

КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

УДК 528.721.287:537.533.35

О.М. ІВАНЧУК^{1*}, М.В. ЧЕКАЙЛО²

^{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.

²Кафедра фізики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ЗБІЛЬШЕННЯ (МАСШТАБУ) ЦИФРОВИХ РЕМ-ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ НА РЕМ-106І (СУМИ, УКРАЇНА) ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕЦІАЛЬНИХ ТЕСТ-ОБ’ЄКТІВ

Мета. Відомо, що цифровим зображенням мікроповерхонь твердих тіл, отриманим на растрових електронних мікроскопах (РЕМ) різних типів, притаманні значні геометричні спотворення, які можна розділити на дві групи: лінійні (масштабні) і нелінійні (дисторсійні). Їх встановлення і врахування є вкрай важливим завданням, особливо під час створення різноманітних мікропристроїв із застосуванням сучасних нанотехнологій. Це запорука їх надійності, точності та ефективності. **Методика.** Для встановлення і дослідження дійсних значень основного метричного параметра РЕМ-106І – величин його збільшень (масштабу) були використані спеціальні тест-об’єкти (голографічні тест-решітки з роздільними здатностями $\tau=1425$ лін/мм і $\tau=3530$ лін/мм), цифрові РЕМ-зображення яких були отримані на РЕМ-106І в діапазоні збільшень від 1000^{\times} до 30000^{\times} . Опрацювання (вимірювання) цифрових РЕМ-знімків виконувалось за допомогою спеціальної підпрограми “Test-Measuring” програмного комплексу “Dimicros”. **Результати.** Отримані дійсні значення збільшень РЕМ-зображень тест-об’єктів показали, що їхні відхилення від встановлених значень за шкалою РЕМ становлять: вздовж осі x знімка – від приблизно $+2\%$ (при M^{\times} від 1000^{\times} до 5000^{\times}) до -1% (за M^{\times} від 8000^{\times} до 30000^{\times}), а вздовж осі y знімка – від $+1\%$ (за M^{\times} від 1000^{\times} до 5000^{\times}) до -4% (за M^{\times} від 8000^{\times} до 30000^{\times}). Точність вимірів M^{\times} становить приблизно $\pm 0,5\%$. Отже, спотворення масштабів РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ-106І вітчизняного виробництва, порівняно незначне. Однак під час високоточних досліджень кількісних параметрів мікроповерхонь твердих тіл його необхідно враховувати. **Наукова новизна.** Таке дослідження РЕМ-106І виконувалось в Україні вперше. Запропонована технологічна схема досліджень і використане авторське програмне забезпечення показали його ефективність і доцільність. **Практична значущість.** Застосування цієї технології і встановлення дійсних значень збільшень (масштабу) цифрових РЕМ-зображень мікроповерхонь твердих тіл дає змогу з високою точністю встановлювати їх просторові кількісні параметри, а отже, підвищувати надійність і ефективність виготовлених з них пристроїв, механізмів, матеріалів тощо.

Ключові слова: растровий електронний мікроскоп; тест-об’єкт; цифрове РЕМ-зображення; спотворення збільшення (масштабу) РЕМ-зображень.

Вступ

В останні роки в Україні створений сучасний растровий електронний мікроскоп (РЕМ) – РЕМ-106І з можливістю запису РЕМ-зображень у цифровому форматі.

Сучасні високотехнологічні галузі виробництва, зокрема машинобудування, авіабудування, мікроелектроніка, ракетобудування, виробництва, які використовують нано-

технології тощо. Усі вони потребують використання РЕМ.

Окрім того, 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 важливими є дослідження величин та характеру масштабних і геометричних спотво-

рень, притаманних цифровим РЕМ-зображенням. Раніше дослідження метричних характеристик цифрових РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ-106І, в Україні не виконувались. Отже, автори поставили перед собою завдання виконати ці дослідження і дати відповідні рекомендації дослідникам, які використовують цей мікроскоп.

