

Кавин Б.Я.

Національний університет «Львівська політехніка»

РАСТРУВАННЯ ПОЛІНОМІНАЛЬНО ПЕРЕТВОРЕНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Стаття присвячена розробці моделі поліномінально перетворених цифрових зображень на основі аналізу властивостей растрової обробки на стадії приготування їх до друку для поліпшенні якості друкованих зображень.

У статті розроблено та представлено математичну модель поліномінального перетворення цифрових зображень світлих тонів у діапазоні $0 \leq L \leq 255$ рівнів. З'ясовано, що розтяг динамічного діапазону дає змогу формувати типові варіанти градаційних характеристик зображення і різні алгоритми растрового перетворення. Визначено різниці характеристик растрівання від лінійного перетворення, а також растрову оптичну густину растрово перетворених цифрових зображень на основі яких проаналізовано властивості растрівання типових варіантів поліномінального перетворення.

У статті розроблено та представлено структурну схему симулятора растрівання поліномінального перетворення цифрових зображень світлих тонів в пакеті MATLAB:Simulink, для розрахунку і побудови градаційних характеристик поліномінального перетворення, характеристик растрівання їх різниць та растрової оптичної густини. Побудовано градаційні характеристики поліномінального перетворення цифрових зображень поданих рівнями сірого $0 \leq L \leq 255$, які є випуклими кривими зміщеними у світлі тони. Здійснено їх растрівання та одержано різні алгоритми растрового перетворення, які розширюють можливості процесу растрової обробки зображень.

Визначено різниці градаційних характеристик від лінійного перетворення для оцінки властивостей растрівання. З'ясовано, що графіки різниць є від'ємними U-подібними кривими, мають екстремуми та відповідають абсолютному контрасту і кількісно характеризують реакцію зорової системи на світле зображення. Визначено оптичну густину растрово перетворених цифрових зображень, початкові значення яких становлять 2,389 одиниць і встановлено, що вони швидко зменшуються і після $L_0 > 50$ рівнів залежно від прийнятого алгоритму становлять від 0,5 до 0,3 одиниць, що властиво світлим тонам.

В статті сформовано рекомендації щодо використання результатів дослідження при приготуванні цифрових зображень до друкування, які сприятимуть поліпшенні якості друкованих зображень, зокрема результати дослідження та імітаційного моделювання можуть бути застосовані при приготуванні цифрових зображень до друкування для вибору оптимальної градаційної характеристики репродукції.

Ключові слова: растрівання, алгоритми, цифрові зображення, поліномінальне перетворення, характеристики, якість.

Постановка проблеми. У поліграфії широко застосовують різні методи обробки цифрових зображень для покращення їх якості, здійснюють коригування і синтез тонопередачі. Однією із головних технологічних операцій на стадії приготування зображень до друкування є растрівання цифрових зображень і виготовлення растрової друкарської форми за технологією компютер-друкарська пластина. У сучасних растрових процесах (RIP) оператор може задати роздільну здатність, лініатуру растра, вибрати форму растрових елементів тощо [5, с. 180]. Оператор який готує цифрове зображення до друкування у більшості не має оригіналу і коригує зображення на екрані монітора візуально, а якість зображення залежить від його кваліфі-

кації, виробничого досвіду, знань і умінь, тому не може бути оптимальною.

В компютерних видавничих системах, програмах компютерної графіки та растровому процесі не передбачена програма побудови характеристики растрового перетворення цифрових зображень різних алгоритмів, тому оператор не має змоги оцінити результати растрівання. У доступних джерелах мало інформації про властивості растрово перетворених цифрових зображень різної тональності і алгоритмів растрівання. Отже аналіз властивостей растрівання поліномінального перетворення цифрових зображень є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні класичні методи растрівання ґрунтовані

на засадах розкладання зображення за допомогою растрової сітки, а растрові елементи можуть мати квадратну, круглу, ромбічну чи овальну форму, величина площі яких є основним носієм інформації про тон зображення [1, с. 400]. У публікаціях [2, с. 235; 3, с. 155] розроблені моделі растрування для елементів квадратної і круглої форми та побудовані характеристики растрування для фізичної лініатури геометричного розміру і площини растрового елемента та проаналізовані їх властивості. На основі формули демодуляції [1, с. 400; 7, с. 488] розраховані характеристики растрової оптичної густини для лінійної зміни відносної площі [$0 \leq S \leq 1$], яка характеризує сприйняття зображення зоровою системою людини. У [6, с. 37] побудовані моделі нормованого растрового перетворення для растрових елементів квадратної, круглої і ромбічної форми, які дозволяють шляхом масштабування здійснити перехід до растрового перетворення заданої лініатури, що спрощує аналіз і коригування. Звернемо увагу на те, що традиційне класичне растрування безпосередньо не корилує із сучасним описом цифрових зображень подане 256 рівнями сірого.

