

УДК 519.652:519.254

П.О.Приставка, О.Г.Чолишкіна

*Національний авіаційний університет***СКЛАДОВІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНИХ ОПЕРАТОРІВ**

Подано етапи розробки інформаційної технології та складові інформаційного забезпечення систем обробки цифрованих зображень великого розміру та низької деталізації. В якості відповідного математичного апарата, пропонуються локальні оператори, на основі комбінацій В-сплайнів.

Ключові слова: обробка цифрових зображень, сплайни, локальні оператори, фільтрація.

Представлены этапы разработки информационной технологии и компоненты информационного обеспечения систем обработки цифрованных изображений большого размера и низкого разрешения. В качестве соответствующего математического аппарата, предлагаются локальные операторы, на основе комбинаций В-сплайнов.

Ключевые слова: обработка цифровых изображений, сплайны, локальные операторы, фильтрация.

Stages of development of information technology and components of information management systems for handling digitizing images of large size and low resolution were presented. Local operators, which based on combinations of B-splines, were offered as an appropriate mathematical tools.

Key words: digital imaging, splines, local operators, filtering.

Постановка проблеми. Удосконалення засобів фіксації зображень, з одного боку, дозволяє підвищити інформативність цифрованого знімку за рахунок збільшення розрішення, а з другого – вимагає враховувати сталу тенденцію до необхідності обробки даних в обсягах, що постійно збільшуються. При цьому, якщо апаратні можливості комп'ютерної техніки для такої обробки стабільно нарощуються з року в рік, то поява математичного забезпечення, актуального до зростання обсягів даних, має об'єктивну інертність. До того ж, практично відсутній системний аналіз, щодо можливостей обробки цифрованих зображень (ЦЗ) за існуючими підходами та прогноз результатів обробки при зростанні обсягів інформації на порядки – без такої перспективи, певною мірою, важко визначити

пріоритети вибору конкретних методів для реалізації в автоматизованих системах різноманітного цільового призначення, що працюють з цифрованими знімками за умов реального часу.

Не ставлячи під сумнів важливість будь-якої з існуючих задач опрацювання ЦЗ, зосередимо увагу на таких, що є актуальними на первинних етапах обробки, зокрема, різноманітна фільтрація та масштабування. Архітектура сучасних процесорів така, що найбільшу швидкодію обробки (в даному контексті) можна досягати із залученням лінійних функціоналів (операторів) для реалізації у відповідних автоматизованих системах. Вибір конкретних функціоналів може бути обґрунтованим такими чинниками: забезпечення, порівняно з іншими операторами, більшої адекватності результатів обробки вихідних даних; за можливості підвищення інформативності оброблених ЦЗ за рахунок придушення наявних вад; передбачуваність результатів обробки, що є важливим при її автоматизації; «гнучкість» та можливість удосконалення, враховуючи тренд зростання лінійних розмірів ЦЗ. Надамо коротко коментар переліченим вимогам.

За фактом фіксації, ЦЗ є результатом дискретизації аналогового зображення, причому, якщо умовно вважати аналогове зображення функцією двох змінних, то тоді зафіксоване ЦЗ є двомірною таблицею усереднених у кожному пікселі значень такої функції. Подане уявлення доволі спрощене, проте навіть у такій постановці врахування факту, що дані є усередненими значеннями, має підвищити адекватність моделей на основі вихідної інформації.

Стосовно підвищення інформативності відзначимо таке. Зафіксовані ЦЗ, за всяк час, подано з деякою випадковою вадю, природа якої наперед невідома та яка може суттєво різнитись, залежно від якості роботи джерела фіксації (запису) даних. Результатом наявності вад є втрата корисної інформації, що містить ЦЗ. При побудові моделей за даними із зазначеною природою спотворень, прийнятним та бажаним є застосування математичних методів, що мають одночасно високі апроксимативні властивості та властивості «придушення» випадкових вад (високочастотних, низькочастотних або інших).

Передбачуваність результатів обробки ЦЗ на основі лінійного функціоналу може бути очікуваною, коли оператор є частковим випадком добре дослідженої аналітичної апроксимації тієї ж таки функції аналогового зображення. Тут доречним є ставити питання про модель зображення на основі конкретних апроксимацій. Звичайно, апроксимація має надавати мінімальну обчислювальну складність при

максимальній адекватності даним фіксації. Крім того, аналітичний метод наближення, за певних умов його вдосконалення, може бути таким, що враховує збільшення густини сітки вузлів аргументів для апроксимації функції аналогового зображення.