Мета

Встановлення кількісних параметрів мікроповерхонь будь-яких дослідних об'єктів з високою точністю за вимірами їх стереозображень, отриманих на РЕМ, передбачає обов'язкове дослідження метричних характеристик цих знімків, тобто встановлення величин та характеру їх масштабних і геометричних спотворень, а також методів їх подальшого врахування. Дослідженнями таких питань займалися і займаються науковці як за кордоном, так і в Україні. Зокрема, [Boyd A., 1975; Burkhardt R., 1980; Ghosh S. K., 1975; Nagaraja, 1976; Howell P., 1975] в Росії – [Калантаров Є.І., Сагиндікова М.Ж., 1983; Соколов В.М., Шебатінов М.П., 1984], в Україні – [Мельник В.М., 1984, 2009; Фінковський В.Я., 1984, Шостак А.В., 2009, 2012] та інші.

Мета досліджень – отримати цифрові РЕМ-зображення еталонних тест-об'єктів з роздільними здатностями $\tau=1425$ лін/мм і $\tau=3530$ лін/мм на РЕМ 106І в діапазоні збільшень від 1000^x до 30000^x (крат) та встановити величини масштабних спотворень цих зображень за їх вимірами на ПК з використанням програми “Test-Measuring” з пакета програм “Dimicros” [Іванчук, Хрупін, 2012].

Методика

Основні технічні характеристики РЕМ 106І. РЕМ 106І – сучасний растровий електронний мікроскоп вітчизняного виробництва (ВАТ “SELMГ”, м. Суми) з системою енергодисперсійного мікроаналізу, який встановлений у деяких наукових лабораторіях і ВНЗ України, зокрема у Національному університеті “Львівська політехніка”. РЕМ-106І має високу роздільну здатність, велику глибину фокусування, достатньо простий в користуванні, має сучасне програмне забезпечення для отримання високоякісних РЕМ-зображень, а також порівняно невисоку вартість. Основні характеристики приладу наведені у табл. 1.



Рис. 1. РЕМ-106І

Таблиця 1

Режим роботи	високовакуумний режим (до 5×10^{-6} мм рт. ст.)
Прискорювальна напруга	від 0,5 до 30 кВ
Діапазон збільшень	від 15^x до $300\,000^x$ (крат)
Роздільна здатність у вторинних електронах	в режимі високого вакууму – 4 нм, в режимі низького вакууму – 6 нм
Максимальний розмір зразка	діаметр – до 50 мм, висота – до 30 мм
Катод	W (вольфрам)
Система відкачування повітря	дифузійний насос + ротаційний насос
Програмне забезпечення	для Windows XP
Формат запису файлів	BMP
Розміри робочого місця	2100x1046x1850 мм
Енергоспоживання	не більше 2,5 кВА

Коротка характеристика тест-об'єкта. Для встановлення дійсних значень збільшень РЕМ-зображень були використані два тест-об'єкти, які являють собою так звану “голографічну ґратку (сітку)”, – рівномірно розміщену на скляній пластині шару “напівпровідник-метал” у вигляді кулеподібних напівсфер (рис. 2), чи паралельних ліній (рис. 3). Технологія отримання матеріалу “напівпровідник-метал” була вперше запропонована у Київському інституті напівпровідників НАНУ в лабораторії проф. М.Т. Костишина і канд. техн. наук П.Ф. Романенка, і використовувалась для запису голограм просторових об'єктів [Костишин, 1982]. Одним з авторів була запропонована ідея створення

тест-об'єктів на цьому технологічному матеріалі для калібрування збільшень РЕМ. Отже, були отримані тест-об'єкти під дією пучків лазерного випромінювання у вигляді регулярної матриці, яка являє собою сплав срібла з напівпровідником – арсеном сірки ($\text{Ag-As}_2\text{S}$) з різними роздільними здатностями. Два з цих голографічних тест-об'єктів з розділенням 1425 і 3530 лін/мм були використані для експерименту.

