

УДК 159.931(145)

Пилипенко О.О., Ситник О.Г.

Інститут електроніки та систем управління НАУ. Україна, Київ

ОКРЕМІ АСПЕКТИ ТЕОРІЇ МУАРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДОСЛІДЖЕННЯМ ПАРАМЕТРІВ ПОБУДОВИ РАСТРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ОКА ЛЮДИНИ

Анотація

Теоретичні аспекти виникнення муару в зображенні та питання боротьби з ним є актуальною проблемою вивчення. Вирішення проблем впливу муару на якість зображень потребує роз'яснення багатьох теоретичних моментів. Особливості проявлення муару на зображенні обумовлюються неможливістю вирішення проблеми оптимальності процесу репродукції програмно-апаратними засобами без допомоги теорії побудови ока людини і використання сучасних конфігурацій растрових елементів. Муар виявляє себе у вигляді характерної, подразнювальної для ока, періодичної структури з певним періодом, у вигляді плям, які з'являються на різних ділянках.

Abstract

Theoretical aspects of occurrence muar in the image and questions of struggle against it is the actual problem of the research. The decision of a problem of an influence muar at the image quality needs an explanatory of many theoretical moments. Features of display muar at the image are caused by impossibility of the decision of the problem of an optimality of process of a reproduction by programs and hardware without the help of the theory of construction of an eye of the person and the use of modern configurations of raster elements. Muar determines itself as characteristic irritable for the eye periodical structure to the certain period as the stain appearing at the different sites.

Вступ. Явище муару відоме спеціалістам [1], хоч якимось чином пов'язаним з поліграфією, або виготовленням технічної документації в складі CALS-технологій для цивільної авіації, обробкою в процесі електронно-цифрового репродукції зображень (ЕЦРЗ), або підготовкою до друку. Актуальність дослідження впливу муару на якість зображень, що використовуються в CALS-технологіях цивільної авіації, також відома [2], тому, що муар заважає нам у відскануванні оригіналу за допомогою лазерного формного автомата (ЛФА), на якому проводились експерименти [3], з метою повторного растріування для отримання якісної репродукції. Явище муару потребує роз'яснення

багатьох теоретичних положень. Погляди авторів на вирішення цієї проблеми ґрунтуються на розроблених окремих аспектах теорії побудови РЕ і сприйнятті зображень оком людини [4], про причини появи й особливості проявлення муару, щоб запропонувати методи боротьби з цим явищем, що виникає в процесі ЕЦРЗ а саме: аналізу, обробки та синтезу кольорових репродукцій.

З історії питання. Відоме [5] найпростіше і найлаконічніше пояснення причини виникнення муару — це окремий випадок прояву явища інтерференції із накладенням двох хвильових структур зі схожим періодом. При цьому в місцях, де світлова хвиля приходила у фазі з іншою хвилею, ділянка була світлішою, порівняно з ділянкою, де світлові хвилі виявлялися в протифазі. Візуально це виглядало як періодичне чергування світліших і темніших ділянок при розгляді плівці-носія.

Аналіз останніх досліджень, в яких започатковано розв'язання проблеми впливу муару на якість зображень [6] полягає в тому, що здається неможливим вирішення проблеми оптимальності процесу ЕЦРЗ його програмно-апаратними засобами без допомоги теорії побудови ока людини і використання сучасних конфігурацій растрових елементів (РЕ) з розмірами сумісними з золотим перетином. У друці муар виявляє себе у вигляді характерної, подразнювальної для ока [3], періодичної структури з певним періодом, у вигляді плям, які з'являються на різних ділянках зображення (темніших, ніж зображення в цій точці). Відомий і досить широко застосовуваний прийом для усунення муару [1], який полягає в повороті оригіналу на 30 градусів щодо напрямку вісі його сканування, або нанесенні РЕ з таким кутом нахилу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими завданнями полягає в дослідженні муару, який може бути викликаний цілою низкою причин, починаючи від неправильного функціонування ЕЦРЗ, некоректної обробки і закінчуючи невідповідним настроюванням на стадії виготовлення форм і процесом друку та його впливу на якість зображень. Застосування опцій зміни лініатури зображень [6] на вході і виході підсистеми електроніки в ЛФА здійснюється частіше, але головне тут не помилитися із використанням лініатури. Використання

помилкової лініатури викликає ще більший муар, якого ще важче позбутися.

