

УДК 528.721.287:537.533.35

О. М. ІВАНЧУК¹

¹ Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел.: +38(096)4143409, ел. пошта: ivanchuk@inbox.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ СПОТВОРЕНЬ ЦИФРОВИХ РЕМ-ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ НА РЕМ JSM-7100F (JEOL, ЯПОНІЯ) ТА ТОЧНІСТЬ ЇХНЬОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

Мета. Цифровим РЕМ-зображенням внаслідок різноманітних фізичних факторів роботи растрових електронних мікроскопів притаманні значні геометричні спотворення. Метою цього дослідження є їх встановлення та ефективне врахування для підвищення точності отримання просторових кількісних параметрів мікроповерхонь об'єктів, які досліджуються за допомогою РЕМ. Завдання це є вкрай важливим, особливо тепер, зокрема, за потреби контролю технологічних процесів виробництва на мікронному та субмікронному рівнях у машинобудуванні, мікроелектроніці та багатьох інших. Це, своєю чергою, дає змогу отримувати необхідні технологічні властивості різноманітних об'єктів, а отже, підвищувати їхню надійність та ефективність. **Методика.** Для встановлення і дослідження цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ JSM 7100F використано спеціальний тест-об'єкт (голографічна тест-решітка) з роздільною здатністю $r = 1425$ ліній/мм. Цифрові РЕМ-зображення отримано на діапазоні збільшень від 2000^{\times} до 40000^{\times} . Опрацювання (вимірювання) цифрових РЕМ-знімків виконувалось за допомогою спеціальних підпрограм "Test-Measuring" і "Polycalc" програмного комплексу "Dimicros". **Результати.** Отримані лінійні (масштабні) і нелінійні (дисторсійні) складові геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень, зокрема, дійсні значення збільшень РЕМ-зображень тест-об'єктів показали, що їхні відхилення від встановлених значень за шкалою РЕМ становлять: уздовж осі x знімка – від приблизно -1% (при M^{\times} від 2000^{\times} до 5000^{\times}) до $+2,5-4\%$ (при M^{\times} від 7500^{\times} до 40000^{\times}), а уздовж осі y знімка – від $0-+1\%$ (при M^{\times} від 2000^{\times} до 5000^{\times}) до $+3-4\%$ (при M^{\times} від 7500^{\times} до 40000^{\times}). Точність вимірів M^{\times} становить приблизно $\pm 0,5\%$. Так, лінійні (масштабні) спотворення РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ JSM-7100F, порівняно незначні. Однак для високоточних досліджень кількісних параметрів мікроповерхонь твердих тіл їх необхідно враховувати. Нелінійні (дисторсійні) спотворення досягають на краях РЕМ-знімків за великих збільшень до $\pm 2,5$ мм (до 25 пікселів) з розміром зображення 120×90 мм. Поліноміальна апроксимація (врахування) спотворень дає змогу зменшувати їх від 3-х до 10 разів. **Наукова новизна.** Метричні дослідження цифрових зображень, отриманих на сучасному РЕМ JSM 7100F виконувалось вперше. Запропонована методика досліджень і використане авторське програмне забезпечення показали їхню ефективність і доцільність. **Практична значущість.** Застосування методики визначення та врахування геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень мікроповерхонь твердих тіл дає змогу суттєво підвищувати точність отримання їх просторових кількісних параметрів, що, своєю чергою, покращує надійність і ефективність виготовленої з них продукції.

Ключові слова: растровий електронний мікроскоп; тест-об'єкт; цифрове РЕМ-зображення; геометричні спотворення цифрових РЕМ-зображень, апроксимація.

Вступ

Растровий електронний мікроскоп (РЕМ) JSM-7100F фірми JEOL – сучасний прилад з високою роздільною здатністю і з можливістю запису РЕМ-зображень у будь-якому цифровому форматі.

Сучасна індустрія машинобудування, авіабудування, мікроелектроніки і багатьох інших виробництв, які використовують нанотехнології потребують використання РЕМ.

Наукові дослідження мікроповерхонь різноманітних дослідних об'єктів і матеріалів також потребують отримання кількісних параметрів цих поверхонь з високою точністю на мікронному і субмікронному рівнях.

Тому дослідження величин та характеру геометричних спотворень, притаманних цифровим РЕМ-зображенням є важливим і актуальним завданням. Дослідження метричних характеристик цифрових РЕМ-зображень, отриманих

на РЕМ JSM-7100F, виконані в Україні вперше. Виконані дослідження дають відповідні рекомендації дослідникам, які використовують цей мікроскоп.

Мета

Визначення кількісних параметрів мікроповерхонь будь-яких дослідних об'єктів з високою точністю за вимірами їх стереозображень, передбачає обов'язкове дослідження метричних характеристик РЕМ-знімків, тобто встановлення величин їхніх геометричних спотворень, а також використання методів їх врахування. Такими дослідженнями займалися і займаються науковці як за кордоном, так і в Україні. Серед найвідоміших: за кордоном – Boyde A., Burkhardt R., Ghosh S. K., Howell P., Maune D. F., Nagaraja H., Соколов В. М., Шебатінов М. П. [9–10, 14–20], в Україні – Мельник В. М., Фінковський В. Я., Шостак А. В. [2–7, 9–13] та інші.

Метою цих досліджень було: отримати цифрові РЕМ-зображення еталонного тест-об'єкта з роздільною здатністю $r = 1425$ лін/мм в діапазоні збільшень від 2000^x до 40000^x (крат), встановити величини геометричних спотворень цих зображень за їх вимірами на ПК з використанням програми “Test-Measuring” та дослідити ефективність їх апроксимації (врахування) за допомогою програми “Polycalc” з пакета програм “Dimicros” [1].

Методика

Основні технічні характеристики РЕМ JSM-7100F

РЕМ JSM-7100F – сучасний растровий електронний мікроскоп відомої фірми JEOL (Японія). Особливістю цього РЕМ є використання автоемісійного катоду Шотткі. РЕМ JSM-7100F має високу роздільну здатність, велику глибину фокусування, достатньо простий у користуванні, має сучасне програмне забезпечення для отримання високоякісних РЕМ-зображень у будь-якому форматі запису. Основні характеристики приладу наведено у табл. 1.



Рис. 1. РЕМ JSM-7100F

Таблиця 1

Основні характеристики приладу

Прискорююча напруга	від 0,2 до 30 кВ
Діапазон збільшень	від 10^x до $1\ 000\ 000^x$
Роздільна здатність у вторин. електронах	при 30 кВ – 1,2 нм, при 1 кВ – 3,0 нм
Максимальний розмір зразка	діаметр – до 200 мм, висота – до 30 мм
Катод	автоемісійний катод Шотткі
Система відкачування повітря	дифузійний насос + ротаційний насос
Програмне забезпечення	для Windows XP
Формат запису файлів	JPG, BMP, TIFF
Діапазон переміщень гоніометричного столика вздовж осей РЕМ, кути нахилів і розвертань	X: від ± 35 мм до ± 70 мм Y: від ± 25 мм до ± 40 мм Z: від 3 до 41 мм, нахили: від -5° до 70° , розвертання: 360°
Енергоспоживання	не більше 1,1 кВА

Коротка характеристика тест-об'єкта

Для досліджень геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень використано тест-об'єкт, який є так званою “голографічною ґраткою (сіткою)”, а саме шар “напівпровідник-метал” у вигляді кулеподібних напівсфер, який

рівномірно напилений на скляну пластину (рис. 2). Технологію отримання матеріалу “напівпровідник-метал” була вперше реалізовано у Київському інституті напівпровідників НАНУ в лабораторії проф. М. Т. Костишина і канд. техн. наук П. Ф. Романенка і вона використовувалась для запису голограм просторових об’єктів [8]. Ми запропонували ідею створення тест-об’єктів на цьому технологічному матеріалі для калібрування збільшень РЕМ і визначення геометричних спотворень РЕМ-зображень. Так отримано тест-об’єкти під дією пучків лазерного випромінювання у вигляді регулярної матриці, яка є сплавом срібла з напівпровідником – арсеном сірки ($\text{Ag-As}_2\text{S}$) з різними роздільними здатностями 1370 лін/мм, 1425 лін/мм, 3530 лін/мм, один з яких ми використали для отримання цифрових РЕМ-зображень.

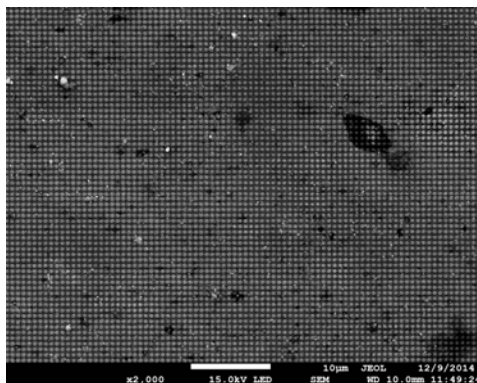
РЕМ-знімання

На РЕМ JSM-7100F отримано 9 знімків тест-сітки з роздільною здатністю $r = 1425$ лін/мм з

