

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 05.052.02 Вінницького
національного технічного університету
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ ГНК, ауд. 210.

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Сухоцької Ірини Володимирівни на тему
«Переривчасто-контактний метод та засіб контролю геометричних розмірів малогабаритних
об'єктів складної форми»,
що подана на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

Актуальність обраної теми.

При виробництві високоточних малогабаритних деталей зростає потреба в засобах вимірювального контролю їх геометричних розмірів. Точність виготовлення деталей впливає на тривалість їх експлуатації, а також на якість та зносостійкість готової продукції.

На сьогоднішній день при дрібносерійному виробництві використовують недорогі та мобільні засоби вимірювального контролю геометричних розмірів. Однак їх застосування для контролю малогабаритних об'єктів складної форми призводить до отримання недостовірної вимірювальної інформації, оскільки найчастіше досліджувані розміри знаходяться на межі роздільної здатності систем реєстрації. Крім цього, вимірювальний контроль такими засобами вимагає достатньо великі витрати часу.

Найбільш універсальним засобом вимірювального контролю геометричних розмірів деталей складної форми є координатно-вимірювальні машини як контактного так і безконтактного типу. Координатно-вимірювальні машини контактного типу у більшості випадків використовують щуп, який прив'язаний до координатної сітки, що, в свою чергу, вимагає великих затрат часу в умовах потокового контролю. При цьому безперервне дослідження деталі складної форми має ряд недоліків, які викликають похибки вимірювання. До таких недоліків відносяться нелінійність вимірювання, вібрація, температурний режим, деформація під дією прикладеного зусилля тощо.

До складу безконтактних координатно-вимірювальних машин входять вимірювальні мікроскопи. Це унеможливує силову деформацію обмірюваної деталі, однак виникають характерні для мікроскопії проблеми, а саме: вимірювання розмірів з задовільною точністю можливо лише для тих об'єктів, у яких елементи розташовані в одній площині. Крім того, похибки вимірювання геометричних розмірів істотно залежать від стану краю об'єктів (нечіткі фаски, довільні скруглення або пошкодження), а похибки візування від дифракції світла на краях вимірюваного об'єкта, які можуть досягати значень до 0,02 мм. Для автоматизації контролю в безконтактних координатно-вимірювальних машинах застосовують матричні фотоприймальні пристрої, на якість візуалізації інформації яких впливає освітленість та колірність досліджуваної деталі, а також не враховується, що координати країв обмірюваного об'єкта на зображенні можуть потрапляти як на вузли, так і між вузлами періодичної просторової ґратки фотоматриці, що вносить додаткову похибку в результат вимірювання. Крім цього, безконтактні координатно-вимірювальні машини мають велику вартість та є економічно не доцільними в умовах дрібносерійного виробництва.

Враховуючи високі вимоги до якості деталей, а, відповідно, й до вимірювального обладнання, актуальним є завдання розробки сучасних методів і засобів контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми в умовах середнього та дрібносерійного виробництва. В результаті виконання роботи підвищено вірогідність контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми шляхом врахування ступеня розмитості зображення країв об'єкта та визначення коефіцієнта масштабування додатково введеної міри геометричного розміру.

Про актуальність роботи свідчить, зокрема, її тісний зв'язок з основними напрямками розвитку наукових досліджень, які проводилися на замовлення у Вінницькому національному технічному університеті відповідно до держбюджетної фундаментальної науково-дослідної роботи «Розробка методів підвищення інформативності медико-біологічних зображень» 339-Д-43 та в межах договорів про творчу співдружність № 43/4 «Розробка програмного засобу визначення геометричних параметрів наконечників (різців)» (2012 р., номер державної реєстрації 0112U003125) та № 43/6 «Розробка методу визначення геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми» (2015 р., номер державної реєстрації 0115U001290).

Результати дисертаційної роботи реалізовано та впроваджено:

- у навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті для виконання лабораторних робіт та проведення лекційних занять для студентів за напрямами підготовки 6.050801 – «Мікро- та наноелектроніка» (акт від 20.10.2015 р.)

- у ПП «Інструмент-Сервіс» переривчасто-контактний метод та засіб контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, а також детектор вимірювального контролю куткових розмірів, про що свідчить відповідний акт (акт від 21.10.2015 р.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів.