З появою комп'ютерної графіки і комп'ютерних видавничих систем розроблено алгоритми растрування типу АІМ (амплітудно-імпульсна модуляція), ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), а також новітні методи растрування: гібридні растри, стохастичні растри, растри фірми Agfa тощо [7, с. 488; 8, с. 291]. Встановлено, що новітні алгоритми растрування забезпечують кращу якість друкованих зображень у тому числі нульових [6, с. 37; 7, с. 488]. Однак, для їх впровадження у виробництво необхідно строго нормалізувати процес растрування, нормалізацію матеріалів, устаткування, наявність автоматичної системи зональної подачі фарби тощо, що значно затрудняє їх впровадження у виробництво не тільки в Україні, але і на Заході [8, с. 291; 9, с. 1104; 10, с. 594].

У доступних джерелах [1, с. 400; 7, с. 488; 8, с. 291; 9, с. 1104; 10, с. 594] представлена інформація про растрування цифрових зображень, зокрема про характеристики різних алгоритмів растрування та їх властивості. Звернемо увагу на те, що традиційне класичне растрування та їх моделі безпосередньо не корилують із сучасним описом цифрових зображень, відсутні зв'язки алгоритмів растрування із такими параметрами як цифрове зображення, демодуляція растрування, оптична густина тощо. Відсутність кількісних показників оцінки властивостей растрового пере-

творення цифрових зображень обмежує інформаційні можливості репродукційного процесу.

Постановка завдання. Мета статті: Розробити модель растрування поліноміального перетворення цифрових зображень, визначити характеристики растрування та оптичну густину, побудувати структурну схему моделі симулятора, визначити і побудувати градаційні характеристики типових варіантів цифрових зображень, визначити характеристики алгоритмів растрування їх оптичну густину, різниці від лінійного перетворення і провести аналіз растрування світлих тонів.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі моделювання растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів застосували запропоноване автором поліноміальне перетворення яке формує цифрове зображення

$$L = \frac{b \times L_0}{L_0 + a}, \text{ якщо } 0 \leq L_n \leq 255 \quad (1)$$

де, L_0 – лінійна шкала, яка змінюється в межах $0 \leq L_0 \leq 255$, b і a – сталі коефіцієнти, знаючи які можна одержати різні варіанти поліноміального перетворення світлих тонів.

Для растрування застосуємо нормоване цифрове поліноміальне перетворення

$$L_n = L / 255 \quad (2)$$

і у загальному плані подамо растрування нормованого поліноміального перетворення зображень

$$S = F(L_n), \text{ якщо } 0 \leq L_n \leq 1 \text{ та } 1 \leq S \leq 0 \quad (3)$$

де, $F(\circ)$ – функція яка забезпечує вибраний алгоритм растрування цифрового зображення.

Основні вимоги до функції: $F(\circ)$ – неперервна спадна функція яка відповідає поліноміальному перетворенню, параметри якої забезпечують задані алгоритми растрування, якщо $L_n = 0$ то функція $F(\circ) = 1$, коли $L_n = 1$ то $F(\circ) = 0$ Для забезпечення поставлених вимог опрацьовано нормоване поліноміальне перетворення

$$L_n = \frac{2 \times L_0}{L_0 + a} \times M, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1, \quad (4)$$

де, a – коефіцієнт, M – масштаб донастроювання перетворення L_n в межах $0 \leq L_0 \leq 1$

Дальше опрацьовали типові варіанти нормованого поліноміального перетворення цифрових зображень світлих тонів:

$$L_n 1 = \frac{2 \times L_0}{L_0 + 0,3} \times 0,65, \quad (5)$$

$$L_n 2 = \frac{2 \times L_0}{L_0 + 0,5} \times 0,75, \quad (6)$$

$$L_n 3 = \frac{2 \times L_0}{L_0 + 0,8} \times 0,9, \quad (7)$$

$$L_n 4 = \frac{2 \times L_0}{L_0 + 1,3} \times 1,15, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1, \quad (8)$$

в якому M_i – масштаб донстроювання L_n перетворення до межі $0 \leq L_0 \leq 1$

Якщо відоме нормоване поліномінальне перетворення, то здійснимо його растрівання

$$S = 1 - L_n, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1, \text{ та } 1 \leq S \leq 0 \quad (9)$$