Метою дослідження є виготовлення якісних кольоророзподілених форм на плівці. Розгляд муару почнемо з процесу сприйняття і принципів побудови ока людини. Добре відомо [5], що око людини на (рис. 1) являє собою майже кулясте тіло, обмежене склерою. Кришталик має форму двоопуклої лінзи із закругленими краями й відокремлює передню камеру ока від іншої частини очного яблука.

Таким чином, око являє собою складну організовану систему, що виконує три якісно різні системні функції: світлоізолюючу, світлочутливу й світлозаломлюючу які можуть бути умовно віднесені до трьох підсистем сприйняття. Таким чином, функції підсистем ока для вирішення проблем муару полягають в перетворенні світла в зорове зображення без пошкоджень, що представлене схематично на (рис. 2).

Вигляд передатної функції схеми зорового каналу ока людини на (рис. 2), визначається кожним

дослідником особисто [1], або встановлюється на основі експериментальних даних. Припустимо що вона має наступний вигляд

$$F(x) = z \frac{ke^{-\tau}(t_d x + 1)}{(t_{i.o} x + 1)(t_{нм} x + 1)}, \quad (1)$$

де e_d – коефіцієнт диференціюючої ланки ока; z – коефіцієнт комфортності сприйняття; $t_{i.o}$ – коефіцієнт інтегруючої ланки ока, обумовленої інерційністю відробки оком вхідної інформації; $t_{нм}$ – коефіцієнт інтегруючої ланки ока, обумовленої нервово-м'язовою затримкою ока людини; τ – запізнення сприйняття, визначається тренованістю ока людини;

$(t_d x + 1)$ – математичний оператор, що характеризує стабілізуючі властивості ока людини; $e^{-\tau}$ – математичний оператор, що враховує природний процес затримки реакції ока на сприйняття зображень;

$\frac{1}{(t_{нм} x + 1)}$ – математичний оператор, що враховує динаміку нервово-м'язової системи ока.

динаміку нервово-м'язової системи ока.

Для систем "середнього" (схематичного ока) з метою побудови його спрощеної моделі структури із урахуванням явища мікросканування (саккад) [3], поведінка ока описується, якщо є сигнал в головному мозку, спрощеною передатною функцією.

$$F(x) = z \frac{ke^{-\tau}(1,8x + 1)}{x(20x + 1)}. \quad (2)$$

Цей факт встановлено, і сформульовано у вигляді математичної моделі. Встановлено [4], що дорослі люди на відмінність від дітей віддають перевагу зображенням які ґрунтуються на оптимальних розмірах і конфігураціях РЕ, розміри яких засновані на принципах побудови золотого перетину $\alpha=1,618$ [3] з метою досягнення комфортності сприйняття зображень z . В процесі досліджень використаємо окремі результати з Інтернету у вигляді лінійної математичної моделі типу "вхід/вихід"

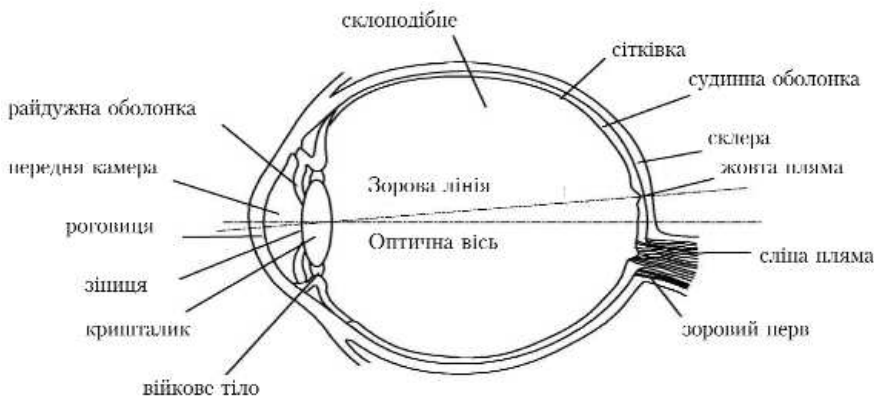


Рис. 1. Фрагмент загальної схеми принципів будови ока людини

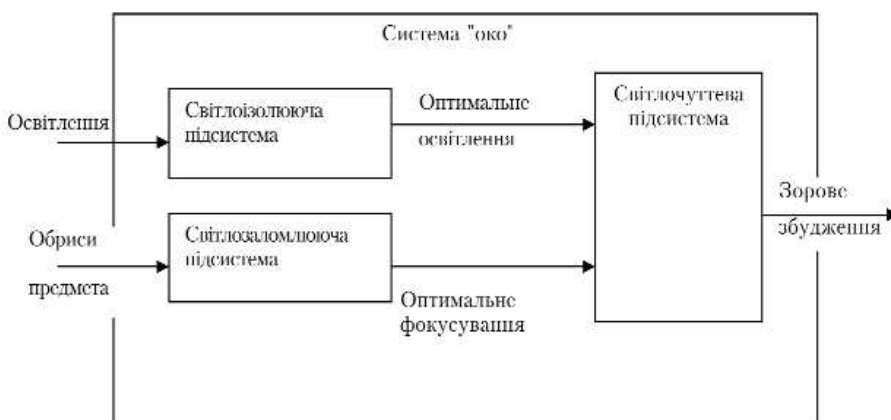


Рис. 2. Схема єдності підсистем в загальній системі "око", що визначають принципи побудови ока людини з метою використання для вирішення проблем муару

з метою пояснення процесів появи муару і що відбувається при цьому в оці

$$F(x) = F_1(x)F_2(x), \quad F_1(x) = z \frac{N_1(x)}{L_1(x)} = \frac{k_1}{xt_1 + 1},$$

$$F_2(x) = z \frac{N_2(x)}{L_2(x)} = \frac{k_2}{xt_2 + 1} \quad (3)$$

де $F(x)$, $F_1(x)$ і $F_2(x)$ – передатні функції системи, допоміжної камери і оптичної камери ока відповідно; $N_1(x)$ і $N_2(x)$ – зображення об'єму і вигину задньої стінки ока відповідно; $L_2(x)$ і $N_2(x) = N_1(x)$ – зображення вигину прозорої еластичної стінки і об'єму в оці відповідно; t_1 і t_2 – сталі часу оптичної і допоміжної камери ока відповідно; z , k_1 і k_2 – коефіцієнти.

h1, h2, mm

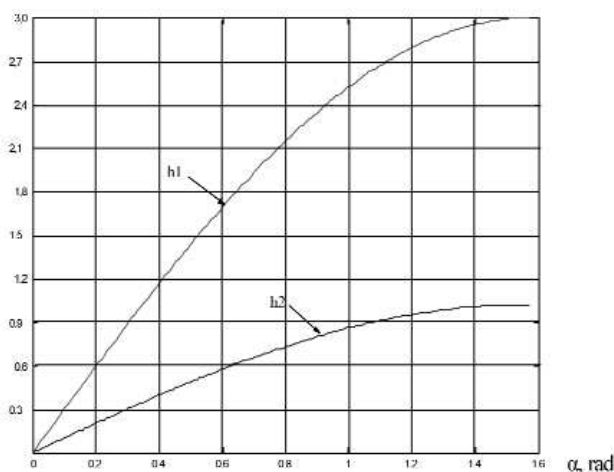


Рис. 3. Статичні характеристики

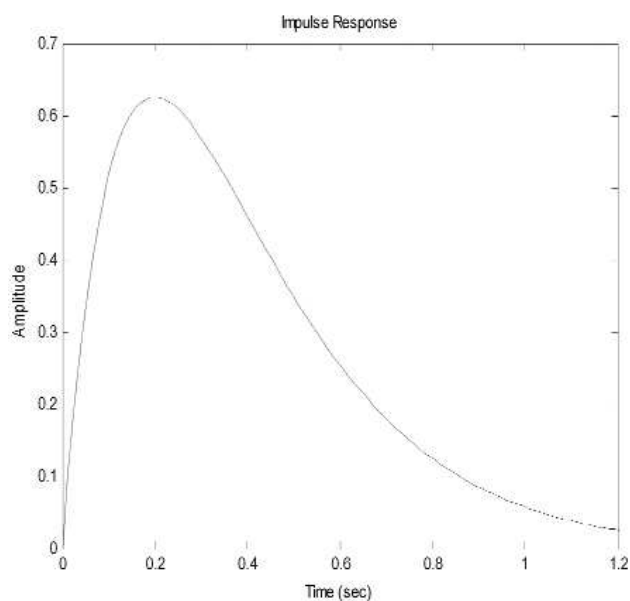


Рис. 5. Реакція системи на функцію $y = \delta(t)$

В результаті проведених розрахунків пропонується здійснити уточнення окремих характеристик процесу сприйняття зображень, що на (рис. 3, 4, 5, 6, 7) через математичну модель ока. Для цього припустимо, що вигін еластичних круглих пластин стінок обох камер ока здійснюється з характеристиками сферичних сегментів

$$v = \frac{\pi \cdot h(3a^2 + h^2)}{6}, \quad (4)$$

де h – вигін стінки, a – радіус круга сегмента.

