

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Іванчука Олега Михайловича

на тему:

«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

Актуальність теми дослідження.

Дисертаційна робота Іванчука О. М. присвячена одній з найактуальніших і важливих проблем визначення просторових кількісних параметрів мікроповерхонь твердих тіл на мікронному та субмікронному рівнях. Ця важлива і достовірна інформація необхідна для забезпечення високої якості та ефективних експлуатаційних характеристик різноманітної продукції, яку створюють у багатьох сучасних галузях високотехнологічного виробництва з використанням нанотехнологій. Це, насамперед, у машинобудуванні, мікроелектроніці, літакобудуванні, в процесах виготовлення космічної та військової техніки, при створенні комп'ютерної техніки, різноманітних побутових приладів, гаджетів та в багатьох інших галузях.

Важливими є й теоретичні положення та експериментальні роботи дисертанта для їх подальшого використання у наукових дослідженнях, зокрема, у матеріалознавстві, ґрунтознавстві, геології, біології, медицині та багатьох інших.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість наукових результатів дисертації забезпечена коректно викладеними теоретичними положеннями, великим обсягом експериментальних досліджень та достовірною оцінкою точності отриманих величин. Приведені теоретичні положення та результати експериментальних досліджень узгоджуються з основними положеннями теорії і практики РЕМ-фотограмметрії. Вони у повній мірі висвітлені в матеріалах публікацій, наведених в дисертації.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних літературних джерел обсягом 275 найменувань та додатку. Загальний обсяг дисертації становить 304 сторінки, з них на 257 сторінках викладено основний текст роботи, на 34 сторінках - літературні джерела і на 13 сторінках - додаток. Робота містить 74 рисунки та 48 таблиць.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях.

За матеріалами дисертації опубліковано 25 наукових праць, які у повній мірі відобразили основні положення і результати дисертації. З них 2 статті опубліковано у науковому періодичному виданні Польщі, яке включено до міжнародної наукометричної бази даних, 5 - у наукових періодичних виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних, 16 - у наукових фахових виданнях України і 2 - у збірниках матеріалів конференцій.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Загальна характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.

У *вступі* розкрито актуальність теми, її зв'язок з науковою тематикою кафедри, наукова новизна, сформувано мету, основні задачі та об'єкт дослідження, приведено основні положення, які виносяться на захист, практичне значення одержаних результатів, а також дані про апробацію роботи, кількість публікацій, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі «**Аналіз досягнень та проблематики теорії і практики РЕМ-фотограмметрії. Задачі дисертаційної роботи**» дисертантом проаналізовано літературні джерела з даної тематики, розглянуто здобутки теорії і практики застосування методів РЕМ стереофотограмметрії, сучасний стан, нерозв'язані проблеми та перспективи розвитку. Робота містить посилання на 275 літературних джерел, які на наш погляд достатньо повно відображають обсяг досліджень науковців за даною тематикою впродовж останніх 30 років.

У другому розділі дисертації «**Теоретичні положення моделювання мікроповерхні об'єкта за його цифровими РЕМ-стереозображеннями**» дисертант вдало, на наш погляд, використав фундаментальні теоретичні положення фотограмметрії, зокрема, математичну модель перспективно-афінного відображення, на підставі якої ним виведено та приведено 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. Ці формули аналітично підтвердили коректність аналогічних формул, виведених раніше автором на підставі геометричних побудов. В роботах вітчизняних і зарубіжних науковців приводяться лише формули для рівномірно-відхиленого випадку РЕМ-знімання, а також для методу нахилів і розворотів, які мають обмежене застосування. А для найбільш доцільного використання у на практиці РЕМ-стереознімання – нормально-конвергентного методу, формули автором виведені і приведені вперше.

В цьому ж розділі автором виконані розрахунки теоретичної точності методу для різних параметрів РЕМ-знімання, а також викладені постановка та результати експериментальних досліджень, які підтвердили коректність виведених формул та розробленого методу. Важливо, що всі численні експериментальні дослідження дисертантом виконані при опрацюванні реальних цифрових РЕМ-зображень металічних поверхонь та поверхні лесового ґрунту.

Заслуговує на увагу і підрозділ, присвячений системам координат у цифровій РЕМ-фотограмметрії, де наочно приведені рисунки систем координат, а також формули переходу координат точок від лінійної міри у мм до цифрової - у пікселях і навпаки.

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.

Зокрема, дисертантом вперше виконані детальні дослідження метричних характеристик цифрових РЕМ-зображень спеціального тест-об'єкту з розрізненням 1425 лін/мм, які були отримані на РЕМ JCM-5000 (Neoscope), JSM 7100F (обидва фірми JEOL, Японія), DSM-960A (фірма «Carl Zeiss» Oberkochen, Німеччина) і вітчизняному РЕМ 106 I (ВАТ «SELMI» Суми, Україна).