Наукові положення, висновки за результатами досліджень та рекомендації щодо застосування отриманих результатів теоретично обґрунтовані і експериментально підтверджені. Результати дисертаційних досліджень отримані із застосуванням математичного апарату теорії сигналів і цифрового подання та обробки зображень для побудови методів і детекторів попередньої обробки зображень; методів побудови оптико-електронних засобів для синтезу оптико-електронних компонент і систем; теорії вимірювань і похибок для оцінювання метрологічних характеристик запропонованих методів і засобів; математичного моделювання з використанням сучасних комп'ютерних технологій для підтвердження точності роботи запропонованих методів крайового детектування, виділення контуру; інтерполяційних методів для отримання неперервної примежової кривої; числових методів розв'язування нелінійних рівнянь для знаходження спільної точки примежових кривих деталі та щупа; основ дискретної математики та аналітичні можливості комп'ютерної алгебри для створення програмного забезпечення запропонованих методів.

Наукова новизна одержаних результатів може бути охарактеризована таким чином:

1. Вперше розроблено метод виділення контурів об'єктів на зображенні на основі низькочастотної фільтрації, в якому, за рахунок дворазового автоматичного визначення порогу бінаризації, забезпечується видалення шумових складових із фону зображення та виділення тонких неперервних контурів об'єктів на зображеннях без розривів та зайвих фрагментів, що дозволило підвищити достовірність вимірювальної інформації і, як наслідок, – вірогідність контролю.

2. Удосконалено функцію вимірювального перетворення розміру об'єкта при розфокусованих зображеннях, що пов'язує вихідну величину – розмір зображення досліджуваної деталі та вхідну – вимірний розмір, в якій, на відміну від існуючих, враховується коефіцієнт масштабування, що дозволило зменшити похибку вимірювання.

3. Отримав подальший розвиток переривчасто-контактний метод контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, в якому, на відміну від відомих, завдяки введенню в зону вимірювання додаткового тіла, яке виконує роль міри, забезпечується субпіксельна локалізація крайових точок об'єкта на зображенні шляхом отримання координати спільної точки зображення примежових кривих деталі та міри з урахуванням ступеня розмитості, що дало змогу зменшити похибку вимірювання та підвищити вірогідність контролю.

4. Отримала подальший розвиток математична модель переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, яка враховує подвійну фільтрацію зображень, а також значення напруги спільної крайової точки примежових кривих зображення щупа та об'єкта, отриманої в результаті лінійної

інтерполяції, що дозволило визначити геометричні розміри з урахуванням субпіксельного зміщення відносно центра пікселя i , як наслідок, підвищити вірогідність контролю на 0,15.

Практичне значення отриманих результатів:

Результати, надані у дисертаційній роботі, можуть бути використані для підвищення вірогідності контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми шляхом врахування ступеня розмитості зображення країв об'єкта та визначення коефіцієнта масштабування додатково введеної міри геометричного розміру.

Практично значущими результатами роботи є:

1. Розроблений переривчасто-контактний засіб контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який відрізняється від існуючих введень в зону вимірювань щупа з відомими розмірами, що не прив'язаний до координатної сітки, та використанням субпіксельної локалізації крайових координат, що дозволило підвищити точність та вірогідність вимірювального контролю.

2. Запропонований алгоритм контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який враховує особливості вимірювального контролю оптичними засобами малогабаритних об'єктів складної форми як об'єктів досліджень та дозволяє зробити висновок про придатність деталі, тобто про відповідність її розмірів заданим допуском для конкретного застосування.

3. Розроблений детектор контролю лінійних і кутових розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який забезпечує автоматичне визначення контурних ліній з субпіксельною точністю, що дає змогу підвищити точність визначення кутових параметрів.

4. Розроблене програмне забезпечення визначення координат крайових точок зображення об'єкта, яке враховує субпіксельні зміщення відносно центра пікселя по координатних осях X та Y , що дозволяє підвищити точність локалізації i , як наслідок, – вірогідність контролю.

Структура та зміст дисертації

В цілому дисертація є завершеним науковим дослідженням, побудована за класичною схемою та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність завдань, що вирішуються у дисертації, та необхідність проведення досліджень. Виявлено низку невирішених завдань теоретичного і прикладного плану, що стоять перед проектувальниками засобів контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, на основі яких сформульовано наукову задачу, мету та напрямки дослідження, показано наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження наукових результатів роботи. Охарактеризовано наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність, показано взаємозв'язок розв'язуваних завдань з науковими програмами. Надано відомості про публікації та апробацію роботи.

