у реальному часі. Удосконалено методику оцінювання точності вимірювання складних просторових поверхонь шляхом застосування моделюючого комплексу, який дозволяє враховувати вплив технологічних та експлуатаційних факторів. Отримав подальший розвиток підхід до інтеграції автоматизованих систем керування КВМ у загальну структуру виробничих процесів, що сприяє підвищенню ефективності контролю якості та зменшенню впливу дестабілізуючих факторів на результати вимірювань.

Козловський В.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри технічного захисту інформації КАІ наголосив на науковій новизні та значущості дисертаційного дослідження. Вперше розроблено математичну модель автоматичної корекції похибок вимірювання на КВМ, що враховує вплив геометричних, кінематичних та температурних факторів. Удосконалено підхід до аналізу метрологічних характеристик КВМ шляхом застосування алгоритмів оптимізації та адаптивного керування, що дозволяє підвищити точність вимірювань. Отримали подальший розвиток методи оцінювання та мінімізації впливу дестабілізуючих факторів на процес вимірювання, що сприяє покращенню відтворюваності результатів та підвищенню ефективності роботи вимірювальної системи.

Лазаренко С.В. д.т.н., професор кафедри технічного захисту інформації КАІ відзначив актуальність теми, підкресливши значний науковий та практичний внесок роботи у сферу метрології та координатно-вимірювальних технологій. Було наголошено, що автоматизація процесів керування координатно-вимірювальною машиною є важливим кроком до підвищення точності вимірювань, зменшення впливу дестабілізуючих факторів і покращення метрологічних характеристик. Також було відзначено високий рівень теоретичних досліджень автора, що включають математичне моделювання похибок, розробку алгоритмів автоматичної корекції та експериментальну перевірку отриманих результатів. Виступаючий підкреслив, що результати роботи можуть знайти застосування в промисловості, зокрема в авіаційній, машинобудівній та приладобудівній галузях, де необхідна висока точність вимірювань складних просторових поверхонь.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Чалого Олега Володимировича на тему “ Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною ”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 “Автоматизація та приладобудування” за спеціальністю 152 “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка ”

1. Обґрунтування вибору теми дослідження. Задача підвищення точності вимірювань у координатно-вимірювальних машинах є актуальною у всьому світі, оскільки якість високоточних деталей безпосередньо впливає на надійність і безпеку продукції в таких галузях, як авіабудування, машинобудування, кораблебудування та мікроелектроніка. Традиційні методи вимірювання часто не забезпечують необхідної точності через вплив дестабілізуючих факторів, зокрема температурних змін, геометричних похибок та зношення елементів системи. Автоматизована система керування КВМ дозволяє мінімізувати ці похибки, підвищити відтворюваність вимірювань та скоротити час контролю якості, що є важливим для сучасного високотехнологічного виробництва. Розробка такої системи сприятиме впровадженню інтелектуальних методів вимірювання деталей, обробки результатів вимірювання та підвищенню ефективності метрологічного забезпечення виробничих процесів.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, відповідно до закону України №3715-VI “Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні”, зокрема “Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа і суднобудування, озброєння та військової техніки” є складовою частиною наукових досліджень, що проводяться в КАІ в межах пріоритетних напрямів розвитку метрології та вимірювальної техніки, у якій здобувач брав безпосередню участь у виконанні окремих розділів, присвячених математичному моделюванню похибок вимірювання та розробці алгоритмів їх автоматичної корекції. Крім того, робота виконувалася в рамках науково-

дослідного проєкту “Інтелектуальні методи підвищення точності координатних вимірювань” (№ держреєстрації 67-2023/07.01.07 02.01.2023-31.12.2025), спрямованого на вдосконалення методології оцінювання невизначеності вимірювань у складних промислових умовах. Отримані в дисертації результати відповідають основним положенням державних і міжнародних програм з розвитку метрологічного забезпечення високоточних виробничих процесів.

Тема дисертації відповідає освітньо-науковій програмі “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” за спеціальністю 152 “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка” галузі знань 15 “Автоматизація та приладобудування” в КАІ (зокрема, ОК 1.3.1, ОК 1.3.4 та ОК 1.3.5).

3. Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення автоматизованої системи керування координатно-вимірювальною машиною, яка забезпечує підвищення точності вимірювань за рахунок математичного моделювання похибок, їх автоматичної корекції та оптимізації алгоритмів керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: провести аналіз джерел похибок вимірювання на КВМ та розробити математичну модель їх врахування; розробити методiku оцінювання невизначеності вимірювань, що враховує систематичні та випадкові складові похибок; створити алгоритми автоматичної корекції похибок КВМ, засновані на обчислювальному моделюванні та експериментальних даних; розробити структуру та функціональні компоненти автоматизованої системи керування КВМ, що реалізує запропоновані алгоритми; провести експериментальне дослідження ефективності розробленої системи на реальному обладнанні та оцінити її вплив на точність вимірювань.

4. Об’єкт дослідження. Об’єктом дослідження є процес вимірювання геометричних параметрів деталей на координатно-вимірювальній машині.

5. Предмет дослідження. Методи, математичні моделі та алгоритми автоматизованої системи вимірювання на КВМ.

6. Методи дослідження. При розв’язанні поставленої задачі використані методи, що ґрунтуються на теорії інформаційно-вимірювальних систем та КВМ (для розділів 1,2), методах імітаційного моделювання та програмно-математичного забезпечення (для розділу 4), методах створення автоматизованих систем керування та методах управління КВМ (для розділу 2, 3), теорії похибок (для розділу 3), метрологія. Методи дослідження включають математичне моделювання систематичних та випадкових похибок КВМ, що сприяє підвищенню точності вимірювання. Використовується метод максимальної правдоподібності для оцінки похибок, що забезпечує більш точну корекцію. Методи чисельного моделювання включають застосування методу Монте-Карло для оцінки невизначеності вимірювань. Проводиться моделювання впливу різних факторів на точність вимірювань, що дозволяє оцінити ефективність розроблених методів. Експериментальні дослідження передбачають проведення вимірювань на реальній координатно-вимірювальній машині для збору даних про похибки. Оцінюється ефективність запропонованих методів корекції шляхом порівняння з референтними вимірами. Алгоритмічна та програмна реалізація включає розробку алгоритмів автоматичної корекції похибок для автоматизованої системи вимірювання. Статистична обробка даних дозволяє проаналізувати отримані результати з використанням сучасних методів статистичної обробки. Визначається ефективність

запропонованих методів корекції похибок, що дає можливість покращити точність вимірювань на координатно-вимірювальних машинах.

7. Наукова новизна дослідження: У роботі отримані такі нові наукові результати:

уперше: обґрунтовано концепцію автоматизованої системи керування КВМ з підвищеними метрологічними характеристиками, що дає можливість формалізувати нові структури та розробити нові алгоритми керування;

удосконалено:

- математичні моделі процесу вимірювання геометричних параметрів, які відрізняються від раніше відомих тим, що враховано дію дестабілізуючих факторів і дають змогу визначити положення та позиціонування рухомих частин КВМ під час експлуатації;

- математичні моделі розрахунку похибок вимірювання з врахуванням рухів виконуючих органів та сукупної компенсації дестабілізуючих параметрів (температури, вібрації, вологості), що дає змогу розширити діапазон вимірювання, підвищити швидкодію і точність вимірювання.

отримали подальший розвиток:

- теоретичні основи побудови автоматизованої системи вимірювання на КВМ на основі створення нових структурних та функціональних схем з використанням адаптивних алгоритмів, що враховують кореляційні зв'язки між дискретними вимірюваннями та змінами дестабілізуючих факторів, що дає можливість зменшити похибку на (7-18)% та підвищити заводо захищеність;

- метод вимірювання деталей із складною просторовою поверхнею на КВМ з використанням адаптивної стратегії вимірювання, що забезпечує підвищення точності та скорочення часу інспекції на 10-12%.

8. Теоретичне значення. Теоретичне значення результатів полягає у розвитку наукового підходу автоматизованого керування КВМ з метою підвищення точності вимірювань у складних виробничих умовах. У роботі сформульовано новий підхід до математичного моделювання похибок вимірювання, що дозволяє враховувати вплив геометричних, кінематичних, теплових та випадкових джерел похибок у реальному часі.

Запропоновано нові математичні моделі для розрахунку систематичних та випадкових похибок, які враховують дестабілізуючі фактори (температурні зміни, вібрації, знос елементів системи) та рух виконавчих органів КВМ. Ці моделі сприяють покращенню процесу оцінки невизначеності вимірювань та дозволяють підвищити точність позиціонування рухомих частин КВМ.

Розроблено алгоритм автоматичної корекції похибок на основі методу максимальної правдоподібності та чисельного моделювання, який дозволяє формалізувати процес мінімізації похибок у вимірюваннях геометричних параметрів складних деталей.