РЕМ-знімання. На РЕМ-106І були отримані 9 знімків тест-сітки з роздільною здатністю $r = 1425$ лін/мм у цифровому форматі JPEG з фіксованими значеннями збільшень, встановлених на шкалі приладу: 1000^x , 2500^x , 5000^x , 8000^x , 10000^x , 15000^x , 20000^x , 25000^x , 30000^x (рис. 2), а також по 8 знімків тест-гратки з роздільною здатністю $r = 3530$ лін/мм за їх горизонтального і вертикального положення стосовно коорди-

натної сітки знімка за тих самих збільшень (рис. 3), за винятком $M=1000^x$, за якого лінії решітки фактично зливаються. Умовні розміри отриманих цифрових РЕМ-зображень під час їхнього опрацювання на ПК за програмою “Test-Measuring” становлять $338,56 \times 253,92$ мм (1280×960 пікселів). Розмір піксела – $0,2645$ мм.

Вимірювання РЕМ-зображень тест-об'єкта.

Вимірювання цифрових РЕМ-зображень обох тест-об'єктів виконувалось на персональному комп'ютері у програмному середовищі “Dimicros” за програмою “Test-Measuring”. Вимірювання величин дійсних збільшень РЕМ-зображень тест-об'єктів виконувалось тричі вздовж осей x і y знімка за схемою, наведеною у роботі [Іванчук, 2012]. Отже, були отримані середні значення збільшень і їх відхилення від встановлених на шкалі РЕМ. Результати експерименту наведені у табл. 2–5.

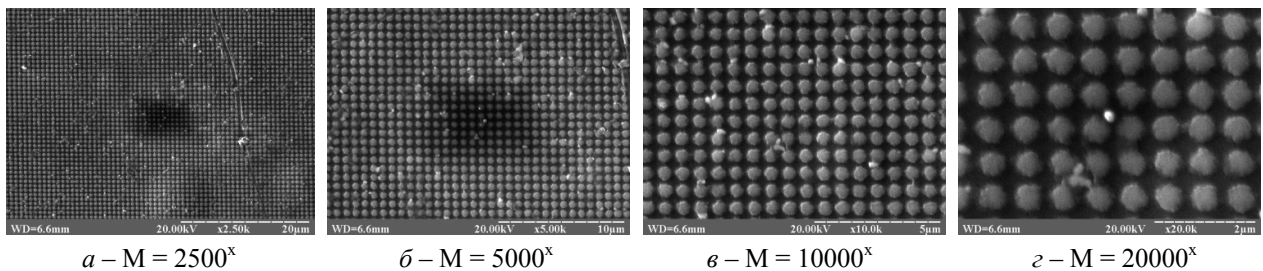


Рис. 2. Цифрові РЕМ-знімки тест-об'єкта з роздільною здатністю $r = 1425$ лін/мм за різних збільшень M

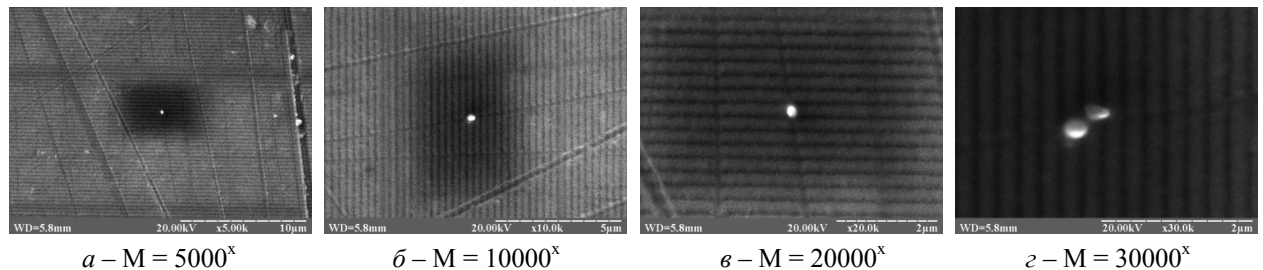


Рис. 3. Цифрові РЕМ-знімки тест-об'єкта з роздільною здатністю $r = 3530$ лін/мм за різних збільшень M

Таблиця 2

Збільшення вздовж осі x РЕМ-знімків, отриманих за вимірами тест-сітки з роздільною здатністю $r = 1425$ лін/мм та відхиленням M_x від встановлених на шкалі РЕМ

№ з/п	M_x РЕМ	M_{x1}	M_{x2}	M_{x3}	M_x ср	ΔM_x ср, %	ΔM_x min, %	ΔM_x max, %
1	1000^x	1017,86	1016,74	1016,74	1017,11	+1,71	+1,67	+1,79
2	2500^x	2539,24	2535,43	2535,43	2536,70	+1,47	+1,42	+1,57
3	5000^x	5065,31	5070,88	5059,74	5065,31	+1,31	+1,20	+1,42
4	8000^x	7901,76	7912,93	7901,76	7905,48	-1,18	-1,09	-1,23
5	10000^x	9944,15	9944,15	9932,99	9940,43	-0,60	-0,56	-0,67
6	15000^x	14875,41	14886,57	14920,08	14894,02	-0,71	-0,53	-0,83
7	20000^x	19910,10	19953,86	19868,05	19910,67	-0,45	-0,23	-0,66
8	25000^x	24845,88	24862,50	24858,21	24855,53	-0,58	-0,55	-0,62
9	30000^x	29702,58	29680,31	30014,30	29799,06	-0,85	-0,64	-1,07
Середнє відхилення середніх значень ΔM_x ср від $M_{РЕМ}$, %						[0,99]	[0,88]	[1,10]

Таблиця 3

Збільшення вздовж осі y РЕМ-знімків, отриманих за вимірами тест-сітки з роздільною здатністю $\gamma = 1425$ лін/мм та відхиленням M_y від встановлених на шкалі РЕМ

№ з/п	$M_{y\text{ РЕМ}}$	M_{y1}	M_{y2}	M_{y3}	$M_{y\text{ ср}}$	$\Delta M_{y\text{ ср}}, \%$	$\Delta M_{y\text{ min}}, \%$	$\Delta M_{y\text{ max}}, \%$
1	1000 ^x	1004,47	1005,58	1006,70	1005,58	+0,56	+0,48	+0,67
2	2500 ^x	2513,96	2516,75	2513,96	2514,89	+0,60	+0,56	+0,67
3	5000 ^x	5040,75	5035,18	5024,04	5033,32	+0,67	+0,48	+0,82
4	8000 ^x	7912,93	7916,70	7890,58	7906,74	-1,17	-1,04	-1,37
5	10000 ^x	9843,70	9921,83	9910,67	9892,07	-1,08	-0,78	-1,56
6	15000 ^x	14797,38	14784,49	14762,22	14781,36	-1,46	-1,35	-1,59
7	20000 ^x	19491,75	19558,81	19558,81	19536,46	-2,32	-2,21	-2,54
8	25000 ^x	24273,62	24117,31	24117,31	24169,41	-3,32	-2,91	-3,53
9	30000 ^x	28834,21	28789,68	28789,68	28804,52	-3,98	-3,89	-4,03
Середнє відхилення середніх значень $\Delta M_{y\text{ ср}}$ від $M_{\text{РЕМ}}, \%$						1,68	1,52	1,86

Таблиця 4

Збільшення вздовж осі x РЕМ-знімків, отриманих за вимірами тест-сітки з роздільною здатністю $\gamma = 3530$ лін/мм та відхиленням M_x від встановлених на шкалі РЕМ