Для кожного з цих РЕМ автором встановлено особливості отримання і цифрового запису РЕМ-зображень, величини їх дійсних збільшень, характер і величини їх геометричних спотворень та точність їх апроксимації.

Важливим є встановлення дисертантом факту, що реальні масштаби (збільшення) цифрових РЕМ-зображень не відповідають встановленим значенням на шкалі РЕМ, а також те, що і фізичні розміри пікселя РЕМ-зображень для різних типів РЕМ також різні. Крім того, дисертантом вперше встановлено коефіцієнти k для кожного типу РЕМ, які дають змогу встановити значення дійсних масштабів цифрових РЕМ-зображень, що, на наш погляд, є надзвичайно важливим для подальшого отримання просторових кількісних параметрів мікроповерхонь дослідних об'єктів з необхідною точністю.

Заслуговує на увагу і створення дисертантом у співавторстві з І. В. Хрупіним комплексу програм «Dimicros» для опрацювання цифрових РЕМ-зображень. З його допомогою можна виконувати вимірювання РЕМ-зображень, встановлювати величини їх геометричних спотворень, враховувати їх шляхом поліноміальної апроксимації та отримувати просторові координати точок поверхонь дослідних об'єктів. Похвально, що даний комплекс програм не має аналогів в Україні.

У цьому ж розділі дисертантом виконано оригінальні дослідження, які дозволили встановити, що РЕМ-зображенням притаманні властивості *скейлінга*, тобто масштабної інваріантності або самоподібності і до них можна застосувати теоретичні положення теорії фракталів. Ці дослідження дозволили встановити для кожного типу РЕМ оригінальні числові коефіцієнти, які за відсутності спеціальних тест-об'єктів дозволяють з високою точністю встановлювати дійсні значення масштабів цифрових РЕМ-зображень, а отже суттєво підвищувати точність отримання кількісних параметрів мікроповерхонь дослідних об'єктів.

Важливою є і розробка дисертантом технології автоматизації вимірів цифрових РЕМ-зображень, яка була досліджена реалізована на практиці за допомогою програмного забезпечення, розробленого к.т.н. О. В. Тумською.

Ця розробка дозволяє суттєво скоротити час на безпосереднє вимірювання і опрацювання цифрових РЕМ-зображень, а отже є ефективною.

У четвертому розділі «**Моделювання рельєфу мікроповерхонь об'єктів за їх цифровими РЕМ-стереозображеннями**» дисертантом приведено теоретичні положення та практичні результати цифрового моделювання мікрорельєфу дослідних об'єктів за їх РЕМ-стереознімками.

- створено програмний комплекс опрацювання цифрових РЕМ-зображень «Dimicros», який не має аналогів в Україні.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія.

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.

Сфера застосування розроблених методів і технологій опрацювання цифрових РЕМ-зображень може бути використана у різних галузях науки та виробництва, які потребують кількісної просторової інформації про поверхні об'єктів на мікронному рівні.

Теоретичні та експериментальні результати досліджень рекомендовано впровадити у навчальний курс «Прикладна фотограмметрія» для студентів II магістерського рівня підготовки за спеціальністю 8.193 «Геодезія та землеустрій», а також в процесі виконання ними магістерських кваліфікаційних робіт.

Зауваження:

1. На наш погляд, у першому розділі «Аналіз досягнень та проблематики теорії і практики РЕМ-фотограмметрії. Задачі дисертаційної роботи» можна було б більш конкретизувати, хто з дослідників і які саме практичні задачі розв'язував із застосування методів РЕМ-стереофотограмметрії. Тоді б не було достатньо великих узагальнених посилань на ці дослідження (ст. 31).

2. Підрозділ 3.3 третього розділу, на наш погляд, дещо переобтяжений результатами великої кількості експериментальних робіт з досліджень метричних характеристик різних типів РЕМ, поданих у цифровій формі і зведених у таблиці. Можливо ці дані можна було б проілюструвати і іншими графічними засобами.

3. У підрозділі 3.4 третього розділу на ст. 115 можна було більш детально подати, хто з авторів і які конкретно тест-об'єкти використовував для встановлення дійсних збільшень РЕМ-зображень і їх геометричних спотворень. Або цю інформацію слід було викласти в огляді літературних джерел, тобто у першому розділі.

У цьому ж підрозділі, на наш погляд, занадто деталізований аналіз даних (ст. 121, 122) експериментальних робіт, приведенних на рис. 3.4.2 у вигляді графіків.