Отримані результати доповнюють теоретичні положення метрології та інформаційно-вимірювальної техніки щодо автоматизації вимірювальних процесів, зокрема, створення автоматизованих систем керування КВМ, що забезпечують підвищену точність і надійність вимірювань.

9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження. У роботі отримані такі нові наукові результати:

1. Розроблено методики підвищення достовірності вимірювання

геометричних параметрів складних поверхонь, що дозволяє підвищити точність і швидкість координатних вимірювань на 15-20%.

2. Визначено похибку вимірювання геометричних параметрів складних поверхонь на КВМ, що дозволяє підвищити якість контролю деталей у галузях авіакосмічної та авіаційної промисловості.

3. Підвищено точність та швидкість вимірювання геометричних параметрів деталей із складною просторовою поверхнею, розширено функціональні можливості системи для реєстрації, аналізу та зберігання даних на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Результати дослідження запроваджено у навчальний процес кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій для підготовки фахівців у галузі автоматизованих вимірювальних систем. Вони використовуються у лекціях, лабораторних та практичних заняттях, а також у дипломних роботах студентів за спеціальністю “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка” (акт впровадження від 12.12.2024). Отримані результати мають значне значення для метрології, машинобудування та автоматизованих вимірювальних систем, сприяючи розвитку технологій точного контролю деталей.

Результати даної дисертаційної роботи використані Приватним акціонерним товариством “Араміс” (м.Черкаси) під час вимірювання складних геометричних поверхонь на КВМ (акт впровадження від 17.10.2024).

10. Особистий внесок здобувача. Дисертація “Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною” Чалого Олега Володимировича є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення і висновки, власні ідеї та розробки автора, які дають змогу вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

11. Апробація результатів дослідження. Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських та за міжнародною участю: “ІРТК. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси” (Київ, 2022, 2023, 2024); “ABIA” (Київ, 2023); “Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення” (Житомир, 2023); “Нові та нетрадиційні технології в ресурсно- та енергозбереженні” (2023); “Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси” (Черкаси, 2024); “Комп'ютерні системи та мережні технології” (Київ, 2024).

12. Публікації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 13 наукових публікаціях, серед них 4 публікації у наукових фахових виданнях України, 1 із них у виданні, проіндексованому в базі даних Scopus, 8 публікацій у збірниках матеріалів конференцій.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Чалий О. В. Вимірювання складних просторових поверхонь на координатно-вимірювальній машині. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Технічні науки. 2023. № 41. С. 62–67. DOI:

<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4.9>.

2. Чалий О. В. Система управління калібруванням координатно-вимірювальної машини. *Проблеми інформатизації та управління*. 2023. Т. 4, № 76. С. 121–126. DOI: <https://doi.org/10.18372/2073-4751.76.18247>.

3. Чалий О. В. Автоматична корекція похибки вимірювання на координатно-вимірювальній машині. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Технічні науки*. 2024. № 45. С. 108–113. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4>.

4. Чалий О.В, Сірий Д.Т. Дослідження чутливості датчика координатно-вимірювальної машини. *Проблеми інформатизації та управління*. 2024. Т. 3, № 79. С. 88–90. DOI: <https://doi.org/10.18372/2073-4751.79.19376>.

Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні наукового напрямку, особисто здійснено аналіз та узагальнення отриманих результатів дослідження, а саме: обґрунтовано і розроблено метод експериментальних досліджень, проведено моделювання чутливості датчика КВМ, розроблено математичну модель компенсації похибок. Сформульована новизна і основні висновки за результатами роботи.

Особистий внесок Сірого Д.Т. полягає у проведенні експериментальних досліджень чутливості датчика КВМ, та участь у написанні розділів статті, що стосуються алгоритму обробки вимірювальних даних при аналізі результатів моделювання.

Статті в іноземних виданнях:

1. Kvasnikov V.P., Chalyi O.V., Graf M.S., Perederko A. Optimizing the uncertainty of measurements on a coordinate measuring machine when controlling complex geometric surfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 4 (5 (130)). Pp. 14–25. **Scopus**, Q3 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310051> **ISSN 17293774**

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. Чалий О. В. Контроль точності авіаційних деталей з використанням координатно-вимірювальних машин. *ІПТК-2022: матеріали 14-ї міжнар. наук.-практ. конф.*, 17–18 травня 2022 р., Київ, 2022. С. 142–144.

2. Чалий О. В. Математичний опис кривої евольвенти методом триангуляції координатно-вимірювальної машини. *ABIA-2023: матеріали 16-ї міжнар. наук.-техн. конф.*, 18–20 квітня 2023 р., Київ, 2023. С. 14.13–14.15.

3. Чалий О. В. Вимірювання складних просторових поверхонь за допомогою координатно-вимірювальних машин. *ІПТК-2023: матеріали 16-ї міжнар. наук.-практ. конф.*, 23–24 травня 2023 р., Київ, 2023. – С. 186–189.

4. Чалий О. В. Системи керування координатно-вимірювальних машин. *Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення: матеріали міжнар. наук.-техн. конф.*, 29–30 листопада 2023 р., Житомир, 2023. – С. 262–265.

5. Чалий О. В. Вплив теплових градієнтів на корекцію геометрії координатно-вимірювальної машини. *Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: матеріали міжнар. наук.-техн. конф.*, 6–7 грудня 2023 р. С. 355–

6. Чалий О. В. Математична модель вимірювання на координатно-вимірювальній машині. *ІРТК-2024*: матеріали 17-ї міжнар. наук.-практ. конф., 21–22 травня 2024 р., Київ. С. 261–264.

7. Чалий О. В. Методи та принципи побудови координатно-вимірювальної машини. *Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси*: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф., 18–19 квітня 2024 р., Черкаси, 2024. С. 195–197.

8. Чалий О. В. Алгоритми вимірювання на координатно-вимірювальній машині. *Комп'ютерні системи та мережні технології*: матеріали 15-ї міжнар. наук.-практ. конф., 25–26 травня 2024 р., Київ, 2024. С. 167–169.

13. Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів основної частини, висновків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 164 сторінок, із них – 125 основного тексту. Робота містить 12 рисунків, 2 таблиці, 3 додатки. Список використаних джерел налічує 102 найменування.

14. Характеристика особистості здобувача. Під час підготовки дисертаційної роботи Чалий О.В. проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання в галузі вимірювань на координатно-вимірювальних машинах. Він повною мірою володіє сучасними методами оцінки невизначеності вимірювань та корекції похибок, має належний рівень теоретичної та практичної підготовки у сфері автоматизованих вимірювальних систем.

15. Оцінка мови та стилю дисертації. Текст дисертації викладено фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури. Матеріали дослідження оформлені у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України.

16. Відповідність принципам академічної доброчесності.

Дисертація не містить необґрунтованих запозичень та плагіату. У роботі дотримано правила посилання на джерела інформації у випадку використання підходів, положень, тверджень, відомостей. Надано достовірну інформацію про результати досліджень, джерела використаної інформації.

17. Рецензенти рекомендують: відповідно до пп. 15, 16 “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 року № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аеронавігаційних систем Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій КАІ.

Рецензенти:

Філоненко Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, професор

кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Аерокосмічного факультету КАІ.

Козловський Валерій Валерійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного захисту інформації факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії КАІ.

Офіційні опоненти:

Безвесільна Олена Миколаївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

Коломієць Леонід Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри метрології, якості та стандартизації Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку.

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувача Чалого Олега Володимировича (зокрема, не є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

У результаті попередньої експертизи дисертації Чалого Олега Володимировича і повноти публікації основних результатів дослідження.

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Чалого Олега Володимировича на тему “Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною”.

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Чалого Олега Володимировича відповідає спеціальності 152 “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка” та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року. № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Автоматизована система керування координатно-вимірювальною машиною”, подану Чалим Олегом Володимировичем на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 “Автоматизація та приладобудування”, за спеціальністю 152 “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”.

4. Рекомендувати Вченій раді затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аеронавігаційних систем КАІ.

Рецензенти:

Філоненко Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій КАІ.

Козловський Валерій Валерійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного захисту інформації КАІ.

Офіційні опоненти:

Безвесільна Олена Миколаївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського";

Коломієць Леонід Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри метрології Одеського державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Чалого Олега Володимировича:

"за" – 21

"проти" – немає

"утримались" – немає

Головуючий на засіданні:

професор кафедри технічного захисту інформації КАІ, доктор технічних наук, професор



Сергій ЛАЗАРЕНКО

Секретар засідання:

доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій КАІ, кандидат технічних наук, доцент



Дмитро СІРИЙ

ПОГОДЖЕНО:

Проректор з наукових досліджень та трансферу технологій КАІ,
доктор технічних наук, професор



Сергій ГНАТЮК