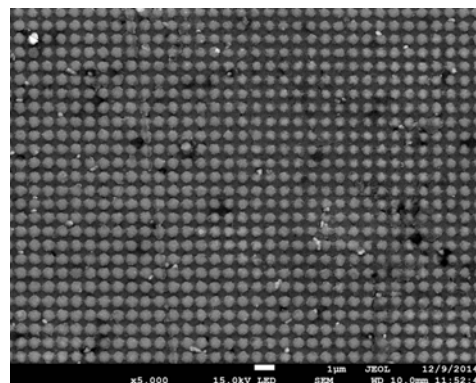
фіксованими значеннями збільшень, встановлених на шкалі приладу: 2000^{\times} , 5000^{\times} , 7500^{\times} , 10000^{\times} , 15000^{\times} , 20000^{\times} , 25000^{\times} , 30000^{\times} , 40000^{\times} (рис. 2), які записано у трьох цифрових форматах JPEG, BMP і TIFF. Розміри отриманих цифрових РЕМ-зображень під час їх опрацювання на ПК за програмою “Test-Measuring” складають $120,00 \times 96,00$ мм (1280×1024 пікселів). Розмір піксела – $0,09375$ мм.

Вимірювання РЕМ-зображень тест-об’єкта

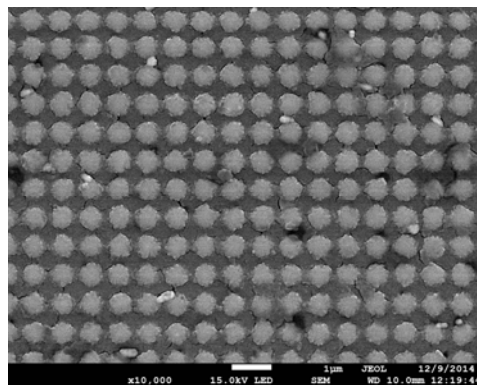
Вимірювання цифрових РЕМ-зображень тест-об’єкта виконувалось на ПК у програмному середовищі “Dimicros” за програмою “Test-Measuring”. Дійсні збільшення РЕМ-зображень тест-об’єктів обчислювались тричі вздовж осей x і y знімка за схемою, наведеною у роботі [1]. Середні значення збільшень і їхні відхилення від встановлених на шкалі РЕМ наведено в табл. 2.



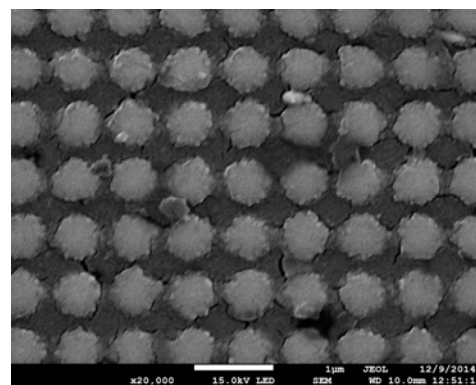
a – $M = 2000^{\times}$



б – $M = 5000^{\times}$



в – $M = 10000^{\times}$



г – $M = 20000^{\times}$

Рис. 2. Цифрові РЕМ-знімки тест-об’єкта з роздільною здатністю $r = 1425$ лін/мм за різних M

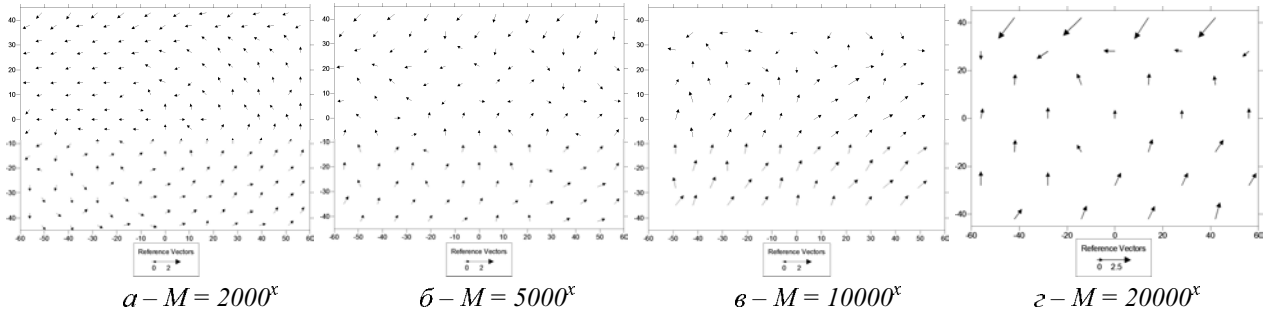


Рис. 3. Векторні діаграми геометричних спотворень цифрових РЕМ-знімків тест-об'єкта за різних збільшень M^x до апроксимації

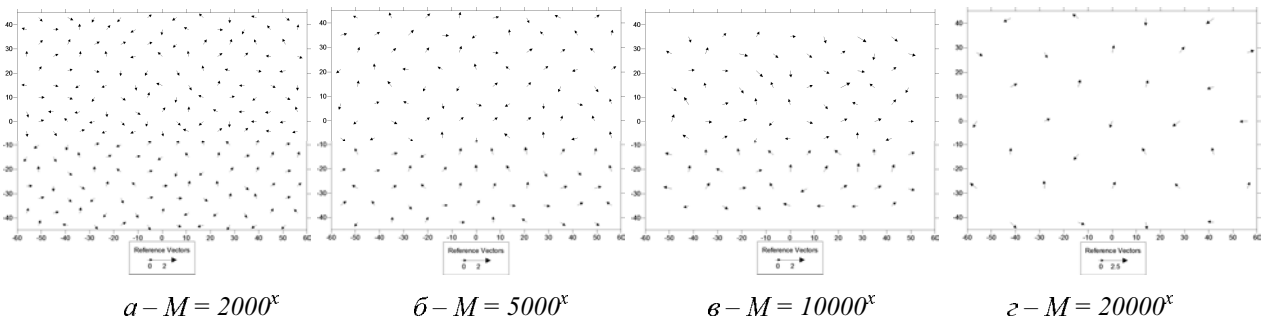


Рис. 4. Векторні діаграми геометричних спотворень цифрових РЕМ-знімків тест-об'єкта за різних збільшень M^x після апроксимації

Таблиця 2

Результати апроксимації геометричних спотворень РЕМ-зображень тест-сітки з $r = 1425$ лін/мм

№ з/п	$M_{РЕМ}$	Дійсні знач. збільшень		$\Delta M_x, \%$	$\Delta M_y, \%$	До апроксимації		Після апроксим.	
		M_x	M_y			$m_{\Delta x}, мм$	$m_{\Delta y}, мм$	$m_{\delta x}, мм$	$m_{\delta y}, мм$
1	2000^x	1984,38	1999,91	-0,78	-0,01	0,109	0,083	0,040	0,041
2	5000^x	4970,65	5020,74	-0,59	+0,41	0,138	0,181	0,081	0,088
3	7500^x	7718,51	7725,93	+2,91	+3,01	0,216	0,224	0,113	0,123
4	10000^x	10264,13	10397,72	+2,64	+3,98	0,294	0,370	0,138	0,136
5	15000^x	15429,60	15451,86	+2,86	+3,01	0,359	0,280	0,165	0,148
6	20000^x	20628,46	20750,92	+3,14	+3,75	0,551	0,823	0,203	0,220
7	25000^x	26005,44	25916,38	+4,02	+3,67	0,667	0,822	0,268	0,255
8	30000^x	31104,11	31037,31	+3,68	+3,46	0,921	1,384	0,270	0,245

Таблиця 3

Точність вимірювання просторових координат точок мікроповерхонь для різних збільшень M^x

	1000^x	2000^x	5000^x	7500^x	10000^x	15000^x	20000^x	25000^x
$3m^0_x = 3m^0_y, мм$	0,280	0,280	0,280	0,375	0,450	0,525	0,600	0,675
$M_x = M_y, мкм$	0,280	0,140	0,056	0,050	0,045	0,035	0,030	0,027
$M_{z(h)}, мкм$	1,0-1,5	0,8-1,1	0,5-0,8	0,4-0,6	0,35-0,5	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2

Обчислені за програмою “Test-Measuring” дійсні значення збільшень цифрового РЕМ-знімка M_x і M_y , в подальшому використовують для обчислення нелінійної складової геометричних спотворень РЕМ-зображень (дисторсії) за програмою “Polycalc”. Для встановлення величин дисторсії ми на кожному знімку вимірювали у шаховому порядку від 34 до 356 точок, залежно від збільшення знімка. На рис. 2 і 3 наведено векторні діаграми цих спотворень на контрольних точках до і після їх апроксимації поліномом загального вигляду. Кількісні їхні середньоквадратичні значення наведені у табл. 2 у колонках 6–10.

Аналізуючи результати досліджень, наведених у табл. 2, бачимо, що лінійні (масштабні) спотворення цифрових РЕМ-зображень порівняно незначні. У діапазоні збільшень від 2000^x до 5000^x вони в межах $\pm 1\%$, а зі зростанням M^x від 7500^x до 30000^x достатньо постійні і становлять від $+2,5\%$ до $+4\%$. Різномасштабність збільшень уздовж осей не перевищує 1% . Точність їх визначення за допомогою тест-об’єкта становить $\pm 0,5\%$.

У табл. 3 наведено гарантовану точність отримання просторових координат точок мікроповерхонь дослідних об’єктів залежно від величини збільшення і дійсної точності вимірювань РЕМ-знімків, максимальні залишкові похибки яких після апроксимації не перевищують $3m$ (від 3 до 5 пікселів).

Висновки

1. Дійсні величини збільшень (масштабу) РЕМ зображень, отриманих на РЕМ JSM-7100F у межах збільшень 2000^x – 5000^x становлять $\pm 1\%$. У діапазоні збільшень 7500^x – 30000^x децю зростають від $+2,5\%$ до $+4\%$.

2. Нелінійні геометричні спотворення цифрових РЕМ-зображень за їхнього фізичного розміру 120×90 мм у центральній частині знімка, порівняно незначні (до 0,3 мм, тобто до 3 пікселів), однак збільшуються до його країв, досягаючи за великих збільшень навіть 2,5 мм (25 пікселів), що зумовлює необхідність їх врахування. Характер і величини спотворень змінюються залежно від збільшення знімка і

параметрів РЕМ-знімання. Їхні абсолютні значення зі збільшенням величини (масштабу), як правило, також нелінійно зростають.

3. РЕМ JSM-7100F можна вважати високоточним і стабільним у метричному відношенні приладом, який не потребує постійного калібрування цифрових РЕМ-зображень перед кожним РЕМ-зніманням. Однак, періодично необхідно проводити його дослідження за нашою методикою зі застосуванням прецизійного тест-об’єкта і з використанням програм “Test-Measuring” та “Polycalc”.

4. За умови врахування геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень за допомогою прецизійного тест-об’єкта і поліноміальної їх апроксимації, залишкові величини спотворень не перевищуватимуть $\pm 0,3$ – $0,5$ мм (± 3 – 5 пікселів), тобто їх можна зменшити від 2-х до 10 разів. Це дає змогу отримувати просторові кількісні параметри мікроповерхонь дослідних об’єктів з високою точністю, зокрема, у разі збільшення (масштабі) зображень $M = 1000^x$:
 $m_x = m_y = 0,1$ – $0,3$ мкм, $m_{h(z)} = 1$ – $1,5$ мкм, а при $M = 25000^x$ – $m_x = m_y = 0,01$ – $0,03$ мкм, $m_{h(z)} = 0,1$ – $0,2$ мкм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Іванчук О. М. Структура та функції програмного комплексу “Dimicros” для опрацювання РЕМ-зображень на цифровій фотограмметричній станції / О. М. Іванчук, І. В. Хрупін // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2012. – Вип. I (23). – С. 193–197.
- Іванчук О. М. Дослідження точності визначення дійсних величин збільшення (масштабу) цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ JSM-5000 (NeoScore) фірми JEOL / О. М. Іванчук // Геодезія, картографія і аерознімання. – Львів, 2012. – Вип. 76. – С. 80–84.
- Іванчук О. М. Дослідження величин геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ DSM-960A (Carl Zeiss, Німеччина) та точності їх врахування / О. М. Іванчук, Т. Барфельс, Я. Геер, В. Герсер // Геодезія, картографія і аерознімання. – Львів, 2013. – Вип. 78. – С. 120–126.
- Іванчук О. Дослідження геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ

- JSM-5000 (NeoScope) та їх апроксимація / О. Іванчук // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. – Донецьк, 2013. – Вип. 1(18). – С. 91–97.
- Іванчук О. Дослідження похибок збільшення (масштабу) цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ-106І (Суми, Україна) за допомогою спеціальних тест-об'єктів / О. Іванчук, М. Чекайло // Геодезія, картографія і аерознімання. – Львів, 2014. – Вип. 79. – С. 82–88.
- Іванчук О. Дослідження геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ-106 І (Суми, Україна) / О. Іванчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2014. – Вип. II(28). – С. 74–77.
- Іванчук О. Особливості калібрування геометричних спотворень цифрових РЕМ-зображень, отриманих на різних РЕМ / О. Іванчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2015. – Вип. I(29). – С. 168–173.
- Костышин М. Т. Квантовая электроника / М. Т. Костышин, К. С. Мустафин. – К., 1982. – Вып. 23. – С. 29–33.
- Калантаров Е. И. Фотограмметрическая калибровка электронных микроскопов / Е. И. Калантаров, М. Ж. Сагындыкова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – М., 1983. – № 4. С. 76–80.
- Мельник В. Н. Калибровка геометрических искажений РЭМ-снимков / В. Н. Мельник, В. Н. Соколов, О. М. Иванчук, О. В. Тумская, М. П. Шибатинов // Рук. деп. в ВИНТИ. – М., 1984. – № 528. – 18 с.
- Мельник В. М. Растрово-електронна стереомікрофракторафія : монографія / В. М. Мельник, А. В. Шостак – Луцьк : Вежа, 2009. – 469 с.
- Финковский В. Я. К теории фотограмметрической обработки РЭМ-снимков / В. Я. Финковский, В. Н. Мельник, О. М. Иванчук // Геодезия и картография. – 1984. – № 2. – С. 29–33.
- Шостак, А. В. Методи і моделі мікрофотограмметрії у прикладних наукових дослідженнях : автореф. дис... д-ра техн. наук : 05.24.01 / Шостак Анна Володимирівна; Луцький нац. техн. університет. – К., 2012. – 28 с.
- Boyde A. Photogrammetry and Scanning electron microscopy / A. Boyde, H. F. Ross // Photogrammetric Record. – 1975. – Vol. 8. – № 46. – P. 408–457.
- Burkhardt, R. Untersuchungen zur kalibrierung eines Elektronen mikroskopes // Mitt. geod. Inst. Techn. Univ. Graz. – 1980. – № 35.
- Ghosh, S. K. Photogrammetric calibration of a scanning electron microscope // Photogrammetria. – 1975. – Vol. 31. – № 31. – P. 91–114.
- Ghosh, S. K. Scanning Electron Micrography and Photogrammetry / S. K. Ghosh, H. Nagaraja // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1976. – Vol. 42. – № 5. – P. 649–657.
- Howell P. A practical method for the correction of distortions in SEM photogrammetry // Proc. Of the Annual Scanning Electron Microscope Symposium. Chicago, Illinois. – 1975. – P. 199–206.
- Maune D.F. SEM Photogrammetric Calibration. In Scanning Electron Microscopy: Proceedings of the 8th SEM Symposium. St. Louis. – 1975. – Vol. 1. – P. 207–215.
- Ritter M. A landmark-based method for the geometrical 3D calibration of scanning microscopes. Dissertation Dr.-Ing. Berlin. – 2007. – 131 p.

О. М. ИВАНЧУК^{1*}

¹ Кафедра фотограмметрии и геоинформатики, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013, тел.: +38(096)4143409, эл. почта: ivanchuk@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ЦИФРОВЫХ РЭМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА РЭМ JSM-7100F (JEOL, ЯПОНИЯ) И ТОЧНОСТЬ ИХ АППРОКСИМАЦИИ

Цель. Цифровым РЭМ-изображениям, в результате различных физических факторов работы растровых электронных микроскопов, присущи значительные геометрические искажения. Целью данного исследования является их определение и эффективный учет для повышения точности получения пространственных количественных параметров микроповерхностей объектов, которые исследуются с помощью РЭМ. Задача эта крайне важна, особенно в настоящее время, в частности, при необходимости контроля технологических процессов производства на микронном и субмикронном уровнях в машиностроении, микроэлектронике и многих других. Это в свою очередь позволяет получать необходимые технологические свойства различных

объектов, а следовательно повышать их надежность и эффективность. **Методика.** Для установления и исследования цифровых РЭМ-изображений, полученных на РЭМ JSM 7100F был использован специальный тест-объект (голографическая тест-решетка) с разрешением $r = 1425$ лин/мм. Цифровые РЭМ-изображения были получены в диапазоне увеличений от 2000^x до 40000^x . Обработка (измерения) цифровых РЭМ-снимков выполнялась с помощью специальных подпрограмм “Test-Measuring” и “Polycalc” программного комплекса “Dimicros”. **Результаты.** Полученные линейные (масштабные) и нелинейные (дисторсионные) составляющие геометрических искажений цифровых РЭМ-изображений, в частности, действительные значения увеличений РЭМ-изображений тест-объектов показали, что их отклонение от установленных значений по шкале РЭМ составляют: вдоль оси x снимка – от примерно -1% (при M^x от 2000^x до 5000^x) до $+2,5-4\%$ (при M^x от 7500^x до 40000^x), а вдоль оси y снимка – от $0-+1\%$ (при M^x от 2000^x до 5000^x) до $+3-4\%$ (при M^x от 7500^x до 40000^x). Точность измерений M^x составляет примерно $\pm 0,5\%$. Таким образом, линейные (масштабные) искажение РЭМ-изображений, полученных на РЭМ JSM-7100F, относительно незначительны. Однако для высокоточных исследований количественных параметров микроповерхностей твердых тел их необходимо учитывать. Нелинейные (дисторсионные) искажения достигают на краях РЭМ-снимков при больших увеличениях до $\pm 2,5$ мм (до 25 пикселей) при размере изображения 120×90 мм. Полиномиальная аппроксимация (учет) искажений позволяет их уменьшать от 3-х до 10 раз. **Научная новизна.** Метрические исследования цифровых изображений, полученных на современном РЭМ JSM-7100F выполнялись впервые. Предложенная методика исследований и использованное авторское программное обеспечение показали их эффективность и целесообразность. **Практическая значимость.** Применение методики определения и учета геометрических искажений цифровых РЭМ изображений микроповерхностей твердых тел позволяет существенно повышать точность получения их пространственных количественных параметров, что в свою очередь улучшает надежность и эффективность изготовленной из них продукции.

