

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Баловсяк Сергій Васильович

УДК 004.932; 621.391

ДИСЕРТАЦІЯ
БАГАТОРІВНЕВІ МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ
ЕЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦІЙНИХ ТА X-ПРОМЕНЕВИХ СИГНАЛІВ У
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ
СИСТЕМАХ

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С. В. Баловсяк

Науковий консультант:
Фодчук Ігор Михайлович,
доктор фіз.-мат. наук, професор

Чернівці – 2019

АНОТАЦІЯ

Баловсяк С. В. Багаторівневі методи оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – "Комп'ютерні системи та компоненти". – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

Дисертаційну роботу присвячено теоретичному узагальненню багаторівневих методів аналізу сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах (КІВС), що дозволило одержати нове рішення важливої науково-технічної проблеми підвищення точності та швидкодії оброблення електронно-дифракційних і X-променевих сигналів.

Роль цифрового оброблення сигналів у сучасному світі стрімко зростає, при цьому оброблення зображень виділяється в окремий напрямок вимірювальної техніки – «відеовимірювання». Цифрове оброблення сигналів знаходить широке використання в промисловості, наукових дослідженнях, медицині та побуті. Особливо важливу роль відіграє оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у КІВС.

Прикладна науково-технічна проблема полягає в тому, що існуючі однорівневі методи цифрового оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у більшості випадків не забезпечують потрібної точності та швидкодії. Тому існує потреба в розробленні багаторівневих методів і засобів аналізу, оброблення та синтезу електронно-дифракційних і X-променевих сигналів у КІВС.

Для вирішення вищевказаної проблеми запропоновано концепцію багаторівневого підходу до оброблення експериментальних сигналів, яка полягає в обчисленні й аналізі додаткових рівнів сигналів, комплексному їх обробленню множиною взаємозв'язаних методів, що забезпечує підвищення швидкодії або точності розроблених методів на порядок.

Розроблено і програмно реалізовано комплекс методів для поетапного оброблення електронно-дифракційних зображень (зображень смуг Кікучі) у КІВС на базі електронних мікроскопів, комплекси методів для оброблення X-променевих сигналів у КІВС на базі X-променевих дифрактометрів; розроблено структуру, апаратне і програмне забезпечення КІВС на базі X-променевих дифрактометрів ДРОН-3М та ДРОН-4.

Розроблено теоретичні основи та метод для аналізу і синтезу профілів розподілу інтенсивності експериментальних зображень, характерною особливістю якого є використання кінчних перерізів як обвідних серії профілів і обчислення усереднених (синтезованих) профілів на основі їх серії, що дозволяє на порядок підвищити точність визначення просторових параметрів для усереднених профілів. Залежно від експериментальних умов отримання сигналів як обвідні використано відрізки прямих, дуги кіл та еліпсів, гіперболи і параболи. Наприклад, для зображень смуг Кікучі як обвідні профілів використано гіперболи. Розроблений метод реалізує режим класифікації, в якому формування усередненого профілю виконується тільки на основі найменш спотворених профілів серії. Показано, що коректне усереднення серії з Q профілів у \sqrt{Q} разів зменшує рівень шуму.

Вперше запропоновано високоточні методи та реалізовано апаратно-програмні засоби для багаторівневої інтерполяції одновимірних і двовимірних сигналів, в яких інтерпольовані сигнали складаються з суми коректованої та узгоджувальної функцій. Коректована функція обчислюється з використанням згортки з ядром фільтра Гауса кускових поліноміальних функцій (сплайнів), зокрема, лінійних або кубічних, а узгоджувальна функція забезпечує проходження сумарного інтерпольованого сигналу через вузли

інтерполяції. Розроблені методи дозволяють при мінімальній похибці інтерполяції підвищити роздільну здатність експериментальних сигналів, наприклад, X-променевих. При обробленні електронно-дифракційних зображень корінь середньої квадратичної похибки (КСКП) розробленого методу інтерполяції, порівняно з аналогами, у середньому на 16% менший.

Розроблено новий швидкодійний метод підвищення локального контрасту і видалення неоднорідного фону зображень, який використовує значення обвідних мінімальних та максимальних значень сигналу в межах локальних вікон, що обчислюються шляхом апроксимації з використанням кубічних поліноміальних функцій, а також корекцію обвідних сигналів, отриманих для різних розмірів локальних вікон зображення. Встановлено, що корекція обвідних дозволяє збільшувати локальний контраст зображень (до 8 разів) без появи помітних артефактів і забезпечує значне підвищення візуальної якості відновлених зображень, особливо у випадку оброблення X-променевих медичних та електронно-мікроскопічних зображень.

Уперше запропоновано математичну модель та метод адаптивної орієнтованої фільтрації зображень у просторовій області, які як ядро фільтра використовують орієнтований двовимірний розподіл Гауса. Запропонований метод дозволяє видаляти на зображеннях шум при допустимому розмитті контурів. Напрямок фільтрації в межах локальних вікон адаптується до напрямку контуру, а виділення контурів виконується методами Собеля, Превітта або Кенні. Завдяки орієнтованій фільтрації зображень смуг Кікучі точність обчислення ширини смуг підвищено до 5 разів.

Уперше запропоновано математичну модель та метод орієнтованої фільтрації зображень смуг Кікучі в частотній області, які засновані на просторовому виділенні смуг та їх подальшій фільтрації. З метою зменшення крайових ефектів на межі смуги, які виникають при її просторовому виділенні й орієнтованій фільтрації, навколо зображення смуги створюється спеціальна перехідна ділянка. Запропонований метод фільтрації дозволяє виділяти зображення окремої смуги із суперпозиції множини смуг і

підвищити точність визначення ширини смуг (до 7 разів), відповідно в стільки ж разів зростає точність розрахунку параметрів досліджуваних кристалів.

Розроблено новий високоточний і швидкодійний метод суміщення зображень об'єктів із використанням генетичного алгоритму та алгоритму координатного спуску. Для генетичного алгоритму вибрано структуру хромосом, яка описує основні просторові перетворення зображень та зміни яскравості. У результаті дослідження різних видів селекції хромосом при суміщенні зображень зроблено висновок про більшу ефективність турнірного методу порівняно з селекцією методом рулетки та ранговим методом. Для досліджуваних зображень найкращі результати отримано при амплітуді мутації $\approx 20\%$ і кількості хромосом ≈ 64 , що забезпечує незначну похибку суміщення зображень за масштабом ($\approx 0.01\%$) і кутом повороту ($\approx 0.05^\circ$).

Запропоновано новий метод багаторівневого аналізу енергетичних спектрів зображень, зокрема, X-променевих муарових зображень, який використовує багатомасштабне оброблення енергетичних спектрів і аналіз енергетичних спектрів для локальних ділянок зображень за допомогою квадродерева, завдяки чому похибка обчислення середньої просторової радіальної частоти зображення є незначною ($\approx 0.1\%$). Встановлено, що вибором оптимального масштабу зображення за шириною і висотою забезпечується мінімальне спотворення радіального розподілу для енергетичного спектра зображення і до 2 разів вища точність розв'язання оберненої задачі при обчисленні параметрів досліджуваних зразків на основі експериментальних сигналів.

Одержали подальший розвиток:

- метод детектування просторового положення відрізків прямих, кіл та еліпсів на зображеннях, який заснований на перетворенні Хафа, низькочастотній фільтрації початкового зображення й акумулятора методу Хафа. Використана низькочастотна фільтрація дозволяє визначати координати об'єктів із точністю до пікселя;

- високоточний багаторівневий метод автоматичного визначення рівня гаусового шуму на зображеннях, який використовує високочастотну фільтрацію, виділення та уточнення ділянки інтересу з врахуванням контурів; при обробленні тестових зображень запропонованим методом отримано КСКП $\approx 0.2\%$, що менше за похибки методів-аналогів;
- метод автоматичної фільтрації гаусового шуму на зображеннях із використанням фільтра Гауса, який використовує локальне оброблення зображень у ділянках, обмежених контурами, що забезпечує квазіоптимальний результат фільтрації та, в середньому, в 2 рази вищу швидкодію, порівняно з нелінійними методами-аналогами;
- метод вейвлет-фільтрації з використанням сімейства біортогональних вейвлетів, призначений для видалення шуму та неоднорідного фону X-променевих сигналів, що до 2 разів підвищує точність визначення структурних параметрів досліджуваних кристалів;
- швидкодійний метод використання штучних нейронних мереж для вирішення обернених задач визначення структурних параметрів зразків на основі експериментальних X-променевих сигналів, у якому використано багатомасштабне оброблення вхідних даних, що дозволяє зменшити час навчання нейромережі в середньому в 2 рази;
- метод деконволюції зображень, який як функцію розсіяння точки використовує орієнтований двовимірний розподіл Гауса, що забезпечує до 1.5 рази вище просторове розділення смуг.

На основі одержаних теоретичних положень розроблено високоточні та швидкодійні програмні засоби для КІВС. Комп'ютерне моделювання, експериментальні дослідження і впровадження розроблених засобів у КІВС підтвердили адекватність розроблених теоретичних основ і ефективність запропонованих методів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень та методів розроблено:

- апаратне і програмне забезпечення КІВС на базі X-променевих дифрактометрів ДРОН-3М та ДРОН-4, завдяки чому комп'ютеризовано процес отримання X-променевих сигналів;

- програмний комплекс для оброблення електронно-дифракційних зображень (зображень смуг Кікучі) у КІВС на базі електронного мікроскопу, який забезпечує квазіоптимальне видалення шумів, багаторівневу інтерполяцію профілів зображень і усереднення профілів за допомогою обвідних, визначення положення і параметрів смуг Кікучі, що дозволяє на порядок підвищити точність обчислення параметрів досліджуваних кристалів, наприклад, значень локальних деформацій (з відносною похибкою $\sim 10^{-5}$); отримані параметри кристалів, зокрема, для кристалів штучного алмазу, кремнію, германію і нікелю, є важливими для вдосконалення технологій їх синтезу;
- програмний комплекс для оброблення X-променевих кривих у КІВС на базі X-променевих дифрактометрів, який виконує видалення неоднорідного фону, багаторівневу інтерполяцію та вейвлет-фільтрацію сигналів, що дозволяє підвищити швидкодню та (або) точність обчислення параметрів шорсткості поверхні та структурних параметрів для досліджуваних зразків;
- програмний комплекс для оброблення X-променевих муарових зображень, який виконує видалення шумів, підвищення локального контрасту й аналіз енергетичних спектрів зображень, що забезпечує підвищення швидкодії та (або) точності обчислення деформацій для досліджуваних кристалів.

Розроблені програмні комплекси застосовано в системах підтримки прийняття рішення для КІВС на базі електронних мікроскопів та X-променевих дифрактометрів. Програмні засоби, розроблені в результаті виконання дисертаційної роботи, впроваджені в 3-х науково-дослідних інститутах НАН України (м. Київ) при обробленні експериментальних електронно-дифракційних та X-променевих сигналів.

Ключові слова: багаторівневі методи, цифрове оброблення сигналів, електронно-дифракційні сигнали, X-променеві сигнали, комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи, інтерполяція сигналів, локальне оброблення зображень, фільтрація сигналів, енергетичні спектри.

ABSTRACT

Balovsyak S.V. Multilevel methods for processing of electron-diffraction and X-ray signals in computerized information-measuring systems. – Qualification research work on the rights of manuscript.

Dissertation for the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.13.05 – "Computer systems and components". – Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

The dissertation devoted to the theoretical generalization of multilevel methods of analysis of signals in computerized information-measuring systems (CIMS), which allowed getting a new solution of important scientific and technical problem of increasing the accuracy and computation speed of processing of electron diffraction and X-ray signals.

The role of digital signal processing in the modern world is growing rapidly, with image processing being allocated in a separate direction of measuring technology – «video measurement». Digital signal processing is widely used in industrial, household, scientific research and medicine. Particularly important is the processing of electron diffraction and X-ray signals in the CIMS.

The applied scientific and technical problem consists in the fact that existing one-level methods of digital processing of electron-diffraction and X-ray signals in most cases do not provide the required accuracy and speed. Therefore, there is a need for the development of multilevel methods and tools for the analysis, processing and synthesis of electron-diffraction and X-ray signals in CIMS.

To solve the above problem, the conception of a multilevel approach to the processing of experimental signals is proposed, which consists in the calculation and analysis of additional levels of signals, their complex processing by a set of interrelated methods, that provides the increase of speed or accuracy of the above methods in order.

A complex of methods for the staged processing of electron-diffraction images (images of Kikuchi bands) in CIMS on the basis of electronic microscopes, a set of methods for processing X-ray signals in CIMS on the basis of X-ray diffractometers was developed and software realized; the structure, hardware and software of CIMS on the basis of X-ray diffractometers DRON-3M and DRON-4 were developed.

Theoretical bases and methods for analysis and synthesis of intensity distribution of profiles of experimental images, the characteristic feature of which is the use of conical sections as an envelope series of profiles and the calculation of averaged (synthesized) profiles on the basis of their series were developed, which allows to increase the accuracy of the calculation of spatial parameters for the averaged profiles. Depending on the experimental conditions for obtaining signals as envelopes, segments of straight lines, arcs of circles and ellipses, hyperbole and parabola are used. For example, for Kikuchi bands, hyperbola was used as enveloping profiles. The developed methods implement a classification mode in which the calculation of the averaged profile is performed only on the basis of the least distorted series profiles. It is shown that the correct averaging of a series of Q profiles in \sqrt{Q} times reduces the noise level.

For the first time, high-precision methods were proposed and hardware-software tools were implemented for multilevel interpolation of one-dimensional and two-dimensional signals, in which interpolated signals consist of the sum of corrected and matching functions. The corrected function is calculated using the convolution with the Gaussian filter of the piecewise-polynomial functions (splines) in particular, linear or cubic, and matching function provides the passage of the total interpolated signal through the interpolation nodes. The developed methods allow, with a minimum error of interpolation, to increase the resolution of experimental signals, for example, X-rays. When processing electronic-diffraction images of the RMSE developed interpolation method, compared with analogues, in average 16% less.

A new high-speed method for increasing the local contrast and removing an inhomogeneous image background is used, which uses the values of the envelope of the minimum and maximum signal values within the local windows, calculated by the approximation using of cubic polynomial functions, and the correction of the envelope signal obtained for different sizes of the local image windows. It has been established that correction of envelopes allows to increase the local contrast of images (up to 8 times) without the appearance of noticeable artefacts and provides significant increase of information and visual quality of restored images, especially in the case of processing of X-ray medical and electron-microscopic images.

For the first time, a mathematical model and method of adaptive-oriented image filtering in a spatial domain, which uses the oriented two-dimensional Gaussian distribution as a kernel of the filter, is proposed. The proposed method allows removing noise from images with allowable contour blur. The direction of filtration within the local windows adapts to the direction of the contour, to select contours the methods Sobel, Prewitt or Canny are used. With oriented filtering of band images the accuracy of calculating bandwidth increasing up to 5 times.

For the first time, a mathematical model and method for oriented filtration of images of Kikuchi bands in the frequency domain, which based on the spatial allocation of bands and their subsequent filtration, is proposed. In order to reduce the boundary effects on the boundary of the band, which arise with its spatial allocation and oriented filtration, around the image of the band creates a special transitional area. The proposed filtration method allows to separate the image of a separate band (strip) from the superposition of a set of bands and to increase the accuracy of the calculation of the bandwidth (to 7 times), respectively, in the same number of times the accuracy of the calculation of the parameters of the investigated crystals increases.

A new high-precision and high-speed method of combining image objects with the use of genetic algorithms and coordinate descent algorithm is developed. For genetic algorithms, the structure of the chromosome has been selected, which

describes the basic spatial transformations of images and changes in brightness. As a result of the study of different types of chromosomal selection in image combinations, a conclusion was drawn that the tournament method was more effective than roulette selection and ranking method. For the studied images, the best results are obtained with a mutation amplitude $\approx 20\%$ and quantity chromosomes ≈ 64 which provides a minor errors of alignment on a scale ($\approx 0.01\%$) and a rotation angle ($\approx 0.05^\circ$).

