

# ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 621.397.13

А. В. Регуш

Національний університет “Львівська політехніка”

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК СУМІЩЕННЯ СТЕРЕОПАРИ РАСТРІВ

© *Регуш А. В.*, 2016

Проаналізовано похибки суміщення стереопари растрів, які виникають за рахунок геометричних та нелінійних спотворень окремих растрів. Розглянуто сумарну похибку місцеположення елементів суміщених растрів за рахунок цих спотворень.

Ключові слова: суміщення стереопари растрів, геометричні похибки, нелінійні похибки.

A. Rehus

Lviv Polytechnic National University

## STUDY OF ERRORS OF COMBINED STEREO RASTERS

© *Rehus A.*, 2016

Stereo television scanning optical microscope (STSOM) – is a microscope, its operating principle is based on using as the light source cathode ray tubes (CRT). Using STSOM which provide three-dimensional perception of the image investigated object (IO), significantly expands descriptiveness and as a result speed and quality of conducting research.

For forming the stereoscopic image in STSOM is used stereo pair united in the plane of IO two rasters. There are following variants of forming stereo pair of rasters: with two CRT and with one CRT. The two rasters are combined in the plane of IO by using: lens which axis are located parallel or at an angle and lens which axis are parallel and are shifted relative to the center. The choice of a variant depends on the geometric distortion of stereo pair of rasters which affect on precision of forming stereoscopic image of IO. At combining of stereo pair arise a distortion which make obstacle in perception of stereo effect and might lead to his loss.

One of the important parameters of any stereo system is its number of plans by depth which is determined by distance between two points of rasters for the left and right eye which can be distinguish. Minimal relative error of any element location of first scanning raster in relation to the corresponding element of the second scanning raster of stereo pair of rasters depends on the number of plans by depth and. Total error of location determined by errors at the expense of geometrical distortions of rasters, nonlinear distortions of rasters, unequal dimensions of scanning rasters, offset of a one rasters of stereo pair with regard to the second raster and rotation one rasters of stereo pair with regard to the second raster.

Analysis of errors that arise by combining two rasters was conducted. By combining two rasters centers of rasters are combined and errors their respective points are added. By combining two rasters with identical distortions horizontal error or vertical error will remain such for one raster, as combined raster elements will be shifted by the same amount, stereo effect will be not lost. The biggest error will be at the combining rasters with distortion “barrel” in one raster and distortion “pillow” in the second raster.

The total error of geometrical distortion at every point of scanning rasters will be determined by the square root of the sum of squared errors horizontally and vertically. By

using two CRTs total error will be the biggest at the edges of the raster and will fall to zero as it approaches to the center of the raster. By using one CRT total error of geometrical distortion is biggest with the combining rasters with distortions such as: trapeze – trapeze, trapeze – parallelogram and parallelogram – parallelogram.

The analysis of errors by nonlinear distortions of raster were conducted. The biggest error is the combination of one edge of rasters. The smallest nonlinearity error is the combining in the deflection zone which corresponds to the time 0,6 line period.

**Key words:** combining stereo pair of raster, geometric errors, nonlinear errors.

### Вступ

Стереотелевізійний сканувальний оптичний мікроскоп (СТСОМ) – це мікроскоп, принцип роботи якого ґрунтується на використанні як джерела освітлення електронно-променевої трубки (ЕПТ) [1, 8, 9]. Використання СТСОМ, які забезпечують об'ємне сприйняття зображення досліджуваного об'єкта (ДО), суттєво розширює інформативність і, як результат, оперативність і якість проведення досліджень [1, 2]. СТСОМ складаються з двох частин: передавальної та приймальної. В передавальній частині відбувається перетворення оптичного сигналу від зображення ДО на електричний сигнал.

Для формування стереоскопічного зображення у СТСОМ використовується стереопара суміщених у площині ДО двох растрів [3]. Відомо такі варіанти формування стереопари растрів [1, 3, 7]: з двома ЕПТ та з однією ЕПТ. Два растри суміщаються в площині ДО за допомогою: об'єктивів, осі яких розміщені паралельно або під кутом та об'єктивів, осі яких паралельні та зміщені щодо центра. Метод суміщення растрів за допомогою об'єктивів з паралельними осями має малу площу зони стереобачення, що є доволі істотним недоліком. Метод суміщення растрів за допомогою об'єктивів з осями, розміщеними під кутом, має більшу зону стереобачення, ніж попередній, та його недоліком є те, що за такого суміщення растрів додатково виникають спотворення типу трапеція. Метод суміщення растрів за допомогою об'єктивів з паралельними осями є найкращим, оскільки в цьому випадку велика площа зони стереобачення та відсутні додаткові спотворення типу трапеція. Також у разі суміщення двох растрів, коли використовується одна ЕПТ, можливе суміщення растрів за рахунок дзеркально-призмової оптичної системи, яка розділяє один растр на два та суміщає їх у площині ДО [1, 3, 7]. Від вибору того чи іншого варіанта залежать геометричні спотворення стереопари растрів, які впливають на точність формування стереоскопічного зображення ДО. У разі суміщення стереопари виникають спотворення, які вносять завади в сприйняття стереоефекту і можуть призвести до його втрати [1, 3, 4].

Одним з важливих параметрів будь-якої стереосистеми є кількість планів по глибині, яка визначається відстанню між двома точками растрів, для лівого та правого ока, які можливо розрізнити. Кількість планів по глибині для пристрою відтворення  $Z_{КГ}$  здебільшого становить 600 планів [1, 3]. Кількість планів по глибині сканувальної трубки  $Z$  повинна бути не меншою за  $Z_{КГ}$ . Мінімальна відносна похибка  $\delta$  місцеположення будь-якого елемента першого сканувального растра щодо відповідного йому елемента другого сканувального растра стереопари растрів не повинна перевищувати величини [1]:

$$\delta = 1/Z_{КГ}. \quad (1)$$

Відповідно до формули (1) сумарна похибка місцеположення  $\delta$  не повинна перевищувати 0,16 %. Вона визначається похибками за рахунок геометричних спотворень растрів  $\delta_{Г}$ , нелінійних спотворень растрів  $\delta_{Н}$ , неоднаковості розмірів сканувальних растрів  $\delta_{Р}$ , зміщення одного растра стереопари щодо другого растра  $\delta_{З}$  і повороту одного растра стереопари щодо другого растра  $\delta_{П}$  [1]:

$$\delta = \delta_{Г} + \delta_{Н} + \delta_{Р} + \delta_{З} + \delta_{П}. \quad (2)$$

Похибки  $\delta_{Р}$ ,  $\delta_{З}$  і  $\delta_{П}$  можна зменшити:  $\delta_{Р}$  – спеціальними схемотехнічними рішеннями, наприклад, використанням одного генератора розгортки для формування сканувальних растрів,

послідовним з'єднанням відповідних обмоток відхилювальних систем різних сканувальних ЕПТ,  $\delta_3$  – за рахунок стабілізації величини постійного струму зміщення у відповідних котушках відхилення,  $\delta_{\Pi}$  – за рахунок юстування відхилювальної системи [1]. Тому під час оцінювання похибок похибками  $\delta_p$ ,  $\delta_3$  і  $\delta_{\Pi}$  можна знехтувати. Основними похибками будуть: похибка за рахунок геометричних спотворень растрів  $\delta_{\Gamma}$  та похибка нелінійних спотворень растрів  $\delta_{\Pi}$ , якщо растри формуватимуться ключовим методом. Для аналізу ці похибки вважатимемо рівнозначними. Відповідно до виразу (2) кожна з цих двох похибок не повинна перевищувати 0,08 %, для пристроїв відтворення з кількістю планів по глибині  $Z_{\Gamma}$ , що дорівнює 600 планів.

### Похибки унаслідок геометричних спотворень растра

Розглянемо похибки при геометричних спотворення растрів для кожного елемента растра. Розмістимо координатну площину з початком відліку в центрі растра. А, В, С, D – вершини растра [5].

Коефіцієнт геометричних спотворень растра по горизонталі  $K_{\Gamma T}$  за спотворень типу трапеція [5]:

$$K_{\Gamma T} = \left[ 2 \cdot \frac{AD - BC}{AD + BC} \right]. \quad (3)$$

Для геометричних спотворень растра типу трапеція коефіцієнт геометричних спотворень по вертикалі  $K_{BT}$  визначається виразом [5]:

$$K_{BT} = \left[ 2 \cdot \frac{AB - DC}{AB + DC} \right]. \quad (4)$$

Для визначення похибки для кожного елемента растра запишемо рівняння для сторони растра за допомогою рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом, воно матиме вигляд [10]:

$$y = kx + b, \quad (5)$$

де  $k$  – кутовий коефіцієнт [10]:

$$k = \frac{Y_N - Y_M}{X_N - X_M}, \quad (6)$$

де  $X_N, Y_N, X_M, Y_M$  – значення координат спотвореного растра.

Значення  $X_N$  та  $X_M$  дорівнюватимуть значенню відповідних координат на осі ОХ ідеального растра, зміщених на коефіцієнт геометричних спотворень  $K_{\Gamma T}$  для цих точок:

$$X_{N,M} = X_I - (X_I \cdot K_{\Gamma T}), \quad (7)$$

де  $Y_N$  та  $Y_M$  – значення координат відповідних точок на осі ОУ, оскільки ми розглядаємо геометричні спотворення по горизонталі, то  $Y_N$  та  $Y_M$  відповідатимуть значенням відповідних координат растра без спотворень;  $b$  – значення початкової ординати, яка визначається виразом [10]:

$$b = Y_M - k \cdot X_M. \quad (8)$$

Використовуючи вираз (6), отримаємо:

$$b = Y_M - \frac{Y_N - Y_M}{X_N - X_M} \cdot X_M, \quad (9)$$

З виразів (6) та (9) одержимо вираз для сторони спотвореного растра:

$$Y_{\Delta} = \frac{Y_N - Y_M}{X_N - X_M} \cdot X_{\Delta} + \left( Y_M - \frac{Y_N - Y_M}{X_N - X_M} \cdot X_M \right). \quad (10)$$

Звідси  $X_{\Delta}$  координата на осі ОХ дорівнює:

$$X_{\Delta} = \frac{Y_{\Delta} - \left( Y_M - \frac{Y_N - Y_M}{X_N - X_M} \cdot X_M \right) \cdot (Y_N - Y_M)}{Y_N - Y_M}, \quad (11)$$

де  $X_{\Delta}$  та  $Y_{\Delta}$  – значення точок координат спотвореного растра.

Абсолютна похибка координати  $X$  :

$$\Delta_X = X_I - X_{\Delta} . \quad (12)$$

Абсолютна похибка координати  $Y$  :

$$\Delta_Y = Y_I - Y_{\Delta} . \quad (13)$$

Відносна похибка координати  $X$  становитиме:

$$d_{XГ} = 2 \cdot \frac{\Delta_x}{AD} \cdot 100 \% . \quad (14)$$

Відносна похибка координати  $Y$  становитиме:

$$d_{YВ} = 2 \cdot \frac{\Delta_y}{DC} \cdot 100 \% . \quad (15)$$

Для сторони растра похибка лінійно наростатиме від нуля до максимального її значення. За геометричних спотворень по горизонталі для будь-якого типу спотворень (трапеція, паралелограм, “бочка”, “подушка”) похибка буде найбільшою на сторонах растра і лінійно зменшуватиметься до нуля з наближенням до центра растра.

Коефіцієнт геометричних спотворень растра за спотворень типу паралелограм, по горизонталі,  $K_{ГП}$  для крайніх точок сторони растра визначається [5]:

$$K_{ГП} = \left[ 2 \cdot \frac{AD - BC}{AD + BC} \right] . \quad (16)$$

Скориставшись виразом (11), розглянемо відносно похибку по горизонталі для кожного елемента растра за спотворення типу паралелограм. Похибка буде аналогічною, як і за спотворення типу трапеція для половини растра, однак на другій половині растра вона буде дзеркально оберненою відносно центра растра.

У разі спотворень типу “бочка” та “подушка” коефіцієнт геометричних спотворень растра типу “бочка” по горизонталі  $K_{ГБ}$  для крайніх точок сторони растра [5]:

$$K_{ГБ} = \left[ 2 \cdot \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{AD + BC} \right] , \quad (17)$$

де  $\Delta L_1$  та  $\Delta L_2$  – максимальна “стріла прогину” сторони зі спотворенням.

Визначимо похибку для кожного елемента растра, використовуючи рівняння для кривих другого порядку [10]:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 , \quad (18)$$

де  $a$  та  $b$  – півосі еліпса,

Використовуючи вираз (18), запишемо вираз для абсолютної похибки по горизонталі:

$$\Delta_X = \Delta L \sqrt{1 - \frac{4Y^2}{BC^2}} , \quad (19)$$

$\Delta L$  – визначається:

$$\Delta L = X_I \cdot K_{ГП} . \quad (20)$$

Відносна похибка по горизонталі растра для спотворень типу “бочка”, “подушка” буде найбільшою посередині растра та плавно зменшуватиметься до нуля з наближенням до країв растра по вертикалі.

### **Похибки унаслідок геометричних спотворень суміщення сканувальних растрів у разі використання двох ЕПТ**

У разі суміщення двох растрів суміщаються центри растрів, а похибки їх відповідних точок додаються. Відносна похибка у разі суміщення двох растрів дорівнюватиме сумі похибок кожного растра у відповідних координатах:

$$\delta_{\Sigma X} = \delta_{XГ1} + \delta_{XГ2} . \quad (21)$$

У разі суміщення двох растрів з ідентичними спотвореннями похибка по горизонталі або по вертикалі залишиться такою, як і для одного растра, оскільки суміщені елементи растра будуть зміщені на однакову величину, за таких спотворень стереоефект не буде втрачатись. У разі суміщення растрів зі спотвореннями типу трапеція зі спотворенням у верхній частині растра і спотворенням типу трапеція зі спотворенням в нижній частині растра похибка буде рівномірною по всій висоті растра. Аналогічно похибка розподілятиметься рівномірно у разі суміщення растрів зі спотвореннями типу паралелограм у одного растра та паралелограм з нахилом в протилежну сторону в другого растра. За суміщення растрів зі спотвореннями типу трапеція у одного растра та спотвореннями типу паралелограм у другого растра похибка буде рівномірно розподілена по всій висоті растра на одній половині растра, а на іншій половині растра похибка буде незмінною, оскільки елементи растра будуть зміщені на однакову відстань.

Найбільшими будуть похибки у разі суміщення растрів за спотвореннями типу “бочка” в одного растра та спотвореннями типу “подушка” у другого растра. За такого варіанта суміщення найбільшою похибка буде посередині растра. Однак на краях растра похибка дорівнюватиме нулю.

### Сумарна похибка унаслідок геометричних спотворень сканувальних растрів з використанням двох ЕПТ

Сумарна похибка унаслідок геометричних спотворень у кожній точці сканувальних растрів буде визначатись за формулою:

$$\delta_{\Gamma} = \sqrt{\delta_{X\Gamma}^2 + \delta_{Y\Gamma}^2}, \quad (22)$$

де  $\delta_{X\Gamma}$  та  $\delta_{Y\Gamma}$  – відносні похибки суміщених растрів у відповідній точці по горизонталі та вертикалі.

Розглянуто геометричні спотворення, які є симетричними відносно центра растра. Проведемо оцінку похибки по діагоналях AC і DB растра. Сумарна похибка буде найбільшою по краях растра і зменшуватиметься до нуля з наближенням до центра растра. У більшості варіантів похибка лінійно зменшуватиметься з наближенням до центра. Але є варіанти у разі спотворень, наприклад, “бочка”– “бочка” по горизонталі й по вертикалі растра першого растра і “бочка”– “бочка” по горизонталі й по вертикалі другого растра, за яких сумарна похибка буде найменша на вершинах растра і зростатиме з наближенням до середини растра. Також похибка буде нерівномірною у варіантах, коли суміщаються растри з спотвореннями типу трапеція або паралелограм та “бочка” або “подушка”. Також за таких варіантів спотворень похибка буде найбільшою.