Враховуючи, що $3a^2 \gg h^2$, в сталому режимі маємо

$$F_1(0) = k_1 = \frac{\pi \cdot a_1^2}{2}, \quad F_2(0) = k_2 = \frac{2}{\pi \cdot a_2^2}, \quad (5)$$

$$F(0) = k_1 k_2 = \frac{a_1^2}{a_2^2}$$

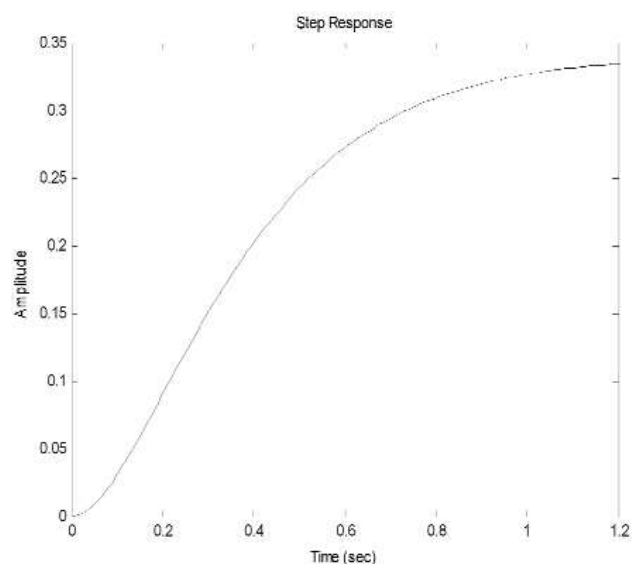


Рис. 4. Реакція системи на функцію $y = l(t)$ системи $h_1(\alpha)$ і $h_2(\alpha)$