Таким чином, при сучасній обробці ЦЗ актуальною є задача розробки нової (або удосконалення існуючої) інформаційної технології (ІТ), яка задовольняє вимогам швидкодії опрацювання великих обсягів даних, враховує природу фіксації даних, достатньо «гнучка» за наслідками обробки, легко реалізується при розробці автоматизованих систем (АС) та комплексів.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Натепер існує математичний апарат що відповідає переліченим вимогам, та який можна покласти до основи зазначеної ІТ. Це локальні поліноміальні сплайни, що є близькі до інтерполяційних у середньому. До розвитку сплайн-операторів, визначених на локальних носіях, великий внесок поклали роботи І. Шоуенберга, К. Де Бора, М. П. Корнійчука, К. Чуї, М. Ун-сера [1–5] та ін. Увагу поліноміальним сплайнам, близьким до інтерполяційних у середньому приділено А. О. Лигуном, О. О. Шумейко [6] та у ряді авторських робіт [7]. Останнім часом розвиток цього математичного напрямку спрямовано на отримання методів апроксимації за багатовимірними даними та застосування при розробці методів фільтрації, вейвлет-перетворень, *subdivision*-методів. Комплексне застосування операторів на основі локальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому, за визначенням і по факту може забезпечити створення та реалізацію технології цифрової обробки зображень, згідно визначеної проблематики досліджень даної публікації.

Отже, поставимо за мету в даній роботі викласти методологію розробки інформаційної технології обробки цифрованих зображень за використанням саме поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому на базі *B*-сплайнів. Подібний виклад матеріалу дозволить систематизувати можливості використання відповідних локальних операторів в якості складових інформаційного забезпечення обробки ЦЗ.

Виклад основного матеріалу. Подамо методологію розробки інформаційної технології обробки цифрованих зображень у викладені її етапів. Окрему увагу приділимо врахуванню можливості обробки зображень з низькою деталізацією та порівняно великими лінійними розмірами.

1. *Вибір апарата інформаційної технології.* В якості математичного підґрунтя обрано локальні поліноміальні сплайни близькі до інтерполяційних у середньому на основі *B*-сплайнів, як апроксимуючий

апарат, що дозволяє створити прості алгоритмічні схеми для опрацювання цифрованих даних (зокрема зображень) у режимі реального часу. До переваг таких сплайнів відносять можливість подання їх в явному вигляді, зручність отримання часткових випадків, відомі оцінки якості апроксимації та величини норм, що привносить суттєву об'єктивну інформативність кінцевим отриманим операторам.

2. *Отримання B-сплайна більш широкого носія, ніж існуючи.* Для створення математичної основи обробки зображень збільшено розміру та низької деталізації необхідно отримати рекурентно явний вигляд *B*-сплайну наступного *r*-го порядку ніж відомі. Приклад наведено в [8].

3. *Отримати сплайни близькі до інтерполяційних у середньому на основі одержаного B-сплайна для випадку однієї та двох змінних та їх лінійну комбінацію.* Залежно від парності *r* маємо співвідношення для шуканого одновимірного сплайна $S_{r,0}(p,t)$ (усі позначення – згідно [6; 7]):

$$S_{r,0}(p,t) = \begin{cases} \sum_{i \in \mathbb{Z}} p_i B_{r,h}(t - (i+0,5)h), & r = 2k, \\ \sum_{i \in \mathbb{Z}} p_i B_{r,h}(t - ih), & r = 2k - 1. \end{cases}$$

Для двовимірного випадку $S_{r,0}(p,t,q)$ визначається наступним чином:

$$S_{r,0}(p,t,q) = \begin{cases} \sum_{i \in \mathbb{Z}} \sum_{j \in \mathbb{Z}} B_{r,h_t}(t - (i+0,5)h_t) B_{r,h_q}(t - (i+0,5)h_q) p_{i,j}, & r = 2k, \\ \sum_{i \in \mathbb{Z}} \sum_{j \in \mathbb{Z}} B_{r,h_t}(t - ih_t) B_{r,h_q}(q - jh_q) p_{i,j}, & r = 2k - 1. \end{cases}$$

Для практичного застосування корисним є одержання явних виглядів сплайнів. Наприклад, на рівномірному розбитті $\Delta_h : t_i = ih, i \in \mathbb{Z}$ для $r = 2$ можемо записати $S_{2,0}(p,t)$ у розгорнутому вигляді так [9]:

$$S_{2,0}(p,t) = \left((1-x)^2 p_{i-1} + (6-2x^2) p_i + (1+x)^2 p_{i+1} \right) / 8, \quad (1)$$

де $x = 2(t - (i+0,5)h)/h, |x| \leq 1$.

