

УДК 004.932 (045)

Форошук І.В.

Ситник О.Г., канд. техн. наук

## СПОЛУЧЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ В CALS-ТЕХНОЛОГІЇ

Інститут електроніки та систем управління  
Національного авіаційного університету

*Розглянуто взаємозв'язок ефектів сполучення зображень для виготовлення якісної документації в складі CALS-технології, який виявляється у вигляді характерних пошкоджень на різних ділянках репродукції. Вплив сполучення на якість зображень потребує уточнення багатьох теоретичних моментів. Отримані результати дослідницької роботи направлені на вирішення проблемних питань за допомогою вивчення теоретичних аспектів аналізу явищ, що виникають при сполученні зображень*

### Вступ

Явище печатки кольорових документів, фотомеханічні процеси маскування й деякі інші є різними прикладами сполучення двох і більше зображень, відомих спеціалістам [1], хоч якимось чином пов'язаним з поліграфією, або виготовленням технічної документації в складі CALS-технології для цивільної авіації (ЦА). Процеси обробки і електронно-цифрового репродукування зображень (ЕЦРЗ), або підготовка до друку здійснюються також за допомогою явища сполучення двох і більше зображень. Актуальність проблеми вивчення такого явища як взаємозв'язок ефектів сполучення зображень для виготовлення документації в складі CALS-технології, відома [2] тому, що воно теоретично поєднує більшість видів пошкоджень зображень. Актуальність дослідження впливу взаємозв'язку ефектів сполучення зображень на виготовлення документації в складі CALS-технології і якість зображень, що використовуються в CALS-технології для цивільної авіації, також відома. Ця проблема заважає нам отримати високоякісну технічну документацію [3].

Відоме [4], що залежно від характеру зображень, які сполучають, варто поділити випадки сполучення на дві групи: сполучення безперервних (напівтонових) і дискретних (растрированих) зображень. Так, наприклад, при кольоророзподілу і градаційному маскуванні кольоро-

вий слайд сполучається з різними фотографічними масками: кольорокоректуючої, масками світел або тіней. У цих випадках виробляється сполучення безперервних зображень.

Печатка дуплексом [5] представляє випадок сполучення двох однобарвистих растрированих зображень. У глибокому друку кольорові зображення, як правило, створюються при сполученні трьох однобарвистих зображень. В автотипних способах кольорової печатки найбільша питома вага в цей час займає триадна печатка, при якій сполучаються чотири растрированих зображення, створювані пурпурної, блакитний, жовтої, і чорної фарбами. Таким чином, всі способи кольорової поліграфічної печатки для виготовлення технічної документації в складі CALS-технології для ЦА можуть розглядатися як процеси сполучення растрированих зображень.

### Аналіз останніх досліджень

Аналіз полягає в тому, що здається неможливим вирішення проблеми оптимальності процесу ЕЦРЗ його програмно-апаратними засобами без допомоги розробки сучасних положень теорії.

Аналізу явища сполучення зображень в поліграфії був присвячений ряд публікацій у вітчизняній і закордонній літературі [1]. Найбільш широкі дослідження в цій області були проведені в дисертаційних роботах [3]. У цих роботах головним чином експериментально дослі-

джувалися сполучення зображень, залежно від лінійності, взаємних кутів повороту растрів й інших факторів. Приводилися також психофізіологічні оцінки візуального сприйняття сполучення зображень на поліграфічних відбитках, вивчався вплив сполучення зображень на колірні й градаційні характеристики відбитків. Ряд спроб одержання аналітичних залежностей не дав особливо успішних результатів. Такі спроби, що проводилися не тільки в поліграфії [4], але й суміжних галузях науки [5], зводилися основному до постановки чисто геометричних завдань, не мали досить широти відповідності досліджуваному явищу, відносно складні й забезпечували не дуже точні результати, у ряді випадків слабо погодяться із психофізичною оцінкою явища сполучення зображень [6]. Нам представляється, що зовсім необґрунтовано залишено без уваги можливість частотно-спектрального аналізу й оцінки явища сполучення зображень. Здався б періодичний характер картини сполучення зображень повинен був залучити різні методи для рішення взаємодії растрових структур при їхньому сполученні. У кольоровому телебаченні і системах мультимедіа так само, як й у поліграфії, синтез кольорових зображень здійснюється за рахунок сполучення трьох (червоного, зеленого і синього) зображень. У різних системах кольорового телебачення використовуються принципи сполучення дискретних (точечних) або лінійчатих(векторних) зображень.

