

ВІДГУК

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

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Геометричні розміри є важливими складовими комплексу параметрів, якими характеризуються малогабаритні об'єкти складної форми. Найчастіше, для їх визначення використовують сучасні технології координатних вимірювань.

Особливістю малогабаритних об'єктів складної форми є неможливість отримання їх різкого зображення. Більшість зображень є розмитими і розфокусованими, мають нерівномірний фон та містять різного роду шуми, за рахунок неможливості повної фіксації та наведення різкості. Це призводить до спотворення вимірювальної інформації, наприклад при виділенні контурів з'являються розриви або з'являються помилкові контури, що не відповідають досліджуваному об'єкту, при чому контурні лінії є широкими, розмитими й нечіткими, за рахунок чого неможливо точно визначити геометричний розмір.

Існуючі методи та засоби контролю геометричних розмірів не враховують особливості вимірювання малогабаритних об'єктів складної форми. Внаслідок цього достовірність контролю недостатня для оцінювання якості досліджуваної деталі.

Вищезазначені факти складають важливу науково-прикладну задачу підвищення точності та вірогідності контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми та актуальність теми дисертаційного дослідження

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

Дисертаційна робота виконана 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).

Мета дослідження. Метою роботи автором визначено підвищення точності та вірогідності контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми шляхом врахування ступеня розмитості зображення країв об'єкта та щупа та визначення коефіцієнта масштабування додатково введеної міри геометричного розміру.

Оцінка структури та змісту дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел з 122 найменувань. Обсяг основної частини складає 141 сторінок, загальний обсяг – 210 сторінок. Робота містить 7 таблиць і 77 рисунків.

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету роботи та задачі досліджень. Дана характеристика наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, а також наведені дані про особистий внесок здобувача, апробацію результаті досліджень і публікації щодо роботи.

У **першому розділі** проаналізовано особливості малогабаритних об'єктів складної форми, а також сучасний стан методів та засобів контролю їх геометричних розмірів, визначено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано необхідність застосування удосконаленого критерію ефективності для засобів контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Здійснена постановка задачі для дисертаційних досліджень.

У **другому розділі** автором розроблено та описано переривчато-контактний метод контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, що дозволяє контролювати геометричні розміри при неточному позиціюванні фокуса оптичної системи мікроскопа на досліджуваному об'єкті. Проведено моделювання розробленого методу при різному ступені розмиття зображень та досліджено його точність за допомогою експериментального макету імітаційного засобу контролю, що дало змогу встановити адекватність запропонованого методу. Також описано удосконалену функцію вимірювального перетворення розміру об'єкта при розфокусованих зображеннях та проведено її дослідження.

Третій розділ присвячений розробці переривчато-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Розглянута структурно-функціональна схема засобу контролю та розроблена його математична модель яка базується на інформації, що отримана внаслідок попередньої обробки зображень, а також враховує субпікселні

зміщення відносно центра пікселя та значення коефіцієнта масштабування. Розроблено та детально описано метод та детектор виділення контурів об'єктів на розфокусованих слабкоконтрастних розмитих зображеннях. Проведено дослідження роботи запропонованого детектора виділення контурів об'єктів на розфокусованих слабкоконтрастних розмитих зображеннях та здійснено його порівняльний аналіз із традиційними при різних ступенях розмитості та зашумленості зображення.

Також розроблено метод виділення контурів об'єктів на зображенні на основі низькочастотної фільтрації та детектор контролю лінійних і кутових розмірів на його основі та програмне забезпечення знаходження субпіксельних координат контурних точок зображення об'єкта, яке враховує субпіксельні зміщення відносно центра пікселя, що дозволяє підвищити точність локалізації.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. Також наведено рекомендації щодо інженерного проектування переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми та алгоритм його контролю. Проаналізовано впливні величини та похибки вимірювання геометричних розмірів та отримано залежності для розрахунку вірогідності контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми.