Ключевые слова: растровый электронный микроскоп (РЭМ); тест-объект; цифровые РЭМ-изображения; геометрические искажения РЭМ-изображений, аппроксимация.

О. М. IVANCHUK^{1*}

¹ Department of Photogrammetry and Geoinformatics of Lviv Polytechnic National University, Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38(096)4143409, e-mail: ivanchuk@inbox.ru

RESEARCH GEOMETRIC DISTORTION DIGITAL SEM-IMAGES OBTAINED ON SEM JSM-7100F (JEOL, JAPAN) AND THE ACCURACY OF THEIR APPROXIMATION

Purpose. Digital-SEM image, due to various physical factors of scanning electron microscope inherent significant geometric distortion. The aim of this study is to establish and Effective consideration to improve the accuracy to obtain quantitative spatial parameters mikrosurface objects are investigated using SEM. This problem is extremely important, especially nowadays when needed control of technological processes for the production of micron and submicron levels, particularly in engineering, microelectronics and many others. This in turn enables the necessary technological properties of various objects, and thus improve their reliability and efficiency. **Methodology.** To install and study of digital SEM images obtained on SEM JSM-7100F was used special test facility (test holographic grating) with a resolution $r = 1425$ lin/mm. Digital SEM images were received increases ranging from $2000h$ to $40000h$. Working (measurement) Digital-SEM images was carried out using special routines “Test-Measuring” and “Polycalc” software complex “Dimicros”. **Results.** The obtained linear (large-scale) and nonlinear components of geometric distortion digital SEM images, in particular, the real value increases SEM images of test objects showed their rejection of established values on a scale SEM are: along the x -axis image – from approximately -1% (in M^x from $2000h$ to $5000h$) and $+2,5-4\%$ (in M^x from $7500h$ to $40000h$) and along the axis of the picture – from $0-+1\%$ (in M^x from $2000h$ to $5000h$) and $+3-4\%$ (in M^x from $7500h$ to $40000h$). M^x accuracy is approximately $\pm 0,5\%$. Thus linear (large-scale) distortion of SEM images obtained on SEM JSM-7100F is relatively insignificant. However, precision studies of quantitative parameters mikrosurface solids they should be taken into account. Nonlinear distortion at the edges of reach SEM images at high magnification to $\pm 2,5$ mm (25 pixels) in image size 120×90 mm. Polynomial approximation (consideration) allows them to reduce distortion from 3 to 10 times. **Scientific novelty.** Metric study of digital images obtained at the present SEM JSM-7100F enforced for the first time.

The method of research used by the author and software have shown their effectiveness and feasibility. **The practical significance.** Application methods for determining and taking into account the geometric distortion digital SEM images mikrosurface solids can significantly improve the accuracy of their spatial obtain quantitative parameters, which in turn improves the reliability and effectiveness of the products made from them.

Keywords: scanning electron microscope (SEM); test object; digital SEM images; geometric distortion digital SEM images, approximation.