4. *Дослідити властивості отриманих сплайнів.* Для отримання значення оцінки якості апроксимації необхідно вирішити задачі знаходження норми сплайн-оператора та задачі визначення похибки відтворення. Приклади таких оцінок можна знайти в [6–9].

5. *Отримати часткові випадки сплайну однієї та двох змінних.* Для подальшої побудови фільтрів та операторів масштабування необ-

хідно отримати часткові випадки сплайнів, покладаючи в явних виразах (на зразок (1)) величину x рівною конкретному значенню з інтервалу $[-1, 1]$.

6. *Отримати маски низькочастотних фільтрів (НЧФ).* Для отримання операторів НЧ фільтрації достатньо використати значення сплайнів у вузлах розбиттів [10]. Уяву про властивості фільтра можна скласти враховуючи порядок B -сплайнів, що входять до лінійної комбінації поліноміального сплайна та на підставі відповідних похибок апроксимації сплайн-оператора. Приклад НЧФ на основі комбінації B -сплайнів п'ятого порядку такий [11]:

$$L(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \sum_{jj=j-2}^{j+2} \gamma_{H_2,ii,jj} p_{ii,jj}, \quad i, j \in \mathbb{Z},$$

де
$$\gamma_{H_2} = \frac{1}{14400} \begin{pmatrix} 1 & 26 & 66 & 26 & 1 \\ 26 & 676 & 1716 & 676 & 26 \\ 66 & 1716 & 4356 & 1716 & 66 \\ 26 & 676 & 1716 & 676 & 26 \\ 1 & 26 & 66 & 26 & 1 \end{pmatrix}.$$

7. *Отримати маски високочастотних фільтрів (ВЧФ).* Високочастотні фільтри на основі розглянутих сплайнів визначаємо із рівності

$$p_i = r_{n_i} + r_{v_i}, \quad i \in \mathbb{Z},$$

де r_{n_i}, r_{v_i} – низько- та високочастотні складові відповідно.

Приклади двовимірних ВЧФ типу $r_{v_{i,j}} = H(p^{i,j})$ та їх розгорнутого представлення для програмування подано в [12].

8. *Отримати маски контрастних фільтрів (КФ).* Контрастні фільтри знаходяться, як обернені до низькочастотних. Технологію отримання КФ наведено в [13]. Прикладом може бути такий оператор:

$$K(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \sum_{jj=j-2}^{j+2} \gamma_{K_2,ii,jj}^{(s_{2,0})} p_{ii,jj}, \quad i, j \in \mathbb{Z},$$

де
$$\gamma_{K_2}^{(s_{2,0})} = \frac{1}{1156} \begin{pmatrix} 1 & -8 & 48 & -8 & 1 \\ -8 & 64 & -384 & 64 & -8 \\ 48 & -384 & 2304 & -384 & 48 \\ -8 & 64 & -384 & 64 & -8 \\ 1 & -8 & 48 & -8 & 1 \end{pmatrix}.$$

9. *Отримати обчислювальні схеми неперервного масштабування.* Для побудови таких схем варто використовувати явні вигляди двовимірних сплайнів, наведені, наприклад, у [7].

10. *Отримати швидкодійні схеми масштабування (бінарні та не-*

бінарні відносно лінійних розмірів оператору subdivision). Приклад чотирикратного поповнення зі згладжуванням двовимірних послідовностей відліків функцій (двократного масштабування) на основі двовимірних сплайну наведено в [14]. Підхід до небінарного масштабування можна подивитись у [15].