Розглянемо сумарну похибку для растрів з розмірами 1024×1024 елементи за спотворень типу трапеція – “бочка” по горизонталі та трапеція – “бочка” по вертикалі. Величина спотворення кожного растра дорівнює 3 % (рис. 1).

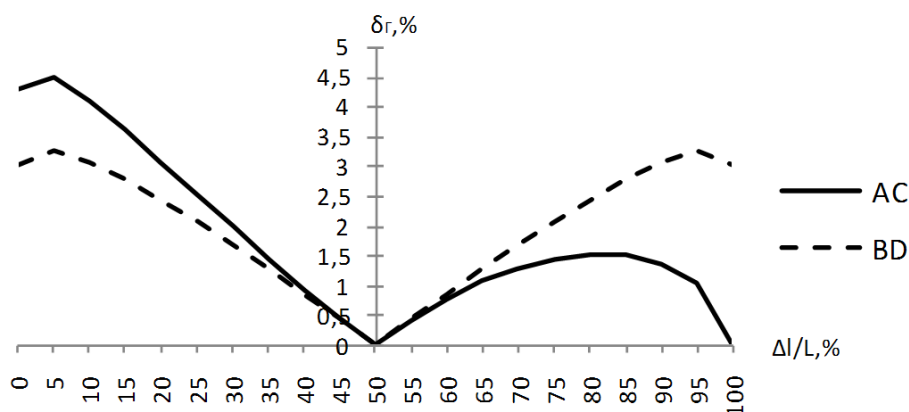


Рис. 1. Сумарна похибка у разі суміщення двох растрів зі спотвореннями типу трапеція “бочка” по горизонталі та трапеція “бочка” по вертикалі

Оскільки похибка за геометричних спотворень растрів змінюється плавно, розглядатимемо похибку в точках з кроком  $\Delta l$ , який становить 5 % від ширини растра  $L_X$ . Враховуючи, що растр у нас квадратний, то його висота  $L_Y$  дорівнюватиме ширині  $L_X$ , тому по висоті будемо розглядати точки з таким самим кроком  $\Delta l$ .

Оскільки похибка за рахунок геометричних спотворень растрів  $\delta_G$  не повинна перевищувати 0,08 %, то геометричні спотворення кожного растра не повинні перевищувати 0,075 %.

### Сумарна похибка унаслідок геометричних спотворень сканувальних растрів у разі використання однієї ЕПТ

У разі формування сканувальних растрів однією ЕПТ геометричні спотворення можуть бути тільки одного типу.

У разі суміщення растрів сумарна похибка унаслідок геометричних спотворень буде найбільшою, якщо суміщаються растри зі спотвореннями типу: трапеція – трапеція, трапеція – паралелограм та паралелограм – паралелограм.

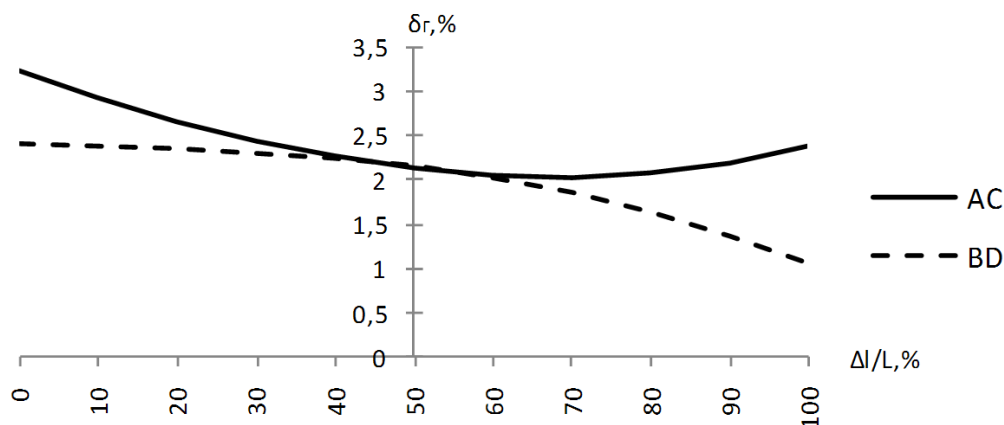


Рис. 2. Сумарна похибка у разі суміщення двох растрів зі спотвореннями типу трапеція по горизонталі та паралелограм по вертикалі

