

В. Мельник¹⁾, А. Шостак²⁾¹⁾Волинський державний університет імені Лесі Українки²⁾Луцький державний технічний університет**ДО ТЕОРІЇ ДИСТОРСІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ РЕМ-ЗОБРАЖЕНЬ**

©Мельник В. Шостак А., 2007

В статье рассматриваются искажения РЭМ-изображений, обусловленные несовершенством процесса сканирования электронным зондом поверхности микрообъектов. Предложены теоретические основы двух методов учета подобных искажений.

In the article, a deformation of REM-image, determined by imperfect scanning process of microobjects surface by scanned probe are considered. The theoretical bases of two methods regarding of similar deformation are proposed.

Постановка проблеми . В процесі отримання РЕМ-зображень має місце ряд спотворюючих факторів, які у загальному випадку зводяться до наступного: 1) спотворення геометрії зображення; 2) амплітудне перетворення щільності зображення; 3) наявність у кожному зображенні шуму:

$$\begin{aligned} g_l(x_i, y_j) &= F \{ M \{ \varphi_l(x_i, y_j) \psi_l(x_i, y_j) \}, x_i, y_j \} + \varepsilon_l(x_i, y_j), \quad l = 1, n, \\ g_{n+1}(x_i, y_j) &= M(x_i, y_j) + R(x_i, y_j) + \varepsilon_{n+1}(x_i, y_j), \quad l = 1, n, j = 1, N_y. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут F_l – функція амплітудного перетворення; φ_l, ψ_l – функції перетворення координат (геометрії зображення); ε – шуми, що супроводжують виміри; M – зображення, що безпосередньо реєструється; R – функція, що описує локальну зміну в $n+1$ кадрі:

$$R(x_i, y_j) = \sum_{i=1}^k A_l f_l(x_i - x_l, y_j - y_l), \quad (2)$$

де A_l – амплітуди, а f_l – форми об'єктів.

В такому формулюванні задача принципово нерозв'язна (число невідомих більше числа вимірів), тому необхідні різні обмеження на всі види перерахованих спотворень [1,2]. Обмеження визначаються конкретною проблематикою досліджень. Розглянемо деякі загальні положення.

Найбільш трудомісткою і складною в мікроскопії задачею є отримання поля опорних точок, або тест-об'єкта, щоб можна застосувати звичайну в фотограмметрії інтерполяційну модель усунення геометричних спотворень. Перетворення координат виконується за інтерполяційними формулами, отриманими з фізично обґрунтованої моделі геометричних спотворень. Як правило, опорні точки повинні більш-менш рівномірно покривати досліджувані зображення, хоча іноді рекомендується згущувати їх в місцях максимальних спотворень. Характер геометричних спотворень визначає топологію мережі опорних точок. Наприклад, при координатних зсувах у принципі досить ідентифікації одного фрагмента з опорними точками, при зсувах і поворотах - двох-, при афінних перетвореннях - трьох і т.д. Слід зазначити, що при високочастотних геометричних спотвореннях (наприклад, обумовлених нерівномірністю швидкості сканування) приходиться досліджувати все поле зображення і для кожного з них знаходити "аналог" на суміщуваному зображенні.

Відновлення функцій геометричного перетворення за деяким набором пар дискретних значень є загальною задачею відновлення безперервної функції, заданої на деякій множині дискретних точок, і тут можливі різні варіанти обробки. У практичній роботі, однак,

обмежуються двома варіантами: для “сильних” геометричних спотворень – представлення функцій у вигляді кінцевого ряду з оцінюванням коефіцієнтів розкладання [2], для “слабких” – лінійна апроксимація.

Абсолютно коректна компенсація амплітудних спотворень можлива тільки при заданому вигляді функцій F_l . В протилежному випадку приходиться використовувати евристичні алгоритми, що базуються на різного роду допущеннях про характер поведінки F_l .

Припущення про монотонність і незалежність функції від координат (при безперервних значеннях g) є достатнім для однозначного відновлення функції F_l за їх однойменними розподілами, які можна одержати тільки при N_x і $N_y \rightarrow \infty$. Квантування зображень g і M за щільністю вимагає ще й умови перетворюваності всіх квантованих значень M в непересічні квантовані значення $F_l(M)$.