Висновки до дисертації відповідають змісту роботи, висвітлюють наукові та практичні результати.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій наданих в дисертації та їх достовірність. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані автором в дисертаційній роботі є:

- обґрунтованими, достовірними та підтвердженими коректним використанням основних положень теорії сигналів, цифрового подання та покращення зображень, а також теорії вимірювань та похибок;
- логічними у відповідності до поставлених задач, не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям, повністю відображають отримані автором результати;
- достовірними, що підтверджується малими значеннями розбіжностей між результатами математичного та фізичного моделювання та експериментальних досліджень.

Послідовність викладеного матеріалу в дисертаційній роботі відповідає вимогам ДАК України. Матеріали дисертації доповідались і обговорювались

на науково-технічних конференціях, за результатами роботи отримано шість патентів України на корисну модель.

Наукова новизна роботи стосується розвитку методу та засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, зокрема з використанням переривчасто-контактного методу контролю. Найвагомішими науковими результатами є наступні:

1. Вперше розроблено метод виділення контурів об'єктів на зображенні на основі низькочастотної фільтрації, який базується на дворазовому автоматичному визначенні порогу бінаризації, що дозволило видалити шумові складові із фону зображення та виділити тонкі неперервні контури об'єктів на зображеннях і як наслідок підвищити достовірність вимірювальної інформації.

2. Отримав подальший розвиток переривчасто-контактний метод контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, в якому завдяки введенню в зону вимірювання міри геометричного розміру (щупа) забезпечується субпіксельна локалізація крайових точок об'єкта на зображенні та визначення коефіцієнта масштабування, що дало змогу підвищити точність та вірогідність контролю розмірів малогабаритних об'єктів складної форми.

3. Удосконалено функцію вимірювального перетворення розміру об'єкта при розфокусованих зображеннях, в якій враховується розмір щупа як міри, що дало змогу визначити розміри об'єкта за його координатами.

4. Отримала подальший розвиток математична модель переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, яка базується на інформації, що отримана внаслідок попередньої обробки зображень, враховує субпіксельні зміщення відносно центра пікселя та значення коефіцієнта масштабування, що дозволило підвищити вірогідність контролю до рівня 0,98.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у розробці, апробації та впровадженні у експлуатацію переривчасто-контактного методу та засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, а також детектора вимірювального контролю кутових розмірів у ПП «Інструмент-Сервіс», що дозволило підвищити точність та вірогідність вимірювального контролю. Теоретичні та практичні положення роботи впроваджено в навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті.

Крім цього, запропоновано алгоритм контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми, який враховує особливості

вимірювального контролю оптичними засобами малогабаритних об'єктів складної форми та дозволяє зробити висновок про придатність деталі.

Повнота викладу наукових положень, висновків рекомендацій в опублікованих працях. Основні положення дисертаційного дослідження опубліковані дисертантом в 24 наукових працях, у тому числі у 8 статтях у наукових журналах, 4 з яких входять в наукометричні бази. Отримано 6 патентів України на корисну модель. Результати роботи здобувача пройшли апробацію на значному числі семінарів та конференцій, в тому числі міжнародних. Опубліковані роботи дають повне уявлення про зміст та суть досліджень, їх новизну та практичну цінність.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації. Основні положення автореферату, зокрема, мета, наукова новизна, практична цінність, зміст розділів, висновки, список опублікованих за темою дисертації робіт, характеристика особового внеску здобувача, повністю відповідають аналогічним позиціям дисертаційної роботи. Автореферат достатньо повно розкриває зміст дисертації, адекватно висвітлює зміст роботи.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Оформлення дисертації відповідає вимогам ДСТУ3008-95, а також вимогам, які пред'являються до дисертаційних робіт. Зміст дисертації відповідає меті, матеріали викладено в логічній послідовності, українською науково-технічною мовою.