№ з/п	$M_{x\text{ РЕМ}}$	M_{x1}	M_{x2}	M_{x3}	$M_{x\text{ ср}}$	$\Delta M_{x\text{ ср}}, \%$	$\Delta M_{x\text{ min}}, \%$	$\Delta M_{x\text{ max}}, \%$
1	2500 ^x	2528,16	2521,30	2525,43	2524,96	+1,00	+0,85	+1,13
2	5000 ^x	5029,66	5027,95	5031,77	5029,79	+0,60	+0,56	+0,64
3	8000 ^x	7942,31	7930,21	7954,96	7942,49	-0,72	-0,56	-0,87
4	10000 ^x	9937,76	9925,36	9910,15	9924,42	-0,76	-0,62	-0,90
5	15000 ^x	14841,50	14869,07	14893,94	14868,17	-0,88	-0,72	-1,06
6	20000 ^x	19772,23	19810,54	19855,78	19812,85	-0,94	-0,74	-1,14
7	25000 ^x	24782,58	24800,74	24684,93	24756,08	-0,98	-0,80	-1,26
8	30000 ^x	29597,79	29630,76	29663,36	29630,64	-1,23	-1,12	-1,34
Середнє відхилення середніх значень $\Delta M_{x\text{ ср}}$ від $M_{\text{РЕМ}}, \%$						0,89	0,75	1,04

Таблиця 5

Збільшення вздовж осі y РЕМ-знімків, отриманих за вимірами тест-сітки з роздільною здатністю $\gamma = 3530$ лін/мм та відхиленням M_y від встановлених на шкалі РЕМ

№ з/п	$M_{y\text{ РЕМ}}$	M_{y1}	M_{y2}	M_{y3}	$M_{y\text{ ср}}$	$\Delta M_{y\text{ ср}}, \%$	$\Delta M_{y\text{ min}}, \%$	$\Delta M_{y\text{ max}}, \%$
1	2500 ^x	2512,59	2514,39	2516,74	2514,57	+0,58	+0,50	+0,67
2	5000 ^x	5024,13	5031,77	5028,73	5028,21	+0,56	+0,48	+0,64
3	8000 ^x	7923,84	7905,61	7942,47	7923,97	-0,95	-0,72	-1,18
4	10000 ^x	9903,79	9856,15	9887,15	9882,36	-1,18	-0,96	-1,44
5	15000 ^x	14751,50	14714,08	14778,15	14747,91	-1,68	-1,48	-1,91
6	20000 ^x	19445,30	19445,30	19574,20	19488,27	-2,56	-2,13	-2,77
7	25000 ^x	24250,81	24300,81	24134,93	24228,85	-3,08	-2,80	-3,46
8	30000 ^x	28815,79	28914,29	28845,36	28858,48	-3,81	-3,62	-3,95
Середнє відхилення середніх значень $\Delta M_{y\text{ ср}}$ від $M_{\text{РЕМ}}, \%$						1,80	1,59	2,00

Висновки:

1. Дійсні величини збільшень (масштабу) РЕМ-зображень, отриманих на РЕМ-106I, відхиляються від встановлених на шкалі РЕМ вздовж осі *x* у межах $\pm 2\%$, а вздовж осі *y* знімка від $+1\%$ за порівняно незначних збільшень $1000^x - 5000^x$ крат до -4% за $M=30000^x$ в робочому діапазоні збільшень мікроскопа від 1000^x до 30000^x (крат).

2. Аналіз результатів досліджень, наведених у табл. 1, 2, показали високу їх кореляцію з даними, наведеними у табл. 3, 4. Тобто дійсні значення збільшень цифрових РЕМ-зображень, отримані за вимірами двох тест-сіток з різними роздільними здатностями, фактично однакові, тобто у межах точності вимірювань $\pm 0,5\%$.

3. РЕМ 106 I можна вважати надійним в метричному відношенні мікроскопом, який не потребує постійного калібрування збільшень перед кожним РЕМ-зніманням дослідних зразків.

4. У разі потреби прецизійного визначення масштабу цифрових РЕМ-зображень з точністю $\pm 0,5\%$ доцільно попередньо отримати ці значення за РЕМ-знімками голографічних тест-сіток.