### **Постановка проблеми**

У загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими завданнями полягає в дослідженні взаємозв'язку ефектів сполучення зображень і впливу на якість виготовлення документації в складі *CALS*-технології. Проблеми можуть бути викликані цілою низкою причин, починаючи від неправильного режиму ЕЦРЗ, їх некоректної обробки і закінчуючи невідповідним настроюванням на стадії виготовлення форм і самим процесом друку та його впливу на якість зображень. Ми не ставили перед собою мету повністю розглянути

всі аспекти сполучення зображень. Ми хотіли лише показати правомірність і плідотворність нового підходу до розуміння, оцінки й розрахунку цього добре відомого поліграфістам явища для ЦА. Для самого загального випадку сполучення двох або декількох зображень правомірна постановка завдання визначення основних характеристик (градаційних, автокореляційних і спектральних, колірних й ін.) результуючого зображення від характеристик зображень, що сполучають, і умов їхнього сполучення.

### **Мета дослідження**

Виготовлення якісних кольоророзподілених форм на плівці, або на папері, з урахуванням впливу на якість зображень взаємозв'язку ефектів сполучення зображень для виготовлення документації в складі *CALS*-технології є метою дослідження. Особливості проявлення взаємозв'язку ефектів при сполученні двох зображень можуть діяти різні закономірності: додавання, вирахування, множення й ін. Так, наприклад, при сполученні двох діапозитивів коефіцієнти пропускання їх перемножуються, а оптичні щільності підсумуються. Аналогічні закони діють із певним ступенем наближення (з урахуванням обмежень через непрозорість, розсіювання й інших факторів) при накладенні барвистих структур на відбитках при печатці. При розгляді загального завдання сполучення і її приватних додатків до різних поліграфічних процесів, ми не будемо прагнути виявити досить строго ці закономірності, а обмежимося ефектами чистого підсумовування й перемножування. Крім того, розгляд загального завдання сполучення проведемо лише в одному підданні сигналів кожного із зображень.

### **Новий підхід для вирішення проблем**

Викладений в гіпотезі [3] полягає в наступному. Припустимо в експерименті, що справа в тому, що у нашій постановці завдання сполучення двох зображень еквівалентно взаємодії (підсумовуванню

або перемножуванню) двох випадкових величин  $\xi$  і  $\eta$ , спільний розподіл яких у математичній статистиці характеризується двовимірною функцією розподілу ймовірностей  $\omega(\xi, \eta)$ . Для числової характеристики двох випадкових величин, крім середніх значень кожної з них  $m(\xi)$  і  $m(\eta)$  та дисперсії  $M(\xi)$  і  $M(\eta)$  необхідно враховувати змішаний другий момент (так називану коваріацію)  $M(\xi, \eta)$ . Другий змішаний момент характеризує взаємозалежність, що існує між двома випадковими величинами. За міру такої залежності приймається коефіцієнт кореляції  $r = \frac{M(\xi, \eta)}{\sqrt{M(\xi)M(\eta)}}$ , що приймає значення від -1 до +1. Для незалежних величин коефіцієнт кореляції дорівнює 0.

Встановлено [3] що, для не корельованих ( $r = 0$ ) величин середнє значення й дисперсії при підсумовуванні й перемножуванні визначаються досить просто. Однак випадки сполучення не корельованих зображень у чистому виді практично не зустрічаються при ЕЦРЗ. Як правило, при сполученні зображень має місце випадки високої й середньої кореляції зображень, що сполучають.

### **Науковий результат**

Отриманий на підставі застосування розроблених елементів теорії і науково-методичного апарату дослідження викладений в [3] полягає в наступному. Експериментально встановлено, що, наприклад, парні коефіцієнти кореляції кольоророзподілених напівтонових зображень мають значення, що лежать в інтервалі від 0,7 до 0,98 для серії кольорових зображень різних по сюжетах: портрет жінки, пейзаж України, міський вид районів Києва, репродукція картин Т.Г. Шевченка. Аналогічні результати були отримані й при дослідженні кореляційних зв'язків між координатами кольорів, обмірюваними в багатьох точках одних у тих же кольорових зображень. Ми не задавалися метою встановити щирі причини таких взаємозв'язків, а лише вважали за доцільне вка-

зати на їхнє існування й тому необхідність обліку їх при сполученні зображень.

**Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів зроблене в [3, 7]. Пропонується використовувати в моделі процесу деякі сучасні погляди для оцінки впливу явища, що розглядається на якість зображень за допомогою припущення, що ймовірність утворення кольорового рисунка на зображенні за рахунок зміни тільки однієї фарби при сталості інших досить мала, тобто питома вага деталей рисунка [4], утворених тільки за рахунок варіації одного із сигналів при синтезі кольорового зображення, малозначний. Крім того, при утворенні темних або світлих ділянок зображення відбувається досить корельоване загальне зменшення або підвищення величин всіх складових сигналів, тобто при наближенні до дуже темного й дуже світлого на кольоровому зображенні проявляється тенденція до ахроматичності. Всі ці припущення повинні кореспондироватися з колірними характеристиками зорового аналізатора, що, як ми припускали, повинен у достатній мері бути статично погоджений із квітами навколишньої природи. Якоюсь мірою, якщо прийняти ці ідеї, аналіз фізіологічно рівноконтрастних колориметричних систем дозволив би скласти уявлення про частоти зустрічальності природних квітів. Так само, як і при вимірі кольоророзподілених фотоформ, у випадку сполучення маскуючого зображення з маскою в процесі фотомеханічного маскування варто очікувати досить високу кореляцію цих двох зображень.

В процесі експериментів на моделюючому комплексі в складі ЕЦРЗ встановлено, що висока кореляція спостерігається й при близькому до явища сполучення – пред'явленні в часі послідовно спостерігачеві серії, що змінюють зображення, у кіно, системах мультимедіа й телебаченні. Дослідження ряду авторів показали [5], що кореляція зображень двох наступних один за одним кадрів на екрані телевізора й кінотеатрі значно ви-

ще взаємозв'язку двох сусідніх елементів зображення на одному кадрі й залишає 0,92 у телебаченні й 0,8-0,86 у кіно. Це може бути пояснено необхідністю відповідності між кадровою кореляцією тимчасовій характеристиці зорового аналізатора. Таким чином, у формулах, що визначають, наприклад, сумарне зображення, повинні враховувати ці кореляційні взаємозв'язки. Дисперсія алгебраїчної суми двох залежних величин визначається по формулі

$$M(\xi \pm \eta) = M(\xi) + M(\eta) \pm 2r\sqrt{M(\xi)M(\eta)}, \quad (1)$$

а для добутку двох величин справедливо

$$m(\xi, \eta) = m(\xi)m(\eta) \pm r\sqrt{M(\xi)M(\eta)}. \quad (2)$$

На жаль, немає досить простого виразу для дисперсії добутку двох випадкових взаємозалежних величин. Розглянуті перетворення (1) і (2) середніх значень і дисперсії при сполученні двох зображень варто враховувати, в основному, при визначенні градаційного змісту результуючого зображення. Так, наприклад, при фотомеханічному маскуванні (тобто при вирахуванні з основного сигналу маски) середнє значення оптичної щільності знижується на величину середньої величини оптичної щільності маски, а дисперсія сполученого зображення може варіювати теоретично від  $[\sqrt{M(\xi)} - \sqrt{M(\eta)}]$  до суми дисперсій двох зображень [6]. Оскільки теоретично можлива рівність дисперсій  $M(\xi)$  і  $M(\eta)$ , мінімальна дисперсія сполученого зображення може в принципі бути дорівнює 0, тобто може бути досягнутий випадок повного вирівнювання сигналу зображення (зникнення властиво зображення).

З співвідношень (1) і (2), регулювання величини дисперсії (тобто інтервалу оптичних щільностей) сполученого зображення можуть бути здійснені як за рахунок вибору відносини величини дисперсії маскуемого зображення й маски, так і за рахунок свідомого регулювання коефіцієнта їхньої кореляції. Останнє може бути здійснене при штучному створенні не-

різкості зображення маски. Однак, тут ми вже відходимо від завдання градаційного перетворення й вторгаємося в область перетворення кореляційних й енергетичних характеристик зображень. В процесі моделювання явища сполучення зображень був розглянутий вплив на якість зображення цих характеристик, тому вивчення впливу на авто кореляційну функцію результуючого зображення зображень, що сполучають, вважається досить важливим. Для визначення авто кореляційної функції сумарного зображення необхідно знати не тільки властиво авто кореляційні функції доданків, але і їх взаємні кореляційні функції тому, що авто кореляційна функція суми сигналів дорівнює сумі авто кореляційних функцій кожного з них плюс всі взаємні попарні кореляційні функції сумуємих сигналів. Вважаємо, що ці підходи досить ефективні при дослідженні явищ створення двоїння растрових точок. Останнє питання розглянемо окремо більш докладно у вигляді оцінки явища і окремої проблеми пов'язаної з двоїнням растрових точок.