Зауваження по дисертаційній роботі

1. На стор. 51 роботи автор описує запропонований метод, що «...базується на введенні в зону вимірювання додаткового тіла, яке виконує роль міри...» та «...визначення геометричного розміру запропонованим методом здійснюється на основі субпіксельної локалізації крайових точок об'єкта на зображенні шляхом отримання координати спільної точки деталі та міри...». Незрозуміло, яким чином відбувається «підгонка» по висоті міри (щупа) до точки контакту з об'єктом.
2. В роботі не вказано недоліків розробленого методу контролю геометричних розмірів, а лише переваги. Але ж відомо, що зазвичай покращення певних технічних характеристик відбувається за рахунок погіршення інших.
3. На стор. 75 представлено схему функціональних перетворень засобу контролю (рис. 3.3). При цьому не описані її складові, що ускладнює розуміння функціональних перетворень в засобі контролю.
4. Підрозділ 3.2 третього розділу присвячений виведенню функції перетворення переривчасто-контактного засобу контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми. При цьому не вказано в яких

межах знаходяться числові значення узагальненого коефіцієнта Y_f функціонального перетворення засобу.

5. В четвертому розділі на Рисунку 4.7 не виділено освітлювач, який використовувався при проведенні досліджень та його параметри. Також не вказана методика стабілізації світлового потоку джерела світла і параметри джерела живлення освітлювача. Згідно опису конструкції мікроскопа МБС-10, наведеного у технічному паспорті до виробу (АЦЗ.850.005 РЭ), даний мікроскоп містить штатний освітлювач. З методики проведення досліджень незрозуміло, величини кута падіння променів світлового потоку освітлювача на об'єкт та кута відхилення площини об'єкта від площини перпендикулярної до головної оптичної осі мікроскопу. Не вказано також тип поверхні об'єкту (матова, дзеркальна та ін.).

6. Не вказано діапазон довжин хвиль, що використовувався при проведенні досліджень, але, аналізуючи наведені у роботі зображення об'єктів, можна припустити, що використовувався видимий діапазон.

7. Є також певні застереження щодо «вільного» поводження з концепцією використання засобів вимірювання на ПЗЗ, зокрема, в явному вигляді відсутні дослідження діапазону лінійності та неоднорідності чутливості ПЗЗ-матриці. Очевидно, що саме ця обставина зумовила потенційну оцінку похибки субпіксельної дискретизації значенням 0,00407 мкм (стор.120), що виходить далеко за межі уявлень про можливості сучасних ПЗЗ-технологій.

8. Щодо отриманих в роботі експериментальних результатів, то вже побіжний погляд на рис.4.7 викликає низку питань, зокрема, орієнтація ПЗЗ-матриці щодо оптичної вісі бінокуляра, наявність адаптера, довжина лівого тубуса тощо.

9. В принципі, використовуючи залежність вихідного сигналу пікселя від співвідношення між більш освітленою і менш освітленою ділянками пікселя, можна значно збільшити точність визначення координати межі. В той же час практична реалізація такого рішення пов'язана із певними труднощами внаслідок цілого ряду причин, серед яких основну роль відіграють власні шуми, флуктуації вхідного сигналу, якість оптики (потрібен високий ступінь корекції аберацій). Знадобляться також значні зусилля для захисту від низькочастотних мікрівібрацій, обумовлених наявністю джерел випадкових коливань.

Але зроблені зауваження не зменшують суттєво наукової цінності та практичного значення виконаних Сухоцькою І.В. досліджень і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальні висновки по дисертаційній роботі

1. Дисертація Сухоцької І.В. «Переривчасто-контактний метод та засіб контролю геометричних розмірів малогабаритних об'єктів складної форми» є завершеною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати.

2. Тематика дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин».

3. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на Всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Враховуючи, що дисертаційна робота за актуальністю, науковим рівнем, важливістю одержаних наукових результатів та за практичною цінністю відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 постанови Кабінету Міністрів України «Порядок присудження наукових ступенів» та паспорту спеціальності вважаю, що її автор, Сухоцька Ірина Володимирівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент, д. т. н., професор,
завідувач кафедри наукових, аналітичних та
екологічних приладів і систем
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут
ім. І. Сікорського»

В.А. Порєв

Підпис Порєва В.А. засвідчую

Вчений секретар
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут
ім. І. Сікорського»



А.А. Мельниченко