New method of multilevel analysis of energy spectra of images, in particular X-ray moiré images, which uses multi-scale energy spectrum processing and analysis of energy spectra for local areas of images using quadrotree, are proposed, making the error of calculation of the average spatial radial frequency of the image insignificant ($\approx 0.1\%$). It is established that by choosing the optimal scale of the image in width and height, the minimum distortion of the radial distribution for the energy spectrum of the image is ensured and, accordingly, up to 2 times higher precision of the solution of the inverse problem in calculating the parameters of the investigated samples on the basis of experimental signals.

Get further development:

- the method of detecting the spatial position of straight lines, circles and ellipses on images based on the Hough Transform, low-frequency filtration of the initial image and the accumulator of the Hough method is improved. The low-frequency filtering used allows to determine the coordinates of objects to the pixel precision;
- high-precision multi-level method for automatically determining the level of Gaussian noise in images, which uses high-frequency filtering, selection and clarification of the region of interest with account of contours; when processing the test images, the proposed method RMSE $\approx 0.2\%$ was obtained, which is less than the error of the analogue methods;
- the method of automatic Gaussian noise filtering on images using the Gauss filter, which uses local image processing in contour-limited areas, providing a

quasi-optimal filtration result and an average of 2 times higher performance than non-linear the similar methods;

- a wavelet-filtration method using the family of biorthogonal wavelets, designed to remove noise and heterogeneous background of X-ray signals, which increases up to 2 times the accuracy of determining the structural parameters of the investigated crystals;
- high-speed method of using artificial neural networks for solving inverse tasks of restoration of structural parameters of samples on the basis of experimental X-ray signals using multi-scale processing of input data, which allows to reduce the training time of the neural network on average 2 times;
- the method of deconvolution of images, which as a point spread function the Gauss's oriented two-dimensional distribution used, which allows up to 1.5 times increase spatial separation of bands.

On the basis of the obtained theoretical positions, high-performance software tools for CIMS have been developed. Computer simulation, experimental research and implementation of developed tools at CIMS confirmed the adequacy of the developed theoretical foundations and the effectiveness of the proposed methods.

The practical importance of the results obtained is that on the basis of the obtained theoretical positions and methods developed:

- hardware and software of the CIMS based on the X-ray diffractometers DRON-3M and DRON-4, which is the result of computerization of the process of obtaining X-rays;
- software complex for processing electron-diffraction images (images of Kikuchi bands) in CIMS on the basis of an electron microscope, which provides quasi-optimal noise removal, multi-level interpolation of image profiles and averaging of profiles by means of envelopes, determination of position and parameters of Kikuchi bands, which allows to improve the accuracy of the order of the calculation parameters of investigated crystals, for example, values of local deformations (with relative error $\sim 10^{-5}$); the obtained parameters of

- crystals, in particular crystals of artificial diamonds, silicon, germanium and nickel, are important for the improvement of their synthesis technologies;
- program complex for processing of X-ray curves in CIMS on the basis of X-ray diffractometers, which performs removal of heterogeneous background, multilevel interpolation and wavelet filtration of signals, which allows to increase the speed and (or) accuracy of calculating surface roughness parameters and structural parameters for the studied samples;
 - software complex for processing X-ray moiré images, which performs noise removal, local contrast enhancement and analysis of power spectra of images, which provides for increasing the speed and (or) precision of the deformation calculation for the investigated crystals.

The software systems that were developed are applied in decision-making support systems for CIMS based on electronic microscopes and X-ray diffractometers. The software developed as a result of the dissertation research was implemented in 3 research institutes of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv) for processing of experimental-electron diffraction and X-ray signals.

Keywords: multilevel methods, digital signal processing, electron-diffraction signals, X-ray signals, computerized information measuring systems, signal interpolation, local image processing, signal filtering, power spectra.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

- [1] І. М. Фодчук, та С. В. Баловсяк, *Діагностика поверхні твердого тіла. Загальний стан проблеми та X-променеви методи: Навчальний посібник*. Чернівці, Україна: Рута, 2007. (Особистий внесок – математичний опис геометричних характеристик стану поверхні твердого тіла, побудова математичних моделей схем експерименту для X-променевих методів).
- [2] І. М. Fodchuk, and S. V. Balovsyak, "New possibilities for determination of solids surface parameters by X-ray reflectivity", *Phys. Status Solidi A*, vol. 204, no. 5, pp. 1543-1554, 2007. doi: 10.1002/pssa.200622171. (Особистий внесок – дослідження взаємозв'язку амплітудних і частотних параметрів X-променевих сигналів із характеристиками досліджуваних зразків).
- [3] І. Fodchuk, S. Balovsyak, M. Borchka, Ya. Garabazhiv, and V. Tkach, "Determination of structural inhomogeneity of synthesized diamonds by back scattering electron diffraction", *Phys. Status Solidi A*, vol. 208, no. 11, pp. 2591-2596, 2011. doi: 10.1002/pssa.201184266. (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація в системі MATLAB методів аналізу профілів зображень, обчислення за їх допомогою структурних параметрів для кристалів штучного алмазу).
- [4] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабажив, В. М. Ткач, и И. М. Фодчук, "Определение структурной неоднородности искусственных кристаллов алмазов методом Кикучи – дифракции", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 31, № 7, с. 911-925, 2009. (Особистий внесок – розроблення методу і програми суміщення зображень шляхом геометричних перетворень та перетворень яскравості, обчислення координат перетинів смуг Кікучі на зображеннях).
- [5] С. В. Баловсяк, и И. М. Фодчук, "Новые подходы в моделировании кривых полного внешнего отражения рентгеновских лучей. Метод частиц", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 31, № 11, с. 1493-1504, 2009. (Особистий внесок – числове моделювання X-променевих сигналів).

- [6] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, И. М. Фодчук, В. Ю. Хоменко, и В. Н. Ткач, "Определение структурной неоднородности кристаллов по данным анализа картин Кикучи", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 35, № 8, с. 1135-1148, 2013. (Особистий внесок – розроблення алгоритму і програми для аналізу радіальних розподілів енергетичних спектрів зображень смуг Кікучі).
- [7] С. В. Баловсяк и др., "Локальные деформации в окрестности трещин сварочного шва никелевого сплава, определенные с помощью Фурье-преобразования картин Кикучи", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 35, № 10, с. 1359-1370, 2013. (Особистий внесок – розроблення методу для обчислення й аналізу радіальних розподілів енергетичного спектру електронно-дифракційних зображень, визначення за його допомогою деформацій нікелевого сплаву).
- [8] И. М. Фодчук, Ю. Т. Роман, и С. В. Баловсяк, "Новые подходы анализа рентгеновских дифрактограмм на основе вейвлет-преобразований", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 39, № 7, с. 855-863, 2017. doi: 10.15407/mfint.39.07.0855. (Особистий внесок – виконання вейвлет-фільтрації X-променевиx дифрактограм).
- [9] I. M. Fodchuk, et al., "Distribution in Angular Mismatch between Crystallites in Diamond Films Grown in Microwave Plasma", *Diamond and Related Materials*, vol. 19, pp. 409-412, 2010. doi: 10.1016/j.diamond.2010.01.020 (Особистий внесок – створення програмного забезпечення для аналізу радіальних і кутових розподілів енергетичних спектрів зображень).
- [10] M. D. Borcha, S. V. Balovsyak, I. M. Fodchuk, V. Yu. Khomenko, and V. N. Tkach, "Distribution of local deformations in diamond crystals according to the analysis of Kikuchi lines profile intensities", *Journal of Superhard Materials*, vol. 35, no. 4, pp. 220-226, 2013. doi: 10.3103/S1063457613040035. (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація методу аналізу профілів смуг Кікучі, обчислення деформацій кристалів алмазу за допомогою розробленого методу).

- [11] M. D. Borcha, S. V. Balovsyak, I. M. Fodchuk, V. Yu. Khomenko, O. P. Kroitor, and V. N. Tkach, "Local deformation in diamond crystals defined by the Fourier transformations of Kikuchi patterns", *Journal of Superhard Materials*, vol. 35, no. 5, pp. 284-291, 2013. doi: 10.3103/S1063457613050031. (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація методу аналізу енергетичних спектрів для електронно-дифракційних зображень смуг Кікучі).
- [12] I. M. Fodchuk, M. D. Borcha, V. Yu. Khomenko, S. V. Balovsyak, V. M. Tkach, and O. O. Statsenko, "A Strain State in Synthetic Diamond Crystals by the Data of Electron Backscatter Diffraction Method", *Journal of Superhard Materials*, vol. 38, no. 4, pp. 271-276, 2016. doi: 10.3103/S1063457616040080 (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація методу аналізу профілів електронно-дифракційних зображень).
- [13] S. Balovsyak, M. Borcha, Ya. Garabazhiv, I. Fodchuk, and V. Tkach, "Use of electron diffraction for determination of strain distribution in synthetic diamonds", *Proceedings SPIE*, vol. 8338, pp. 700819-1 - 700819-7, 2011. doi: 10.1117/12.921051. (Особистий внесок – програмна реалізація методу аналізу профілів смуг для електронно-дифракційних зображень).
- [14] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Суміщення зображень об'єктів з використанням генетичних та градієнтних алгоритмів", *Комп'ютинг*, т. 12, № 2, с. 160-169, 2013. (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація методу суміщення зображень за допомогою генетичного алгоритму).
- [15] I. Fodchuk, S. Balovsyak, M. Borcha, Ya. Garabazhiv, and V. Tkach, "Determination of Structural Homogeneity of Synthetic Diamonds from analysis of Kikuchi lines intensity distribution", *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, vol. 13, no. 3, pp. 262-267, 2010. (Особистий внесок – розроблення алгоритму та програми для обчислення і аналізу профілів зображень).

- [16] І. М. Фодчук, С. В. Баловсяк, О. С. Кшевецький, та О. М. Потапов, "Програмне забезпечення для цифрової обробки зображень в X-променевій топографії", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 201, с. 16-21, 2004. (Особистий внесок – розроблення програмного забезпечення для підвищення контрасту цифрових зображень).
- [17] I. M. Fodchuk, et al., "Magnetic force microscopy of YLaFeO films implanted by high dose of nitrogen ions", *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, vol. 16, no. 3, pp. 246-252, 2013. doi: 10.15407/spqeo16.03 (Особистий внесок – створення програми для обчислення й аналізу радіальних розподілів енергетичних спектрів зображень).
- [18] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Використання штучних нейронних мереж для визначення параметрів напівпровідників за даними X-променевих методів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 420, с. 45-51, 2008. (Особистий внесок – програмна реалізація штучної нейронної мережі, призначеної для обчислення параметрів напівпровідникових матеріалів на основі X-променевих сигналів).
- [19] В. М. Ткач, та ін., "Визначення структурної неоднорідності синтезованих алмазів та розорієнтації кристалітів/зерен полікристалічних матеріалів методом Кікучі-дифракції", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 438, с. 72-85, 2009. (Особистий внесок – створення алгоритму і програми для визначення координат перетинів смуг на електронно-дифракційних зображеннях).
- [20] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Алгоритми і програмне забезпечення розв'язку деяких задач розсіяння електронів та X-променів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 438, с. 113-121, 2009. (Особистий внесок – створення програмного забезпечення для суміщення цифрових зображень, аналізу профілів зображень, оброблення X-променевих сигналів за допомогою штучних нейронних мереж).

- [21] І. М. Фодчук, М. Д. Борча, В. Ю. Хоменко, В. М. Ткач, та С. В. Баловсяк, "Особливості розподілу деформацій в кристалах, визначених методом дифракції зворотно-розсіяних електронів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, т. 3, № 2, с. 29-38, 2014. (Особистий внесок – програмна реалізація методів аналізу профілів зображень і радіальних розподілів для спектрів Фур'є зображень).
- [22] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Програмне забезпечення для проведення віртуальних лабораторних робіт на базі X-променевого дифрактометра ДРОН-3", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, т. 3, № 2, с. 46-53, 2014. (Особистий внесок – створення програмного забезпечення для керування X-променевим дифрактометром ДРОН-3М).
- [23] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Програмне забезпечення для автоматизованого керування X-променевими дифрактометрами", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 2, № 2, с. 56-61, 2011. (Особистий внесок – створення апаратно-програмного комплексу для автоматизації експерименту на X-променевих дифрактометрах ДРОН-3М, ДРОН-4).
- [24] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Апаратно-програмний комплекс для автоматизації фізичного експерименту на X-променевому дифрактометрі ДРОН-4", *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, № 4, с. 100-103, 2005. (Особистий внесок – створення апаратно-програмного комплексу для автоматизації експерименту на X-променевому дифрактометрі ДРОН-4).
- [25] Н. В. Рощупкіна, А. О. Саченко, С. В. Баловсяк, та О. Ю. Рощупкін, "Дослідження методу обробки сигналів багатопараметричних сенсорів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 5, № 2, с. 57-64, 2014. (Особистий внесок – розроблення методу багаторівневої апроксимації сигналів багатопараметричних сенсорів).

- [26] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабажів, та І. М. Фодчук, "Програмний комплекс для аналізу ліній Кікучі", *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, № 4 (137), с. 68-73, 2009. (Особистий внесок – програмна реалізація методу аналізу профілів електронно-дифракційних зображень).
- [27] С. В. Баловсяк, І. М. Фодчук, Ю. Н. Соловей, и Я. В. Луцик, "Многоуровневый метод повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений", *Кибернетика и вычислительная техника*, № 182, с. 15-26, 2015. (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація методу видалення неоднорідного фону і підвищення локального контрасту зображень).
- [28] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабажив, и И. М. Фодчук, "Ориентированная фильтрация цифровых электронно-дифракционных изображений", *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (77), с. 4-13, 2016. (Особистий внесок – розроблення та програмна реалізація методу орієнтованої фільтрації зображень у частотній області).
- [29] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Автоматичне видалення гаусового шуму на цифрових зображеннях за допомогою квазіоптимального фільтра Гауса", *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (83), с. 26-35, 2017. (Особистий внесок – удосконалення алгоритму квазіоптимального видалення гаусового шуму на зображенні за допомогою фільтра Гауса шляхом врахування контурів зображення).
- [30] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic Highly Accurate Estimation of Gaussian Noise Level in Digital Images Using Filtration and Edges Detection Methods", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 12, pp. 1-11, 2017. doi: 10.5815/ijigsp.2017.12.01. (Особистий внесок – удосконалення методу обчислення рівня гаусового шуму на зображенні шляхом врахування контурів зображення).

- [31] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Спосіб визначення середньої арифметичної висоти нерівностей поверхні кристалу методом повного зовнішнього відбивання X-променів", *Патент на корисну модель 104335 Україна, МПК G01T 1/16 (2006.01), G06F 17/17 (2006/01), G06T 17/30 (2006/01), G09B 23/26 (2006/01), № u201506834, 25.01.2016.* (Особистий внесок – отримання експериментальних X-променевих сигналів, розроблення та програмна реалізація методу їх багаторівневої апроксимації в системі MATLAB).
- [32] С. В. Баловсяк, В. М. Ткач, та І. М. Фодчук, "Спосіб визначення локальних деформацій кристалів на основі профілів розподілу інтенсивності зворотно відбивних електронів", *Патент на корисну модель 100924 Україна, МПК G01T 1/16 (2006.01), G06F 17/17 (2006.01), G06T 17/30 (2006.01), № u201502816, 10.08.2015.* (Особистий внесок – розроблення методу та програми для багаторівневої апроксимації електронно-дифракційних сигналів).
- [33] С. В. Баловсяк, П. М. Литвин, І. М. Фодчук, та І. В. Яремчук, "Спосіб визначення величини деформаційних полів кристала на основі X-променевого муарового зображення в кремнієвому LLL-інтерферометрі", *Патент на корисну модель 121378 Україна, МПК G01T 1/16, G06F 17/00, G06F 17/17, № u201702011, 11.12.2017.* (Особистий внесок – розроблення багатомасштабного методу обчислення й аналізу радіальних розподілів енергетичних спектрів зображень).
- [34] S. Balovsiak, N. Roshchupkina, A. Sachenko, O. Roshchupkin, V. Kochan, and R. Smid, "Improved Multisensors Signal Processing", in *IEEE 35th Intern. Conf. on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2015)*, Kyiv, Ukraine, 2015, pp. 341-346. doi: 10.1109/ELNANO.2015.7146906.
- [35] С. В. Баловсяк, І. М. Фодчук, и О. Н. Потапов, "Методы цифровой обработки изображений в рентгеновской топографии", на *II Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників*, Чернівці-Вижниця, 2004, с. 415-416.