REFERENCES

- Ivanchuk O. M., Khrupin I. V. Struktura ta funkcii prohramnoho kompleksu "Dimicros" dlja opracjuvannja REM-zobrazhen na cufrovij fotohrammetrychnij stanciji [Structure and function of the program complex "Dimicros" processing of SEM images on a digital photogrammetric station], Recent advances in geodetic science and industry, Lviv, 2012, issue 1(23), pp. 193–197.
- Ivanchuk O. M. Doslidzhennja tochnosti vyznachennja dijsnykh velychyn zbilshennja (masshtabu) cyfrovykh REM-zobrazhen, otrymanykh na REM JCM-5000 (NeoScope) firmy JEOL [Investigation of the accuracy of the actual values increase (scale) digital SEM images obtained at REM JCM-5000 (NeoScope) company JEOL], Geodesy, cartography and aerial photography, Lviv, 2012, issue 76, pp. 80–84.
- Ivanchuk O. M., Barfels T., Heeg J., Heger W. Doslidzhennja velychyn heometrychnykh spotvoren cyfrovykh REM-zobrazhen, otrymanykh na REM DSM-960A (Carl Zeiss, Nimechchyna) ta tochnosti jikh vrakhuvannja [Research quantities of geometric distortion of digital SEM images obtained on SEM DSM-960A (Carl Zeiss, Germany) and the accuracy of their incorporation], Geodesy, cartography and aerial photography, Lviv, 2013, issue 78, pp. 120–126.
- Ivanchuk O. Doslidzhennja heometrychnykh spotvoren cyfrovykh REM-zobrazhen, otrymanykh na REN JCM-5000 (NeoScope) ta ijkh aproksymacija [The study of geometrical distortion digital SEM images obtained on SEM JCM-5000 (NeoScope) and their approximation], Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series: geological, Donetsk, 2013, Vol. 1(18), pp. 91–97.
- Ivanchuk O., Chekaylo M. Doslidzhennja pokhybok zbilshennja (masshtabu) cyfrovykh REM-zobrazhen, otrymanykh na REM-106I (Sumy, Ukraina) za dopomohuju specialnykh test-objektiv [Research of errors increase (scale) digital SEM images obtained on SEM-106I (Sumy, Ukraine) with special test objects], Geodesy, Cartography and aerial photography, Lviv, 2014, Vol. 79, pp. 82–88.
- Ivanchuk O. Doslidzhennja heometrychnykh spotvoren cyfrovykh REM-zobrazhen, otrymanykh na REM-106I (Sumy, Ukraina) [Research of geometric distortion digital SEM images obtained on SEM-106 I (Sumy, Ukraine)], Recent advances in geodetic science and industry, Lviv, 2014, issue II(28), pp.74–77.
- Ivanchuk O. Osoblyvosti kalibruvannja heometrychnykh spotvoren cyfrovykh REM-zobrazhen, otrymanykh na riznykh REM [Features Calibration of geometric distortion digital SEM images obtained at different REM], Recent advances in geodetic science and industry, Lviv, 2015, issue I(29), pp.168–173.
- Kostyshyn M. T., Mustafin K. S. Kvantovaja elektronika [Quantum Electronics], Kyiv, 1982, issue 23, pp.29–33.
- Kalantarov E. I., Sagyndykova M. Zh. Photogrammetricheskaja kalibrovka elektronnykh mikroskopov [Photogrammetric calibration of electron microscopes], Proceedings of the universities. Surveying and aerial photography, Moscow, 1983, issue 4, pp.76–80.
- Melnik V. N., Sokolov V. N., Ivanchuk O. M., Tumskaja O. V., Shebatinov M. P. Kalibrovka geometricheskikh iskazhenij REM-snimkov [Calibration of geometric distortion SEM images], Manuscript deposited at VINITI, Moscow, 1984, issue 528, 18 p.
- Melnik V. M., Shostak A. M. Rastrovo-elektronna stereomikrofraktografija [Raster electron stereomikrofraktografition], Luck, Vezha, 2009. 469 p.
- Finkovsky V. J., Melnik V. N., Ivanchuk O. M. K teorii photogrammetricheskoy obrabotki REM-snimkov [Theory of photogrammetric processing of SEM images], Geodesy and Cartography, Moscow, 1984, issue 2, pp.29–33.
- Shostak A. V. Metody i modeli mikrophotoqrammetrii u prukladnykh naukovykh doslidzhennjach. Dokt. Diss. [Methods and models mikrophotoqrammetry in applied research. Doct. Diss.]. Kyiv, 2012. 28 p.
- Boyde, A. Photogrammetry and Scanning electron microscopy / A. Boyde, H. F. Ross // Photogrammetric Record. – 1975. – Vol. 8. – No. 46. – P. 408–457.
- Burkhardt R. Untersuchungen zur kalibrirung eines Elektronen mikroskopes // Mitt. geod. Inst. Techn. Univ. Graz. – 1980. – No. 35.

- Ghosh S. K. Photogrammetric calibration of a scanning electron microscope // *Photogrammetria*. – 1975. – Vol. 31. – No. 31. – P. 91–114.
- Ghosh, S. K. Scanning Electron Micrography and Photogrammetry / S. K. Ghosh, H. Nagaraja // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 1976. – Vol. 42. – No. 5. – P. 649–657.
- Howell P. A practical method for the correction of distortions in SEM photogrammetry // *Proc. Of the Annual Scanning Electron Microscope Symposium*. Chicago, Illinois. – 1975. – P. 199–206.
- Maune, D.F. SEM Photogrammetric Calibration. In *Scanning Electron Microscopy: Proceedings of the 8th SEM Symposium*. St. Louis. – 1975. – Vol. 1. – P. 207–215.
- Ritter M. A landmark – based method for the geometrical 3D calibration of scanning microscopes. Dissertation Dr. – Ing. Berlin. – 2007. – 131 p.

Надійшла 20.04.2015 р.