У таблиці 3.4.1 коефіцієнти A_{xf} (A_{yf}) та показників степенів D_{xf} (D_{yf}) на ст. 121 подані до восьмого знаку після коми без обґрунтування необхідної їх точності.

4. Дослідження ефективності математичних методів цифрового моделювання мікрорельєфу поверхонь дослідного об'єкту (розділ 4, підрозділ 4.1.2) можна було б ще доповнити й власним оригінальним методом. Це би додало дослідженням додаткової ваги.

5. Рис. 4.2.14 і 4.2.15 у підрозділі 4.2 четвертого розділу занадто дрібні: текст і цифри в поданих на рисунках таблицях погано читаються. Аналіз таблиць 4.2.11 і 4.2.12 у цьому ж підрозділі, на наш погляд, переобтяжений текстовими і цифровими викладками (ст. 235, 236).

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

Ним досліджено доцільність і ефективність використання відомих у практиці методів математичного моделювання і пакетів програм виключно для задач РЕМ-фотограмметрії, в тому числі для побудови ЦММР мікроповерхонь дослідних об'єктів. Зокрема, побудовано цифрові моделі мікрорельєфу дослідних об'єктів: фрагментів поверхонь лесового ґрунту та металевих деталей різними методами математичного моделювання, встановлена їх точність та дано рекомендації щодо доцільності та ефективності їх застосування.

На підставі виконаних досліджень дисертантом 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 цьому ж розділі приведено результати досліджень розроблених дисертантом методик автоматизованої побудови цифрової моделі мікроповерхні об'єкта за стереопарою цифрових РЕМ-зображень для трьох різних моделей та виконана оцінка точності для кожної з них. Ці дослідження, а також програмне забезпечення, розроблене к.т.н. О. В. Тумською дозволи встановити ефективність запропонованих методик і суттєве скорочення часу на побудову ЦММР поверхонь дослідних об'єктів.

У п'ятому розділі дисертації **«Технологія опрацювання РЕМ-зображень та результати її практичного застосування»** приведена узагальнена технологічна схема опрацювання РЕМ-зображень, дано технічні характеристики вітчизняних та зарубіжних РЕМ, також приведені практичні результати розроблених дисертантом теоретичних положень і технологій для побудови ЦММР поверхонь дослідних об'єктів, які в подальшому можна використовувати для практичних цілей.

Зокрема побудовані ЦММР поверхні лесового ґрунту, за якими можна встановити структуру та фізичні властивості даного типу ґрунтів, а отже використати у будівництві, при плануванні протиерозійних заходів тощо.

Приведені приклади побудови ЦММР поверхні зламу металевої деталі дозволяють встановити кінетику розвитку втомних тріщин в процесах експлуатації металевих деталей механізмів, а ЦММР поверхні хромованої сталі – характер деформацій поверхні під впливом механічних навантажень.

Виконані дисертантом дослідження наочно підтверджують високу наукову цінність розроблених ним теоретичних положень та практичну ефективність запропонованих технологій і методик опрацювання цифрових РЕМ-зображень.

У висновках дисертантом сформульовано основні результати дисертаційної роботи які, на наш погляд є коректними і вірними.

В додатку роботи приведений опис структури та функцій окремих модулів комплексу програм «Dimicros», які дозволяють виконувати виміри цифрових РЕМ-зображень, встановлювати їх метричні характеристики, зокрема дійсні збільшення (масштаб), геометричні спотворення (програмний модуль «Test-Measuring»); враховувати їх шляхом поліноміальної апроксимації (ПМ «Polycalc») та визначати просторові координати точок мікроповерхонь дослідних об'єктів (ПМ «Stereo-SEM»).

Наукова цінність дисертації полягає у розв'язанні важливих наукових та практичних завдань, які дозволяють з вищою ефективністю та точністю отримувати просторові кількісні параметри мікроповерхонь дослідних об'єктів, вкрай необхідних сучасному високотехнологічному виробництву та науковцям, а отже підвищувати якість, надійність і експлуатаційні показники різноманітних деталей машин, механізмів, приладів, проводити ефективні інженерні і наукові дослідження в багатьох галузях науки і виробництва.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано формули взаємозв'язку просторових координат точок мікроповерхонь об'єктів з відповідними їх координатами на РЕМ-стереознімках для основних методів РЕМ-знімання у явному вигляді з застосуванням строгої теорії перспективно-афінного відображення;

- вперше в Україні проведені метричні дослідження цифрових РЕМ-зображень, отриманих на чотирьох РЕМ провідних фірм світу, що дозволило встановити особливості формування і запису зображень на кожному з них, визначити їх дійсні збільшення (масштаби), величини та характер їх геометричних спотворень та використати ефективний метод їх врахування. Ці дослідження та запропоновані методики дозволили значно підвищити (у 2-10 разів) точність отримання просторових кількісних параметрів мікроповерхонь дослідних об'єктів;