- [36] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, О. П. Кройтор, В. Н. Ткач, и И. М. Фодчук, "Тензометрия упругих деформаций на границах раздела многослойных наноразмерных систем с помощью дифракции отраженных электронов", на *V Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників УНКФН-5*, Ужгород, 2011, с. 468.
- [37] М. Д. Борча, та ін., "Визначення деформацій в околі тріщини у зварному шві нікелевого сплаву з аналізу картин Кікучі", на *VI Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників УНКФН-6*, Чернівці, 2013, с. 453-454.
- [38] С. В. Баловсяк, І. М. Фодчук, та В. М. Ткач, "Підвищення точності діагностики локальних деформацій в штучних кристалах алмазу шляхом цифрової обробки електронно-мікроскопічних зображень", на *VII Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників УНКФН-7*, Дніпро, 2016, с. 302-303.
- [39] С. В. Баловсяк, и И. М. Фодчук, "Анализ и цифровая обработка рентгенотопографических изображений", на *Юбилейной X Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок*, Ивано-Франковск, Украина, 2005, с. 165-166.
- [40] С. В. Баловсяк, и И. М. Фодчук, "Использование искусственных нейронных сетей для определения параметров нанорельефа поверхности полупроводников за данными метода полного внешнего отражения рентгеновских лучей", на *XI Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2007, с. 77-78.
- [41] В. Н. Ткач, М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, И. М. Фодчук, и С. В. Ткач, "Определение структурной однородности искусственных кристаллов алмазов методом Кикучи-дифракции", на *XII Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2009, с. 192-194.
- [42] В. Н. Ткач, и др., "Структурные характеристики алмазных пленок, выращенных в СВЧ-плазме", на *XII Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2009, с. 271-272.

- [43] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабажив, и И. М. Фодчук, "Определение деформаций линий Кикучи с помощью корреляционной функции", на *XII Междунар. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2009, с. 209-210.
- [44] M. Borch, S. Balovsyak, Ya. Garabazhiv, I. Fodchuk, and V. Tkach, "Possibilities of Kikuchi diffraction in researches of multilayer nanoscaled systems", на *XIII Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2011, с. 183.
- [45] S. V. Balovsyak, I. V. Lutsyk, and I. M. Fodchuk, "Methods of Reconstruction and Restoration of Images", на *XV Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2015, с. 93.
- [46] V. Khomenko, M. Borch, I. Fodchuk, S. Balovsyak, and V. Tkach, "Strain Distribution in Synthesized Diamonds", на *XV Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2015, с. 271.
- [47] V. Khomenko, et al., "EBSD Based Studies of Strain Distribution in Weld Joint of NiCrFe Alloy", на *XV Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2015, с. 363.
- [48] M. Borch, S. Balovsyak, I. Fodchuk, Y. Garabazhiv, O. Sumariuk, and V. Tkach, "Strain Analysis of Synthetic Diamond and Diamond Films Using Electron Backscatter Diffraction", на *XVI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2017, с. 271.
- [49] S. Balovsyak, I. Fodchuk, Yu. Roman, and M. Solodkyi, "Processing of X-Ray Diffractograms of TiN Thin Films Using Wavelet Transforms", на *XVI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2017, с. 331.
- [50] I. Yaremchuk, S. Balovsyak, I. Fodchuk, and S. Novikov, "The Fourier Energy Spectrum for X-Ray Moiré Images Arising Under the Action of Concentrated Forces in Si", на *XVI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2017, с. 357.

- [51] S. V. Balovsyak, O. V. Derevyanchuk, and I. M. Fodchuk, "Method of calculation of averaged digital image profiles by envelopes as the conic sections", in *The First Intern. Conf. on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2018)*, Kiev, Ukraine, 2018, pp. 2-4.
- [52] M. D. Borcha, S. V. Balovsyak, V. M. Tkach, I. M. Fodchuk, and V. Yu. Khomenko, "Strain measurement of residual deformations in diamond crystals from Kossel and Kikuchi lines", in *11th Biennial Conf. on High Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2012"*, St. Petersburg, Russia, 2012, pp. 366-367.
- [53] M. Borcha, et al., "Strain distribution in local areas of synthesized diamonds and weld joint of NiCrFe alloy", in *12th Biennial Conf. on High Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2014"*, Villard de Lans, France, 2014, pp. 83.
- [54] I. Fodchuk, M. Borcha, V. Khomenko, S. Balovsyak, V. Tkach, and O. Statsenko, "Full strain tensor determination in synthesized diamonds and diamonds films", in *13th Biennial Conf. on High-Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2016"*, Brno, Czech Republic, 2016, pp. 285.
- [55] С. В. Баловсяк, та А. І. Недбаєвська, "Порівняння зображень об'єктів з використанням генетичних алгоритмів", на *Всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2012”*, Чернівці, 2012, с. 100-101.
- [56] С. В. Баловсяк, та М. О. Якимчук, "Підвищення візуальної якості зображень за допомогою штучної нейронної мережі Хопфілда", на *III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2014”*, Чернівці, 2014, с. 101-103.
- [57] С. В. Баловсяк, С. Л. Воропаєва, та Л. М. Карча, "Програмне забезпечення для підвищення візуальної якості сканованих текстів за допомогою модифікованих методів просторової фільтрації", на *IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2015”*, Чернівці, 2015, с. 149-151.

- [58] С. В. Баловсяк, та К. В. Цигира, "Програмне забезпечення для підвищення локального контрасту та видалення неоднорідного фону зображень", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2016”*, Чернівці, 2016, с. 135-137.
- [59] С. В. Баловсяк, та А. Ю. Мельничук, "Орієнтована фільтрація зображень в просторовій області", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2016”*, Чернівці, 2016, с. 131-133.
- [60] С. В. Баловсяк, О. О. Пшеничний, та В. І. Шушельницький, "Детектування відрізків прямих ліній на зображеннях з шумом за допомогою перетворення Хафа", на *VI міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2017”*, Чернівці, 2017, с. 97-99.
- [61] И. М. Фодчук, и С. В. Баловсяк, "Использование искусственных нейронных сетей для определения параметров нанорельефа поверхности по данным рентгеновской рефлектометрии", на *Нац. конф. по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов РСНЭ НАНО-2005*, Москва, Россия, 2005, с. 267.
- [62] В. Н. Ткач, М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, и И. М. Фодчук, "Кикучи-дифракция в структурно неоднородных кристаллах искусственных алмазов", на *VII Нац. конф. "Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов" (РСНЭ - НБИК 2009)*, Москва, Россия, 2009, с. 204.
- [63] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, И. М. Фодчук, и В. Н. Ткач, "Тензометрия наноразмерных систем из анализа линий Кикучи", на *VIII Нац. конф. "Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов" (РСНЭ - НБИК 2011)*, Москва, Россия, 2011, с. 145.

- [64] С. В. Баловсяк, та Н. В. Личук, "Розпізнавання зображень символів за допомогою штучних нейронних мереж з використанням перетворення Фур'є", на *16 Міжнар. конф. з автоматичного управління „АВТОМАТИКА-2009”*, Чернівці, 2009, с. 291-293.
- [65] С. В. Баловсяк, И. М. Фодчук, и Я. Д. Гарабажив, "Корреляционный способ определения деформаций изображений, полученных методами дифракции электронов", на *Международ. конф. „Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании’ 2007”*, Одесса, 2007, с. 85-89.
- [66] С. В. Баловсяк, та О. О. Пшеничний, "Детектування кіл та еліпсів на зображеннях з шумом за допомогою перетворення Хафа", на *VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях»*, Чернівці, 2017, с. 81-82.
- [67] С. В. Баловсяк, Т. А. Паньків, та І. М. Фодчук, "Побудова карти просторового розподілу для середніх частот і періодів зображень з використанням квадродерев", на *II Всеукр. наук.-практ. конф. «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем» MEICS-2017*, Дніпро, 2017, с. 106-107.
- [68] M. Borcha, M. Solodkiy, I. Fodchuk, S. Balovsyak, and V. Tkach, "Deformation state of Ge crystals from data of method of electron backscattering diffraction", in *14th Biennial Conference on High-Resolution X-Ray Diffraction and Imaging “X-Top 2018”*, Bari, Italy, 2018, pp.170.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	30
ВСТУП	32
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	45
1.1 Особливості цифрового оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів	46
1.2 Аналіз методів обчислення рівня шуму на сигналах і зображеннях.....	51
1.3 Аналіз методів фільтрації та інтерполяції сигналів	59
1.4 Аналіз методів покращення візуальної якості зображень.....	70
1.5 Виділення геометричних примітивів методом Хафа	75
1.6 Багатомасштабні методи оброблення сигналів	81
1.7 Вибір напрямку й обґрунтування завдань досліджень	84
Висновки до розділу 1.....	87
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИ БАГАТОРІВНЕВОГО ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦІЙНИХ ТА X-ПРОМЕНЕВИХ СИГНАЛІВ У ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	89
2.1. Концепція багаторівневого оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів	90
2.2 Багаторівневий метод обчислення рівня шуму на зображеннях.....	96
2.3 Багаторівневі методи фільтрації шуму на зображеннях	112
2.4 Багаторівневі методи апроксимації сигналів	127
2.5 Багатомасштабний аналіз енергетичних спектрів зображень	137
Висновки до розділу 2	142
РОЗДІЛ 3 БАГАТОРІВНЕВІ АНАЛІЗ, СИНТЕЗ І ЛОКАЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦІЙНИХ ТА X-ПРОМЕНЕВИХ СИГНАЛІВ	144
3.1 Аналіз і синтез профілів розподілу інтенсивності зображень	145

	27
3.1.1 Теоретичні основи обчислення профілів зображень.....	145
3.1.2 Метод обчислення усередненого профілю зображення....	150
3.2 Багаторівневе покращення візуальної якості зображень	156
3.2.1 Метод багаторівневого підвищення локального контрасту і видалення неоднорідного фону зображень	156
3.2.2 Апробація методу покращення візуальної якості зображень	169
3.3 Багаторівнева орієнтована фільтрація зображень у просторовій області	176
3.3.1 Метод адаптивної орієнтованої фільтрації зображень.....	176
3.3.2 Адаптивна орієнтована фільтрація модельованих зображень	188
3.3.3 Адаптивна орієнтована фільтрація експериментальних зображень	193
3.4 Багаторівнева орієнтована фільтрація зображень у частотній області	197
3.4.1. Математична модель орієнтованої фільтрації зображень смуг.....	197
3.4.2. Метод орієнтованої фільтрації зображень смуг.....	205
3.5 Вейвлет-фільтрація X-променевих сигналів	209
Висновки до розділу 3	213

РОЗДІЛ 4 БАГАТОРІВНЕВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЕЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦІЙНИХ ТА X-ПРОМЕНЕВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

4.1 Метод детектування положення об'єктів за допомогою перетворення Хафа	217
4.1.1 Детектування відрізків прямих ліній на зображеннях	217
4.1.2 Детектування кіл та еліпсів на зображеннях.....	224
4.2 Багаторівневе визначення положення особливих ділянок на зображенні методом суміщення з еталоном	231

4.3	Метод побудови карти просторого розподілу частот зображення з використанням квадродерева	238
4.3.1	Обчислення середніх частот зображення на основі енергетичного спектра	238
4.3.2	Принципи побудови квадродерев для зображень.....	241
4.3.3	Алгоритм обчислення середніх частот і періодів зображення	249
4.3.4	Алгоритм побудови карти просторого розподілу частот і періодів зображень	257
4.3.5	Апробація методу побудови карти просторого розподілу середніх частот зображення.....	260
4.4	Деконволюція зображень смуг	270
	Висновки до розділу 4	279
РОЗДІЛ 5 ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦІЙНИХ ТА Х-ПРОМЕНЕВИХ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА БАГАТОРІВНЕВОГО ПІДХОДУ.....		
5.1	Оброблення сигналів за допомогою штучних нейронних мереж...282	
5.1.1	Аналіз Х-променевих та електронно-дифракційних сигналів за допомогою штучних нейронних мереж	282
5.1.2	Обчислення параметрів зразків за допомогою штучної нейронної мережі	292
5.1.3	Багатомасштабний аналіз сигналів за допомогою штучної нейронної мережі	296
5.2	Суміщення зображень об'єктів із використанням генетичного алгоритму	304
5.2.1	Методи суміщення зображень	304
5.2.2	Суміщення зображень за допомогою генетичного алгоритму та методу координатного спуску.....	307
5.2.3	Апробація та оптимізація методу суміщення зображень	318
	Висновки до розділу 5	327

РОЗДІЛ 6 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ БАГАТОРІВНЕВОГО ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ДИФРАКЦІЙНИХ ТА Х-ПРОМЕНЕВИХ СИГНАЛІВ У ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	329
6.1 Розроблення апаратних та програмних засобів інформаційно- вимірювальних систем на базі електронних мікроскопів	330
6.1.1 Апаратно-програмні засоби оброблення електронно- дифракційних сигналів	330
6.1.2 Комплексне багаторівневе оброблення електронно- дифракційних сигналів	337
6.2 Розроблення апаратних та програмних засобів інформаційно- вимірювальних систем на базі Х-променевих дифрактометрів	355
6.2.1 Апаратно-програмні засоби оброблення Х-променевих сигналів	355
6.2.2 Комплексне багаторівневе оброблення Х-променевих сигналів	366
Висновки до розділу 6	369
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ	370
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	374
ДОДАТКИ	407
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	408
Додаток Б. Характеристики запропонованих багаторівневих методів	418
Додаток В. Результати оброблення зображень смуг Кікучі запропонованим методом	420
Додаток Д. Лістинг основних модулів програми багаторівневого підвищення візуальної якості зображень	428
Додаток Е. Акти впровадження результатів дисертації	447

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Роль цифрового оброблення сигналів у сучасному світі стрімко зростає [1]-[12], при цьому оброблення зображень виділяється в окремий напрямок вимірювальної техніки – «відео-вимірювання». Цифрове оброблення сигналів знаходить широке використання в промисловості, наукових дослідженнях, медицині та побуті [13], [14]. Особливо важливу роль відіграє оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах (КІВС). Електронно-дифракційні сигнали [15], [16], наприклад, зображення смуг Кікучі, несуть цінну інформацію про структурні характеристики досліджуваних кристалів. X-променеві сигнали [17]-[19], наприклад, криві повного зовнішнього відбивання, описують параметри шорсткості для поверхні зразків. Проте, на даний час ще не вирішена задача отримання максимально повної інформації про досліджувані зразки на основі електронно-дифракційних та X-променевих сигналів. Це пояснюється значними рівнями шумів і спотворень на таких сигналах та зображеннях, а також складністю отримання корисної інформації про досліджуваний об'єкт з експериментальних сигналів [16], [19]. Тому для отримання корисної складової сигналів використовуються різноманітні методи цифрового оброблення, а саме: методи фільтрації шуму в просторовій і частотній областях [2]-[5], [20]-[25], методи одновимірної і двовимірної апроксимації сигналів [1], [4], [11], [26], методи аналізу одновимірних профілів зображень [11], [12], [27], методи орієнтованої фільтрації зображень у просторовій і частотній областях [28]-[30], методи підвищення локального контрасту [9], [14], [31] і вейвлет-фільтрації зображень [11], [12], [32]-[40]. До перспективних напрямків оброблення сигналів належить використання засобів штучного інтелекту [41]-[46], а саме штучних нейронних мереж (ШНМ) [47]-[54] і генетичних алгоритмів [55]-[61].