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 (NeoScope) фірми JEOL // 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. Герер // Геодезія, картографія і аерознімання. – Львів, 2013. – Вип. 78. – С. 120–126.
- 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. Гумская, М.П. Шебашинов // Рук. деп. в ВИНТИ. – М., 1984. – № 528. – 18 с.
- Мельник В.М. Растрово-електронна стереомікрофрактографія: 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... докт. техн. наук : 05.24.01 / А. В. Шостак; 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 kalibrirung eines Elektronen mikroskopes // Mitt. geod. Inst. Techn. Univ. Graz. – 1980. – № 35.
- Ghosh S.K. Photogrammetric calibration of a scanning electron microscope // Photogrammetria. – 1975. – V. 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.

О.М. ИВАНЧУК^{1*}, М.В. ЧЕКАЙЛО²

^{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.

²Кафедра физики, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЙ (МАСШТАБА)
ЦИФРОВИХ РЭМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА РЭМ-106И
(СУМЫ, УКРАИНА) С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ

Цель. Известно, что цифровым изображениям микроповерхностей твердых тел, полученным на растровых электронных микроскопах (РЭМ) различных типов, присущи значительные геометрические искажения, которые можно разделить на две группы: линейные (масштабные) и нелинейные (дисторсионные). Их установление и учет является крайне важной задачей, особенно при создании разнообразных микроустройств с применением современных нанотехнологий. Это залог их надежности, точности и эффективности. **Методика.** Для установления и исследования действительных значений основного метрического параметра РЭМ-106И – величин его увеличений (масштаба) были использованы специальные тест-объекты (голографические тест-решетки с разрешениями $r = 1425$ и $r = 3530$ лин/мм), цифровые РЭМ-изображения которых были получены на РЭМ-106И в диапазоне увеличений от 1000^{\times} до 30000^{\times} . Обработка (измерение) цифровых РЭМ-снимков выполнялась с помощью специальной подпрограммы “Test-Measuring” программного комплекса “Dimicros”. **Результаты.** Полученные действительные значения увеличений РЭМ-изображений тест-объектов показали, что их отклонения от установленных значений по шкале РЭМ составляют: вдоль оси x снимка – от примерно $+2\%$ (при M^{\times} от 1000^{\times} до 5000^{\times}) до -1% (при M^{\times} от 8000^{\times} до 30000^{\times}), а вдоль оси y снимка – от $+1\%$ (при M^{\times} от 1000^{\times} до 5000^{\times}) до -4% (при M^{\times} от 8000^{\times} до 30000^{\times}). Точность измерений M^{\times} составляет примерно $\pm 0,5\%$. Таким образом искажения масштабов РЭМ-изображений, полученных на РЭМ-106И отечественного производства, относительно незначительны. Однако при высокоточных исследованиях количественных параметров микроповерхностей твердых тел его необходимо учитывать. **Научная новизна.** Такого рода исследования РЭМ-106И выполнялись в Украине впервые. Предложенная технологическая схема исследований и использованное авторское программное обеспечение показали его эффективность и целесообразность. **Практическая значимость.** Применение данной технологии установления действительных значений увеличений (масштаба) цифровых РЭМ-изображений микроповерхностей твердых тел позволяет с высокой точностью устанавливать их пространственные количественные параметры, и следовательно, повышать надежность и эффективность изготовленных из них устройств, механизмов, материалов и т.д.

Ключевые слова: растровый электронный микроскоп (РЭМ); тест-объект; цифровые РЭМ-изображения; искажение увеличения (масштаба) РЭМ-изображений.

О.М. IVANCHUK^{1*}, M.V. CHEKALJO²

^{1*}Department of “Photogrammetry and geoinformatics” of National university “Lviv polytechnic”, 12 Bandera street, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38(096)4143409, e-mail: ivanchuk@inbox.ru.