Усі перераховані вище процедури приводять до суміщення окремих зображень з точністю до кроку квантування за координатами. Для компенсації дробових зміщень необхідні припущення щодо характеру поведінки фону між дискретними відліками. Визначення дробових зміщень можливе при спільній обробці серії РЕМ-зображень і обліку крос-і автокореляційних функцій таких зображень [1].

У РЕМ-фотограмметрії однією з найбільш важко враховуваних причин є дрейф електронного зонда при скануванні поверхні мікрооб'єкту, що також призводить до дисторсійних спотворень РЕМ-зображень. За винятком [3], в літературі немає детального аналізу цього виду спотворень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковується розв'язання цієї проблеми. Продовжуючи започатковані в [4,5] дослідження та аналізуючи публікації [3,6], можна зробити висновок, що в сучасних умовах в технології мікроелектроніки і інших областях особливу актуальність мають проблеми кількісних вимірювань з допомогою електронних мікроскопів, які є основними приладами, що використовуються для цих цілей [7]. Точність і достовірність кількісної інтерпретації досліджуваних мікрооб'єктів визначається головним чином врахуванням геометричних (дисторсійних) спотворень. Застосування в електронній мікроскопії добротного розроблених і всебічно досліджених методик фотограмметричного визначення дисторсії надзвичайно обмежене. Тому потрібна розробка нетрадиційних з фотограмметричної точки зору методів калібрування електронних мікроскопів.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Дослідження виконувалися в рамках міжнародної угоди про співробітництво INTAS 97-31864.

Проект “Основи backscattered електронів 3-D реконструкції поверхневої топографії і мікротомографії в РЕМ”.

Учасники проекту:

- 1) University College London, Department of Anatomy and Developmental Biology (Англія);
- 2) Universitat Munster, Physikalisches Institut, Лабораторія електронної мікроскопії (Німеччина);
- 3) Technische Universitat Wien, Institut Angewandte und Technische Physik (Австрія);
- 4) Московський державний університет, відділ фізики, лабораторія електронної мікроскопії і мікротомографії (Росія);
- 5) Волинський державний університет (Україна).

Виклад основного матеріалу.

Припустимо, що здійснюється сканування наступним чином: спочатку зонд робить n кроків довжиною δx по рядку (вздовж осі X). Потім зонд повертається у вихідне положення і здійснює перехід на новий рядок, що віддалений від попереднього на δy . Цей цикл операцій

повторюється m разів у відповідності до числа рядків. В ідеальному випадку РЕМ- зображення можна записати як растр:

$$\begin{aligned} x &= i \cdot \delta x; \quad (i = 1, \dots, n) \\ y &= j \cdot \delta y \quad (j = 1, \dots, m), \\ z &= f(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

де $\delta x, \delta y$ – кроки сканування по X і Y відповідно; i – номер кроку по x ; j – номер рядка по Y . Фактично в РЕМ скануючий зонд має дрейф положення по осях X і Y (рис.1). Нехай дрейф здійснюється зі швидкостями α', β' , які на проміжку часу, сумірному з

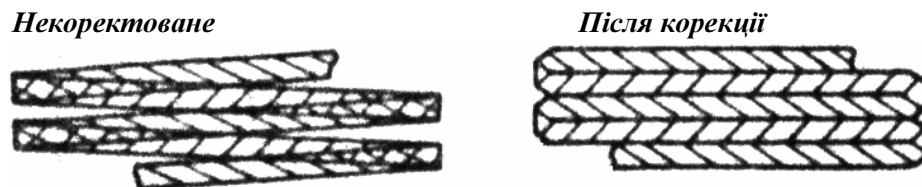


Рис.1. Схема дисторсії РЕМ-зображення через дрейф електронного зонда.

тривалістю знімання РЕМ-зображення, можна вважати постійним по осі X . В такому випадку спотворення координат РЕМ-зображень описується системою рівнянь [3,8]:

$$\begin{aligned} \tilde{x} &= x_c + x + \frac{\alpha'}{W} y + \frac{\alpha'}{V} x; \\ \tilde{y} &= y_c + y + \frac{\beta'}{W} y + \frac{\beta'}{V} x, \\ \tilde{z} &= z_c + z + \frac{\gamma'}{W} y + \frac{\gamma'}{V} x, \end{aligned} \quad (4)$$

де $V = \delta x / t_x$ – швидкість руху у рядку; $W = \delta y / t_y$ – швидкість руху по рядках.

Враховуючи, що $\delta x \approx \delta y$, а $t_y \gg t_x$ і $W \ll V$ наближено лінійне спотворення має

вигляд:

$$\tilde{x} = x_c + x + \alpha y; \quad \tilde{y} = y_c + y + \beta y, \quad (5)$$

де $\alpha = \alpha' / W$, $\beta = \beta' / V$ – відносні швидкості дрейфу.

В матричній формі рівняння (5) можна записати так:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha \\ 0 & 1 + \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Отже, вплив дрейфу при лінійному скануванні зводиться до лінійного спотворення всередині зображення (6) і паралельному зсуву зображень на вектор (x_c, y_c) .

Незважаючи на простоту спотворень (4), параметри дрейфу дуже важко визначити і практично в РЕМ цей вид спотворень не враховується. Проте, визначення параметрів дрейфу можливе, якщо припустити, що наперед відомі текстурні властивості РЕМ-зображення або здійснюється одночасний аналіз серії РЕМ-зображень.

I. Визначення дисторсії за тест-об'єктом. Вперше ідея цього методу без доведень була запропонована в роботі [3]. Нехай зображення має періодичну структуру, повернуту на кут φ відносно напрямку сканування. Таким чином, ідеальна вихідна структура піддається лінійному перетворенню, що складається з повороту на кут φ і лінійного спотворення (6) внаслідок дрейфу:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = R(\varphi) \cdot T(\alpha, \beta) \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, \quad (7)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \alpha \\ 0 & 1 + \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Відповідно спотворене РЕМ-зображення буде мати вигляд:

$$z = f(x(x', y'), y(x', y')). \quad (9)$$

Припустимо, що досліджується ідеальна вихідна структура — гексагональна. Таку структуру має, наприклад, високо орієнтований піролітичний графіт (рис.2). Дослідження здійснюється на основі просторово-частотного Фур'є-аналізу. Відомо, що перетворення Фур'є-перетворення ідеального зображення гексагональної структури має піки на частотній системі координат (u, v) в точках [9]:

$$\begin{cases} u_k = a \cos\left(\frac{\pi}{3} k\right); \\ v_k = a \sin\left(\frac{\pi}{3} k\right), \end{cases} \quad (10)$$

де $k=0,1,\dots,5$; a — характерний розмір структури.

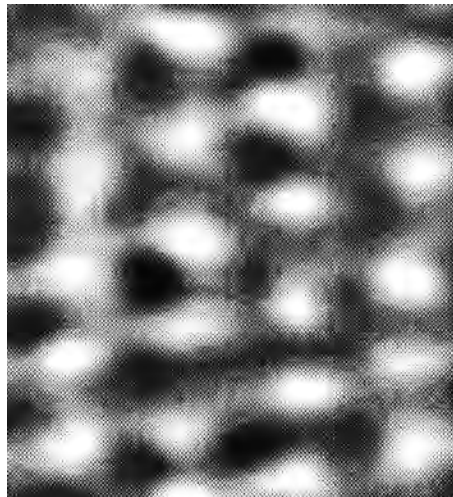


Рис.2. СТМ-мікрофотографія пірографіту.

Частоти піків лінійно-спотвореного зображення знайдемо так:

$$\begin{bmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \alpha \cos \varphi - (1 + \beta) \sin \varphi & \alpha \sin \varphi + (1 + \beta) \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \cos\left(\frac{\pi}{3} k\right) \\ a \sin\left(\frac{\pi}{3} k\right) \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Після нескладних перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_k &= a \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} k - \varphi\right); \\ \tilde{v}_k &= a(1 + \beta) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} k - \varphi\right) + a\alpha \cos\left(\frac{\pi}{3} k - \varphi\right); \\ k &= 0, 1, \dots, 5. \end{aligned} \quad (12)$$

Частоти $(\tilde{u}_k, \tilde{v}_k)$, на яких Фур'є-перетворення має піки, можуть бути фізично поміряні [9]. Тоді залежності (12) при $k=0,1,\dots,5$ можна розглядати як систему рівнянь для визначення геометричних параметрів структури a, φ і параметрів дрейфу α, β . Рішення доцільно розв'язувати за МНК в два етапи: спочатку визначити a і φ , а потім α і β . Із системи рівнянь для \tilde{u}_k отримується α і φ :

$$a = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{k=0}^5 \tilde{u}_k^2}; \quad \varphi = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^5 \left[\arccos(\tilde{u}_k/a) - \frac{\pi}{3}k \right]. \quad (13)$$

При відомих a і φ параметри дрейфу α і β можуть бути одержані за МНК із рівнянь (13) для \tilde{v}_k :

$$F = \sum (\tilde{v}_k - v_k)^{\alpha, \beta} \rightarrow \min. \quad (14)$$

Або
$$A \cdot \alpha + B \cdot \beta + L = V, \quad (15)$$

де
$$A = a \cos\left(\frac{\pi}{3}k - \varphi\right), \quad B = +a \sin\left(\frac{\pi}{3}k - \varphi\right), \quad L = \tilde{v}_k.$$

Із врахуванням того, що для гексагональної структури $\sum_{k=0}^5 \cos^2\left(\frac{\pi}{3}k\right) = 3$ і неквадратичні коефіцієнти нормальних рівнянь поправок (15) дорівнюють нулю, маємо

$$\alpha = \frac{\sum_{k=0}^5 AL}{\sum_{k=0}^5 AA}; \quad \beta = -\frac{\sum_{k=0}^5 BL}{\sum_{k=0}^5 BB} - 1. \quad (16)$$

Або

$$\alpha = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^5 \frac{\tilde{v}_k}{a} \cos\left(\frac{\pi}{3}k - \varphi\right); \quad \beta = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^5 \frac{\tilde{v}_k}{a} \sin\left(\frac{\pi}{3}k - \varphi\right) - 1. \quad (17)$$

Таким чином, за поміряними частотами піків спектру $(\tilde{u}_k, \tilde{v}_k)$ спотвореного РЕМ-зображення відомої періодичної гексагональної структури можна визначити параметри дрейфу α, β . Аналогічні формули можуть бути отримані і для інших періодичних структур, штучно створених за напівпровідниковими технологіями.

II. Визначення дисторсії за серією РЕМ-зображень. Найбільш простий спосіб визначення швидкості дрейфу базується на оцінці зміщень зображень відносно один одного в серії зображень. Дійсно, якщо є серія зображень із вектором зміщення початкової точки сканування, то згідно (4) і (6) легко визначається швидкість сканування $\alpha' = x_c/\tau$, $\beta' = y_c/\tau$, $\gamma' = z_c/\tau$. При цьому певну складність представляє визначення вектора зміщення зображень.

Для простоти припустимо, що маємо два зображення. Необхідно встановити, чи є в цих зображеннях загальна частина, і в результаті яких зміщень зображень вони можуть бути отримані. Здійснити це можна за допомогою визначення максимуму кроссо-кореляційної матриці, яка для кожного вектра зміщення одного зображення відносно іншого визначає коефіцієнт кореляції їх загальної частини. Якщо коефіцієнт кореляції перевершує деякий поріг, то можна вважати, що зображення має загальну частину, а максимальний елемент матриці крос-кореляції відповідає зміщенню зображень відносно один одного.

Нехай $f_{ij}, g_{ij} (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m)$ – матриці, що визначають РЕМ-поверхню. Для зміщення на (u, v) в перший квадрант маємо наступні алгоритми визначення елементів крос-кореляційної матриці, які включають обчислення за загально прийнятою методикою математичного очікування, дисперсії, коваріації:

$$R_{fg}(u, v) = \frac{\delta_{fg}}{\delta_f \delta_g}, \quad (18)$$

де

$$\delta_{fg} = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^{n-u, m-v} f_{ij} g_{i+u, j+v} - \bar{f}\bar{g}; \quad \delta_f^2 = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^{n-u, m-v} f_{ij}^2 - \bar{f}^2, \quad \delta_g^2 = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^{n-u, m-v} g_{ij}^2 - \bar{g}^2;$$

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^{n-u, m-v} f_{ij}; \quad \bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^{n-u, m-v} g_{i+u, j+v}; \quad N = (n-u)(m-v).$$

Для текстурних РЕМ-досліджень неперервні функції f_{ij} і g_{ij} доцільно апроксимувати у вигляді суми рядів симетричних сферичних функцій $K_l^m(\alpha, \beta)$ [10]:

$$f(\alpha, \beta) = \sum_{l,m} C_l^m K_l^m(\alpha, \beta), \quad (19)$$

де C_l^m – коефіцієнти розкладу.

В матричному вигляді рівняння, що зв'язує коефіцієнти розкладу з вимірюваними значеннями, записуються наступним чином:

$$Ac + v = f, \quad (20)$$

де A – матриця системи; c – вектор коефіцієнтів C_l^m ; f – вектор вимірних значень f ; v – випадковий вектор помилок.

Розв'язок системи (20) стандартним методом найменших квадратів в більшості випадків неможливо через погану обумовленість матриці A .

Покращення обумовленості шляхом зменшення кількості невідомих коефіцієнтів C_l^m хоч і дещо покращує обумовленість матриці A , проте призводить до виникнення систематичної помилки, пов'язаної із скороченням ряду.

Для отримання однозначного рішення приймемо, що серед всіх функцій, що проходять через експериментальні значення, шукана функція найбільш гладка. Будемо оцінювати гладкість рішення квадратичної форми $s = c^T Q c$, де Q – квадратна матриця, явний вигляд якої залежить від обраного критерію гладкості і обговорюється нижче [11]. У відповідності з методом регуляризації за Тихоновим [12], зі всієї множини рішень рівняння (20) будемо вибирати найбільш гладке, залишаючи при цьому обмеженою величину $v^T v$, яка характеризує дисперсію шуму. Таке рішення має вигляд [13]:

$$c_{\alpha} = (A^T A + \alpha Q)^{-1} A^T f, \quad (21)$$

де α – параметр регуляризації.

Мірою гладкості може служити функціонал першого порядку – середня величина скалярного квадрату градієнта текстурної функції

$$s = \frac{1}{4\pi} \int_V \nabla f(g) \nabla f(g) dg. \quad (22)$$

З теореми Гріна виходить співвідношення

$$\int_V \nabla f(g) \nabla f(g) dg + \int_V f(g) \nabla^2 f(g) dg = \int_S d\vec{s} [f(g) \nabla f(g)]. \quad (23)$$

Поверхневий інтеграл в правій частині виразу (23) дорівнює нулю, тому що $\nabla f(g)$ перпендикулярний до вектора $d\vec{s}$ на границі елементарної області орієнтованого простору внаслідок симетрії апроксимуючої функції. Отже,

$$s = -\frac{1}{4\pi} \int_V f(g) \nabla^2 f(g) dg. \quad (24)$$

Для сферичних функцій справедлива рівність

$$\nabla^2 K_l^m(g) = -l(l+1)K_l^m(g). \quad (25)$$

Враховуючи цю обставину та ортогональність сферичних функцій, остаточно отримаємо:

$$s = \frac{1}{4\pi} \sum_{l,m} l(l+1) (C_l^m)^2. \quad (26)$$

Таким чином, матриця Q діагональна з елементами $g_{ij} = l(l+1)/4\pi$.

Експериментальна перевірка. Експериментальна перевірка запропонованого методу здійснювалася в лабораторії електронної мікроскопії МДУ ім. М.В.Ломоносова в рамках INTAS-проекту 97-31864. Досліджувалися РЕМ-зображення спектрів високо орієнтованого піролітичного графіту (рис. 2).

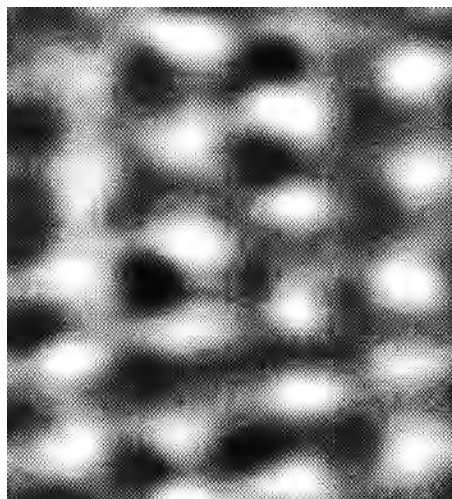


Рис.2. СТМ-мікрофотографія пірографіту.

Відповідно до формул (18) і (19) отримані наступні параметри дрейфу:

$$\alpha = 0.012 \text{ нм/с}, \quad \beta = -0.035 \text{ нм/с}$$

Для сучасних нанометрових досліджень такі спотворення є значними.

Висновки. Для високоточних РЕМ-досліджень на мікронному та субмікронному рівнях необхідна корекція дрейфу електронного зонда.

Можливі два шляхи корекції:

Фур'є – перетворення тестових структур. Доцільна цілеспрямована розробка спеціальних періодичних тестових об'єктів.

Спектрально-кореляційним аналізом серії РЕМ-зображень.

Обидва підходи можна розглядати як доповнюючі один одного.

Рекомендації. Для однозначних рекомендацій необхідні ґрунтовні експериментальні дослідження для різних типів РЕМ, різних схем та швидкостей сканування. В цьому плані запропоновані нами методи є ефективними і перспективними.

1. Вариченко Л.В., Раков М.А., Томин Ю.А. Математические модели и архитектура систем обработки аэрокосмических данных дистанционного зондирования // *Косм. наука и техника*. – 1990. – Вып.5. – С. 56-62.
2. Головчин В.Р. Цифровые методы коррекции геометрических искажений аэрокосмических снимков // *Тр. Гос. н.-иссл. центра изуч. природных ресурсов*. – 1990. – №36. – С.10-38.
3. Zdanovich V.V., Klokov V.I., Lakunin A.V., Romanenko A.J. *Solid Surface Image Processing // LSPIC-90. Riga*. – V.2. – P.363-367.
4. В.Н.Мельник, В.Н.Соколов, М.П.Шебастинов, О.М.Иванчук. Анализ погрешностей стереоизмерений в растровой электронной микроскопии // *Изв. АН СССР. Сер. физ.* – 1997. – №3. – С.468-474.
5. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Мельник В.Н. Анализ РЭМ-стереоизображений. *Изв. АН. Сер.физич.*, 1996. – Т.60. – №2. – С.55-64.
6. Соколов В.Н., Мельник В.Н., Юрковец Д.И. Анализ геометрической коррекции цифровых РЭМ-изображений // *XVIII Российская конф. по электронной микроскопии. Черногловка, 2000*. – С.141-142.
7. Д.М.Устинин. Анализ параметров наноструктур методом морфологического анализа изображений // *XIII Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии. Черногловка, 2003*. – С.109.
8. Б.Н.Радионосов. Динамическая фотограмметрия. – М.:Недра, 1983. – 311 с.
9. Гоулдетейн Дж., Ньюберн Д., Ёчлин П. *Растровая электронная микроскопия и рентгеновский анализ. В 2-х кн. Пер. с англ.* – М.: Мир, 1984. – 303 с.
10. Bunde H.J. *Nathematische Methoden der Textur analyse*. – Berlin: Academie Verlag, 1969. – 325 с.
11. В.Н.Мельник, В.Н.Соколов. О регуляризирующем построении по РЭМ-изображениям ЦММР // *XVI Российская конференция по электрон. микроскопии. Черногловка, 1996*. – С.33-34.
12. А.Н.Тихонов., В.Я.Арсенин. *Методы решения некорректных задач*. –М.: Наука, 1986. – 287 с.
13. А.Н.Василенко. *Теория восстановления сигналов*. – М.: Советское радио, 1979. – 270 с. *К теории дисторсионных искажений РЭМ-изображений*

УДК 528.29

І.Василиха

Національний університет «Львівська політехніка»

ОСОБЛИВОСТИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТИПІВ РЕЛЬЄФУ

© Василиха І., 2007

Рассмотрены вопросы цифрового моделирования рельефа сложного типа. Предложено использовать комбинацию методов математического моделирования рельефа.

Questions of digital modeling of relief of difficult type are considered. It is suggested to use combination of methods of mathematical relief modeling.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сучасні методи комп'ютерного опрацювання інформації базуються на створенні цифрових моделей рельєфу, які є основою для ГІС і є пріоритетними для вирішення цілої низки наукових та народно-господарських завдань.

Комплекс програм на ЕОМ розв'язує задачу формування цифрових моделей рельєфу (ЦМР) і представлення результатів. ЦМР дозволяє швидко отримати топографічну інформацію на конкретну територію і визначити за нею похідні характеристики: розподіл освітлених і затінених схилів, величин нахилів схилів, виділення меж зон тіней, зон видноти.