На рис. 2 показано похибку для растрів розміром 512×512 елементів, які утворено з растра розміром 1024×1024 елементи з геометричними спотвореннями типу трапеція по горизонталі та паралелограм по вертикалі, які становлять 3 %. У центрі растра похибка буде найменшою, однак не дорівнюватиме нулю, на відміну від двотрубкових систем.

У разі сканування ДО за допомогою однієї ЕПТ спотворення растра не повинні перевищувати 0,07 % для забезпечення умов, за яких не буде втрачатись стереоефект.

### Похибка за нелінійних спотворень сканувальних растрів

Нелінійні спотворення спричинені непостійністю швидкості руху променя по екрану сканувальної ЕПТ і призводять до масштабних спотворень стереопари растрів. Ці спотворення виникають, наприклад, у разі використання двостороннього ключа для формування відхилювального струму по координаті  $x$  внаслідок втрат у колі формування струму відхилення призводить до похибки  $d_{НХ}$ . Величина нелінійних спотворень визначається сталою часу  $\tau$ , яка залежить від індуктивності котушок відхилення  $l$  й опору втрат у колі формування  $r$ :  $\tau = l/r$ . Якщо сталі часу використовуваних відхилювальних систем різні, то похибка  $d_{НХ}$  призводить до формування розгортки по координаті  $x$  з різною швидкістю руху променя на початку і в кінці розгортки, а також до різного розміру цих растрів. У разі суміщення лише одного краю

сканувальних растрів, який відповідає початку або кінцю рядкової розгортки, похибка  $d_{HX}$  становитиме [1, 6]:

$$\delta_{HX} \approx \exp(-t_P / \tau_1) - \exp(-t_P / \tau_2), \quad (23)$$

де  $t_P$  – час рядкової розгортки,  $\tau_1, \tau_2$  – стала часу відхилювальних систем відповідно першої та другої сканувальних ЕПТ.

Похибка  $\delta_{HX}$  у разі суміщення обох країв сканувальних растрів (наприклад, за рахунок вибору відповідного зміщення растрів та їх розмірів) становитиме:

$$\delta_{HX} \approx \exp(-t_P / \tau_1) - (\exp(-t_P / \tau_2) \cdot K_H), \quad (24)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт нелінійності.

$$K_H = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_{MAX}}. \quad (25)$$

Похибку  $\delta_{HX}$  у разі суміщення центрів сканувальних растрів (наприклад, за рахунок вибору відповідного зміщення растрів та їх розмірів) відображено на рис. 3, 4.