11. *Отримати комбіновані фільтри.* Під комбінованими фільтрами варто розуміти оператори над іншими операторами фільтрації. За таким підходом, у силу лінійності операторів, можна отримувати функціонали з різноманітними властивостями. Приклади комбінованих фільтрів, для задачі цифрової стабілізації (ЦС) та контрастування наведено в [16; 17]. Нижче подано один з них:

$$C(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \sum_{jj=j-2}^{j+2} \gamma_{ii-i,jj-j}^{**} p_{ii,jj}, \quad i, j \in \mathbb{Z},$$

де
$$\gamma^{**} = \frac{1}{3136} \begin{pmatrix} 1 & 8 & -74 & 8 & 1 \\ 8 & 64 & -592 & 64 & 8 \\ -74 & -592 & 5476 & -592 & -74 \\ 8 & 64 & -592 & 64 & 8 \\ 1 & 8 & -74 & 8 & 1 \end{pmatrix}.$$

12. *Проведення експериментальних досліджень.* В якості проведення можливих експериментів пропонується приклад дослідження роботи цифрових стабілізаторів у [17].

13. *Розробка автоматизованої системи обробки цифрованих зображень.* Прикладом втілення інформаційної технології може бути автоматизована система обробки ЦЗ «Green Gerbera» [18].

Викладена методологія побудови була застосована при розробці ІТ обробки ЦЗ за використанням функціоналів, отриманих на основі лінійних комбінацій B -сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому. В даному контексті можливе виділення трьох основних етапів обробки ЦЗ. Перший етап – вибір способу обробки ЦЗ у залежності від суб'єктивних оцінок його стану та постановки задачі обробки. Другий (основний) полягає у проведенні обробки за використанням методів на базі сплайнів (фільтрації, ЦС, масштабування тощо). Третій – перегляд результатів обробки та прийняття рішення щодо її припинення або продовження. Загальна схема, яку представлено у вигляді UML-діаграми (рис. 1) відображає обробку ЦЗ на основі відповідної ІТ.

Перший етап. Для проведення обробки ЦЗ необхідно зробити оцінку загального стану – визначити (візуально) розмір, оцінити гістограму, визначити рівень яскравості, різкості, наявність шумів, подряпин, змазів тощо.

Зробити постановку задачі обробки ЦЗ (наприклад, приглушення

шумів – метод субполосної фільтрації; поліпшення загальної яскравості – евалізація гістограми зображення, ВЧ-фільтрація за порогом; підвищення різкості – контрастування, метод ЦС; зміна розміру ЦЗ – метод масштабування із згладжування, з контрастуванням тощо). При постановці увагу також треба зосередити на потребах згладжування, або навпаки, уточнення деталей ЦЗ та самого ступеня згладжування і, залежно від цього, обирати спосіб обробки.

Другий етап (основний) полягає у проведенні послідовних або паралельних дій із застосуванням певних процедур обробки згідно поставлених задач.

1. Метод субполосної фільтрації зображень. Низькочастотна фільтрація застосовується при потребі «придушення» ВЧ-шумів (типу білого шуму), «видалення» подряпин, для згладжування загального фону та розмиття ЦЗ. Високочастотна фільтрація застосовується при потребі дослідження ВЧ-складової ЦЗ, виділенні контурів, особливостей, тощо. КФ використовують для підвищення різкості зображення. Рекомендовано при опрацюванні ЦЗ різного розміру та деталізації застосовувати оператори на основі *B*-сплайнів $r = 2 - 5$ порядків. Для ЦЗ невеликого розміру або високого рівня деталізації слід обирати оператори на основі *B*-сплайнів порядку $r = 2, 3$, як такі, що мають найбільшу швидкодню. Із збільшенням розміру зображення рекомендовано переходити до застосування операторів з більш широкими масками відповідних фільтрів. При низькій деталізації слід застосовувати оператори більшого ступеня згладжування на основі *B*-сплайна більш високого порядку.

2. Метод цифрової стабілізації дозволяє «видалити» наслідки мікроруху камери при фіксації зображень, незначних змазів тощо. Проведені у [17] тестування операторів ЦС показали доречність використання введених функціоналів у порівнянні з КФ та з фільтрами покращення різкості, представленими у програмному забезпеченні із закритим кодом. Також як і у випадку субполосної фільтрації, рекомендовано обирати стабілізатори різної «потужності» залежно від ступеня НЧ-завади, розміру та деталізації зображення.