У процесі офсетної печатки, «сире по сирому», як на листових, так і на рольових машинах спостерігається так називане двоїння растрових точок, що на (рис. 1).

Суть явища, що характеризує сполучення зображень більш досконально, полягає в тому, що кожен попередній відбиток залишає на офсетному полотні барвистий слід раніше нанесеної фарби, що переходить на наступний відбиток.

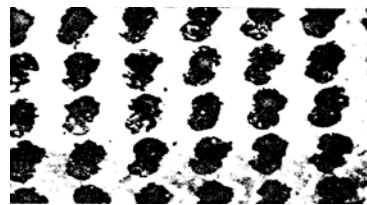


Рис. 1. Мікрофотографія одноколірного отиску, яка надрукована в двохсекційній офсетній листовій машині, на якій спостерігається ефект двоєння растрових точок

Якби приводка попарно наступних один за одним відбитків була ідеальна (тобто

не приводка була відсутня), то слід від кожної растрової точки попереднього відбитка точно сполучався б з растровою точкою наступного відбитка. Однак, через неможливість практичного здійснення ідеальних умов сполучення цих зображень при печатці через цілий ряд технічних причин по сусідству з основною растровою точкою спостерігається дублююча її растрова точка спрощена геометрична модель якої на (рис. 2).

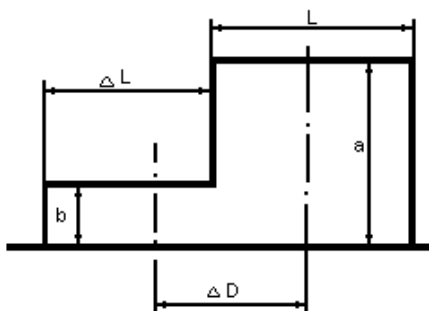


Рис. 2. Спрощена геометрична модель зведеного растрового елемента

Де  $L$ ,  $D$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $\Delta D$ ,  $\Delta L$  – параметри моделі.

Явище двоїння растрових крапок негативно впливає на якість кольорових зображень, що друкують на багатоколірних машинах офсетної печатки [1], викликаючи погіршення різкості, колірні й градаційні перекручування зображень. Причому в деяких випадках ефект зниження якості відбитків через двоїння точок перевищує ефект не приводки при сполученні фарб на відбитку. Це може бути пояснене значно більше високим кореляційним зв'язком основного й дублюючого зображень [5], чим для зображень, відтворених різними фарбами.

Відзначимо, що це явище є єдиним у поліграфії прикладом сполучення ідентичних (які відрізняються лише по інтервалу оптичних щільностей) дискретних зображень. У телебаченні ми частіше спостерігаємо ці ефекти або за рахунок прийому крім основного сигналу, відбитого сигналу із затримкою або яких-небудь іншими явищами затримки відеосигналу в телевізійних пристроях.

Висунемо результати спроби розрахунку ефекту явища двоїння растрових

точок у *CALS*-технології, але обмежимо розгляд питання лише показом можливості застосування для цих цілей методів частотно-спектрального аналізу й оцінних співвідношень, що дозволяють із певною часткою аргументованістю висувати технічні вимоги до допусків не приводки попарно наступних один за одним друкованих відбитків при офсетній печатці «сире по сирому». Проведемо кількісну оцінку ефекту для одномірної лінійчато растрової структури без сигналу зображення. Сполучення основної й дублюючої структури еквівалентно стосовно перших гармонік сполучення двох періодичних сигналів з однаковою частотою, але різними амплітудами й фазами. Таким чином, цей випадок відповідає суперпозиції двох синхронних розфазованих сигналів

$$a \cos(\omega L + \varphi_1) + b \cos(\omega L + \varphi_2).$$

Для простоти поки будемо вважати їхні амплітуди рівними, тоді сумарний сигнал може бути представлений у вигляді:

$$2a \cos\left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right) \cos\left(\omega L + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right). \quad (3)$$

