

ВІДГУК**офіційного опонента на дисертаційну роботу****ІВАНЧУКА ОЛЕГА МИХАЙЛОВИЧА****«ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ПРОСТОРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОПОВЕРХОНЬ
ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ ЦИФРОВОЇ
РЕМ-ФОТОГРАММЕТРІЇ»,****поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія**

Дисертаційна робота О.М. Іванчука є завершеною науковою роботою, яка виконана автором на кафедрі фотограмметрії та геоінформатики Національного університету «Львівська політехніка», відповідає науковому напрямку кафедри і виконана в межах науково-дослідних робіт за темою «Розробка та дослідження методів фотограмметрії, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій для кількісної оцінки явищ, об'єктів і процесів» (державний реєстраційний номер – 0113U005286, 2013-2017 рр.).

Актуальність теми дослідження. Дисертаційна робота присвячена актуальним питанням сучасної РЕМ-фотограмметрії, методи якої застосовувані у високотехнологічних галузях виробництва, зокрема, в мікроелектроніці, авіа- та машинобудуванні, космічній і військовій індустрії, інших галузях, які використовують нанотехнології, і потребують достовірної кількісної просторової інформації про поверхні об'єктів на мікронному і субмікронному рівнях. Саме потреба в отриманні достовірної інформації про поверхню і структуру об'єктів на мікро і нанорівнях, застосування при цьому растрових електронних мікроскопів, дозволили виокремити новий науково-практичний напрям фотограмметрії – РЕМ-фотограмметрію.

Наразі виокремлюють багато питань, які вимагають подальшого розв'язання. Це, насамперед, розроблення і більш ефективного застосування цифрових методів опрацювання РЕМ-зображень, створення автоматизованих методів та програмного забезпечення для опрацювання РЕМ-зображень, отримання цифрових моделей мікроповерхонь дослідних об'єктів з метою контролю за процесами їх створення та підвищення ефективності і надійності в процесі їх експлуатації. У зв'язку з цим тематика наукових досліджень є актуальною.

Найсуттєвіші наукові результати та їхня новизна. У дисертаційній роботі вперше отримано формули взаємозв'язку просторових координат точок мікроповерхонь об'єктів з їх відповідними координатами на РЕМ-стереознімках для основних методів РЕМ-знімання на основі строгої теорії перспективно-афінного відображення; проведені метричні дослідження цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ провідних фірм світу, які

дозволили встановити особливості формування й запису зображень на кожному з них, визначити їх дійсні збільшення (масштаби), величини і характер геометричних спотворень, використати ефективний метод їх врахування. Запропоновані методики дозволяють значно підвищити (у 2-10 разів) точність отримання просторових кількісних параметрів мікроповерхонь дослідних об'єктів; встановлено, що РЕМ-зображенням при різних масштабах притаманні властивості масштабної самоподібності, і до них можна застосувати окремі положення теорії фрактальної геометрії. Отримано ряд скейлінгових характеристик, які притаманні виключно конкретному типу РЕМ, за допомогою яких можна встановити дійсні величини масштабів РЕМ-зображень і підвищити точність отримання просторових характеристик мікроповерхонь дослідних об'єктів; встановлено і рекомендовано ті види моделей для побудови ЦММР, які дають найвищу точність моделювання рельєфу залежно від типу мікроповерхні, характеру мікрорельєфу та масштабу РЕМ-зображень; досліджено кінетику розвитку втомних руйнувань металу, деформації мікроповерхні хромованої сталі під дією механічних навантажень, а також просторову структуру мікроповерхні лесових ґрунтів у програмному середовищі Surfer; розроблені алгоритми, за якими створено програмний комплекс опрацювання цифрових РЕМ-зображень «Dimicros».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Робота виконана з використанням фундаментальних положень вищої математики, механіки і фізики твердого тіла, фотограмметрії, растрової електронної мікроскопії, цифрового опрацювання зображень. Наукові положення, висвітлені в дисертації, висновки та рекомендації є обґрунтованими, достовірність отриманих результатів, підтверджується відповідними розрахунками, коректністю запропонованих методик, використанням методів математичної статистики.

Значення отриманих результатів для теорії і практики. Запропоновані методи і технології використано для досліджень просторових кількісних характеристик мікроповерхонь об'єктів, зокрема, зламів металевих деталей, їх деформацій у процесі експлуатації та під дією механічних навантажень, для досліджень структури мікроповерхні лесових ґрунтів.

Сфера застосування запропонованих методів може бути поширена на різні галузі науки й виробництва, які потребують кількісної просторової інформації про поверхні об'єктів на мікронному рівні.

Теоретичні та експериментальні результати досліджень впроваджені в навчальний процес для студентів ОС Магістр та використані в процесі підготовки магістерських кваліфікаційних робіт студентів спеціалізацій 8.193.005 «Геоінформаційні системи і технології» і 8.193.006 «Фотограмметрія та дистанційне зондування».