Перспективними методами оброблення сигналів у КІВС є багаторівневі, в яких, крім початкового сигналу, створюється множина додаткових рівнів,

наприклад, додатковими рівнями може бути сигнал у зменшених масштабах [11], [62]. На такому багатомасштабному обробленні засновані вейвлет-перетворення сигналів [32]-[40]. Однак як додаткові рівні сигналів також використовуються їх різні частотні діапазони [63]-[67], обвідні мінімумів і максимумів сигналу тощо. Багаторівневі методи, порівняно з однорівневими, мають більші можливості [68], [69]. Проте вони є складнішими в реалізації, а для багатьох прикладних задач цифрового оброблення сигналів багаторівневі методи знаходяться на стадії розроблювання. Для зменшення трудомісткості досліджень і підвищення точності отриманих результатів у спеціалізованих КІВС на базі Х-променевої дифрактометрії та електронних мікроскопів застосовується комп'ютеризація процесу отримання експериментальних сигналів, що потребує розроблення відповідного апаратно-програмного забезпечення.

Оброблення сигналів у сучасних КІВС реалізується комплексом взаємодоповнюючих методів, кожен з яких виконує певний етап оброблення сигналів: фільтрацію шумів, апроксимацію сигналів, аналіз їх спектрів і профілів тощо. Як перший етап цифрового оброблення сигналів, який визначає коректність наступних етапів, звичайно використовується видалення шуму [20]-[25]. На даний час застосовуються такі методи оцінювання рівня шуму: засновані на фільтрації, блокові методи, метод головних компонент, статистичні методи, методи з використанням вейвлет-перетворень та Фур'є-спектрів зображень [11], [70]-[76]. Основним недоліком вищевказаних методів є їх значна похибка у випадку присутності на зображеннях текстур або різних видів шуму. На експериментальних електронно-дифракційних та Х-променевої сигналах часто присутні текстури, а також імпульсний і гаусовий шуми, тому існує потреба в розробленні високоточного автоматичного методу обчислення рівня шуму для таких типів сигналів.

Існуючі методи фільтрації сигналів поділяються на лінійні та нелінійні [11], [12]. Поширеним лінійним фільтром є фільтр Гауса, головним недоліком якого є розмиття контурів зображень. Нелінійні фільтри, наприклад, медіанні

та білатеральні фільтри, менше згладжують контури зображень, однак при їх використанні автоматичний вибір оптимальних параметрів фільтрації є складним завданням. Оскільки на електронно-дифракційних та X-променевих сигналах присутні різні типи шумів, тому такі сигнали доцільно обробляти за допомогою як нелінійних, так і лінійних фільтрів.

З метою підвищення точності вимірів виконується одновимірна та двовимірна апроксимація сигналів [26], [77]. Методи лінійної інтерполяції є найпростішими, проте вони обмежують екстремуми сигналів. Складніші методи апроксимації, зокрема, з використанням кубічних сплайнів, навпаки, часто спричиняють появу паразитних осциляцій на апроксимованих сигналах. З цієї причини перспективними є багаторівневі методи апроксимації сигналів, в яких виконується корекція початкового апроксимованого сигналу.

Для більшості електронно-дифракційних та X-променевих зображень є характерними смугоподібні об'єкти, наприклад, для зображень смуг Кікучі [15], [16] та X-променевих зображень [18], [78], [79], тому для таких зображень доцільно проводити орієнтовану локальну фільтрацію. Проте існуючі методи оброблення електронно-дифракційних сигналів дозволяють обчислювати структурні характеристики досліджуваних кристалів із відносною похибкою $\sim 10^{-4}$, а для вирішення практичних завдань потрібна на порядок вища точність. Відомі однорівневі методи підвищення локального контрасту зображень [9], [14] характеризуються значним часом оброблення, який може складати десятки хвилин для HD зображень, тому актуальним завданням є підвищення швидкодії таких методів.

Підсумовуючи вищенаведене, прикладна науково-технічна проблема формулюється так: існуючі однорівневі методи цифрового оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у більшості випадків не забезпечують потрібної точності та швидкодії. Тому для вирішення цієї актуальної проблеми існує необхідність у розробленні багаторівневих методів і засобів аналізу, оброблення та синтезу електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

Дослідженнями в даній галузі займалися вітчизняні та зарубіжні вчені, прізвища яких наведено в списку літератури.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, результати яких представлено в дисертації, виконано відповідно до програм наукової тематики кафедри комп'ютерних систем та мереж, кафедри фізики твердого тіла Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Вони є складовою частиною науково-дослідних тем, які фінансувались із коштів державного бюджету Міністерством освіти і науки України та Державним фондом фундаментальних досліджень, зокрема:

- «Мультифункціональний адаптивно реконфігуровний модуль цифрової обробки інформації для задач медико-екологічного і технологічного профілю» (2015-2016 рр., № держреєстрації 0115U003239);
- «Розробка методів прецизійної X-променевої дифрактометрії деформаційних станів епітаксціальних наноструктур з гетеровалентними переходами A^3B^5/A^2B^6 (2015-2016 рр., № держреєстрації 0215U008200);
- «Структурні та електрофізичні характеристики напівізолюючих кристалів матеріалів A^2B^6 ($CdTe$, $Cd_{1-x}Mn_xTe$, $Cd_{1-x}Zn_xTe$) після впливу зовнішніх чинників» (2016-2018 рр., № держреєстрації 0116U001451);
- «Високопродуктивні комп'ютерні засоби і системи багатомасштабної і багатопараметричної ідентифікації та обробки інформації в режимі реального часу» (2016-2020 рр., № держреєстрації 0116u007043);
- «X-променево-оптична томографія полікристалічних мереж біологічних шарів (2017-2019 рр., № держреєстрації 0117U001149).

У вищевказаних темах дисертант брав участь як виконавець. Під час виконання вказаних тем автором розроблено теоретичні основи і методи багаторівневого оброблення сигналів, які призначені для: оцінювання рівня та видалення шумів на електронно-дифракційних та X-променевих сигналах, одновимірної і двовимірної апроксимації сигналів, аналізу їх спектрів, орієнтованої фільтрації і підвищення контрасту зображень, оброблення сигналів

за допомогою штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів; створено апаратно-програмні засоби для автоматизації проведення експерименту на X-променевих дифрактометрах ДРОН-3М, ДРОН-4 та ін.; програмні засоби розроблено в середовищі Borland Delphi та в системі MATLAB.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в підвищенні точності та швидкодії оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах за рахунок використання багаторівневих методів.

Досягнення мети передбачало виконання нижчезказаних **завдань**:

1. Провести аналіз існуючих методів і засобів оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у КІВС для визначення основних напрямків підвищення їх точності та швидкодії.
2. Розробити теоретичні основи багаторівневого оброблення експериментальних сигналів, що містять концепцію обчислення й аналізу додаткових рівнів сигналів, забезпечують реалізацію ефективних методів фільтрації, апроксимації, локального оброблення та аналізу сигналів.
3. Розробити структуру, апаратне і програмне забезпечення для комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем на базі X-променевих дифрактометрів та електронних мікроскопів.
4. Розробити високоточний метод обчислення усереднених профілів зображень шляхом їх аналізу і синтезу; дослідити існуючі методи апроксимації сигналів, розробити високоточні методи багаторівневої апроксимації одновимірних і двовимірних сигналів.
5. Дослідити існуючі методи підвищення візуальної якості зображень, розробити швидкодійний метод підвищення локального контрасту та видалення неоднорідного фону зображень і сигналів.
6. Розробити швидкодійні методи: суміщення зображень за допомогою генетичних алгоритмів, аналізу параметрів сигналів за допомогою штучних нейронних мереж.

7. Розробити високоточний метод аналізу спектрів експериментальних зображень із можливістю оброблення зображень та їх спектрів у різних масштабах.
8. Підвищити стійкість до шумів методу детектування просторового положення об'єктів на зображеннях за допомогою перетворення Хафа, удосконалити існуючі методи фільтрації шумів на експериментальних зображеннях із метою зменшення розмиття контурів.
9. Розробити високоточні методи вирішення оберненої задачі при обчисленні параметрів досліджуваних зразків на основі експериментальних сигналів, виконати програмну реалізацію й апробацію розроблених методів.

Об'єктом дослідження є процес оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

Предметом дослідження є багаторівневі методи і засоби аналізу, оброблення та синтезу електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

Методи дослідження. Оброблення цифрових електронно-дифракційних та X-променевих сигналів виконано із застосуванням числових методів; методів апроксимування та інтерполювання функцій; методів аналітичної геометрії та лінійної алгебри, диференціального й інтегрального числення; методів фільтрації сигналів у просторовій і частотній областях, методу обчислення рівня шуму на зображеннях. Шумову складову сигналів досліджено методами теорії ймовірностей. Вирішення оберненої задачі при аналізі X-променевих сигналів виконано за допомогою штучних нейронних мереж; суміщення зображень об'єктів проведено з використанням генетичного алгоритму. Створення нових алгоритмів цифрової фільтрації сигналів виконано з використанням теорії алгоритмів. Для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень проведено комп'ютерне оброблення сигналів у системі MATLAB та в середовищі Borland Delphi.

Наукова новизна отриманих результатів роботи полягає в розробленні теоретичних основ і методів багаторівневого аналізу сигналів, що забезпечує вирішення актуальної проблеми підвищення точності та швидкодії оброблення електронно-дифракційних та X-променевих сигналів у комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

1. Вперше запропоновано концепцію багаторівневого оброблення експериментальних сигналів у КІВС, яка полягає в обчисленні та аналізі додаткових рівнів сигналів, комплексному та поетапному обробленні сигналів множиною взаємопов'язаних методів, що забезпечує підвищення їх швидкодії або точності на порядок.

2. На основі запропонованої концепції вперше розроблено теоретичні основи аналізу та синтезу профілів розподілу інтенсивності експериментальних зображень, що містять новий метод. Характерною особливістю розробленого методу є використання конічних перерізів як обвідних серії профілів і селекція профілів на основі їх форми, що забезпечує підвищення точності визначення параметрів усереднених профілів на порядок, а, відповідно, в стільки ж разів зростає точність розрахунку параметрів досліджуваних зразків.

3. Вперше запропоновано високоточні методи багаторівневої інтерполяції, в яких інтерпольовані одновимірні та двовимірні сигнали складаються з коректованої та узгоджувальної функцій, а коректована функція обчислюється з використанням згортки кускових поліноміальних функцій (сплайнів), що дозволяє в середньому на 16% зменшити похибку інтерполяції при підвищенні роздільної здатності експериментальних сигналів.

4. Вперше розроблено швидкодійний метод підвищення локального контрасту та видалення неоднорідного фону зображень, особливістю якого є використання коректованих обвідних мінімумів і максимумів сигналів, що забезпечує підвищення локального контрасту відновлених електронно-дифракційних і X-променевих зображень до 8 разів.

5. Розроблено нові методи орієнтованої фільтрації зображень у просторовій і частотній областях, характерною особливістю яких є визначення напрямку фільтрації в межах локальних вікон на основі контурів зображення, що дозволяє видаляти на зображеннях шум при незначному розмісті контурів і до 7 разів підвищити точність обчислення геометричних параметрів профілів смуг, зокрема, профілів смуг Кікучі.

6. Вперше розроблено метод суміщення зображень об'єктів із використанням генетичного алгоритму та алгоритму координатного спуску, який враховує різницю між зображеннями за яскравістю, контрастом, масштабом, зсувом і поворотом, мінімізує вплив експериментальних факторів на зображення і забезпечує підвищену точність ($\approx 0.01\%$ за масштабом) та швидкодію суміщення зображень.

7. Вперше запропоновано метод багаторівневого аналізу енергетичних спектрів зображень, зокрема, X-променевих муарових зображень, особливістю якого є використання багатомасштабного оброблення енергетичних спектрів та аналізу енергетичних спектрів для локальних ділянок зображень, що забезпечує до 2 разів вищу точність вирішення оберненої задачі при обчисленні параметрів досліджуваних зразків.

8. Подальшого розвитку отримали:

- метод детектування просторового положення об'єктів на зображеннях за допомогою перетворення Хафа, а саме, положення відрізків прямих, кіл та еліпсів, який відрізняється від відомих низькочастотною фільтрацією зображення та акумулятора методу Хафа, що дозволяє отримати субпікселну точність визначення координат об'єктів.
- високоточний метод автоматичного визначення рівня гаусового шуму, який відрізняється від відомих виділенням ділянки інтересу з врахуванням контурів зображення, що забезпечує на $\approx 0.1\%$ меншу похибку обчислення рівня шуму, порівняно з методами-аналогами;

- метод автоматичної фільтрації гаусового шуму на зображеннях із використанням фільтра Гауса, який відрізняється від відомих локальним обробленням зображень у ділянках, обмежених контурами, що забезпечує квазіоптимальний результат фільтрації та в середньому в 2 рази вищу швидкодію, порівняно з нелінійними методами-аналогами;
- високоточний метод вейвлет-фільтрації з використанням сімейства біортогональних вейвлетів, який відрізняється від відомого поетапною фільтрацією шуму та видаленням неоднорідного фону, що до 2 разів підвищує точність визначення структурних параметрів досліджуваних кристалів;
- швидкодійний метод використання штучних нейронних мереж для визначення структурних параметрів зразків на основі експериментальних X-променеви сигналів, який відрізняється від відомих навчанням ШНМ для різних масштабів вхідних сигналів, що забезпечує в середньому в 2 рази менший час навчання;
- високоточний метод деконволюції зображень, який відрізняється від відомого використанням як функції розсіяння точки орієнтованого двовимірного розподілу Гауса, що дозволяє до 1.5 раза підвищити просторове розділення смуг на зображенні.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень та методів розроблено:

- апаратне і програмне забезпечення КІВС на базі X-променеви дифрактометрів ДРОН-3М та ДРОН-4, завдяки чому комп'ютеризовано процес отримання експериментальних X-променеви сигналів;
- програмний комплекс для оброблення електронно-дифракційних зображень (зображень смуг Кікучі) у КІВС на базі електронного мікроскопу, який забезпечує квазіоптимальне видалення шумів, багаторівневу інтерполяцію профілів зображень і усереднення профілів за допомогою обвідних, визначення положення і параметрів смуг Кікучі, що дозволяє на порядок підвищити точність обчислення параметрів досліджуваних кристалів,

наприклад, значень локальних деформацій (з відносною похибкою $\sim 10^{-5}$); отримані параметри кристалів, зокрема, кристалів штучного алмазу, кремнію, германію і нікелю, є важливими для вдосконалення технологій їх синтезу;

- програмний комплекс для оброблення X-променевих кривих у KIVC на базі X-променевих дифрактометрів, який виконує видалення неоднорідного фону, багаторівневу інтерполяцію і вейвлет-фільтрацію сигналів, що дозволяє підвищити швидкодію та (або) точність обчислення параметрів шорсткості поверхні та структурних параметрів для досліджуваних зразків;
- програмний комплекс для оброблення X-променевих муарових зображень, який виконує видалення шумів, підвищення локального контрасту й аналіз енергетичних спектрів зображень, що забезпечує підвищення швидкодії та (або) точності обчислення деформацій для досліджуваних кристалів.

Розроблені програмні комплекси застосовано в системах підтримки прийняття рішення для комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем на базі електронних мікроскопів та X-променевих дифрактометрів. Достовірність результатів теоретичних досліджень та їх практичну цінність підтверджено трьома патентами на корисну модель [80]-[82].

Результати дисертаційної роботи впроваджено в Центрі колективного користування приладами НАН України; Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України (м. Київ); Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ); Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (м. Київ).

Теоретичні та практичні результати роботи використані при викладанні дисциплін «Пристрої зв'язку з об'єктом» та «Комп'ютерні системи штучного інтелекту» (Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича – ЧНУ), а також при виконанні держбюджетних тем на кафедрі комп'ютерних систем та мереж, кафедрі фізики твердого тіла ЧНУ.