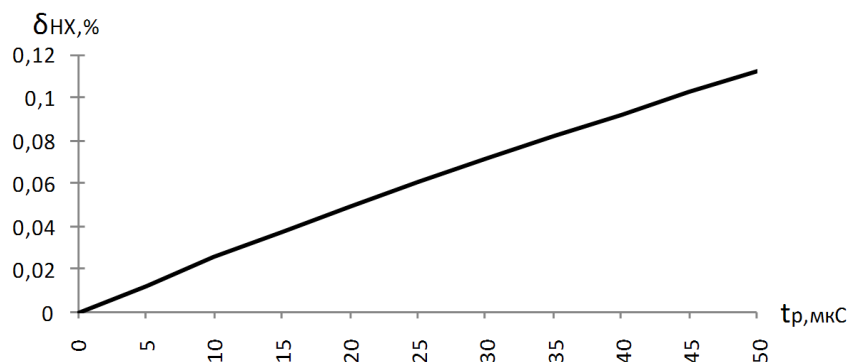


Рис. 3. Похибка нелінійних спотворень у разі суміщення одного краю растра

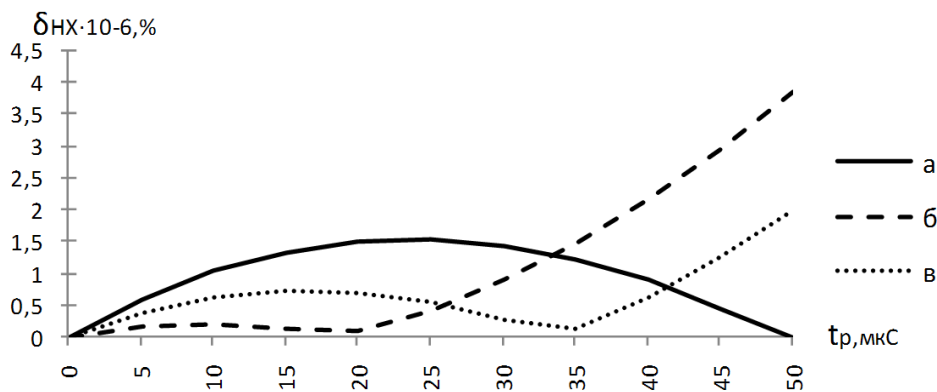


Рис. 4. Похибка нелінійних спотворень за суміщення:  
 а – двох країв растрів; б – центрів растрів;  
 в – у разі суміщення растрів у зоні відхилення,  
 яка відповідає часові  $t = (0,6 - 0,7) \cdot t_P$

Найбільшою буде похибка в разі суміщення одного краю растрів – 0,12 %. Найменшою похибка нелінійності буде у разі суміщення растрів за координатою  $X$  у зоні відхилення, яка відповідає часові  $t = (0,6 - 0,7) \cdot t_P$ , й не перевищуватиме  $2,2 \cdot 10^{-6} \%$ .

Зробити однаковими нелінійні спотворення, формуючи відхилювальні струми за координатою  $X$  ключовим методом, можна, наприклад, за рахунок використання одного генератора рядкової розгортки і послідовного ввімкнення рядкових відхилювальних котушок обох відхилювальних систем.

Похибка  $\delta_{HX}$  по координаті  $Y$  не розглядається, оскільки вона набагато менша в зв'язку з формуванням високолінійного сигналу відхилення по координаті  $y$  і використанням для формування струму в кадрових котушках відхилення високочотних перетворювачів напруга–струм [1, 6].

### Висновки

Проаналізовано похибки кожного елемента растра унаслідок геометричних та нелінійних спотворень у разі формування стереопари растрів однією та двома ЕПТ. У разі сканування ДО за допомогою двох ЕПТ за більшості спотворень похибка лінійно зменшуватиметься з наближенням до центра і в центрі дорівнюватиме нулю. Найбільшою буде похибка зі спотвореннями “бочка” та “подушка”. У разі використання двох ЕПТ геометричні спотворення кожного растра не повинні перевищувати 0,075 %.

У випадку формування сканувальних растрів однією ЕПТ геометричні спотворення можуть бути тільки одного типу. Сумарна похибка унаслідок геометричних спотворень буде найбільшою у разі суміщення растрів зі спотвореннями типу: трапеція – трапеція, трапеція – паралелограм та паралелограм – паралелограм. В центрі похибка буде найменшою. У разі сканування ДО за допомогою однієї ЕПТ спотворення растра не повинні перевищувати 0,07 %.

У разі суміщення растрів з нелінійними спотвореннями найбільшою буде похибка за суміщення одного краю растрів – 0,12 %. Найменшою похибка за нелінійних спотворень буде в зоні відхилення, яка відповідає часові  $(0,6 - 0,7) \cdot t_{p1}$  не перевищуватиме  $2,2 \cdot 10^{-6}$  %.

1. Шклярський В. І. Сканувальна телевізійна оптична мікроскопія: теорія та практика: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2010. 456 с. 2. Generator of Signals of Reamer in Scan Televisual Microscope / Volodymyr Vasilyuk, Vitaly Goy, Mykola Nakonechnyi, Andrew Rehush // Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2012: XI intern. conf., February 21–24 2012 : proceed. of the conf. Lviv–Slavske, Ukraine. 2012. P. 157. 3. Мамчев Г. В. Стереотелевизионные устройства отображения информации. Москва: Радио и связь, 1983. 96 с. 4. Шмаков П. В., Джакония В. Е. Практические вопросы построения стереотелевизионных систем // Техника кино и телевидения. 1960. № 3. С. 11–21. 5. Кривошеев М. И. Основы телевизионных измерений. М.: Радио и связь, 1989. 608 с. 6. Телевидение / В. Е. Джакония, А. А. Гоголь, Н. А. Ерганжиев, С. Э. Коганер, А. Г. Кондратьев, Ю. П. Куликовский. М.: Радио и связь, 1986. 456 с. 7. Дюков В. Г. Кудеяров Ю. А. Растровая оптическая микроскопия. Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. 1992. 208 с. 8. Регуш А. В., Молдован В. Б. Стереотелевизионный сканувальний оптичний мікроскоп для дослідження мікрооб'єктів // 9-та Міжнар. молодіжна наук.-техн. конф. “Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ-2013”. 22–26 квітня 2013. Севастополь, Україна. С. 69. 9. Stereo-Television Scanning Optical Microscope / Volodymyr Shkliarskyi, Andrew Rehush, Yaroslav Tebenko // Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2014 : XII intern. conf., February 25 – March 1, 2014. Lviv–Slavske, Ukraine, 2014 : proceed. conf. P. 741–743. 10. Забелишинська М. Я. Математика: навч.-практ. довідник. 3-тє вид. Харків: Ранок, 2014. 384 с.

### References

1. Shkliarskyi V. I. Scanning television optical microscopy: theory and practice: monograph / V. I. Shkliarskyi. – Publishing House Lviv Polytechnic. – 2010. – 456 p. (ukrainian). 2. Vasilyuk Volodymyr. Generator of Signals of Reamer in Scan Televisual Microscope / Volodymyr Vasilyuk, Vitaly Goy, Mykola Nakonechnyi, Andrew Rehush // Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET'2012: XI intern. conf., February 21–24 2012 : proceed. of the conf. - Lviv-



Slavske, Ukraine, 2012. – P. 157. (english). 3. Mamchev G.V. Stereo television information display device./ G.V. Mamchev – M.: Radio and Communications. – 1983. – 96 p. (russian). 4. Shmakov P. V. Practical problems of constructing a stereo TV systems / P. V. Shmakov, V. E. Dzhakoniya // Film and television technique. – 1960. – № 3. – P. 11–21. (russian). 5. Krivosheev M. I. Basics of television measurement / M. I. Krivosheev. – M.: Radio and Communications, 1989. – 608 p. (russian). 6. Dzhakoniya V. E. Television / V. E. Dzhakoniya, A. A Gogol., N. A Erganzhiev., S. E. Koganer, A. G.Kondratiev, Y. P. Kulikovskii – M.: Radio and Communications, – 1986. – 456 p. (russian). 7. Djukov V. G. Raster optical microscopy / V. G. Djukov, Y. A. Kudeyarov – M.: Science, Main edition of Physical and Mathematical Literature, 1992. – 208 p. (russian). 8. Rehush A. V. Stereo television scanning optical microscope for research micro objects / A. V. Rehush, V. B. Moldovan // 9-th The International youth scientific conference “Modern Problems of Radio and Telecommunication RT-2013”, 22–26 april 2013, Sevastopol, Ukraine – P. 69.(ukrainian). 9. Volodymyr Shkliarskyi Stereo-Television Scanning Optical Microscope / Volodymyr Shkliarskyi, Andrew Rehush, Yaroslav Tebenko // Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET’2014 : XII intern. conf., February 25 – March 1, 2014. – Lviv–Slavske, Ukraine, 2014 : proceed. conf. – P. 741–743. (english). 10. Zabyelyshynska M. J. Mathematics: teaching and practical guide / M. J. Zabyelyshynska. – 3-th ed. – K.: Morning, 2014. – 384 p. (ukrainian).