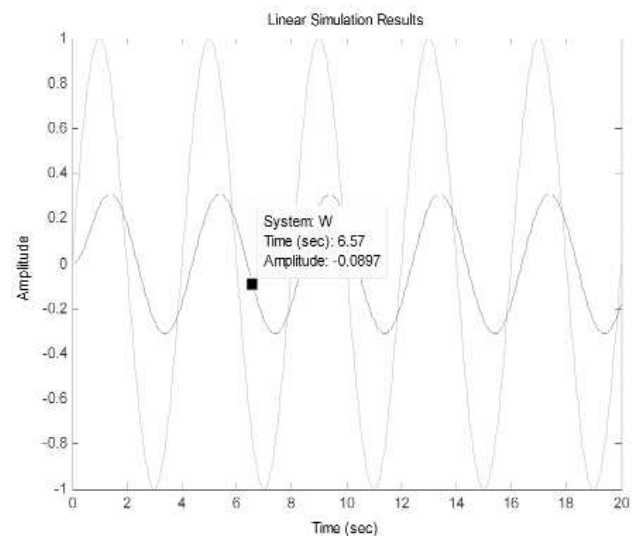


Рис. 6. Реакція системи на функцію $y = \sin(t)$

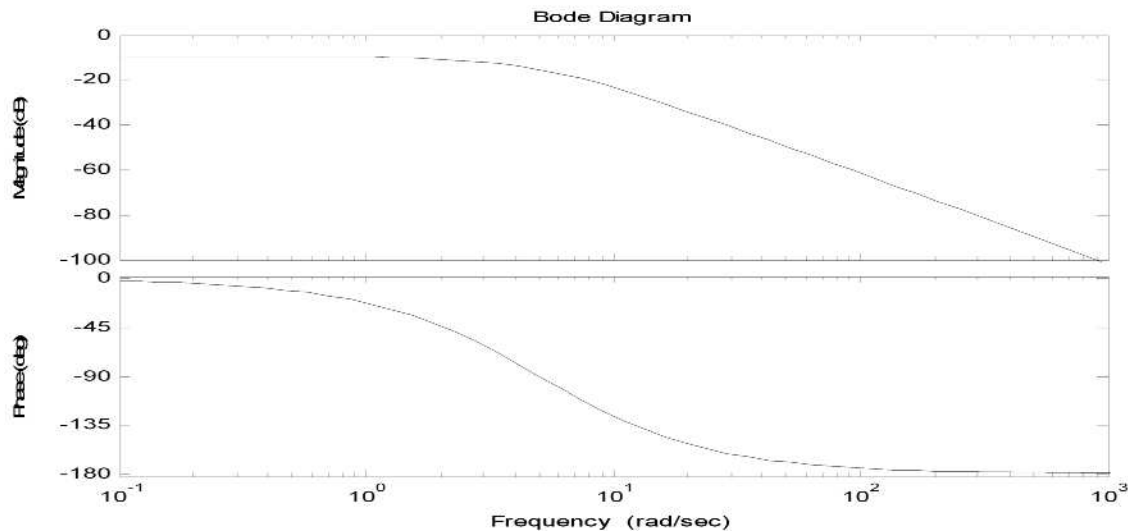


Рис. 7. Логарифмічна амплітудно-частотна (а) та фазочастотна (б) характеристики

Для числових значень радіусу допоміжної камери $a_1=3,5$ мм і радіусу оптичної камери $a_2=6,0$ мм використовуємо коефіцієнти, що дорівнюють $k_1=19,23$, $k_2=0,0177$, $k=0,34$. Щодо сталих часу, то враховуючи, що час спостереження дорівнює 1 с, а коливання часу в процесі сприйняття можна припустити $t_1=t_2=t=0,2$ с.

Після математичних перетворень, в кінцевому результаті, математичну модель ока в процесі сприйняття зображень, з урахуванням муару, представимо рівнянням

$$t_1 t_2 \frac{d^2 h_2(t)}{dt^2} + (t_1 + t_2) \frac{dh_2(t)}{dt} + h_2(t) = z \cdot k_1 k_2 h_1(t) \quad (6)$$

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів зроблено в [3]. З дослідження характеристик (рис. 3, 4, 5, 6, 7) з Internet встановлено, що реакції ока на зміну зображень, що сприймаються людиною, не до кінця вивчені, а моделювання процесу муару з метою боротьби з ним у зображеннях можливо з урахуванням побудови моделі РЕ близької до реальної структури елементів ока, але це потребує подальших досліджень. Науковий результат, що отриманий на підставі застосування теорії побудови РЕ зображень і науково-методичного апарату дослідження муару викладений в [4] полягає в тому, що муар при скануванні зображень із періодичними структурами виявляється підступніше, ніж муар в зображеннях які растрівані відомими конфігураціями РЕ (прямокутні, квадратні, трикутні, овальні тощо), і може виявлятися локально, лише в деяких ділянках зображення. Такий муар не завжди просто помітити тому, що іноді не має інструментальних засобів (денситометра) або

достатньо часу для належного вихідного контролю репродукції після обробки в ЛФА.

Запропоновані шляхи вирішення проблем. Встановлено [3], що при скануванні та обробці в ЛФА періодичних структур поява муару виникає при взаємному накладенні кількох періодичних процесів. У результаті, об'єкти після сканування і обробки в ЛФА будуть отримані з різним числом РЕ. Усунення цього виду муару часом виявляється досить проблематичним [4]. Використання в роботі проміру параметрів багатьох реальних очей і обчислення їхніх середніх значень [6] дозволить скласти уявлення за допомогою табл. 1 про деяке "середнє" око (схематичне око) для побудови його спрощеної моделі оптичної системи для визначення взаємозв'язку сприйняття зображень з появою муару і розробки методів боротьби з ним.

З табл. 1 зрозуміло, що сприйняття різних предметів (об'єктів спостереження) оком людини здійснюється в основному завдяки параметрам і характеристикам оптичної сили роговиці та кришталіка, що суттєво впливає на процес визначення муару.

Особистий внесок авторів полягає у наступному. Встановлено [3], що зображення, які містять ділянки з періодичними структурами, не рекомендується масштабувати. Муар при масштабуванні зображення не викликаний ні особливостями режиму попередньої растрізації зображення в ЛФА, ні помилкою в режимі сканування виявляється трохи інакше, і шкодить зображенню меншою мірою, ніж, муар, отриманий після сканування растрового оригіналу.