3. Масштабування цифрованих зображень. Масштабування може бути бінарне й небінарне відносно лінійних розмірів зображення та неперервне. Застосування методу бінарного масштабування відбувається завдяки використанню часткових випадків поліноміальних сплайнів. Небінарне – лінійними операторами з масками отриманими на підставі прямого добутку одновимірних масок. Метод неперервного масштабування здійснюється за використанням безпосереднього явного вигляду $S_{r,0}(p, t, q)$, $r = 2, 5$ для масштабування зі згладжуван-

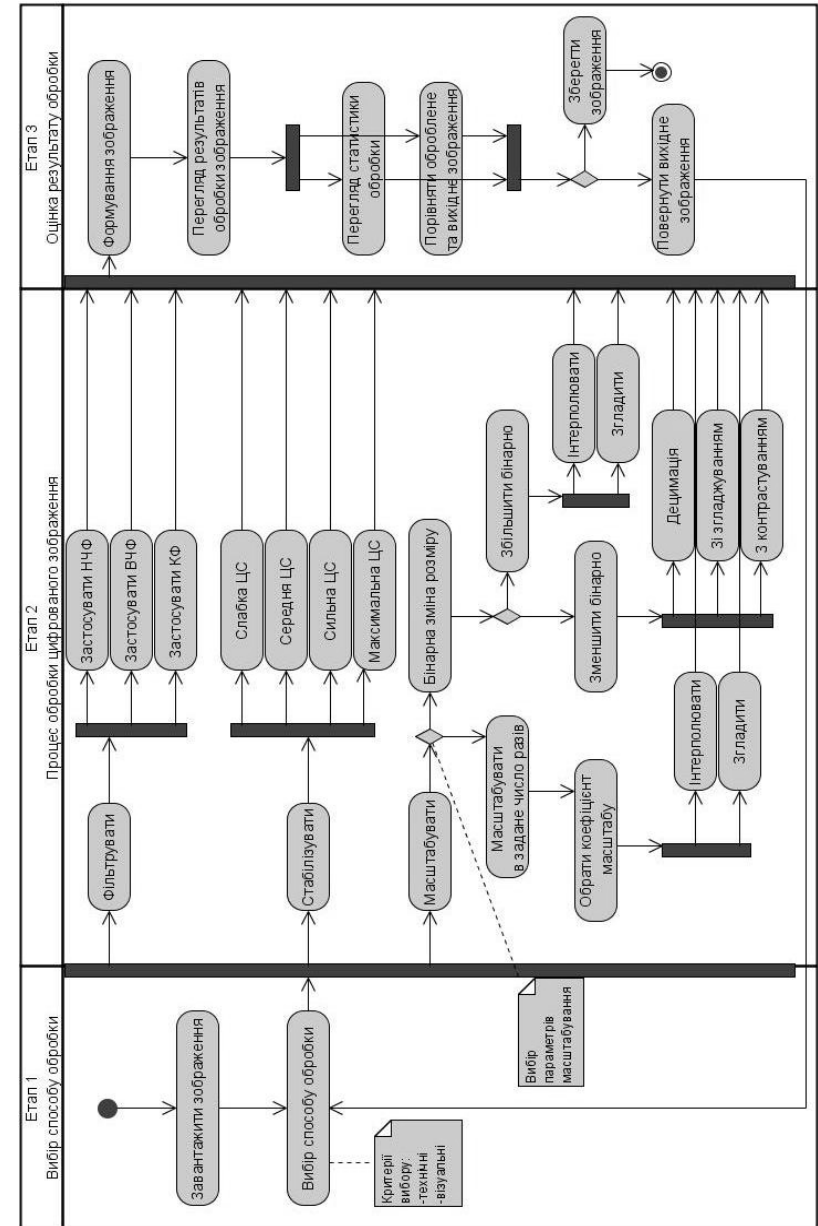


Рис.1. Інформаційна технологія обробки цифрованих зображень

ням різної потужності та $S_{r,u}(p,t,q), u=1,2$ – для масштабування, асимптотично близького до інтерполяційного [7].

Третій етап полягає в оцінці ефективності обробки та прийняття рішення щодо її припинення або продовження. Як видно (рис.1), оцінка ефективності обробки можлива за використання суб'єктивних та об'єктивних факторів, а саме візуальної оцінки змін на обробленому зображенні у порівнянні з вихідним та шляхом перегляду статистики порівняння вхідного та обробленого зображень [17]. Якщо після перегляду прийнято рішення про задовільні результати та припинення обробки, зображення треба зберегти. Якщо результати обробки виявились незадовільними, необхідно вернути вихідне зображення та повернутись на перший етап до вибору способу обробки, який тепер буде полягати у визначенні іншого методу або фільтра іншої потужності.