У першому розділі проаналізовано особливості контролю розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Показано, що для визначення геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми використовують координатне вимірювання – вимірювання геометричних розмірів деталей шляхом визначення координат окремих точок поверхонь об'єкта з подальшою математичною обробкою виміряних координат для визначення розмірів. Іншими відомими засобами контролю геометричних розмірів в умовах невеликих підприємств є інструментальні оптичні мікроскопи та проекційні прилади. Відмічено, що недоліками їх використання є низька точність вимірювання, вплив оператора на результат вимірювання, а також відсутність автоматизації процесу контролю. Основою методів візуалізації є здійснення локалізації країв об'єкта, тобто його оконтурювання. При застосуванні цього методу важко отримати висококонтрастне зображення, яке забезпечує знаходження розмірів об'єктів на межі роздільної здатності систем реєстрації. Зроблено висновок про необхідність розроблення нових методів контролю геометричних розмірів оптичними засобами малогабаритних об'єктів складної форми.

Розроблено класифікацію координатно-вимірювальних засобів контролю геометричних розмірів. Показано, що найбільш оптимальними на сьогодні є координатно-

вимірювальні засоби, які поєднують переваги мікроскопів та контактних методів. За їх допомогою можна виміряти мініатюрні елементи деталей та деталі складної форми. Запропоновано класифікацію методів виділення контурів і зазначено ефективні методи для оброблення різких зображень з низьким рівнем шуму. Проаналізовано методи субпіксельної локалізації краю зображення об'єкт. Показано, що алгоритми субпіксельного вимірювання краю стають все більш розповсюдженими, оскільки з їх допомогою забезпечується надроздільна здатність

Вибрано критерії оцінювання ефективності засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Проаналізовано та обрано критерії оцінювання ефективності контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, а саме: вірогідність контролю; вартість; швидкодію та допустиму відносну похибку вимірювання. Встановлено, що запропонований переривчато-контактний засіб контролю, у порівнянні з аналогами, має найбільший показник ефективності

У другому розділі розроблено математичні моделі вимірювального контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. В математичному описі процесу отримання вимірювальної інформації про об'єкт на зображенні, який знаходиться в фокусі оптичної системи, для подальшого контролю його геометричних параметрів показано, що одною із головних задач знаходження геометричних розмірів об'єктів є дослідження зв'язку між розмірами об'єкта на зображенні та його реальними геометричними розмірами. Розроблено вимірювальний перетворювач розміру об'єкта при розфокусованих зображеннях. Удосконалено функцію перетворення розміру об'єкта при розфокусованих зображеннях, що пов'язує вихідну величину – розмір зображення досліджуваної деталі та вхідну – вимірюваний розмір, в якій, на відміну від існуючих, враховується коефіцієнт масштабування

Удосконалено переривчато-контактного методу контролю малогабаритних об'єктів складної форми, в якому завдяки введенню в зону вимірювання додаткового тіла, яке виконує роль міри, забезпечується субпіксельна локалізація крайових точок об'єкта на зображенні шляхом отримання координати спільної точки примежових кривих деталі та міри з врахуванням ступеня розмитості. Розроблено математичну модель вимірювального перетворювача розміру об'єкта при розфокусованих зображеннях. Проведено моделювання запропонованого методу при різному ступені розмиття зображень ($1 \leq \sigma \leq 3$). Встановлено, що для примежових кривих, крайова точка яких дорівнює 0 або 0,5 міжпіксельної ширини, абсолютна похибка є мінімальною, а в межах ступеня розмиття $1 \leq \sigma \leq 2,5$ не перевищує 10% ширини пікселя, але при збільшенні розмиття $\sigma > 2,5$ спостерігається її збільшення.

Удосконалено метод субпіксельної локалізації краю зображення об'єкта для підвищення чутливості вимірювання та вірогідності контролю розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Запропоновано для формування другої примежової кривої вводити в зону вимірювання щуп визначених розмірів. При цьому у відповідності з запропонованою моделлю параметри крайової точки об'єкта на зображенні визначається шляхом побудови примежових кривих, спільних для вимірюваного об'єкта та щупа. Зроблено висновок, що використання методу субпіксельної локалізації краю зображення об'єкта дозволяє підвищити точність в 4 рази. Проведено моделювання вимірювального перетворювача з урахуванням субпіксельних зміщень. Отримано аналітичні вирази для визначення таких основних геометричних розмірів, як довжина, ширина, висота та величина кута, а також для додаткового визначення таких параметрів, як площа, еліптичність, компактність, довжина й товщина розгорнутого, витягнутого об'єкта.

За допомогою моделювання переривчато-контактного методу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми проведено дослідження й аналіз точності запропонованого переривчато-контактного методу контролю геометричних розмірів. При моделюванні було використано експериментальний макет імітаційного засобу контролю. Це дало змогу встановити, що при зсуві зображення на моніторі положення краю об'єкта в рамках одного пікселя фотокамери не змінюється, а локалізована координата

запропонованим методом має субпікселне зміщення, що свідчить про адекватність запропонованого методу.

У третьому розділі представлено апаратно-програмну реалізацію переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Розроблено переривчасто-контактний засіб контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, у якому формуються два зображення: перше – без об'єкта дослідження, а друге – зображення досліджуваного об'єкта із підведеним до нього сферичним наконечником щупа. Отримані зображення за допомогою фотоматриці фіксуються та подаються на комп'ютер для подальшої обробки та розрахунку геометричних розмірів із субпікселною точністю.

Виведено функцію перетворення переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, яка встановлює взаємозв'язок між координатами крайових точок досліджуваного об'єкта, величиною світлового потоку, фокусною відстанню, відповідними їм яскравістю пікселів в кожній точці, порогоми за інтенсивністю та субпікселним зміщенням, що дало змогу з субпікселною точністю локалізувати крайові точки досліджуваного об'єкта на зображенні.

Для підвищення точності визначення розмірів малогабаритних об'єктів складної форми розроблено метод та його реалізація на детекторі виділення контурів об'єктів на розфокусованих зображеннях. Показано, що для точного визначення геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми необхідно виконати ряд важливих умов виділення контурної лінії: контурна лінія повинна бути неперервною; зображення не повинно містити хибних контурних ліній; ширина контурної лінії повинна становити один піксел. Запропонований детектор виділення контурів базується на попікселному відніманні двох зображень з різним ступенем розфокусування. Для підтвердження ефективності запропонованого детектора порівняльний аналіз із такими традиційними детекторами виділення контурів об'єктів на зображеннях, як Робертса, Лапласа, Собела, Превітта та Кірша. Зроблено висновок, що запропонований детектор виділення контурів є точнішим, оскільки пікове відношення сигналу до шуму має найбільше значення, а значення середньоквадратичного відхилення є меншим, що свідчить про точність отриманих контурів.

Розроблено метод виділення контуру об'єктів на зображенні на основі низькочастотної фільтрації. На основі запропонованого методу створено детектор контролю лінійних і кутових розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який має такі переваги, як зручний інтерфейс, простота використання, висока швидкість та точність знаходження геометричних параметрів наконечників. Розроблено програмне забезпечення знаходження субпікселних координат контурних точок зображення об'єкта, яке враховує субпікселні зміщення відносно центра піксела, що дозволяє підвищити точність локалізації.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Приведено рекомендації щодо інженерного проектування засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми

Запропоновано використати автокалібрування, яке здійснюється безпосередньо за отриманими зображеннями, причому, в сцені не потрібно використовувати спеціалізовані калібрувальні об'єкти. Основною операцією алгоритму автокалібрування є пошук особливих точок на всіх зображеннях. Для цієї мети використовується кутовий детектор, який забезпечує пошук точкових відповідностей між зображеннями. У результаті на кожному зображенні знаходиться набір пікселів, які відповідають одним і тим же тривимірним точкам сцени. Проблема алгоритму полягає в тому, що невідомо положення і орієнтація камери при зйомці, яка після знаходження фундаментальних матриць, що пов'язують точки попарно взятих зображень.

Розроблено алгоритм контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який перевіряє відповідність знайденого радіуса щупа на зображенні з його паспортним значенням.

Зроблено оцінку похибок щупа, субпікселної дискретизації в просторі, квантування та викликані шумами. За результатами вимірювань геометричних розмірів малогабаритних

об'єктів складної форми на прикладі плоско-паралельної кінцевої міри отримано основні статистичні характеристики та побудовано закони розподілу контрольованої величини, відносної похибки вимірювання геометричного розміру та сумісний закон розподілу. При проведенні експериментальних досліджень вимірювання геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми отримано 100 значень вимірюваної величини, що є достатнім для отримання висновків. При розрахунку інструментальної похибки враховано похибки за рахунок встановлення положення й розмірів світлового потоку в мікроскопі; виготовлення шупа; дотику шупа; дисторсії; квантування, відновлення та за рахунок дестабілізувальні фактори навколишнього середовища. При розрахунку методичних похибок враховано похибки, які виникають за субпіксельної дискретизації в просторі, методу Оцу та кусково-лінійної інтерполяції. Підтверджена збіжність теоретичних та експериментальних результатів дослідження. Отримано абсолютну похибку вимірювань геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми.

Повнота викладу основних матеріалів дисертації в опублікованих працях.