Гіпотеза вирішення проблем викладена в [3]. Для доказу стверджується, що виникнення муару при повторному растріруванні репродукції обумовлено тим, що частота повторного растрірування

Таблиця 1

Приведені деякі параметри реального і схематичного ока

| Параметр ока | Реальне око | | Схематичне око | |
|--|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| | для спокійного сприйняття | для max сприйняття | для спокійного сприйняття | для max сприйняття |
| Показник переломлення: | | | | |
| роговиці | 1,376 | 1,376 | - | - |
| водянистої вологи та скловидного тіла кришталіка | 1,336 | 1,336 | 1,336 | 1,336 |
| еквівалентного ядра кришталіка | 1,386 | 1,386 | 1,413 | 1,424 |
| Відстань від вершини роговиці, мм: | | | | |
| передньої поверхні роговиці | 0 | 0 | 0 | 0 |
| задньої - " - - " - | 0,5 | 0,5 | - | - |
| передньої поверхні кришталіка | 3,6 | 3,2 | - | - |
| задньої - " - - " - | 7,2 | 7,2 | - | - |
| оптичного центру кришталіка | - | - | 5,85 | 5,2 |
| Радіус кривизни, мм: | | | | |
| передньої поверхні роговиці | 7,7 | 7,7 | - | - |
| задньої - " - - " - | 6,8 | 6,8 | - | - |
| еквівалентної - " - - " - | - | - | 7,8 | 7,8 |
| передньої поверхні кришталіка | 10 | 5,33 | 10 | 5,33 |
| задньої - " - - " - | -6 | -5,33 | -6 | -5,33 |
| Оптична сила, дптр.: | | | | |
| передньої поверхні роговиці | 48,83 | 48,83 | - | - |
| задньої - " - - " - | -5,88 | -5,88 | - | - |
| еквівалентної - " - - " - | - | - | 43,08 | 43,08 |
| передньої поверхні кришталіка ядра кришталіка | 5 | 9,375 | 7,7 | 16,5 |
| задньої поверхні кришталіка | 5,985 | 14,95 | - | - |
| | 8,33 | 9,375 | 12,833 | 16,5 |
| Система роговиці: | | | | |
| переломлювальна сила, дптр. | 43,05 | 43,05 | 43,08 | 43,08 |
| місцеположення першої головної точки, мм | -0,0496 | -0,0496 | 0 | 0 |
| місцеположення другої головної точки, мм | -0,0506 | -0,0506 | 0 | 0 |
| передня фокусна відстань, мм | 23,227 | 23,227 | 23,214 | 23,214 |
| задня - " - - " - , мм | 31,031 | 31,031 | 31,014 | 31,014 |
| Система кришталіка: | | | | |
| переломлювальна сила, дптр. | 19,11 | 33,06 | 20,53 | 33 |
| місцеположення першої головної точки, мм | 5,678 | 5,145 | 5,85 | 5,2 |
| місцеположення точки заднього фокуса, м | 5,808 | 5,225 | 5,85 | 5,2 |
| фокусна відстань, мм | 69,908 | 40,416 | 65,065 | 40,485 |
| Повна система ока: | | | | |
| оптична сила, дптр. | 58,64 | 70,57 | 59,74 | 70,54 |
| місцеположення першої головної точки, мм | 1,348 | 1,772 | 1,505 | 1,821 |
| місцеположення другої головної точки, мм | 1,602 | 2,086 | 1,631 | 2,025 |
| місцеположення точки переднього фокуса, м | -15,707 | -12,397 | -15,235 | -12,355 |
| місцеположення точки заднього фокуса, м | 24,387 | 21,016 | 23,996 | 20,963 |
| місцеположення першої вузлової точки, мм | 7,078 | 6,533 | - | - |
| місцеположення другої вузлової точки, мм | 7,332 | 6,847 | - | - |
| передня фокусна відстань, мм | -17,055 | -14,169 | -16,740 | -14,176 |
| задня - " - - " - , мм | 22,785 | 18,930 | 22,365 | 18,938 |
| місцеположення центр. ямки сітківки, мм | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Місцеположення ближ. точки бачення, мм | - | -102,3 | - | -100,8 |
| радіус кривизни сітківки, мм | -10,5 | -10,5 | - | - |
| вісьова рефракція, дптр. | +1,0 | -9,6 | 0 | -9,7 |
| місцеположення вхідного зрачка, мм | 3,047 | 2,668 | - | - |

збіглася з частотою його первинного растрірування. Виявляється цей вид муару тільки у випадках, коли "старий" растр від першого растрірування не був усунутий чи був усунутий неповністю. Для усунення муару повторного растрірування пропонуються кілька підходів.