Особистий внесок здобувача

За час підготовки дисертаційної роботи здобувач брав участь у розробленні теоретичних основ та програмній реалізації методів оброблення сигналів. Усі основні результати дисертації [79]-[146], яка винесена на захист, отримані здобувачем самостійно (додаток А). У роботах, які опубліковані в співавторстві, здобувачу належить: [79] – математичний опис геометричних характеристик стану поверхні твердого тіла, систематизація методів дослідження поверхні, побудова математичних моделей схем експерименту для Х-променевих методів; [110] – метод обчислення рівня гаусового шуму на зображенні за допомогою високочастотної фільтрації з врахуванням контурів зображення; [109], [137], [143] – алгоритм квазіоптимального видалення гаусового шуму на зображенні за допомогою фільтра Гауса з врахуванням контурів зображення; [102]-[104] – створення апаратно-програмного засобів для автоматизації експерименту на Х-променевих дифрактометрах ДРОН-3М, ДРОН-4; [80], [81], [105], [111] – метод багаторівневої апроксимації електронно-дифракційних та Х-променевих сигналів, сигналів багатопараметричних сенсорів; [107], [115], [116], [133]-[135] – розроблення та програмна реалізація методу видалення неоднорідного фону, підвищення локального контрасту і візуальної якості зображень; [84], [113], [120], [121], [123], [131], [139], [140], [142] – метод суміщення зображень шляхом геометричним перетворень та перетворень яскравості; [83], [90], [92], [93], [95], [96], [99]-[101], [106], [112], [118], [125], [128], [129] – розроблення та програмна реалізація методів обчислення й аналізу профілів зображень; [82], [85]-[87], [89], [91], [97], [114], [119], [124], [127], [130], [144] – метод обчислення й аналізу радіальних розподілів енергетичного та Фур'є-спектрів зображень; [108], [136] – розроблення та програмна реалізація методів орієнтованої фільтрації зображень; [88], [122], [126] – програмна реалізація вейвлет-фільтрації Х-променевих сигналів; [98], [117], [138], [141], [145], [146] – аналіз амплітудних і частотних параметрів Х-променевих сигналів, аналіз та розпізнавання сигналів за допомогою ШНМ; [94], [132] – розроблення та програмна реалізація методу суміщення зображень за допомогою генетичних алгоритмів.

Апробація матеріалів дисертації

Результати досліджень, що становлять основу дисертації, доповідались і обговорювались на 27 конференціях, тези доповідей опубліковані в збірниках праць відповідних конференцій:

1. II, III, IV, V Міжнародні науково-практичні конференції «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПКТ – 2012”, „ПКТ – 2014”, „ПКТ – 2015”, „ПКТ – 2016” (Чернівці, 2012, 2014, 2015, 2016).

2. II, V, VI, VII Українські наукові конференції з фізики напівпровідників «УНКФН-2», «УНКФН-5», «УНКФН-6», «УНКФН-7» (Чернівці - Вижниця, 2004; Ужгород, 2011; Чернівці, 2013; Дніпро, 2016).

3. X, XI, XII, XIII, XV, XVI міжнародні конференції з фізики і технології тонких плівок та наносистем (Івано-Франківськ, 2005, 2007, 2009, 2011, 2015, 2017).

4. 11th, 12th, 13th, 14th Biennial Conferences on High Resolution X-Ray Diffraction and Imaging “X-Top 2012”, “X-Top 2014”, “X-Top 2016”, “X-Top 2018” (St. Petersburg, Russia, 2012; Villard de Lans, France, 2014; Brno, Czech Republic, 2016; Bari, Italy, 2018).

5. V, VII, VIII Национальные конференции «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования материалов» «РСНЭ НАНО-2005» (Москва, Россия, 2005, 2009, 2011).

6. 16 Міжнародна конференція з автоматичного управління „АВТОМАТИКА-2009” (Чернівці, 2009)

7. Международная конференция „Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании” (Одесса, 2007).

8. IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology «ELNANO-2015» (Kyiv, Ukraine, 2015).

9. Міжнародна науково-практична конференція (I Міжнародний симпозіум) «Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях» (Чернівці, 2017).

10. II Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем» MEICS-2017 (Дніпро, 2017).

11. The First International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2018), (Kiev, Ukraine, 2018).

Публікації

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 68 наукових робіт, із них 1 монографія, 29 статей у фахових виданнях, 30 доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, 5 доповідей у матеріалах всеукраїнських конференцій, 3 патенти на корисну модель, 12 робіт у міжнародних виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS. Список публікацій [79]-[146] наведено в кінці дисертаційної роботи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 452 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (314 найменування) і 5 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 309 сторінок друкованого тексту. Робота містить 241 рисуноків і 19 таблиць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A.L. Bovik, *The Essential Guide to Image Processing*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc., 2009.
- [2] W. Burger and M.J. Burge, *Principles of Digital Image Processing. Fundamental Techniques*. London, UK: Springer-Verlag, 2009.
- [3] E. R. Davies. *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2012.
- [4] R. Gonzalez, and R. Woods. *Digital image processing*. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.
- [5] R. Gonzalez, R. Woods, and L. Eddins. *Digital Image Processing using MATLAB*. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2004.
- [6] Image Processing Place. Image Databases. [Online]. Available: http://www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/image_databases.htm. Accessed on: May 4, 2018.
- [7] A. Goshtasby, *Image Registration. Principles, Tools and Methods*. London, UK: Springer-Verlag, 2012.
- [8] S.G. Hoggar, *Mathematics of digital images. Creation, Compression, Restoration, Recognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- [9] J.C. Russ, *The Image Processing. Handbook*. Abingdon-on-Thames, UK: Taylor & Francis Group, 2011.
- [10] В.П. Бабак, В.С. Хандецький, та Е. Шрюфер, *Обробка сигналів: Підручник*. Київ, Україна: Либідь, 1996.
- [11] Р. Гонсалес, и Р. Вудс, *Цифровая обработка изображений*. Москва, Россия: Техносфера, 2005.
- [12] Р. Гонсалес, Р. Вудс, и С. Эддинс, *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. Москва, Россия: Техносфера, 2006.
- [13] I. N. Bankman, *Handbook of Medical Image Processing and Analysis*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc., 2009.

- [14] K. Doi, and K. Rossmann, "Computer-aided diagnosis in medical imaging: Historical review, current status and future potential", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 31, no. 4-5, pp. 198–211, 2007.
- [15] Basics of EBSD. [Online]. Available: <http://www.ebsd.com/basicsofebsd1.htm>. Accessed on: May 14, 2018.
- [16] D. J. Dingley, A.J. Wilkinson, G. Meaden, and P.S. Karamched, "Elastic strain tensor measurement using electron backscatter diffraction in the SEM", *Journal of Electron Microscopy*, vol. 59, pp. 155-163, 2010.
- [17] E. Neri, D. Caramella, and C. Bartolozzi, *Image Processing in Radiology. Current Applications*. London, UK: Springer-Verlag, 2008.
- [18] И.М. Фодчук, С.Н. Новиков, Я.М. Струк, и И.В. Фесив, "Рентгенодифракционные изображения микроцарапин, представленных в виде многорядных распределений сосредоточенных сил", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 35, № 5, с. 711-723, 2013.
- [19] А.А. Яровий, І.Р. Арсенюк, та Д.Г. Пасічник, "Проектування системи цифрової корекції та підвищення якості растрових зображень у сфері рентгенографії", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т.1, № 38, с. 72–77, 2017.
- [20] A. Buades, B. Coll, and J.M. Morel, "A review of image denoising algorithms, with a new one", *SIAM Journal on Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 4, pp. 490-530, 2005.
- [21] P. Chatterjee, and P. Milanfar, "Is denoising dead?", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 19, no. 4, pp. 895-911, 2010.
- [22] R. Chellappa, "Mathematical statistics and computer vision", *Image and Vision Computing*, vol. 30, no. 8, pp. 467-468, 2012.
- [23] M. Hari Krishnan, and R. Viswanathan, "A New Concept of Reduction of Gaussian Noise in Images Based on Fuzzy Logic", *Applied Mathematical Sciences*, vol. 7, no. 12, pp. 595-602, 2013.

- [24] Research at Microsoft, research areas Computer Vision, Graphics and Multimedia. [Online]. Available: <http://research.microsoft.com/en-us/>. Accessed on: May 15, 2018.
- [25] C. Liu, R. Szeliski, S. B. Kang, C. L. Zitnick, and W. T. Freeman, "Automatic Estimation and Removal of Noise from a Single Image", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 30, no. 2, pp. 299-314, 2008.
- [26] В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, Є. М. Крижановський, О. В. Гавенко, та В. Ю. Балачук, *Інформаційні технології автоматизації обробки параметрів геоінформаційних систем з геометричними мережами: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2014.
- [27] R. Louban, *Image Processing of Edge and Surface Defects. Theoretical Basis of Adaptive Algorithms with Numerous Practical Applications*. London, UK: Springer-Verlag, 2009.
- [28] Э.С. Айчифер, и Б.У. Джервис, *Цифровая обработка сигналов: практический подход*. Москва, Россия: Вильямс, 2004.
- [29] E. S. Ifeachor, and B. W. Jervis, *Digital signal processing: a practical approach*. New York, USA: Prentice Hall, 2002.
- [30] L. Roger, and Jr. Easton, *Fourier methods in imaging. Series in Imaging Science and Technology*. Springfield, USA: Wiley-IS&T, 2010.
- [31] Н.Н. Бондина, и Р.Ю. Муратов, "Адаптивные алгоритмы фильтрации и изменения контраста изображения", *Вестник НТУ «ХПИ»*, № 35, с.35-42, 2014.
- [32] D. Baleanu, *Advances in wavelet theory and their applications in engineering, physics and technology*. London, UK: InTech, 2012.
- [33] R. V. Meera Devi, and B. S. Sathish Kumar, "Gaussian Noise Reduction on Image Automatically", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 61-64, 2015.

- [34] D. D. Muresan, and T. W. Parks, "Adaptive principal components and image denoising", in *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Barcelona, Spain, 2003, pp. 101-104.
- [35] M. Polyakova, V. Krylov, and N. Volkova, "The method of wave lets construction by transformation of a graph of power function for edge detection", *International Journal of Computing*, vol. 11, no. 3, pp. 203-214, 2012.
- [36] F. Safaraa, Sh. Doraisamya, A. Azmana, A. Jantana, and A. Ramaiahc, "Multi-level basis selection of wavelet packet decomposition tree for heart sound classification", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 43, no. 10, pp. 1407–1414, 2013.
- [37] В.П. Дьяконов, *Вейвлеты. От теории к практике*. Москва, Россия: СОЛОН-Пресс, 2004.
- [38] О. В. Капшій, О. І. Коваль, та Б. П. Русин, *Вейвлет-перетворення у компресії та попередній обробці зображень*. Львів, Україна: Сполом, 2008.
- [39] Н. К. Смоленцев, *Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB*. Москва, Россия: ДМКПрес, 2008.
- [40] О. І. Черняк, та П. В. Захарченко, *Інтелектуальний аналіз даних: підручник*. Київ, Україна: Знання, 2014.
- [41] В. И. Васильев, и А. И. Шевченко, *Искусственный интеллект*. Донецк, Украина: ДонДИИИ, 2000.
- [42] Ю. П. Зайченко, *Основы проектирования интеллектуальных систем. Навчальний посібник*. Київ, Україна: Слово, 2004.
- [43] Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, О. Г. Оксіюк, та О. В. Поморова. *Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : навч. посібник*. Київ, Україна: Вид-во Європ. ун-ту, 2007.
- [44] М. М. Глибовець, та О. В. Олецкий, *Штучний інтелект: підручник*. Київ, Україна: КМ Академія, 2002.

- [45] Дж.Ф. Люгер, *Искусственный интеллект: Стратегии и методы решения сложных проблем*. Москва, Россия: Вильямс, 2003.
- [46] С. Рассел, и П. Норвиг, *Искусственный интеллект: современный подход*. Москва, Россия: Вильямс, 2006.
- [47] E. Kussul, T. Baidyk, and D. Wunsch, *Neural Networks and Micromechanics*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2010.
- [48] L. Rutkowski, *Computational Intelligence. Methods and Techniques*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [49] S. Theodoridis, and K. Koutroumbas. *Introduction to the Pattern Recognition: a MATLAB approach*. Burlington, USA: Elsevier, 2010.
- [50] I. Turchenko, V. Kochan, and A. Sachenko, "Accurate Recognition of Multi-Sensor Output Signal Using Modular Neural Networks", *International Journal of Information Technology and Intelligent Computing*, vol. 2, no. 1, pp. 27-47, 2007.
- [51] О.Г. Руденко, та Є.В. Бодяньський, *Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник*. Харків, Україна: СМІТ, 2006.
- [52] Д. Рутковская, М. Пилиньский, и Л. Рутковский, *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва, Россия: Горячая линия-Телеком, 2004.
- [53] Ф. Уосермен, *Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика*. Москва, Россия, 1992.
- [54] С.Д. Штовба, та В.В. Мазуренко, *Інтелектуальні технології ідентифікації залежностей. Лабораторний практикум: електронний навчальний посібник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2014.
- [55] Y. P. Chen, and M. H. Lim, *Linkage in Evolutionary Computation*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [56] P.F. Hingston, L.C. Barone, and Z. Michalewicz. *Design by Evolution. Advances in Evolutionary Design*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [57] S.N. Sivanandam, and S.N. Deepa. *Introduction to Genetic Algorithms*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.

- [58] М. М. Байас, В. М. Дубовой, "Координація рішень про розподілення ресурсів на основі генетичного алгоритму", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т.2, № 30, с. 4-12, 2014.
- [59] Т.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, и С.А. Сергеев, *Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности*. – Харьков, Украина: Основа, 1997.
- [60] С. М. Захарченко, Н. Р. Романівна, та О. О. Манаєва, "Дослідження можливостей генетичного алгоритму в задачі кластеризації користувачів мережі Internet", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 2, № 18, с. 67-72, 2010.
- [61] Ю. О. Скобцов. *Основи еволюційних обчислень: навч. посібник*. Донецьк, Україна: ДонНТУ, 2008.
- [62] Б. Яне, *Цифровая обработка изображений*. Москва, Россия: 2007.
- [63] V. Petruk, O. Kvaternyuk, and S. Kvaternyuk, "Methods and means of measuring control and diagnostics of biological tissues in vivo based on measurements of color coordinates and multispectral image", *Proc. SPIE*, vol. 9816, 98161H, pp. 98161H-1–98161H-5, 2015.
- [64] С. М. Кватернюк, "Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №. 1, с. 15-22, 2017.
- [65] С. М. Кватернюк, "Аналіз структурних схем засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю параметрів та діагностування стану неоднорідних біологічних середовищ", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології (ОЕІЕТ)*, т. 33, №. 1, с.54-60, 2017.
- [66] Р.А. Кожемякин, и А.Н. Земляченко, Н.Н. Пономаренко, и В.В. Лукин, "Автоматическое сжатие гиперспектральных изображений с использованием вариационно-стабилизирующего преобразования", *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, № 1 (60), с. 58-65, 2013.

- [67] В.В. Старовойтов, и Ю.И. Голуб, *Цифровые изображения: от получения до обработки*. Минск, Беларусь: ОИПИ НАН Беларуси, 2014.
- [68] Д. Даджион, и Р. Мерсеро, *Цифровая обработка многомерных сигналов*. Москва, СССР: Мир, 1988.
- [69] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, та Т. Ю.Позднякова, "Особливості двовимірного оброблення даних за різницевиими зрізами", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології (OEIET)*, т.29, №.1, с. 10-17, 2015.
- [70] A. K. Boyat, and B. K. Joshi, "A Review Paper: Noise Model in Digital Image", *Processing, Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*, vol. 6, No. 2, pp. 63-75, 2015.
- [71] J. Immerkaer, "Fast Noise Variance Estimation", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 64, No. 2, pp. 300-302, 1996.
- [72] X. Liu, M. Tanaka, and M. Okutomi, "Single-Image Noise Level Estimation for Blind Denoising", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, No. 12, pp. 5226- 5237, 2013.
- [73] S. Pyatykh, J. Hesser, and L. Zheng, "Image noise level estimation by principal component analysis", *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 22, no.2, pp.687-699, 2013.
- [74] В.В. Абрамова, С.К. Абрамов, В.В. Лукин, и Г.А. Проскура, "Исследование возможности повышения быстродействия метода оценивания дисперсии помех на цифровых изображениях", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (82), С.4-9, 2017.
- [75] В.В. Абрамова, С.К. Абрамов, и В.В. Лукин, "Многоэтапный автоматический метод оценивания дисперсии аддитивного шума с использованием детектора однородных участков на основе момента четвертого порядка", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 4 (63), С.15-24, 2013.