### Особистий внесок авторів

Після чисельних математичних перетворень одержимо результати моделювання процесу для вирішення проблем підвищення якості зображень через створення сучасної теорії взаємозв'язку ефектів сполучення зображень. Встановлене, якби відбувалося чисте підсумовування сигналів рівних амплітуд, то амплітуда першої гармоніки сполученої структури могла б приймати будь-які значення від 0 до  $2a$ , залежно від різниці фаз вихідних сигналів. Насправді за рахунок нерівності амплітуд вихідних сигналів і діючого в процесі офсетної печатки фактора амплітудного обмеження сигналу амплітуда сумарного сигналу може варіювати в межах від  $(a - b)$  до  $a$  залежно від різниці фаз. Найгірший випадок розфазировки відповідає  $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi$  або в лінійних одиницях зрушенню однієї структури стосовно іншої на половину відстані між

центрами растрових ліній. Якщо вважати приблизно, що оптична щільність  $D$  ділянки зображення, де відбулося лінійне зрушення  $\Delta L$  дублюючого зображення (рис. 2.), змінилася на величину  $\Delta D$ , пропорційну лінійному зрушенню  $\Delta L$ ,  $\Delta D \approx \frac{b}{a} \cdot \frac{D}{L} \cdot \Delta L$ , де  $\frac{b}{a}$  характеризує питому вагу варіації залежно від співвідношення інтенсивностей барвистих шарів дублюючих й основного зображень. Допускаючи, наприклад, можливість 5% варіації оптичної щільності, можна визначити допуск на лінійну величину не приводки при двоїнь растрових точок

$$\Delta L \approx \frac{a}{b} \cdot \frac{\Delta D}{D} \cdot L. \quad (4)$$

Якщо вважати  $\frac{b}{a} \approx 5$ ,  $L \approx 0,08$  мм,

що відповідає лініатуре растра 60 лін/см, то при зазначеній припустимій варіації величини оптичної щільності допуск на приводку буде  $\Delta L \approx \pm 0,02$  мм. Природно, що при варіації оптичної щільності в 5% інтервал оптичних щільностей зображення звужується приблизно на 10%. Якщо допуск на приводку не втримується й не приводка може досягати величини  $L$ , то максимальні варіації оптичної щільності досягнуть 20%, тобто інтервал скоротиться приблизно у два рази.

**Підтвердженням справедливості тверджень в роботі** є аналіз додаткових параметрів дослідження, що були використані при моделюванні. Вважаємо, що для обліку впливу розглянутого явища на різкісні характеристики зображення оцінимо зміну енергетичного спектра однобарвистого зображення. Ще раз проаналізуємо все те, що відбувається при двоїнні растрових точок. Паралельно з основним сигналом на сумарному зображенні з'являється ослаблене в  $\frac{b}{a}$  раз дублююче зрушене на  $\Delta L$  зображення. Якщо обмежиться таким поданням явища й не враховувати обмеження по товщині барвистих шарів на основних растрових елементах, то процес можна представити у ви-

гляді еквівалентної схеми перетворення сигналу зображення на рис. 3.

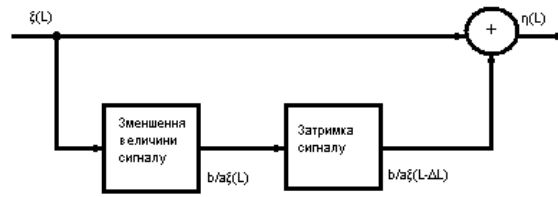


Рис. 3. Структурна схема перетворення сигналу зображення при двоїнні растрових точок

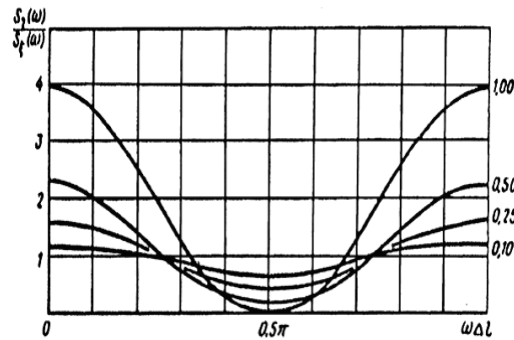


Рис. 4. Відносні зміни енергетичного спектру сигналу зображення при явищі двоєння растрових точок (при  $\frac{b}{a} = 1,00; 0,50; 0,25; 0,10$ )