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації. Запропоновані та апробовані теоретичні і технологічні напрацювання можна використовувати в різних галузях науки і практики, де мікрооб'єкт та його метрика є головним інформаційним джерелом вивчення явищ і процесів. Проте коло практичних застосувань результатів дисертаційної роботи, на наш погляд, не обмежується розглянутими в ній впровадженнями.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в тому, що всі наукові положення, висновки і рекомендації, які виносяться на захист, одержані автором самостійно. Одноосібно автором опубліковано 15 праць, у співавторстві – 10. В публікаціях у співавторстві здобувачу належать ідеї та алгоритми опрацювання цифрових РЕМ-зображень, технологічні схеми побудови ЦММР мікроповерхонь дослідних об'єктів, вимірювання РЕМ-зображень, встановлення характеру та величин їх геометричних спотворень та визначення кількісних просторових характеристик мікроповерхонь дослідних об'єктів.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях. Основний зміст дисертації відображений у 25 опублікованих наукових працях, з них 2 статті - у науковому періодичному виданні Польщі, яке включено до міжнародної науково метричної бази даних, 5 - в наукових періодичних виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних, 16 – у наукових фахових виданнях України, 2 – у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 304 сторінках і складається зі вступу, 5 розділів, висновку, списку літератури із 275 позицій та додатку. В роботі є 74 рисунки, 48 таблиць, додаток.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Загальна характеристика роботи. У вступі обґрунтована актуальність теми, наукова новизна, сформована мета, визначені основні задачі та об'єкт дослідження, наведені основні положення, що виносяться на захист, практичне значення одержаних результатів, дані щодо апробації роботи, кількість публікацій, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі «**Аналіз досягнень та проблематики теорії і практики РЕМ-фотограмметрії. Задачі дисертаційної роботи**» проаналізовано літературні джерела, розглянуто здобутки теорії і практики застосування методів РЕМ стереофотограмметрії, сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку напряму.

У другому розділі дисертації «**Теоретичні положення моделювання мікроповерхні об'єкта за його цифровими РЕМ-стереозображеннями**» застосована математична модель перспективно-афінного відображення, на підставі якої виведені та наведені формули зв'язку просторових координат точок мікроповерхні об'єкта дослідження в РЕМ з їх плоскими координатами на РЕМ-знімках стереопари для трьох основних випадків РЕМ-знімання.

Запропонована у дослідженні технологія опрацювання РЕМ-стереопар з попереднім встановленням і врахуванням геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень підтвердила свою доцільність і ефективність. Виконані експериментальні дослідження точності отримання координат X, Y, Z мікроповерхні хромованої сталі за вимірами стереопар, які отримані на РЕМ JSM 7100F при збільшенні $M=750^{\times}$ і кутах нахилу гоніометричного столика в діапазоні від 0° до 8° , підтвердили коректність наведених у дослідженні формул, теоретичну точність методу і доцільність його використання в РЕМ-фотограмметрії.

У *третьому* розділі роботи «**Теоретичні та експериментальні дослідження геометричних властивостей цифрових РЕМ-зображень**» приведені численні дослідження величин і характеру геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень на підставі кількісної обробки цифрових РЕМ-знімків тест-об'єктів, отриманих на 4-х типах РЕМ провідних фірм світу в широкому діапазоні збільшень від 1000^{\times} до 30000^{\times} та експериментально підтверджена ефективність їх апроксимації поліномами.

У *четвертому* розділі «**Моделювання рельєфу мікроповерхонь об'єктів за їх цифровими РЕМ-стереозображеннями**» розглянуто теоретичні та практичні аспекти цифрового моделювання мікрорельєфу дослідних об'єктів за їх РЕМ-стереознімками, наведені результати досліджень методики автоматизованої побудови цифрової моделі мікроповерхні об'єкта за стереопарою цифрових РЕМ-зображень для трьох різних моделей та виконана оцінка точності для кожної з них.

На підставі виконаних досліджень запропоновано класифікацію типів мікрорельєфу дослідних об'єктів, рекомендовано оптимальну кількість вимірних точок для кожного з них та запропоновано найбільш ефективні математичні методи для побудови цифрових моделей мікрорельєфу поверхонь об'єктів з необхідною точністю.

У *п'ятому* розділі дисертації «**Технологія опрацювання РЕМ-зображень та результати її практичного застосування**» наведена узагальнена технологічна схема опрацювання РЕМ-зображень, подані технічні характеристики вітчизняних та зарубіжних РЕМ, наведені приклади практичного застосування розробленої технології опрацювання РЕМ-зображень, зокрема у машинобудуванні.

Зауваження та побажання:

1. Кількість точок для проведення інтерполяції на основі різних методів крігінга як правило, варіює від 20 до 100, досягаючи консенсусу при 30 точках; для крігінга з лінійною варіограмною моделлю використовують менше 250 точок. Доцільно було б детальніше обґрунтувати використану у дослідженні кількість точок для інтерполяції, зокрема за методом крігінга з лінійною варіограмною моделлю, яка становила 250 - 3000.

2. Бажано було б зазначити, з чим пов'язане різноманіття вибору методів інтерполяції у дослідженні, оскільки до найбільш ефективних і вживаних методів у дослідженнях ґрунтів часто відносять методи найближчого і природного околу та сплайн-інтерполяцію.

Наведені зауваження і побажання мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень дисертаційної роботи, і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про відповідність дисертації Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника.

Дисертаційна робота Іванчука Олега Михайловича «*Теоретичні та методологічні основи просторового моделювання мікроповерхонь об'єктів за даними цифрової РЕМ-фотограмметрії*», подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія, є завершеною науковою працею, яка містить нові теоретичні та експериментальні дослідження розробленої технології просторового моделювання мікроповерхонь дослідних об'єктів за їх цифровими РЕМ-зображеннями.

Дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор Іванчук О.М., заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія.

**Офіційний опонент,
завідувач кафедри геоінформатики і аерокосмічних
досліджень Землі Національного університету
біоресурсів і природокористування України,
д-р техн. наук, доцент**

Коласевич С.С. Кохан

Підпис засвідчую:

