

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В Х-ПРОМЕНЕВІЙ ТОПОГРАФІЇ

Розроблено програмне забезпечення за назвою "X-Ray_Image" для цифрової обробки зображень у Х-променевої топографії, яке складається з кількох взаємодоповнюючих за функціональним призначенням програм. В програмі за назвою "Fon_Minus" для підвищення якості дифракційного чорно-білого зображення реалізовано модифікований метод віднімання середнього фону. Програма "Line_Profile" призначена для побудови та зчитування профілів інтенсивності з чорно-білих топографічних зображень дефектів, ліній. Продемонстровано ефективність пакета цифрової обробки топографічних розподілів інтенсивності розсіяння Х-променів.

"X-Ray_Image" software consisted of a few functionally complimented programs has been developed for the digital image processing in the X-ray topography. To enhance the visual quality of diffraction black-white image the modified method of middle background deleting is realized in the "Fon_Minus" program. The "Line_Profile" program is intended to construction and reading of intensity profiles from the black-white topographical images of defects and line. A number of examples showed the efficiency of developed software for digital treatment of X-ray scattered intensity on the topographical patterns.

Вступ

При багатьох фізичних дослідженнях важливого значення набуває автоматизація процесу обробки експериментальних даних, наприклад – автоматизована цифрова обробка дифракційних і муарових зображень на Х-променевої топограмах. Така обробка дозволяє отримати більш достовірну і повну інформацію про ступінь і характер спотворень реальної структури кристалічних матеріалів [1].

Однією з основних задач Х-променевої топографії є достовірна ідентифікація дифракційних зображень різнотипних дефектів (мікрровключень, дислокацій та ін.). На практиці, як правило, це відбувається внаслідок зіставлення експериментальних зображень із розрахованими на основі теорії динамічного розсіяння Х-променів [2]. При цьому виникає проблема, пов'язана з тим, що теорія формування дифракційних зображень дефектів у реальних кристалах до кінця ще не створена, а на їх експериментальні зображення впливає багато факторів, які значно ускладнюють однозначність трактування. Внаслідок цього, не завжди вдається виявити всю ту інформацію, що є на топограмах і, яка частково втрачається при обробці фотоматеріалів обмеженої роздільної

здатності.

Прецизійність, інформативність і ефективність Х-променевої методів визначення ступеня структурної досконалості реальних кристалів значно зростає, якщо для кількісного аналізу розподілу інтенсивності використати методи цифрової обробки з відповідним математичним і програмним забезпеченням. Це дає змогу більш повно зіставляти експериментальні та теоретичні дані і, відповідно, з більшою точністю знаходити кількісні параметри, що характеризують напружений стан кристала: величину і напрямок переважної деформації (компоненти тензора деформацій), тип дефектів і характер зміни їх деформаційного поля, параметри невідповідності ґраток гетероструктур, густину дислокацій та ін. При цьому можна виділити такі задачі цифрової обробки зображень: поліпшення візуальної якості зображення (видалення фону, оптимізація контрасту) та зчитування з топограм довільного формату (за шириною та кутовим розподілом) одновимірних профілів інтенсивності.

В даній роботі демонструється програмне забезпечення за назвою "X-Ray_Image" для цифрової обробки зображень у Х-променевої топографії, яке складається з кількох взаємодоповнюючих за

функціональним призначенням програм. При цьому значна увага приділена вибору методу видалення фону. Виділені основні етапи обробки експериментальних зображень, до яких належать: збільшення контрасту, видалення фонові неоднорідності, а також зчитування профілів розподілу інтенсивності. Важливою задачею є також розробка програмного забезпечення для реалізації вказаних методів цифрової обробки зображень.

В програмі за назвою "Fon_Minus" для підвищення якості дифракційного чорно-білого зображення реалізовано модифікований метод віднімання середнього фону. Програма "Line_Profile" призначена для побудови та зчитування профілів інтенсивності з чорно-білих топографічних зображень дефектів, ліній за 256 градаціями сірого кольору.

Програмне забезпечення розроблено у C++ Builder 5.

Методи видалення фону зображення

Проблема віднімання фону зображення на X-топограмах є складною у випадку неоднорідного фону. Існують різні методи обробки експериментальних зображень з високим ступенем фонові неоднорідності [2]. Розглянемо деякі з них.

1. Метод, що ґрунтується на оцінці середнього значення фону в різних областях (блоках) зображення і віднімання його від початкового зображення. Цей метод є найбільш перспективним для обробки зображень із невисокою фонові неоднорідністю. Перевагами його є висока швидкість обробки, відсутність високочастотної фільтрації, яка приводить до підсилення зернистості фотоемульсії. До недоліків методу слід віднести низьку ефективність при обробці зображень з високою фонові неоднорідністю і необхідністю використання малих за розмірами блоків (для отримання задовільних результатів), що приводить до втрати деталей зображення, які повільно змінюються.

2. Метод, що базується на прямій зміні амплітудного спектра зображення шляхом видалення з нього гармонік, амплітуда яких більша деякого значення. Цей метод ефективний для обробки топографічних зображень із досить високою фонові неоднорідністю і великою протяжністю деталей зображення. Особливістю зображень, оброблених даним методом, є присутність спотворень внаслідок явища Гібса. З одного боку це є недоліком, оскільки додаткові деталі заважають аналізу зображення, а з іншого – пере-

вагою, оскільки відбувається підсилення деталей зображення.

3. Методи, в яких використовується високо-частотна фільтрація з попереднім логарифмуванням і експонуванням зображення. Ці методи можуть ефективно використовуватись без попереднього аналізу експериментального контрасту.

Отже, враховуючи особливості названих методів, при створенні програмного забезпечення нами реалізовано перший метод віднімання середнього фону. При цьому, проведена його модифікація з врахуванням особливостей формування дифракційних та інтерференційних зображень на X-променевиx топограмах.

Програмна реалізація поліпшення візуальної якості зображень

Задача поліпшення візуальної якості зображення, реалізована у програмі за назвою "Fon_Minus", складається з двох етапів: видалення фону та оптимізації контрасту зображення. На рис. 1 та рис.2 наведені приклади цифрової обробки зображення ліній Коселя, отриманих від синтезованих кристалів алмазу у CuK_α -випромінюванні [3-5]. Процес видалення фону з дифракційного зображення програмою "Fon_Minus" відбувається за наступною схемою. Початкове топографічне зображення поділяється на блоки певними розмірами. Для кожного блока знаходиться локальне значення фону, яке відповідним чином відображається у вікні зображення "Блоки". На основі цифрових значень фону для блоків знаходиться фон у кожній точці (у вікні зображення "Фон"). При цьому для визначення фону в точці (x,y) враховується значення фону в 9 найближчих блоках

$$F(x, y) = \frac{\sum_{k=1}^n B_k \cdot (L_{\max} - L_k)}{n \cdot L_{\max} - \sum_{i=1}^n L_i}, \quad (1)$$

де $n=9$ – кількість найближчих блоків, B_k – значення фону для k -го блока, L_k – відстань від точки (x, y) до центру k -го блока, L_{\max} – максимальна із відстаней L_k .

Для забезпечення плавної зміни фону між блоками використовується згортка фону блоків із середньоквадратичним відхиленням, значення якого задається у полі введення "Sigma_B", а також згортка фону із середньоквадратичним відхиленням – поле введення "Sigma_F". Результуюче зображення отримується як результат віднімання фону від початкового зображення й оптимізації контрасту.

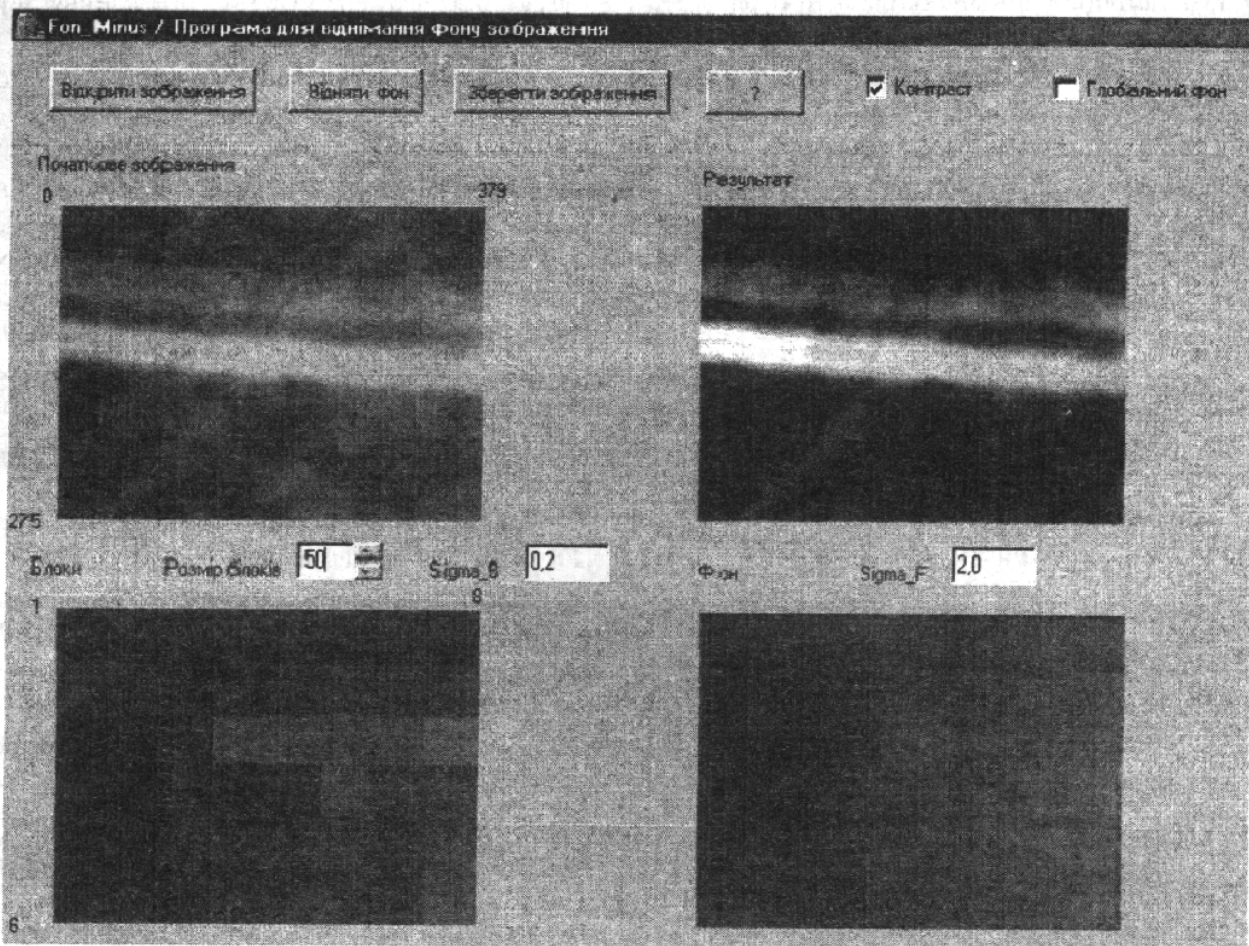


Рис. 1. Поліпшення візуальної якості зображення ліній Коселя в програмі *Fon_Minus*.

Програма зчитування профілів розподілу інтенсивності

Задача зчитування числового розподілу інтенсивності на чорно-білих X-променевих зображеннях реалізована за допомогою програми "Line_Profile" (рис.2). Дана програма дозволяє проводити цифрову обробку в двох режимах – "Маркери" і "Нормаль", – перехід між якими здійснюється у вікні інтерфейсу "Режим".

У режимі "Маркери" профіль інтенсивності чорно-білого контрасту зчитується між двома маркерами, координати яких задаються в полях X_1 , Y_1 для першого маркера, та X_2 , Y_2 – для другого. Маркери можна переміщувати за допомогою клавіш клавіатури комп'ютера або мишкою. Отримані координати профілю зберігаються у текстових файлах з розширенням (*.dat), доступних для багатьох програмних продуктів (наприклад, *Origin 6.0*).

В режимі "Нормаль" лінія на зображенні, яскравість якої більша від значення "Фон", описується поліномом:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (2)$$

Для визначення коефіцієнтів полінома (2) використовується метод найменших квадратів. Тоді у кожній заданій точці на лінії профіль зчитується нормально до напрямку поліному під кутом до осі абсцис

$$\beta = \arctan(a_1 + 2a_2x) + \pi / 2. \quad (3)$$

Програмний розрахунок кута β дозволяє мінімізувати суб'єктивні фактори вибору напрямку профілю. Програма також дозволяє проводити статистичну обробку профілів. Для цього, крім первинного профілю між маркерами, зчитуються додаткові профілі, розміщені симетрично відносно первинного. В залежності від особливостей зображення додаткові профілі паралельно зміщуються відносно первинного або повертаються на певний кут. Результуючий профіль є усередненням усіх профілів, тобто описує розподіл яскравості зображення у прямокутній області або в кутовому секторі. Таке усереднення дозволяє виділити на зображенні деталі з малою інтенсивністю і зменшити рівень шуму.

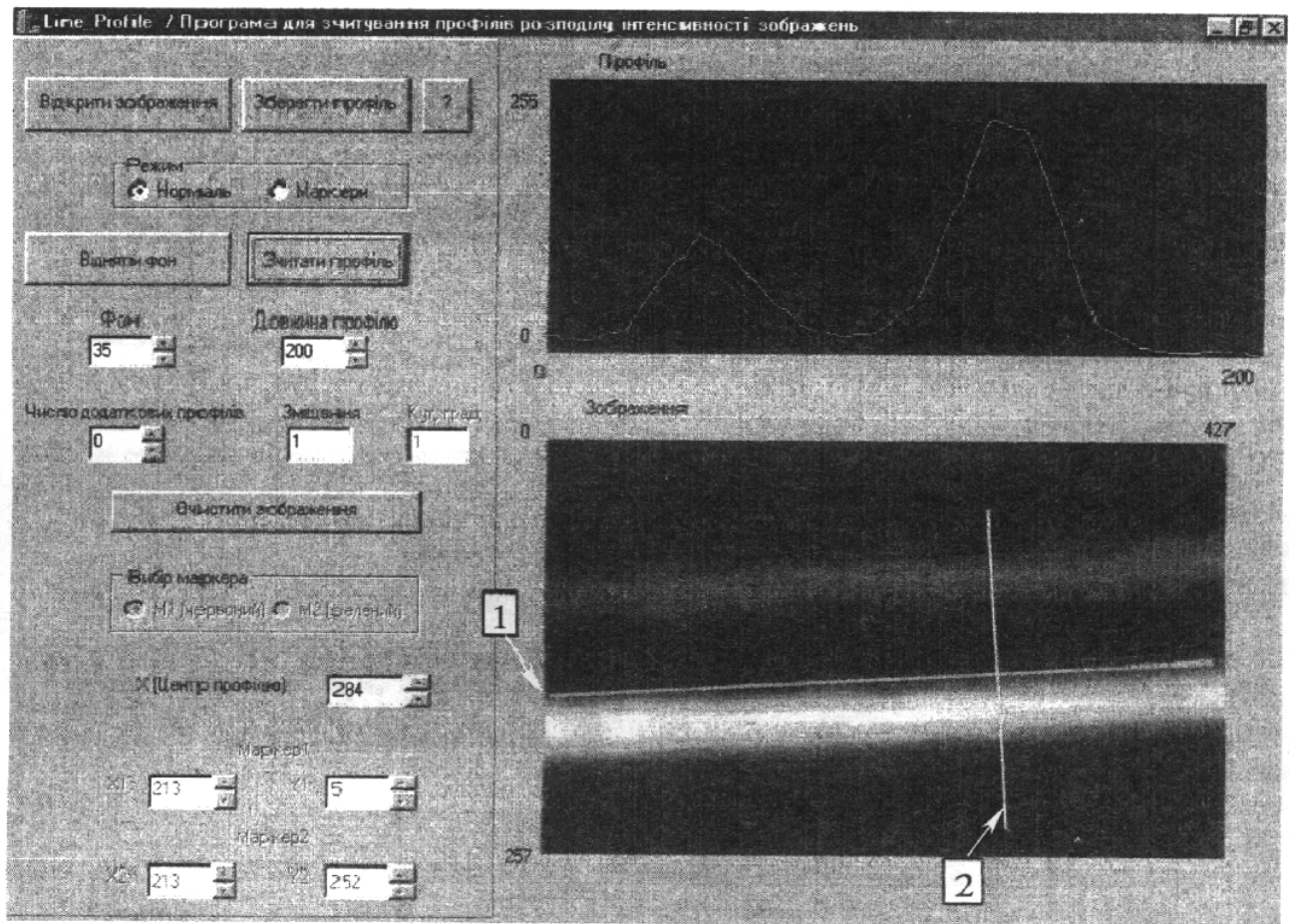


Рис. 2. Зчитування профілю лінії Коселя в програмі *Line_Profile*. 1 – поліном, 2 – профіль лінії.

Обробка експериментальних зображень

Для перевірки ефективності розроблених програм проведена цифрова обробка серії X-променевих зображень.

Розглянемо обробку рентгенограми Al для Cu-випромінювання. Для початкового зображення (рис.3а) характерний низький контраст та неоднорідний фон (значення фону мінімальне в центрі). При відніманні глобального фону і підвищенні контрасту (рис.3б) вдалося видалити фон у центрі зображення, проте на краях рівень фону залишився значним. Тільки у випадку використання програми *Fon_Minus* (розмір блока 50 пікселів) значення фону мінімізується для всього зображення (рис.3в). Для кожного зображення за допомогою програми *Line_Profile* отримано профіль розподілу інтенсивності (профіль зчитувався між маркерами, які позначені хрестиками).

Розглянемо обробку зображень маятникових смуг (рис.4) – топографічних зображень товщинних осциляцій інтенсивності $\text{CuK}_{\alpha 1}$ -лінії X-променів, дифрагованих на клиноподібній пластинці кремнію від площин (220). На зображенні рис.4 фон попередньо мінімізовано за допомогою програми *Fon_Minus*. Дана програма дозволяє отри-

мати у довільних точках топограми, позначеними маркерами, одновимірні розподіли почорніння чорно-білого дифракційного X-променевого зображення.

На рис.5 зображено муарову картину розподілу інтенсивності у (220) дифрагованому пучку X-променів ($\text{CuK}_{\alpha 1}$ -лінія) після нанесення алмазним індентором пошкодження – подряпини на вихідній поверхні кристала-аналізатора трикристального кремнієвого LLL-інтерферометра [6]. Для розглянутого зображення характерний значний рівень флуктуацій яскравості, проте завдяки статистичній обробці профілів вдалося зменшити рівень шуму, визначити амплітуду і півширину досить слабких осциляцій інтенсивності почорніння топограми (використано усереднення для 20 додаткових профілів).

Для кожного зображення проведено зчитування двох профілів за допомогою програми *Line_Profile*. В результаті згладжування експериментальних профілів (з метою зменшення рівня шумів) отримано усереднені профілі, на яких чітко видно осциляції інтенсивності. Подальша цифрова обробка дозволяє визначити період осциляцій та інші параметри маятникових смуг.

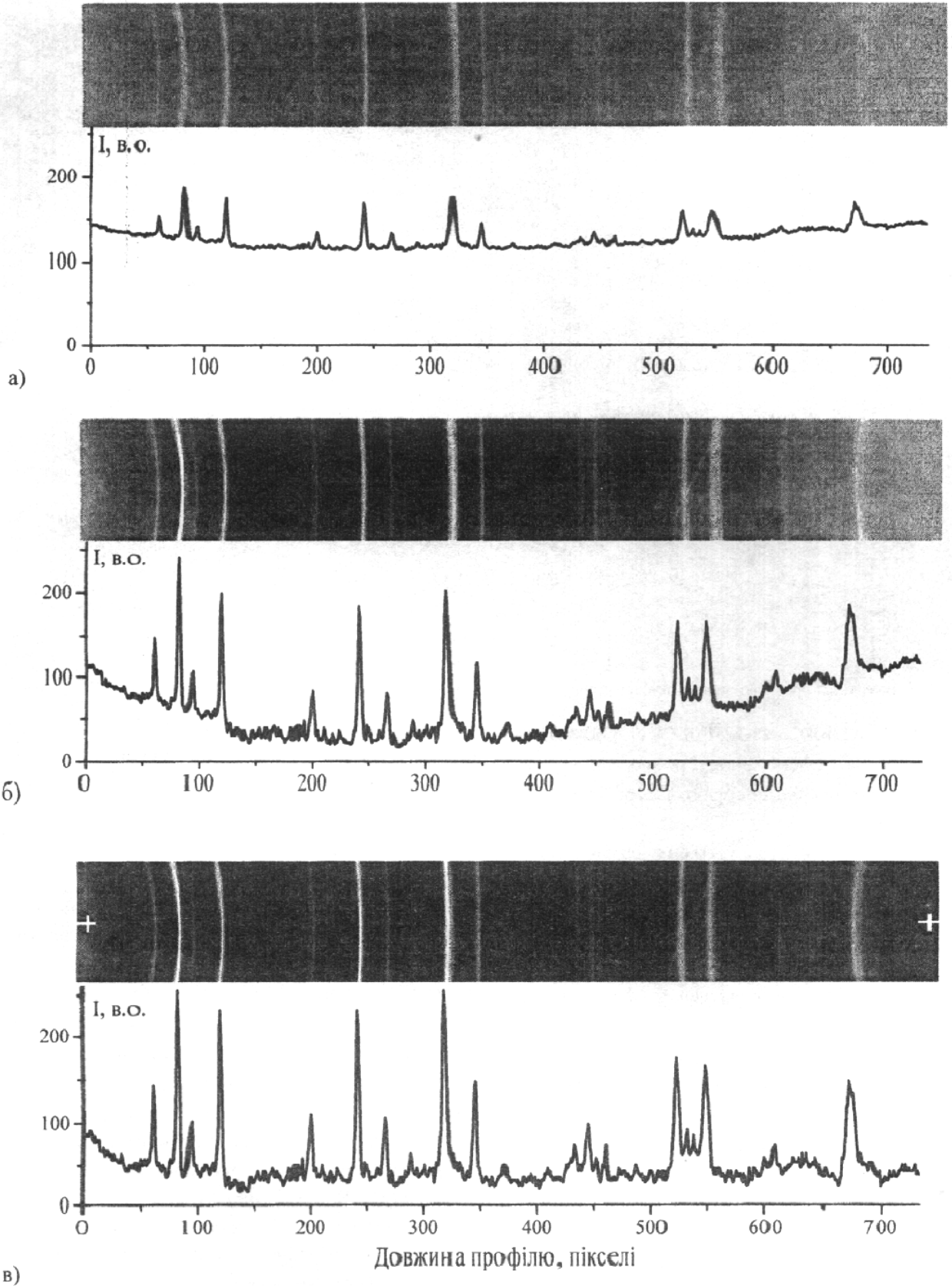


Рис. 3. Рентгенограми Al у Si-випромінюванні та їх профілі: початкове зображення (а), зображення після віднімання глобального фону (б), зображення після віднімання локального фону (в).

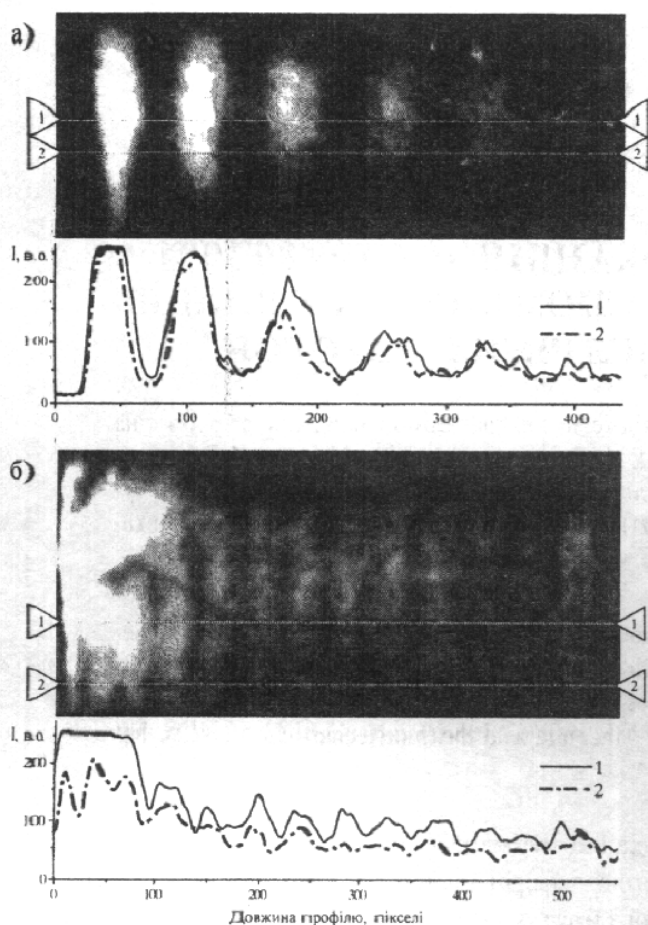


Рис. 4. Маятникові смуги для Si (220) $\text{CuK}_{\alpha 1}$ -випромінювання та їх профілі почорніння зображення між відповідними маркерами.

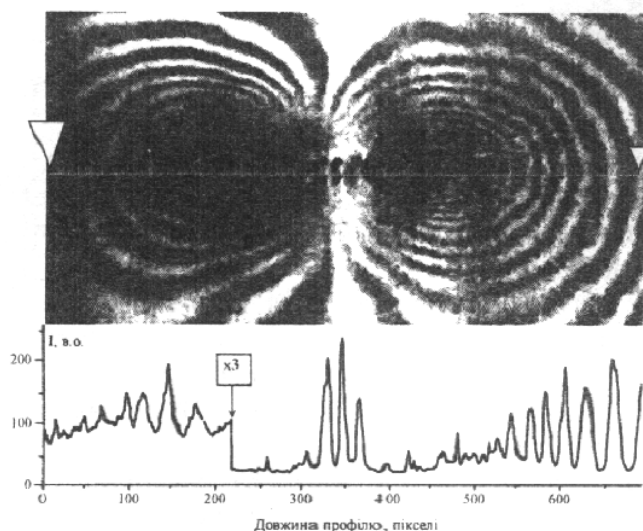


Рис. 5. Муарова картина та профілі розподілу інтенсивності після віднімання фону у випадку подряпини алмазним індентором кристала-аналізатора кремнієвого трикристального LLL -інтерферометра, відбивання (220), $\text{CuK}_{\alpha 1}$ -випромінювання [6].

Висновки

Цифрова обробка X-променевої топографічних зображень дозволяє значно підвищити їх інформативність, а також проводити кількісний аналіз різних параметрів зображень. Розглянуто

такі етапи обробки експериментальних зображень: видалення фону, підвищення контрасту та зчитування профілю.

У даній роботі аналізується програмний пакет *X-Ray Image* для цифрової обробки зображень у X-променевої топографії. Програма *Fon_Minus* розробленого пакету дозволяє проводити поліпшення візуальної якості зображення (видалення фону, оптимізацію контрасту), а програма *Line_Profile* призначена для зчитування профілів розподілу інтенсивності. Для створення програм використано *C++ Builder 5*.

В результаті аналізу існуючих методів віднімання фону для програмної реалізації вибрано метод віднімання середнього фону, модифікований відповідно до особливостей X-променевої зображень. В реалізованому методі визначається не тільки глобальний, але й локальні значення фону, що дозволяє обробляти зображення з високою фоновою неоднорідністю. При зчитуванні профілів розподілу інтенсивності можливий опис лінії на зображенні поліномом, що дозволяє автоматично визначати напрям профілю у кожній заданій точці (нормальний до полінома). Отже, зменшується вплив суб'єктивних факторів на вибір напрямку профілю, що особливо важливо при аналізі серії профілів. Статистична обробка набору профілів дозволяє значно зменшити рівень шуму на результуючому профілі.

Обробка тестових зображень показала високу ефективність пакета.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. — М.: Мир, 1989.
2. Дроздов Ю.А., Окунев А.О., Ткаль В.А. Компьютерная обработка рентгенографических изображений дефектов структуры монокристаллов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2002. — №8. — С.6-11.
3. Ткач В.Н., Вишневикий А.С. Измерение профиля интенсивности линий Коселя // Сверхтвердые материалы. — 1992. — №3. — С.10-13.
4. Tkach V.N. Precision studies of synthetic diamonds using Kossel's method // Diamond and Related Materials. — 1993. — No. 3. — P.112-115.
5. Ткач М.В., Гаранський М.Д., Фодчук І.М., Борча М.Д., Михальов І.В., Штемплук Д.О. Визначення структурної досконалості синтезованих кристалів алмазу // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 30: Фізика. — Чернівці: ЧДУ, 1998. — С.104-108.
6. Гаранский Н.Д., Шафранюк В.П., Фодчук И.М. Рентгеноинтерферометрическое изображение полей деформаций вокруг дислокационных скоплений // Металлофизика. — 1985. — 7, №5. — С.63-67.