- встановлено, що РЕМ-зображенням за різних масштабів притаманні властивості скейлінга, тобто масштабної самоподібності і до них можна застосувати окремі положення теорії фрактальної геометрії. В результаті виконаних досліджень отримано низку скейлінгових характеристик, які притаманні виключно конкретному типу РЕМ, і з допомогою яких можна встановити дійсні величини масштабів РЕМ-зображень і тим самим підвищити точність отримання просторових характеристик мікроповерхонь дослідних об'єктів;

- виконано ґрунтовний аналіз та порівняння точності побудови ЦММР дослідних мікроповерхонь з використанням математичних моделей, які базуються на різних аналітичних залежностях і функціях, що враховують статистичні характеристики мікрорельєфу. Встановлено та рекомендовано ті види моделей, які дають найвищу точність моделювання рельєфу в залежності від типу мікроповерхні, характеру мікрорельєфу та масштабу РЕМ-зображень;

- опрацьовано методику 3D реконструкції і візуалізації мікроповерхонь дослідних об'єктів з використанням програми Surfer, на основі якої досліджено кінетику розвитку втомних руйнувань металу, деформації мікроповерхні хромованої сталі під дією механічних навантажень, а також просторову структуру мікроповерхні лесових ґрунтів;

- досліджено та запропоновано методи й технології автоматизації основних процесів опрацювання цифрових РЕМ-зображень (вимірювання, корекція геометричних спотворень, моделювання мікроповерхонь об'єктів, їх візуалізація);

- розроблено алгоритми, за якими створені програми автоматизації процесів вимірювання цифрових РЕМ-зображень, калібрування їх геометричних спотворень та побудова цифрових моделей мікрорельєфу;

- створено програмний комплекс опрацювання цифрових РЕМ-зображень «Dimicros», який не має аналогів в Україні.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія.

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.

Сфера застосування розроблених методів і технологій опрацювання цифрових РЕМ-зображень може бути використана у різних галузях науки та виробництва, які потребують кількісної просторової інформації про поверхні об'єктів на мікронному рівні.

Теоретичні та експериментальні результати досліджень рекомендовано впровадити у навчальний курс «Прикладна фотограмметрія» для студентів II магістерського рівня підготовки за спеціальністю 8.193 «Геодезія та землеустрій», а також в процесі виконання ними магістерських кваліфікаційних робіт.

Зауваження:

1. У першому розділі «Аналіз досягнень та проблематики теорії і практики РЕМ-фотограмметрії. Задачі дисертаційної роботи» не конкретизовано, хто з дослідників і які саме практичні задачі розв'язував із застосування методів РЕМ-стереофотограмметрії.
2. Запропоновані автором формули переходу координат точок від аналогового образу (в мм) до цифрового (у пікселях) і навпаки, не носять універсального характеру, хоча для вирішення практичних задач опрацювання РЕМ-зображень є коректними.
3. Підрозділ 3.3 дещо переобтяжений результатами великої кількості експериментальних робіт з досліджень метричних характеристик різних типів РЕМ.
4. У підрозділі 3.4 на ст. 115 не вказано, хто з авторів і які конкретно тест-об'єкти використано для встановлення дійсних збільшень РЕМ-зображень і їх геометричних спотворень.
5. Не обґрунтовано, чому у таблиці 3.4.1 коефіцієнти A_{xf} (A_{yf}) та показників степенів D_{xf} (D_{yf}) на ст. 121 подані до восьмого знаку після коми.
6. В роботі подано дослідження ефективності використання окремих математичних методів для побудови цифрових моделей мікрорельєфу поверхонь. Проте цей перелік доцільно було б розширити.

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

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України до докторських дисертацій.

1. Вважаю, що дисертаційна робота **Іванчука Олега Михайловича «Теоретичні та методологічні основи просторового моделювання мікроповерхонь об'єктів за даними цифрової РЕМ-фотограмметрії»** є завершеною науковою працею і містить нові теоретичні положення, технології та методики.

2. Вважаю, що дисертаційна робота «**Теоретичні та методологічні основи просторового моделювання мікроповерхонь об'єктів за даними цифрової РЕМ-фотограмметрії**» відповідає вимогам МОН України, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, пп. 9, 10, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», а її автор **Іванчук Олег Михайлович** заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 - геодезія, фотограмметрія та картографія.

Офіційний опонент,


професор кафедри геодезії та природокористування
Одеського державного аграрного університету
доктор технічних наук, професор

 С.П. Войтенко

Підпис професора  С.П. засвідчую:

внешній секретар



 Меньшук А.М.

29.03.2019 р.