По-перше, можна спробувати змінити частоту повторного растрірування.

По-друге, спробувати відрастрірувати із застосуванням PE іншого типу.

У третьому випадку відсутність муару буде обумовлена тим, що повторний растр не з

періодичним способом растріувався за своєю природою. Тому первинний період растріування не співпадає з відсутнім вторинним. Однак найправильніше рішення в цьому випадку, звичайно ж, усунення періодичної структури у відсканованому зображенні, і тільки потім — його растріування з умовами виробництва.

Вперше встановлене такий факт. Найнеприємніше, що при використанні загальноприйнятих в поліграфічному виробництві амплітудно-модульованих (АМ) РЕ ймовірність виникнення муару досить висока. Це характеризує АМ-растри в структурі зображень не в кращому світлі, порівняно з нерегулярними (стохастичними), або меццо-тинто РЕ, а також з методами растріування, що використовуються. Але, оскільки в структурі зображень із стохастичних РЕ проблем не менше, ніж у структурі із традиційних РЕ, тому на це доводиться "закривати очі" і знаходити обхідні шляхи, які дадуть змогу мінімізувати їх негативний вплив на зображення. Встановлено, що АМ-растри найбільш піддаються виникненню муару. Річ у тому, що в цих способах растріування, на відміну від стохастичного растріування, присутні постійні періодичні величини, такі як число РЕ на одиницю довжини (лініатура), упорядкованість РЕ відносно одна одної в кожній фарбі та між ними визначається кутом нахилу РЕ і структурою фрагмента базової ланки (ФБЛ). Змінюваним (модульованим) параметром є розмір РЕ (амплітуда), а все інше залишається константою. Періодичність АМ-растрів і визначає те, що при накладенні на їх власний період різних процесів (сканування, повторне растріування тощо), стає можливою поява інтерференційних картин, які виявляються у вигляді муару. Відомо [6], що РЕ створюють ефект наявності в зображенні півтонів. Дискретна структура РЕ, навіть при високій лініатурі, візуально розбиває зображення на окремі РЕ, заважаючи людям з високою гостротою зору розглядати зображення, як неперервне і фотографічне.

Висновки і перспективи подальших досліджень в науковому піднапрямку обробки зображень полягають в тому, що вперше запропоновано нетрадиційний підхід к вирішенню проблем створення і розрахунків співвідношення конфігурацій і кута нахилу кожного з РЕ для боротьби з муаром. Кут нахилу растра в 0 градусів завжди створює періодичну структуру, яка дратує око, але іншого, "вільного" кута серед чотирьох стандартних у 15, 75, 90 і 45 градусів, на жаль, немає. У випадку використання цього методу, растріування формування РЕ відбувається за тими ж законами, що і при традиційному растріуванні. У цілому, такий підхід дає змогу мінімізувати можливий муар у зображенні, обумовлений використаним методом растріування.

Література

1. Кузнецов Е. Теоретичні основи муару // Палітра друку. — № 3. — К., 2003. — С. 36–40.
2. Эргономика зрительной деятельности человека. — Л.: Машиностроение, 1989. — 110 с.
3. Ситник А.Г. Информационные критерии оценки погрешности процессов градационного преобразования и визуального восприятия при моделировании электронно-цифрового репродукирования изображений // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — Т 5. — № 2. — К.: ІПРІ та ОД, 2003. — С. 26–33.
4. Ситник А.Г. Информационные критерии оценки методов и систем растривания при моделировании электронно-цифрового репродукирования изображений // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — Том 5. — № 3. — К.: ІПРІ та ОД, 2003. — С. 8–17.
5. Апенко М.И., Дубовик А.С. Прикладная оптика. — М.: Наука, 1982. — 351 с.
6. Дорош А.К., Шабас Л.Д. Комп'ютеризовані репросистеми, автоматизовані системи переробки текстової та графічної інформації. — К.: ІВЦ "Видавництво "Політехніка", 2002. — 87 с.