Робота пройшла достатню апробацію та обговорення на 10 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, форумах та симпозиумах. Основні наукові положення достатньо повною мірою викладені у 24 наукових працях, серед яких 8 статей у фахових виданнях зі списку наукових журналів, які включено до переліку видань України, де можуть публікуватися результати дисертаційних досліджень, всі статті написані у співавторстві, автору належить провідна роль у постановці задачі та у шляхах її вирішення, 6 патентів України, 5 з яких на спосіб, а 1 – на пристрій. Зроблено 10 доповідей на наукових конференціях, 7 з яких міжнародні.

Автореферат дисертації і публікації автора за темою дисертації адекватно відображають її зміст.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертацій.

Дисертаційна робота написана загальноприйнятою науковою мовою, із використанням сучасної наукової термінології, легко читається. Робота виконана на високому науковому рівні, становить завершену наукову працю, має суттєве практичне значення та містить рішення актуальної наукової задачі розробки сучасних методів і засобів контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми в умовах середнього та дрібносерійного виробництва.

Зміст дисертації досить виважений та цілісний, робота відповідає темі досліджень, нормам граматики, вимогам пп. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого Наказом МОН України від 24.07.2013 р., № 567, вимогам Міністерства освіти і науки України про дисертації і автореферати, а також паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Зауваження по роботі:

1. В тексті дисертації не оцінено, як впливає товщина деталі на точність визначення розмірів деталі складної конфігурації.

2. При оцінці некорельованої загальної інструментальної похибки та похибки кусково-лінійної інтерполяції (розділ 4.3. дисертації) не зрозуміло, звідки взято числові дані окремих складових похибок.

3. У постановці задачі в п.1. вжито термін «оброблення об'єктів на зображеннях», більш правильним є використання терміну «оброблення зображення об'єктів».

В розділі «1.3. Класифікація методів виділення контурів» зазначено, що «для досягнення якомога кращої якості контурів об'єктів на цифрових зображеннях ...». Більш правильним є використання терміну «оцифрованих зображень».

При описі рис. 3.16 сказано «На вхід детектора надходить зображення, спотворене шумом». Правильніше буде «На вхід детектора надходить сигнал зображення, спотворений шумом».

4. На рис. 1.8 дисертації наведено класифікацію методів виділення контуру. З тексту дисертації не зрозуміло, ким розроблена ця класифікація і мета її використання.

5. В розділі 2.5. «Результати моделювання переривчасто-контактного методу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми» сказано, що «...відстань між монітором і фотокамерою вибиралася таким чином, що відношення пікселя монітора до пікселя фотокамери складало 3:1». Не зрозуміло, це відношення стосується розмірів пікселя, чи їх кількості.

6. У висновках до розділу 3 п.4. сказано, що «Розроблено метод та детектор контролю кутових розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який відрізняється від існуючих використанням двох порогів фільтрації та застосуванням методу субпіксельної локалізації контурних точок, що забезпечує автоматичне визначення контурних ліній з субпіксельною точністю і, як наслідок, підвищує точність визначення кутових параметрів. Досліджено, що параметри критерію PSNR розробленого детектора вищі, ніж у відомих, а похибка фільтрації RMSE – менша». Однак не вказано, за яким методом проводилось порівняння і на скільки вищими (кращими) є параметри критерію, а параметри похибки фільтрації PSNR меншими.

7. В розділі 4.1. сказано, що «...У результаті на кожному зображенні знаходиться набір пікселів, які відповідають одним і тим же тривимірним точкам сцени». Такий термін в основному використовується при формуванні стереоскопічних зображень. А в роботі використовується двомірне формування зображень об'єктів складної форми.

8. В дисертації та в авторефераті зустрічаються незначні орфографічні та стилістичні помилки.

Вказані недоліки незначною мірою знижують цінність виконаної роботи, проте докорінно не впливають на загальну позитивну оцінку її наукового рівня та дисертаційної роботи в цілому.

Висновки

Дисертація Сухоцької Ірини Володимирівни виконана на високому науковому рівні, становить завершену наукову працю та має суттєве практичне значення. В дисертації міститься рішення важливої наукової задачі розробки сучасних методів і засобів контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми в умовах середнього та дрібносерійного виробництва.

За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів дисертаційна робота Сухоцької Ірини Володимирівни на тему: «Переривчасто-контактний метод та засіб контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми» повністю відповідає вимогам до дисертацій та авторефератів дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема, вимогам п. 9, 11, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» та паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин., а Сухоцька Ірина Володимирівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент зав. кафедри радіоелектронних пристроїв та систем Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор

В.І. Шклярський

Підпис В. Шклярського підтверджую
Вчений секретар
доцент



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Р.Б. Брилинський