Висновки. У роботі подано складові інформаційного забезпечення автоматизованої обробки цифрованих зображень за використанням *B*-сплайнів. Подано методикку та приклад створення інформаційної технології спрямованої для обробки зображень збільшеного розміру та низької деталізації. Простота реалізації запропонованої інформаційної технології в автоматизованих системах засвідчує можливість поширення використання інформаційної технології обробки цифрованих зображень на основі поліноміальних сплайнів що є близькими до інтерполяційних у середньому, при розробці функціонально насичених систем, які зорієнтовано на різноманітні предметні задачі.

Бібліографічні посилання

1. **I. J. Schoenberg**, Contribution to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions // *Quart. Appl. Math.*, 1946, V. 4, № 2, P. 45–99, 112–141.
2. **Де Бор К.** Практическое руководство по сплайнам. / К. де Бор - М., 1985. – 303 с.
3. **Корнейчук Н.П.** Сплайны в теории приближения. / Н.П. Корнейчук – М., 1984.-351с.
4. **Чуи Ч.** Введение в эйвлеты / Ч. Чуи // Пер. с. англ. – М., 2001. – 412 с.
5. **M. Unser**, Splines: A Perfect Fit for Signal and Image Processing, *IEEE Signal Processing Magazine*, V. 16, №. 6, P. 22-38, 1999.
6. **Лигун А.А.** Асимптотические методы восстановления кривых. / А.А. Лигун, А.А. Шумейко – К., 1997. – 358 с.
7. **Приставка П.О.** Поліноміальні сплайни при обробці даних. / П.О. Приставка – Д., 2004. – 236 с.

8. **Приставка П.О.** Дослідження *B*-сплайну п'ятого порядку та їх лінійної комбінації / О.П. Приставка, О.Г. Чолишкіна // *Математичне моделювання*. – 2007. – №1(16). – С.14-17.

9. **Лигун А.А.** О восстановлении эмпирической функции плотности распределения с помощью гистосплайнов второго порядка / А.А. Лигун, В.В. Кармазина – Днепропетровск, 1989. – 30 с. – Деп. в УкрНИИТИ 8.06.89, №1559- Ук89.

10. **Приставка П.О.** Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів / П.О. Приставка // *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. – Д., – 2006. – Т.10. –С.3-14.

11. **Чолишкіна О.Г.** Застосування поліноміальних сплайнів на оснві *B*-сплайнів п'ятого порядку під час побудови фільтрів / О.Г. Чолишкіна // *Вісн. НАУ*. – К., – 2009. –№1. – С. 214–218.

12. **Приставка П.О.** Високочастотні фільтри для обробки цифрованих зображень / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // *Проблеми математичного моделювання : тези 13-ї міжнар. наук.-методич. конф.* –Дніпропетровськ, 2009. – С.157–159.

13. **Приставка П.О.** Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів / П.О. Приставка // *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. – Д., 2007. – Т.11. – С. 15–22.

14. **Приставка П.О.** Поповнення зі згладжуванням послідовностей відліків функцій двох змінних на основі сплайнів / П.О. Приставка // *Математичне моделювання*. – 2008. – №1(18). – С.9 – 12.

15. **Приставка П.О.** Поповнення послідовностей відліків функцій двох змінних на основі поліноміальних сплайнів / П.О. Приставка // *Вісник НАУ*. – К., 2007.-№3–4. –С. 36–39.

16. **Приставка П.О.** Застосування комбінованих фільтрів на основі поліноміальних сплайнів при обробці растрових зображень / П.О. Приставка // *Вісн. НАУ*. – К., – 2008. –№4. –С. 104–107.

17. **Приставка П.О.** Дослідження комбінованих фільтрів для підвищення різкості зображень / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій : зб. наук. праць*. – Д., 2009. –Т.13. – С.39–53.

18. **Приставка П.О.** Автоматизована система обробки цифрованих зображень «Green Gerbera» / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // *Матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конференції «Авіа-2009»*. – 2009, Т.1. – К., – С.5.101 – 5.104.

Надійшла до редколегії 01.08.10