- [76] П.Е. Ельцов, С.К. Абрамов, М.Л. Усс, и В.В. Лукин, "Обнаружение однородных участков изображений на основе тестов на гауссовость", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 1 (49), с. 38-45, 2011.
- [77] Р.Н. Кветний, В.Ю. Дементьев, М.О.Машницкий, та О.О. Юдін, *Різницеві методи та сплайни в задачах багатовимірної інтерполяції. [монографія]*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009.
- [78] И. М. Фодчук, С. М. Новиков, та И. В. Яремчук, "Воспроизведение остаточного деформационного поля в кристалле-анализаторе LLL-интерферометра", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 38, № 3, с. 389-403, 2016.
- [79] І. М. Фодчук, та С. В. Баловсяк, *Діагностика поверхні твердого тіла. Загальний стан проблеми та X-променеві методи: Навчальний посібник*. Чернівці, Україна: Рута, 2007.
- [80] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Спосіб визначення середньої арифметичної висоти нерівностей поверхні кристалу методом повного зовнішнього відбивання X-променів", *Патент на корисну модель 104335 Україна, МПК G01T 1/16 (2006.01), G06F 17/17 (2006/01), G06T 17/30 (2006/01), G09B 23/26 (2006/01), № u201506834*, 25.01.2016.
- [81] С. В. Баловсяк, В. М. Ткач, та І. М. Фодчук, "Спосіб визначення локальних деформацій кристалів на основі профілів розподілу інтенсивності зворотно відбивних електронів", *Патент на корисну модель 100924 Україна, МПК G01T 1/16 (2006.01), G06F 17/17 (2006.01), G06T 17/30 (2006.01), № u201502816*, 10.08.2015.
- [82] С. В. Баловсяк, П. М. Литвин, І. М. Фодчук, та І. В. Яремчук, "Спосіб визначення величини деформаційних полів кристала на основі X-променевого муарового зображення в кремнієвому LLL-інтерферометрі", *Патент на корисну модель 121378 Україна, МПК G01T 1/16, G06F 17/00, G06F 17/17, № u201702011*, 11.12.2017.
- [83] I. Fodchuk, S. Balovsyak, M. Borcha, Ya. Garabazhiv, and V. Tkach, "Determination of structural inhomogeneity of synthesized diamonds by back

- scattering electron diffraction", *Phys. Status Solidi A*, vol. 208, no. 11, pp. 2591-2596, 2011. doi: 10.1002/pssa.201184266.
- [84] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабажив, В. М. Ткач, и И. М. Фодчук, "Определение структурной неоднородности искусственных кристаллов алмазов методом Кикучи – дифракции", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 31, № 7, с. 911-925, 2009.
- [85] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, И. М. Фодчук, В. Ю. Хоменко, и В. Н. Ткач, "Определение структурной неоднородности кристаллов по данным анализа картин Кикучи", *Металлофизика и новейшие технологии*. т. 35, № 8, с. 1135-1148, 2013.
- [86] С. В. Баловсяк и др., "Локальные деформации в окрестности трещин сварочного шва никелевого сплава, определенные с помощью Фурье-преобразования картин Кикучи", *Металлофизика и новейшие технологии*. т. 35, № 10, с. 1359-1370, 2013.
- [87] M. Borcha, M. Solodkiy, I. Fodchuk, S. Balovsyak, and V. Tkach, "Deformation state of Ge crystals from data of method of electron backscattering diffraction", in *14th Biennial Conference on High-Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2018"*, Bari, Italy, 2018, pp.170.
- [88] И. М. Фодчук, Ю. Т. Роман, и С. В. Баловсяк, "Новые подходы анализа рентгеновских дифрактограмм на основе вейвлет-преобразований", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 39, № 7, с. 855-863, 2017. doi: 10.15407/mfint.39.07.0855.
- [89] I. M. Fodchuk, et al., "Distribution in Angular Mismatch between Crystallites in Diamond Films Grown in Microwave Plasma", *Diamond and Related Materials*, vol. 19, pp. 409-412, 2010. doi: 10.1016/j.diamond.2010.01.020
- [90] M. D. Borcha, S. V. Balovsyak, I. M. Fodchuk, V. Yu. Khomenko, and V. N. Tkach, "Distribution of local deformations in diamond crystals according to the analysis of Kikuchi lines profile intensities", *Journal of Superhard Materials*, vol.35, no. 4, pp. 220-226, 2013. doi: 10.3103/S1063457613040035.

- [91] M. D. Borchа, S. V. Balovsyak, I. M. Fodchuk, V. Yu. Khomenko, O. P. Kroitor, and V. N. Tkach, "Local deformation in diamond crystals defined by the Fourier transformations of Kikuchi patterns", *Journal of Superhard Materials*, vol.35, no. 5, pp. 284-291, 2013. doi: 10.3103/S1063457613050031.
- [92] I. M. Fodchuk, M. D. Borchа, V. Yu. Khomenko, S. V. Balovsyak, V. M. Tkach, and O. O. Statsenko, "A Strain State in Synthetic Diamond Crystals by the Data of Electron Backscatter Diffraction Method", *Journal of Superhard Materials*, vol. 38, no. 4, pp. 271-276, 2016. doi: 10.3103/S1063457616040080
- [93] S. Balovsyak, M. Borchа, Ya. Garabazhiv, I. Fodchuk, and V. Tkach, "Use of electron diffraction for determination of strain distribution in synthetic diamonds", *Proceedings SPIE*, vol. 8338, pp. 700819-1 - 700819-7, 2011. doi: 10.1117/12.921051.
- [94] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Суміщення зображень об'єктів з використанням генетичних та градієнтних алгоритмів", *Комп'ютинг*, т. 12, № 2, с. 160-169, 2013.
- [95] I. Fodchuk, S. Balovsyak, M. Borchа, Ya. Garabazhiv, and V. Tkach, "Determination of Structural Homogeneity of Synthetic Diamonds from analysis of Kikuchi lines intensity distribution", *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, vol. 13, no. 3, pp. 262-267, 2010.
- [96] І. М. Фодчук, С. В. Баловсяк, О. С. Кшевецький, та О. М. Потапов, "Програмне забезпечення для цифрової обробки зображень в X-променевій топографії", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 201, с. 16-21, 2004.
- [97] I. M. Fodchuk, et al., "Magnetic force microscopy of YLaFeO films implanted by high dose of nitrogen ions", *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, vol. 16, no. 3, pp. 246-252, 2013. doi: 10.15407/spqeo16.03

- [98] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Використання штучних нейронних мереж для визначення параметрів напівпровідників за даними X-променевих методів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 420, с. 45-51, 2008.
- [99] В. М. Ткач, та ін., "Визначення структурної неоднорідності синтезованих алмазів та розорієнтації кристалітів/зерен полікристалічних матеріалів методом Кікучі-дифракції", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 438, с. 72-85, 2009.
- [100] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Алгоритми і програмне забезпечення розв'язку деяких задач розсіяння електронів та X-променів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, № 438, с. 113-121, 2009.
- [101] І. М. Фодчук, М. Д. Борча, В. Ю. Хоменко, В. М. Ткач, та С. В. Баловсяк, "Особливості розподілу деформацій в кристалах, визначених методом дифракції зворотно-розсіяних електронів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, т. 3, № 2, с. 29-38, 2014.
- [102] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Програмне забезпечення для проведення віртуальних лабораторних робіт на базі X-променевого дифрактометра ДРОН-3", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Фізика. Електроніка*, т. 3, № 2, с. 46-53, 2014.
- [103] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Програмне забезпечення для автоматизованого керування X-променевими дифрактометрами", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 2, № 2, с. 56-61, 2011.
- [104] С. В. Баловсяк, та І. М. Фодчук, "Апаратно-програмний комплекс для автоматизації фізичного експерименту на X-променевому дифрактометрі ДРОН-4", *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, № 4, с. 100-103, 2005.

- [105] Н. В. Рощупкіна, А. О. Саченко, С. В. Баловсяк, та О. Ю. Рощупкін, "Дослідження методу обробки сигналів багатопараметричних сенсорів", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 5, № 2, с. 57-64, 2014.
- [106] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазів, та І. М. Фодчук, "Програмний комплекс для аналізу ліній Кікучі", *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, № 4 (137), с. 68-73, 2009.
- [107] С. В. Баловсяк, І. М. Фодчук, Ю. Н. Соловей, и Я. В. Луцик, "Многоуровневый метод повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений", *Кибернетика и вычислительная техника*, № 182, с. 15-26, 2015.
- [108] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, и И. М. Фодчук, "Ориентированная фильтрация цифровых электронно-дифракционных изображений", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (77), с. 4-13, 2016.
- [109] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Автоматичне видалення гаусового шуму на цифрових зображеннях за допомогою квазіоптимального фільтра Гауса", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (83), с. 26-35, 2017.
- [110] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic Highly Accurate Estimation of Gaussian Noise Level in Digital Images Using Filtration and Edges Detection Methods", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 12, pp. 1-11, 2017. doi: 10.5815/ijigsp.2017.12.01.
- [111] S. Balovsiak, N. Roshchupkina, A. Sachenko, O. Roshchupkin, V. Kochan, and R. Smid, "Improved Multisensors Signal Processing", in *IEEE 35th Intern. Conf. on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2015)*, Kyiv, Ukraine, 2015, pp. 341-346. doi: 10.1109/ELNANO.2015.7146906.
- [112] С. В. Баловсяк, І. М. Фодчук, и О. Н. Потапов, "Методы цифровой обработки изображений в рентгеновской топографии", на *II Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників*, Чернівці-Вижниця, 2004, с. 415-416.

- [113] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, О. П. Кройтор, В. Н. Ткач, и И. М. Фодчук, "Тензометрия упругих деформаций на границах раздела многослойных наноразмерных систем с помощью дифракции отраженных электронов", на *V Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників УНКФН-5*, Ужгород, 2011, с. 468.
- [114] М. Д. Борча, та ін., "Визначення деформацій в околі тріщини у зварному шві нікелевого сплаву з аналізу картин Кікучі", на *VI Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників УНКФН-6*, Чернівці, 2013, с. 453-454.
- [115] С. В. Баловсяк, І. М. Фодчук, та В. М. Ткач, "Підвищення точності діагностики локальних деформацій в штучних кристалах алмазу шляхом цифрової обробки електронно-мікроскопічних зображень", на *VII Укр. наук. конф. з фізики напівпровідників УНКФН-7*, Дніпро, 2016, с. 302-303.
- [116] С. В. Баловсяк, и И. М. Фодчук, "Анализ и цифровая обработка рентгенотопографических изображений", на *Юбилейной X Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок*, Ивано-Франковск, Украина, 2005, с. 165-166.
- [117] С. В. Баловсяк, и И. М. Фодчук, "Использование искусственных нейронных сетей для определения параметров нанорельефа поверхности полупроводников за данными метода полного внешнего отражения рентгеновских лучей", на *XI Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2007, с. 77-78.
- [118] В. Н. Ткач, М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, И. М. Фодчук, и С. В. Ткач, "Определение структурной однородности искусственных кристаллов алмазов методом Кикучи-дифракции", на *XII Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2009, с. 192-194.
- [119] В. Н. Ткач, и др., "Структурные характеристики алмазных пленок, выращенных в СВЧ-плазме", на *XII Международ. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2009, с. 271-272.

- [120] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабажив, и И. М. Фодчук, "Определение деформаций линий Кикучи с помощью корреляционной функции", на *XII Междунар. конф. по физике и технологии тонких пленок и наносистем*, Ивано-Франковск, Украина, 2009, с. 209-210.
- [121] M. Borch, S. Balovsyak, Ya. Garabazhiv, I. Fodchuk, and V. Tkach, "Possibilities of Kikuchi diffraction in researches of multilayer nanoscaled systems", на *XIII Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2011, с. 183.
- [122] S. V. Balovsyak, I. V. Lutsyk, and I. M. Fodchuk, "Methods of Reconstruction and Restoration of Images", на *XV Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2015, с. 93.
- [123] V. Khomenko, M. Borch, I. Fodchuk, S. Balovsyak, and V. Tkach, "Strain Distribution in Synthesized Diamonds", на *XV Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2015, с. 271.
- [124] V. Khomenko, et al., "EBSD Based Studies of Strain Distribution in Weld Joint of NiCrFe Alloy", на *XV Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2015, с. 363.
- [125] M. Borch, S. Balovsyak, I. Fodchuk, Y. Garabazhiv, O. Sumariuk, and V. Tkach, "Strain Analysis of Synthetic Diamond and Diamond Films Using Electron Backscatter Diffraction", на *XVI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2017, с. 271.
- [126] S. Balovsyak, I. Fodchuk, Yu. Roman, and M. Solodkyi, "Processing of X-Ray Diffractograms of TiN Thin Films Using Wavelet Transforms", на *XVI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2017, с. 331.
- [127] I. Yaremchuk, S. Balovsyak, I. Fodchuk, and S. Novikov, "The Fourier Energy Spectrum for X-Ray Moiré Images Arising Under the Action of

- Concentrated Forces in Si", на *XVI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок та наносистем*, Івано-Франківськ, Україна, 2017, с. 357.
- [128] S. V. Balovsyak, O. V. Derevyanchuk, and I. M. Fodchuk, "Method of calculation of averaged digital image profiles by envelopes as the conic sections", in *The First Intern. Conf. on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2018)*, Kiev, Ukraine, 2018, pp. 2-4.
- [129] M. D. Borcha, S. V. Balovsyak, V. M. Tkach, I. M. Fodchuk, and V. Yu. Khomenko, "Strain measurement of residual deformations in diamond crystals from Kossel and Kikuchi lines", in *11th Biennial Conf. on High Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2012"*, St. Petersburg, Russia, 2012, pp. 366-367.
- [130] M. Borcha, et al., "Strain distribution in local areas of synthesized diamonds and weld joint of NiCrFe alloy", in *12th Biennial Conf. on High Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2014"*, Villard de Lans, France, 2014, pp. 83.
- [131] I. Fodchuk, M. Borcha, V. Khomenko, S. Balovsyak, V. Tkach, and O. Statsenko, "Full strain tensor determination in synthesized diamonds and diamonds films", in *13th Biennial Conf. on High-Resolution X-Ray Diffraction and Imaging "X-Top 2016"*, Brno, Czech Republic, 2016, pp. 285.
- [132] С. В. Баловсяк, та А. І. Недбаєвська, "Порівняння зображень об'єктів з використанням генетичних алгоритмів", на *Всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2012"*, Чернівці, 2012, с. 100-101.
- [133] С. В. Баловсяк, та М. О. Якимчук, "Підвищення візуальної якості зображень за допомогою штучної нейронної мережі Хопфілда", на *III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2014"*, Чернівці, 2014, с. 101-103.
- [134] С. В. Баловсяк, С. Л. Воропаєва, та Л. М. Карча, "Програмне забезпечення для підвищення візуальної якості сканованих текстів за допомогою модифікованих методів просторової фільтрації", на *IV*

Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2015”, Чернівці, 2015, с. 149-151.

- [135] С. В. Баловсяк, та К. В. Цигира, "Програмне забезпечення для підвищення локального контрасту та видалення неоднорідного фону зображень", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2016”*, Чернівці, 2016, с. 135-137.
- [136] С. В. Баловсяк, та А. Ю. Мельничук, "Орієнтована фільтрація зображень в просторовій області", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2016”*, Чернівці, 2016, с. 131-133.
- [137] С. В. Баловсяк, О. О. Пшеничний, та В. І. Шушельницький, "Детектування відрізків прямих ліній на зображеннях з шумом за допомогою перетворення Хафа", на *VI міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2017”*, Чернівці, 2017, с. 97-99.
- [138] И. М. Фодчук, и С. В. Баловсяк, "Использование искусственных нейронных сетей для определения параметров нанорельефа поверхности по данным рентгеновской рефлектометрии", на *Нац. конф. по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов РСНЭ НАНО-2005*, Москва, Россия, 2005, с. 267.
- [139] В. Н. Ткач, М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, и И. М. Фодчук, "Кикучи-дифракция в структурно неоднородных кристаллах искусственных алмазов", на *VII Нац. конф. "Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов" (РСНЭ - НБИК 2009)*, Москва, Россия, 2009, с. 204.
- [140] М. Д. Борча, С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, И. М. Фодчук, и В. Н. Ткач, "Тензометрия наноразмерных систем из анализа линий Кикучи", на *VIII Нац. конф. "Рентгеновское, синхротронное излучения,*

нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов" (РСНЭ - НБИК 2011), Москва, Россия, 2011, с. 145.

- [141] С. В. Баловсяк, та Н. В. Личук, "Розпізнавання зображень символів за допомогою штучних нейронних мереж з використанням перетворення Фур'є", на *16-й Міжнар. конф. з автоматичного управління „АВТОМАТИКА-2009”*, Чернівці, 2009, с. 291-293.
- [142] С. В. Баловсяк, И. М. Фодчук, и Я. Д. Гарабажив, "Корреляционный способ определения деформаций изображений, полученных методами дифракции электронов", на *Международ. конф. „Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании” 2007*”, Одесса, 2007, с. 85-89.
- [143] С. В. Баловсяк, та О. О. Пшеничний, "Детектування кіл та еліпсів на зображеннях з шумом за допомогою перетворення Хафа", на *VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях»*, Чернівці, 2017, с. 81-82.
- [144] С. В. Баловсяк, Т. А. Паньків, та І. М. Фодчук, "Побудова карти просторового розподілу для середніх частот і періодів зображень з використанням квадродерев", на *II Всеукр. наук.-практ. конф. «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем» MEICS-2017*, Дніпро, 2017, с. 106-107.
- [145] I. M. Fodchuk, and S. V. Balovsyak, "New possibilities for determination of solids surface parameters by X-ray reflectivity", *Phys. Status Solidi A*, vol. 204, no. 5, pp. 1543-1554, 2007. doi: 10.1002/pssa.200622171.
- [146] С. В. Баловсяк, и И. М. Фодчук, "Новые подходы в моделировании кривых полного внешнего отражения рентгеновских лучей. Метод частиц", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 31, № 11, с. 1493-1504, 2009.
- [147] У. Прэтт, *Цифровая обработка изображений*. Кн. 1. Москва, СССР: Мир, 1982.

- [148] В.Г. Колобродов, та В.І. Микитенко. *Комплексування інформації в багатоканальних оптико-електронних системах спостереження: монографія*. Київ, Україна: Аверс, 2013.
- [149] Zeiss.microscopy. [Online]. Available: http://www.zeiss.com/microscopy/en_de/home.html. Accessed on: April 15, 2018.
- [150] Nano Technology System Division. [Online]. Available: <http://www.smt.zeiss.com/leo>. Accessed on: April 15, 2018.
- [151] Центр колективного користування науковими приладами. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.ism.kiev.ua/index.php?i=17>. Дата звернення: 16.04.2018.
- [152] Центр Колективного користування приладами НАН України при інституті фізики напівпровідників НАНУ. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.microscopy.org.ua>. Дата звернення: 16.04.2018.
- [153] В. В. Березин, А. А. Умбиталиев, Ш. С. Фахми, А. К. Цыцулин, и Н. Н. Шипилов, *Твердотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле*. Москва, Россия: Радио и связь, 2006.
- [154] Р.Г. Джексон, *Новейшие датчики*. Москва, Россия: Техносфера, 2007.
- [155] А. А. Горбачев, В. В. Коротаяев, и С. Н. Ярышев, *Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе*. Санкт-Петербург, Россия: НИУ ИТМО, 2013.
- [156] С. А. Молодяков, *Фотоприемники в системах потоковой обработки сигналов и изображений*. Санкт-Петербург, Россия: Изд-во Политехн. ун-та, 2014.
- [157] В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, и Е. И. Клыкова, *Компьютерная микроскопия*. Москва, Россия: Техносфера, 2005.
- [158] Й.Й. Білінський, *Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010.

- [159] Hough transform. Mathworks. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/hough.html?requestedDomain=www.mathworks.com>. Accessed on: April 17, 2018.
- [160] J. L. Pach, P. Bilski, "A robust binarization and text line detection in historical handwritten documents analysis", *International Journal of Computing*, vol. 15, no. 3, pp. 154-161, 2016.
- [161] *Дифрактометр рентгеновский ДРОН-3М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации*, Ленинград, СССР: ЛОМО, 1985.
- [162] *Гониометр ГУР-8. Техническое описание и эксплуатация*. Ленинград, СССР: ЛОМО, 1985.
- [163] И. Е. Ануфриев, А. Б. Смирнов, и Е. Н. Смирнова, *MATLAB 7*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2005.
- [164] А. Ф. Дащенко, В. Х. Кириллов, Л.В. Коломиец, и В.Ф. Оробей. *Matlab в инженерных и научных расчетах*. Одеса, Україна: Астропринт, 2003.
- [165] Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, и М.М. Шульц, *Matlab 7: программирование, численные методы*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2005.
- [166] D. Zoran, and Y. Weiss, "Scale invariance and noise in natural images", in *Proc. IEEE 12th Int. Conf. Comput. Vis.*, 2009, pp. 2209-2216.
- [167] B. R. Corner, R. M. Narayanan, and S. E. Reichenbach, "Noise estimation in remove sensing imagery using data masking", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 24, no. 4, pp. 689-702, 2003.
- [168] S.-C. Tai, and S.-M. Yang, "A fast method for image noise estimation using Laplacian operator and adaptive edge detection", in *Proc. 3rd Int. Symp. Commun. Control Signal Process (ISCCSP)*, 2008, Malta, pp. 1077-1081.
- [169] W. Pratt, *Digital Image Processing*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 1978.
- [170] О.И. Еремеев, Д.В. Февралев, Н.Н. Пономаренко, и В.В.Лукин, "Визуальное качество изображений при различных типах помех", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (54), с. 49-57, 2012.

- [171] D. Suresha, and H. N. Prakash, "Data Content Weighing for Subjective versus Objective Picture Quality Assessment of Natural Pictures", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 2, pp. 27-36, 2017.
- [172] С. К. Абрамов, А. А. Зеленский, В. В. Лукин, и Н. Н. Пономаренко, "Использование базы TID2008 при разработке метрик визуального качества и методов обработки изображений", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 4(56), с. 99-109, 2012.
- [173] А. А. Зеленский, С. К. Абрамов, и В. В. Лукин, "Проблемы и методы автоматического определения характеристик помех на изображениях", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (36), с. 25-34, 2009.
- [174] А. Л. Приоров, И. В. Апальков, и В. В. Хрящев, *Цифровая обработка изображений: учебное пособие*. Ярославль, Россия: ЯрГУ, 2007.
- [175] Л. П. Ярославский, *Введение в цифровую обработку изображений*. Москва, СССР: Сов. радио, 1979.
- [176] M.L. Uss, B. Vozel, V.V. Lukin, and K. Chehdi, "Image informative maps for component-wise estimating parameters of signal-dependent noise", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 22, no. 1, pp. 013019-1 – 013019-17, 2013.
- [177] M. Srinivasa Rao, V. Vijaya Kumar, and Mhm. Krishna Prasad, "Texture Classification based on First Order Local Ternary Direction Patterns", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 2, pp. 46-54, 2017.
- [178] Ye Zhiwei, Yang Juan, Zhang Xu, and Hu Zhengbing, "Remote Sensing Textual Image Classification based on Ensemble Learning", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 8, no. 12, pp. 21-29, 2016.
- [179] А.Д. Гольцев, и В.И. Гриценко, "Алгоритм последовательного определения характерных признаков однородных текстурных областей для задачи сегментации изображений", *Кибернетика и вычислительная техника*, № 173, с. 25–35, 2013.

- [180] Р.Н. Кветний, та О.Ю. Софина, *Методи фільтрації текстурованих зображень у задачах розпізнавання та класифікації: монографія*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2010.
- [181] И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, и А.А. Спектор, *Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие*. Новосибирск, Россия: Изд-во НГТУ, 2000.
- [182] A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Pointwise shape-adaptive DCT for high-quality denoising and deblocking of grayscale and color images", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 16, no. 5, pp. 1395-1411, 2007.
- [183] G. Ilango, and R. Marudhachalam, "New Hybrid Filtering Techniques for Removal of Gaussian Noise from Medical Images", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 6, no. 2, pp. 8-12, 2011.
- [184] S. Singh, A. K. Saini, and R. Saini, "Interfacing the Analog Camera with FPGA Board for Real-time Video Acquisition", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 6, no. 4, pp. 32-38, 2014.
- [185] L. Zhang, W. Dong, D. Zhang, and G. Shi, "Two-stage image denoising by principal component analysis with local pixel grouping", *Pattern Recognition*, vol. 43, no. 8, pp. 1531-1549, 2010.
- [186] О. Д. Азаров, Н. О. Біліченко, та С. М. Захарченко, *Високолінійні порозрядні АЦП із перерозподілом заряду з ваговою надлишковістю, що самокалібруються : монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016.
- [187] О.Д. Азаров, *Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю: монографія*. Вінниця, Україна: Вінниц. нац. техн. ун-т., 2010.
- [188] В. П. Боюн, "Інтелектуальні відеосистеми реального часу", на *В міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія»*, Івано-Франківськ, 2015, с. 112-114.
- [189] Ю.Е. Воскобойников, и А.Б. Колкер. *Фильтрация сигналов и изображений (с примерами в MathCad): монография*. Новосибирск, Россия: НГАСУ (Сибстрин), 2010.

- [190] О.В. Дробик та ін., *Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: навчальний*. Київ, Україна: Наукова думка, 2008.
- [191] И. М. Журавель, *Обработка сигналов и изображений. Image Processing Toolbox*. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://matlab.exponenta.ru/imagprocess/book2/22.php>. Дата звернення: 17.04.2018.
- [192] Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко, О. Ю. Софіна, та О.М. Шушура; за заг. ред. Р.Н. Кветного, *Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.
- [193] Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко, О. Ю.Софіна, та О.М. Шушура; за заг. ред. Р.Н. Кветного, *Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 2: навчальний посібник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.
- [194] В. В. Лукин, Н. Н. Пономаренко, С. К. Абрамов, и А. А. Зеленский, "Потенциальная эффективность фильтрации изображений: есть ли предел и близок ли он?", *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (44), с. 38-43, 2010.
- [195] А.И. Поворознюк, и А.Е. Филатова, "Проектирование нелинейного фильтра в задаче структурной идентификация биомедицинских сигналов с локально сосредоточенными признаками", *Системні дослідження та інформаційні технології*, №1 (15), с. 69-80, 2014.
- [196] А. С. Рубель, и В. В. Лукин, "Прогнозирование эффективности фильтрации на основе дискретного косинусного преобразования при подавлении аддитивного шума на изображениях", *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, № 4 (63), с. 35-45, 2013.
- [197] А.Б. Сергиенко, *Цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие для вузов*. Санкт-Петербург, Россия: Питер, 2002.
- [198] Л. С. Файнзильберг, *Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика*. Київ, Україна: Наукова Думка, 2008.

- [199] Л. Шапиро, и Дж. Стокман. *Компьютерное зрение*. Москва, Россия: Бином. Лаборатория знаний, 2013.
- [200] А.Я. Кулик, та Я.А. Кулик, "Використання медіанного фільтра у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах", *Науковий вісник Чернівецького університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 1, № 1, с. 51-54, 2010.
- [201] S. Thonhpanja, A. Phinyomark, P. Phukpattaranont, and C. Limsakul. "Mean and Median Frequency of EMG Signal to Determine Muscle Force based on Time-dependent Power Spectrum", *Electronika IR Elektrotechnika*, vol. 19, no. 3, pp. 51-56, 2013.
- [202] С. И. Баскаков, *Радиотехнические цепи и сигналы*. Москва, Россия: Высшая школа, 2000.
- [203] L.I. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms", *Physica D*, vol. 60, pp. 259-268, 1992.
- [204] J.C. Nunes, S. Guyot, and E. Deléchelle, "Texture analysis based on the local analysis of bidimensional empirical mode decomposition", *Machine Vision and Applications*, vol. 16, no. 3, pp. 177-188, 2005.
- [205] Z. Yang, and L. Yang, "A New Two-dimensional Empirical Mode Decomposition Based on Classical Empirical Mode Decomposition and Radon Transform", in *Proc. of the Int. MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009 (IMECS-2009)*, Hong Kong, 2009, pp. 9.
- [206] X. Chang-zhen, X. Jun-yi, Z. Jian-cheng, and Q. Dong-xu, "Texture classification based on EMD and FFT", *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol. 7, no. 9, pp. 1516-1521, 2006.
- [207] N. E. Huang, et al., "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis", *Proc. Royal Society Lond. A*, vol. 454, pp. 903-995, 1998.
- [208] A. Hyvarinen, E. Oja, "Independent component analysis: Algorithms and application", *Neural Networks*, vol. 13, no. 4-5, pp. 411-430, 2000.

- [209] D. Coltuc, T. Fournel, J. M. Becker, and M. A. Jurlin, "Multiresolution Independent Component Analysis for textile images", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 77, pp. 11, 2007.
- [210] Р. А. Воробель, "Використання локального контрасту для побудови різницевих методів поліпшення якості зображень", Відбір і обробка інформації, т. 41, с. 88-95, 2014.
- [211] X. Li, and T. Chen, "Nonlinear diffusion with multiple edginess thresholds", *Pattern Recognition*, no. 27, pp. 1029-1037, 1994.
- [212] G. Gilboa, N. Sochen, and Y. Zeevi, "Image Enhancement and Denoising by Complex Diffusion Processes", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, no. 26, pp. 1020-1036, 2004.
- [213] Н. Н. Красильников, *Цифровая обработка 2D и 3D изображений*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2011.
- [214] Л. П. Фельдман, І. А. Петренко, та О. А. Дмитрієва, *Чисельні методи в інформатиці*. Київ, Україна: Видавнича група ВНУ, 2006.
- [215] В.П. Майданюк, та І.Р. Арсенюк, "Поліпшення якості зображень", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології (OEIET)*, т. 30, № 2, с.19-32. 2015.
- [216] А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. Цифрова обробка сигналів: навчальний посібник. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2010.
- [217] А. М. Петух, О. М. Рейда, В. П. Майданюк, та В. П. Кожем'яко, *Інформаційно-вимірювальні системи відновлення і ущільнення зображень: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2011.
- [218] Р. А. Кожемякин, В. В. Абрамова, и С. К. Абрамов, "Фильтрация изображений, искаженных смесью сигнально-зависимых и сигнально-независимых помех", *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (54), с. 58-65, 2012.
- [219] S. J. Osher, and L. I. Rudin, "Feature-Oriented Image Enhancement Using Shock Filters", *SIAM J. Numerical Analysis*, no. 27, pp. 919-940, 1990.