Передатна функція такої структурної схеми на (рис. 3) має вигляд

$$K(j\omega) = 1 + \frac{b}{a} e^{-j\omega\Delta L}. \quad (5)$$

В результаті експериментів встановлено, що при проходженні стаціонарного сигналу  $\xi$  через лінійну систему спектральна щільність  $S_\eta(\omega)$  на виході зв'язана зі спектральною щільністю на виході  $S_\xi(\omega)$  залежністю

$$S_\eta(\omega) = |K(j\omega)|^2 \cdot S_\xi(\omega). \quad (6)$$

Пропонується визначити характер зміни енергетичного спектра зображення при явищі двоїння

$$\frac{S_\eta(\omega)}{S_\xi(\omega)} = 1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 + \frac{2 \cdot b}{a \cdot \cos \omega\Delta L}. \quad (7)$$

Залежно від числових значень  $\frac{b}{a}$  буде відбуватися придушення високочастотних складових сигналу до  $\omega\Delta L = \frac{\pi}{2}$  і потім при  $\omega\Delta L = \pi$  знову буде спостерігатися підйом, пов'язаний з появою по-

двійних контурних ліній й інших ефектів, явно спостережуваних при значному двоїнні зображення. Із графіка на рис. 4 зрозуміло, що особливість впливу на перекручування енергетичного спектра зображення при двоїнні робить відносний контраст дублюючого зображення в порівнянні з основним.

### Висновки

Висновки і перспективи подальших досліджень в науковому піднапрямку обробки зображень полягають в тому, що вперше запропоновано нетрадиційній підхід к вирішенню проблем через створення сучасних елементів теорії. Це дозволяє робити більш точні розрахунки при сполученні зображень, а також при використанні граничних можливостей ЕЦРЗ, для підвищення якості технічної документації. Запропонована нова теорія підкріплюється фундаментальними дослідженнями і розрахунковими даними, що були використані в роботі, для підтвердження отриманих результатів у процесі моделювання. Тому головним технологічним напрямком боротьби із цим паразитним явищем при офсетній печатці «сире по сирому» повинне бути прагнення знизити до мінімуму величину  $\frac{b}{a}$ . Це може бути

здійснено, по-перше, за рахунок підвищення швидкості закріплення друкованої фарби на відбитку, правда це завдання досить нелегка, оскільки навіть у листових ротаціях час проходження паперового аркуша від однієї паперової секції до іншої становить усього 0,2-0,4 сек, а в рольових ротаціях і того менше. І, по-друге, за рахунок своєчасного видалення з офсетного полотна друкованих секцій дублюючих зображень. Навіть при такій щодо дуже високої точності сполучення зображень буде відбуватися при зазначеному вище  $\frac{b}{a} \approx 5$  придушення приблизно у два рази спектральної щільності, при  $\omega = 2\pi(60 \div 120) \text{ ґі}^{-1}$ .

Значно складніше йде справа при перемножуванні взаємозалежних сигнала-

лів. Вимір авто кореляційних і взаємокореляційних функцій при сполученні зображень можна робити методами, аналогічними тим, які використовуються при аналізі авто кореляційних характеристик сигналу чорно-білого зображення. Таким чином, відносна складність чисто теоретичного визначення кореляційних функцій у ряді випадків може бути компенсована відносно нескладними експериментальними методами вивчення явищ, що виникають при сполученні зображень.

Крім запропонованого методу дослідження процесів сполучення безперервних зображень при сполученні дискретних (растрированих) зображень можуть виявитися досить корисними нові підходи, засновані на застосуванні частотно-спектрального аналізу зображень.

### Список літератури

1. Пономаренко Л.А., Филатов В.А. Цыбульник Е.Е. Агентные технологии в задачах поиска информации и принятия решений // УСиМ. – 2003. – № 1.– С. 36–41.
2. Братухин А.Г. Российские центры CALS – технологий в машиностроении // Технологические системы. – 2000. – №2. – С. 41–55.
3. Ситник О.Г., Кірілкін І.І. Метод формування променем CO<sub>2</sub> лазера інформаційного змісту на твiрдотілових носіях інформації для наступного тиражування якісних документів // Зб. наук. праць ННДЦ ОТ і ВБ. – № 15. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ. – 2002. – С. 105–115.
4. Айринг С., Айринг Э. Подготовка цифровых изображений для печати. – Минск: „Попурри”, 1997.– С. 18–22.
5. Воробель Р.А. Сприйняття сюжетних зображень та кількісна оцінка їх контрасту на основі лінійного опису визначення контрастності елементів // Доповіді ПАП України. – 1998. – № 9. – С. 103–108.
6. Гавенко С., Мельников О. Оцінка якості поліграфічної продукції: навч. посібник / під редакцією Е.Т. Лазаренка. – Львів: Афiша, 2000. – 118 с.