²Department of “Physics” of National university “Lviv polytechnic”, 12 Bandera street, Lviv, Ukraine, 79013.

RESEARCH VALUE ERRORS INCREASE (SCALE) DIGITAL
SEM IMAGES OBTAINED IN THE SEM-106 I (SUMY, UKRAINE)
USING A SPECIAL TEST OBJECT

Purpose. It is known that digital images microsurface solids obtained by scanning electron microscopy (SEM) of various types, as characterized by considerable scale and geometric distortion. Therefore, their establishment and accounting is an extremely important task, especially when creating a variety of microdevices with modern nanotechnology. This is a guarantee of reliability, accuracy and efficiency. **Methodology.** To establish and research actual values of the main parameters of the metric SEM-106I – value of its magnification (scale) special test objects (holographic grating test with permissions $r = 1425$ lines/mm and $r = 3530$ lines/mm) were used. Their digital SEM images were obtained on SEM-106I in 1000h magnification range of up to 30000h. Processing (measurement) of the digital SEM images was performed using a special module “Test-Measuring” of software complex “Dimicros”. **Results.** Obtained actual values of magnification of SEM images of test objects showed that their deviations from the

value established on the SEM are: along the x -axis of image – from about + 2% (for M^x from 1000h to 5000h) to – 1 % (for M^x from 8000h to 30000h), and along the y -axis of image – from + 1% (for M^x from 1000h to 5000h) to – 4 % (for M^x from 8000h to 30000h). Measurement accuracy is approximately $M^x \pm 0,5\%$. Thus the distortion of scales of SEM images obtained on SEM-106I of domestic production are relatively minor. However, when high-precision studies of quantitative parameters of solid microsurface it has to be considered. **Scientific novelty.** This kind of research of SEM-106I was performed for the first time in Ukraine. The proposed technological scheme of research and using copyrighted software demonstrated its effectiveness and feasibility. **The practical significance.** Applying this technology to establish the actual values of magnification (scale) of digital SEM images of solid microsurface allows establish with high precision quantitative their spatial parameters, and hence improve the reliability and efficiency of devices, mechanisms, materials, etc made therefrom.

Key words: scanning electron microscope (SEM); test object; digital SEM images; distortion magnification (scale) of SEM images.

REFERENCES

- Ivanchuk O.M., Hrupin I.V. *Struktura ta funkcii prohramnoho kompleksu "Dimicros" dlja opracjuvannja REM-zobrazhen na cufrovij fotogrammetrychnij 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 dijsnyh velychyn zbilshennja (masshtabu) cyfrovych REM-zobrazhen, otrymanyh 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 heometrychnych spotvoren cyfrovych REM-zobrazhen, otrymanyh na REM DSM-960A (Carl Zeiss, Nimechchyna) ta tochnosti jich vrachuvannja* [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.
- 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 elektronnyh mikroskopov* [Photogrammetric calibration of electron microscopes], Proceedings of the universities. Surveying and aerial photography, Moscow, 1983, issue4, pp.76–80.
- Melnik V.N., Sokolov V.N., Ivanchuk O.M., Tumskaja O.V., Shebatinov M.P. *Kalibrovka geometricheskich 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 stereomikrofraktohrafiya* [Raster electron stereomikrofraktohrafiion], Luck, Vezha, 2009. 469 p.
- Finkovsky V.J., Melnik V.N., Ivanchuk O.M. *K teorii photogrammetricheskoi 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 mikrophotogrammetrii u prukladnyh naukovykh doslidzhennjach*. Dokt. Diss. [Methods and models mikrophotogrammetry 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. – № 46. – P. 408–457.
- Burkhardt, R. Untersuchungen zur kalibrirung eines Elektronen mikroskopes // Mitt. geod. Inst. Techn. Univ. Graz. – 1980. – № 35.
- Ghosh, S. K. Photogrammetric calibration of a scanning electron microscope // Photogrammetria. – 1975. – V.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.

Надійшла 25.04.2014 р.