- [220] Р. Н. Кветний, О. Ю. Софина, та Ю. А. Буняк, "Метод синтезу фільтра для усунення розмитості з використанням другої фундаментальної форми поверхні зображення", Вісник Вінницького політехнічного інституту, №4, с. 84-88, 2013.
- [221] T. J. Atherton, and D. J. Kerbyson, "Size invariant circle detection", *Image and Vision Computing*, vol. 17, pp. 795-803, 1999.
- [222] G. Bradski, and A. Kaehler, *Learning OpenCV*. Sebastopol, USA: O'Reilly Media, 2008.
- [223] Find circles using circular Hough transform. Mathworks. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/imfindcircles.html?requestedDomain=www.mathworks.com>. Accessed on: May 17, 2018.
- [224] M. Smereka, and I. Duleba. "Circular object detection using a modified Hough transform", *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 18, no. 1, 2008, pp. 85-91.
- [225] S. Krigg. *Computer Vision Metrics. Survey, Taxonomy, and Analysis*. Basel, Switzerland, Springer, 2014.
- [226] H. Sponton, and J. Cardelino, A Review of Classic Edge Detectors. *Image Processing On Line*. [Online]. Available: <http://www.ipol.im/pub/art/2015/35>. Accessed on: May 19, 2018.
- [227] D. Zahorodnia, Y. Pigovsky, and P. Bykovyy, "Canny-based method of image contour segmentation", *International Journal of Computing*, vol.15, no. 3, pp. 200-205, 2016.
- [228] Л. Г. Ахметшина, А. А. Егоров, и И. М. Удовик, "Алгоритм бинаризации фотоизображений горных пород на неоднородном фоне", *Штучний інтелект*, №3, с. 53-61, 2014.
- [229] C. Fowlkes, D. Martin, and J. Malik, "Local Figure/ Ground Cues are Valid for Natural Images", *Journal of Vision*, vol. 7(8), no. 2, pp. 1-9, 2007.
- [230] The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark. BSDS300. [Online]. Available: <https://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds>. Accessed on: May 20, 2018.

- [231] А. Солонина, Д. Улахович, и Л. Яковлев, *Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2002.
- [232] К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, и А. Г. Нестеренко, *Теория электрической связи: учебное пособие*. Ульяновск, Россия: УЛГТУ, 2008.
- [233] А. М. Петух, Д. Т. Обідник, та О. Н. Романюк, *Інтерполяція в задачах контурного формоутворення. Монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2007.
- [234] Y. Sasaki, M. Igushi, and M. Hino, "Measuring strains for hematite phase in sinter ore by electron backscattering diffraction method", *Key Engineering materials*, vol. 326-328, pp. 237–240, 2006.
- [235] A. J. Sideris, and G. S. Bobrovnichii, A.L. Skury, "Some properties of diamonds synthesized in the new Mg-N-C system", *High Pressure Research*, vol. 29, no. 4, pp. 618–624, 2009.
- [236] A. J. Wilkinson, and D. Randman, "Determination of elastic strain fields and geometrically necessary dislocation distributions near nanoindents using electron backscatter diffraction", *Philosophical Magazine*, vol. 90, no. 9, pp. 1159–1177, 2010.
- [237] A. J. Wilkinson, E. E. Clarke, T. B. Britton, P. Littlewood, and P.S. Karamched, "High-resolution electron backscatter diffraction: an emerging tool for studying local deformation", *Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, vol. 45, no. 5, pp. 365–376, 2010.
- [238] Р. А. Заплитный, Т. А. Каземирский, И. М. Фодчук, З. Святтек, "Структурные изменения в эпитаксиальных структурах, модифицированных ионной имплантацией", *Металлофизика и новейшие технологии*, т. 27, №8, с. 915-932, 2006.
- [239] С. В. Ткач, Е. Ф. Кузьменко, В. Н. Ткач, А. Г. Гонтарь, и А. А. Шульженко, "Возможности цифровой растровой микроскопии

- высокого разрешения при исследовании структуры режущей двухслойной пластины", *Сверхтвердые материалы*, № 5, с. 24-30, 2003.
- [240] D. L. Carnì, D. Grimaldi, F. Lamonaca, L. Nigro, and P. F. Sciammarella, "From distributed measurement systems to cyber-physical systems: a design approach", *International Journal of Computing*, vol. 16, no. 2, pp. 66-73, 2017.
- [241] T. Sanislav, and L. Miclea, "Cyber-physical systems – Concepts, challenges and research areas", *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, vol. 14, pp. 28-33, 2012.
- [242] А. О. Мельник, "Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку", *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі*, № 806, с. 154-161, 2014.
- [243] А.О. Мельник, *Архітектура комп'ютера*. Луцьк, Україна: Волинська обласна друкарня, 2008.
- [244] Arduino. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc>. Accessed on: May 21, 2018.
- [245] П. В. Агуров. Интерфейсы USB. *Практика использования и программирования*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2004.
- [246] П. В. Агуров, *Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2004.
- [247] П. Ан. *Сопряжение ПК с внешними устройствами*. Москва, Россия: ДМК Пресс, 2001.
- [248] М.П. Бабич, та І.А. Жуков, Комп'ютерна схемотехніка: Навчальний посібник. Київ, Україна: МК-Пресс, 2004.
- [249] П. Гелль, *Как превратить компьютер в измерительный комплекс*. Москва, Россия: ДМК, 1999.
- [250] М. Гук, *Интерфейсы ПК: справочник*. Санкт-Петербург, Россия: Питер, 1999.
- [251] Ю. В. Новиков, О. А. Калашников, и С. Э. Гуляев, *Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC*. Москва, Россия: ЭКОМ, 1997.

- [252] Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, та Б. І. Стадник, *Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. Підручник для вищих навч. закл.*, Львів, Україна: Бескид Біт, 2008.
- [253] Дж. Смит, *Сопряжение компьютеров с внешними устройствами. Уроки реализации*, Москва, Россия: Мир, 2000.
- [254] Ю. Ф. Певчев, и К. Г. Финогенов, *Автоматизация физического эксперимента*, Москва, Россия: Энергоатомиздат, 1986. – 368 с.
- [255] А. Я. Архангельский, *Программирование в Delphi 7*, Москва, Россия: БИНОМ, 2004.
- [256] В. Э. Гофман, и А. Д. Хомоненко, *Delphi 6*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2001.
- [257] Л. Ф. Василевич, А. Ю. Михайлюк, В. П. Тарасенко, та О. К. Тесленко, "Функціонально-орієнтований підхід до проектування інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем", *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*, т. 12, № 2, с. 128-142, 2010.
- [258] Ф. Г. Гаращенко, та ін. *Розвиток методів і технологій моделювання та оптимізації складних систем*. Київ, Україна: Сталь, 2009.
- [259] В. М. Дубовой, Г. Ю. Дерман, І. В. Пилипенко, та М. М. Байас, *Прийняття рішень в управлінні розгалуженими технологічними процесами: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2013.
- [260] С. О. Субботін. *Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: навчальний посібник*. Запоріжжя, Україна: ЗНТУ, 2008.
- [261] В. А. Евстифеев, А. П. Черный, и Т. В. Величко, "Виртуальный комплекс для учебного процесса и научных исследований", *Вісник національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”*, № 45, с. 25-28, 2005.
- [262] G1Scene. OpenGL Solution for Delphi. [Online]. Available: <http://glscene.sourceforge.net/wikka/HomePage>. Accessed on: May 22, 2018.
- [263] В. Е. Гмурман, *Теория вероятностей и математическая статистика*,

- Москва, Россия: Высш. шк., 2003.
- [264] М. Я. Выгодский, *Справочник по высшей математике. Изд. 12-е.* Москва, СССР: Наука, 1977.
- [265] Г. Корн, и Т. Корн. *Справочник по математике. Для научных работников и инженеров.* Москва, СССР: Наука, 1974.
- [266] В.М. Глушков, *Основы безбумажной информатики.* Москва, СССР: Наука, 1987.
- [267] A. Ghate, and R.L. Smith, "Adaptive search with stochastic acceptance probabilities for global optimization", *Operations Research Letters*, vol. 36, no. 3, pp. 285-290, 2008.
- [268] Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, и Г. М. Кобельков, *Численные методы.* Москва, СССР: Наука, 1987.
- [269] Ф. Гилл, У. Мюррей, и М. Райт, *Практическая оптимизация.* Москва, СССР: Мир, 1985.
- [270] С.М. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning.* New York, USA: Springer Science+Business Media, 2006.
- [271] Z. Les, and M. Les, *Shape Understanding System. The First Steps toward the Visual Thinking Machines,* Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [272] N. Zheng, and J. Xue, *Statistical Learning and Pattern Analysis for Image and Video Processing.* London, UK: Springer-Verlag, 2009.
- [273] В. Я. Кутковецкий, *Розпізнавання образів: навчальний посібник.* Миколаїв, Україна: Вид-во МДГУ ім. П.Могили, 2003.
- [274] В. Т. Фисенко, и Т. Ю. Фисенко, *Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие.* Санкт-Петербург, Россия: СПбГУ ИТМО, 2008.
- [275] Д. Форсайт, и Ж. Понс, *Компьютерное зрение. Современный подход.* Москва, Россия: Вильямс, 2004.
- [276] I. M. Fodchuk, S. M. Novikov, and I. V. Yaremchuk, "Direct and inverse problems in X-ray three-crystal LLL-interferometry", *Applied Optics*, vol. 55, no. 12, pp. 120-125, 2016.

- [277] M. B. Mansour, Y. Mlouhi, I. Jabri, T. Battikh, L. Maalej, M. N. Lakhoua, "An image-processing technique for glaucoma detection on the basis of ophthalmic images", *International Journal of Computing*, vol. 14, no. 3, pp. 165-171, 2015.
- [278] Е. В. Высоцкая, А. Н. Страшненко, С. А. Синенко, и Ю. А. Демин, "Информационная система ранней диагностики первичной открытоугольной глаукомы", *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, № 1 (53), с. 105-109, 2012
- [279] Г. В. Кнышов, А. В. Руденко, Е. А. Настенко, А. В. Яковенко, С. О. Сиромеха, и С. С. Галич, "Особенности проектирования медицинской информационной системы поддержки принятия решений, основанной на интеллектуальном анализе данных", *Кибернетика и вычислительная техника*, № 177, с. 79-87, 2014.
- [280] С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, Р. Ю. Довгалюк, та А.-З. Хані, "Інформаційні технології підвищення якості біомедичних зображень", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 2, № 21, с. 41-48, 2011.
- [281] С. В. Павлов, та ін., "Метод виділення контурів біомедичних зображень із використанням фільтрів та критерії їх ефективності", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т.3, № 40, с. 14-22, 2017.
- [282] С. В. Павлов, та ін., "Оцінювання якості зображень томограм макулярної області сітківки ока", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 3, № 40, с. 4-13, 2017.
- [283] О. М. Березький, О. Й. Піцун, А. Р. Боднар, та Т. М. Долинюк, "Класифікація гістологічних та цитологічних зображень на основі згорткових нейронних мереж", *Штучний інтелект*, № 1, с. 29-37, 2017.
- [284] Ф. Е. Шадричев, "Диабетическая ретинопатия: современные подходы к ведению пациентов", *Consilium Medicum*, т. 14, №12, с. 2-9, 2012.
- [285] Groovy Rings of Saturn. [Online]. Available: <http://www.nasa.gov/jpl/PIA18308/groovy-rings-of-saturn>. Accessed on: May 23, 2018.

- [286] Сотовик. Мобильная фотография. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://forum.sotovik.ru/attachment.php?attachmentid=3739&d=1411750198>. Дата звернення: 16.04.2018.
- [287] Чернівецький національний університет. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://skyandmethod.com>. Дата звернення: 16.05.2018.
- [288] EasyDiagnost Eleva DRF. Система цифровой рентгенографии и рентгеноскопии. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.philips.ua/ru/healthcare/product/HC706037/easydiagnost-eleva-drf>. Дата звернення: 18.07.2018.
- [289] Philips PrimaryDiagnost DR. Рентгеновская система. [Электронный ресурс]. Доступно: http://southmedica.ru/cifrovaya_rentgenograficheskaya_sistema_philips_primarydiagnost_dr. Дата звернення: 19.07.2018.
- [290] Р. В. Кудрявцева, Д. А. Павлов, и П. А. Шиляев, *Геометрическая теория рассеяния ускоренных электронов на кристаллах. Описание лабораторной работы*. Н. Новгород, Россия: НГУ, 2003.
- [291] F. Ram, S. Zaefferer, and D. Raabe, "Kikuchi bandlet method for the accurate deconvolution and localization of Kikuchi bands in Kikuchi diffraction patterns", *Journal of Applied Crystallography*, vol. 47, pp. 264-275, 2014.
- [292] В. А. Душепа, и М. Л. Усс, "Сравнительный анализ субпиксельных алгоритмов при совмещении изображений", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 4 (52), с. 41-51, 2011.
- [293] H. Doraiswamy, N. Shivashankarb, V. Natarajanb, and Y. Wangd, "Topological saliency", *Computers & Graphics*, vol. 37, no. 7, pp. 787-799, 2013.
- [294] А. В. Агарков, Р. О. Кашин, и К. С. Ивашко, "Поиск объектов на изображениях с помощью относительной яркости отдельных областей", *Штучний інтелект*, № 4, с. 180-185, 2014.
- [295] Д. С. Азаренко, "Детектирование объекта на изображении и определение его смещения на двух различных изображениях", *Штучний інтелект*, № 3, с. 90-97, 2013.

- [296] В. П. Кожем'яко, Р. М. Новицький, та К. В. Кожем'яко, "Аналіз паралельних методів та засобів оптико-електронної обробки та порівняння зображень", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 1, № 23, с. 40-50, 2012.
- [297] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, І. Ю. Видмиш, та Д. О. Шаромов, "Нормалізована кореляційна обробка двовимірних зображень", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т.3, № 37, с. 44-50, 2016.
- [298] П. Ю. Сабельников, "Вычисление и использование моментов бинарных изображений при геометрическом сравнении объектов", *Штучний інтелект*, № 3, с. 223-232, 2013.
- [299] В. П. Боюн, "Сприйняття і обробка зображень в системах реального часу", *Штучний інтелект*, № 3, с. 114-125, 2013.
- [300] В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, А. А. Яровий, та А. В. Кожем'яко, *Образний відеокомп'ютер око-процесорного типу*. Вінниця, Україна: Універсум-Вінниця, 2008.
- [301] С. І. Кормановський, та В. П. Кожем'яко, *Око-процесорна обробка та розпізнавання образної інформації за геометричними ознаками*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008.
- [302] Computational Vision Group. Faces_510_Computational Vision. [Online]. Available: <http://www.vision.caltech.edu/html-files/archive.html>. Accessed on: May 23, 2018.
- [303] J. Starck, E. Pantin, and F. Murtagh, "Deconvolution in Astronomy: A Review", *The astronomical Society of the Pacific*, vol. 114, pp. 1051-1069, 2002.
- [304] Р. Бейтс, и М. Мак-Доннелл. *Восстановление и реконструкция изображений*. Москва, СССР: Мир, 1989.
- [305] В. С. Сизиков, *Устойчивые методы обработки результатов измерений*. Санкт-Петербург, Россия: Специальная Литература, 1999.

- [306] Р. Н. Кветний, О. Ю. Софина, та Ю. А. Буняк, "Метод нульового простору для сліпої ідентифікації функції розсіювання точки зображення", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, №2, с.72-77, 2012.
- [307] О.М. Лисенко, Т.В. Ковальчук, та В.М. Зайцев, *Основи газової хроматографії: навчальний посібник*. Київ, Україна: Київський ВПЦ університет, 2013.
- [308] В.О. Мінаєва, *Хроматографічний аналіз: підручник*. Черкаси, Україна: Вид. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013.
- [309] В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, О. І. Моканюк, та С. М. Кватернюк, "Оцінювання валідності діагностування пошкоджень біотканин за допомогою цифрової колориметрії з використанням нейромережі", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 2, № 33, с. 4-9, 2015.
- [310] О. Чернышев, и А. Борисов, "Сравнительный анализ решения задач оптимизации генетическими и градиентными методами", *Transport and Telecommunication*, vol. 8, no. 1, pp. 40-52, 2007.
- [311] Н. Б. Паклин, М. А. Сенилов, и В. А. Тененев, "Интеллектуальные модели на основе гибридного генетического алгоритма с градиентным обучением лидера", *Искусственный интеллект*, № 4, с. 159-168, 2004.
- [312] Н. П. Порплиця, "Порівняльний аналіз ефективності генетичного та «бджолиного» алгоритмів у задачі структурної ідентифікації інтервального різницевого оператора", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 1, № 32, с. 55-67, 2015.
- [313] В. С. Моисеев. *Системное проектирование преобразователей информации*. Ленинград, СССР: Машиностроение, 1982.
- [314] М.П. Цапенко. *Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование: Учеб. пособие для вузов*. Москва, СССР: Энергоатомиздат, 1985.