Для дослідження опрацювали типові алгоритми растрового перетворення цифрових зображень (5)-(8) і визначимо їх різниці від лінійного перетворення

$$E = S_i - S_0 \quad (10)$$

де, S_i – відносні площі растрових елементів різних алгоритмів растрівання S_0 – лінійна характеристика растрівання

На основі відомого виразу визначили растрову оптичну густину поліномінального перетворення.

$$D = -\log[1/(1,004-S)] \quad (11)$$

Для аналізу властивостей поданих алгоритмів растрівання цифрових зображень застосували об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті

MATLAB:Simulink. На основі викладеного і виразів (5) – (11) розробили структурну схему моделі симулятора растрівання поліномінального перетворення цифрових зображень світливих тонів, яка подана на рис. 1

Блок *Ramp* генерує лінійну шкалу L_0 , яка масштабується блоком *Gain*, після чого поступає на входи функціональних блоків першого стовпця $F_{cn} 1 - F_{cn} 3$, у діалогових вікнах яких записані програми – вирази (5)–(8) типових варіантів поліномінального перетворення $L_n 1 - L_n 4$. Отримані величини масштабуються блоками *Gain 1 - Gain 4*, а на їх виходах одержують нормоване поліномінальне перетворення цифрових зображень світливих тонів $L_n 1 - L_n 4$, які подаються на вхід мультиплексора *Mux*, візуалізуються блоком *Scope* та подаються на входи функціональних блоків другого стовпця $F_{cn} 4 - F_{cn} 8$. У діалогових вікнах функціональних блоків записані програми – вираз (9) для растрівання поліномінального перетворення, які візуалізуються блоком *Scope 1*. На входи блоків віднімання *Add - Add3* подаються значення відносних площ $S1-S4$, а на другі входи – відносна площа S_0 – лінійної шкали. На виходах блоків *Add* одержується їх різниці $E1 - E4$ – які візуалізуються блоком *Scope 2*. У діалогових вікнах блоків математичних функцій записані вирази (11) для визначення растрової густини поліномінального перетворення $D1 - D4$, які візуалізуються блоком *Scope 3* і *Display 1*.

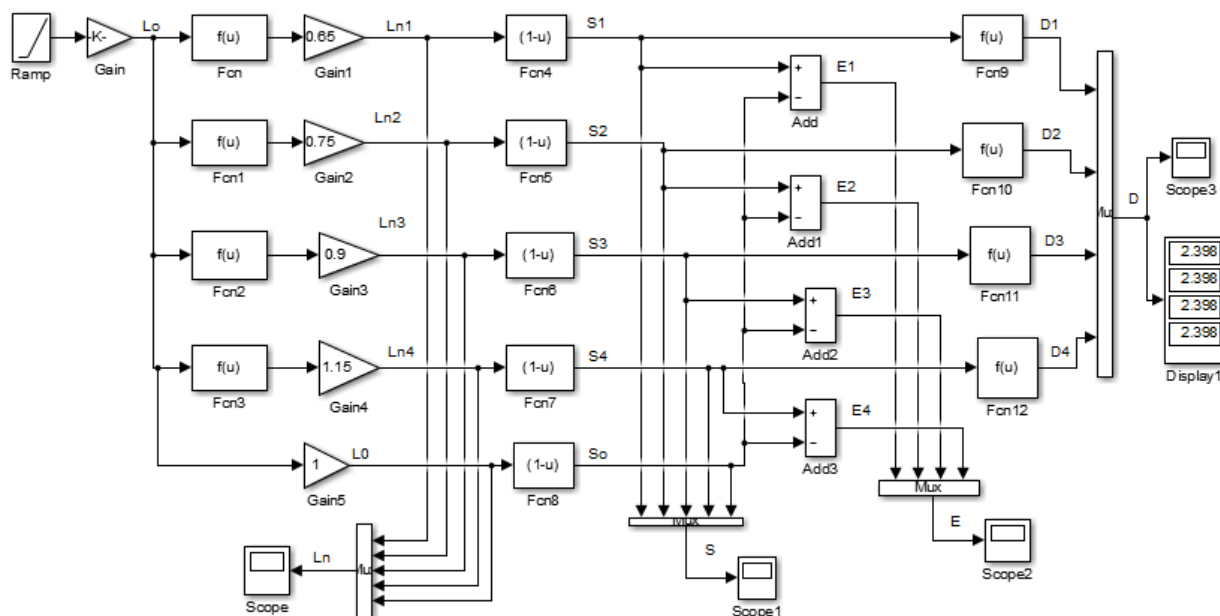


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора растрівання поліномінального перетворення зображень світливих тонів

В процесі дослідження налаштували блоки математичних функцій на задані параметри і програми. В інтерактивному режимі роботи симулятора визначити масштаби: $M1=0,65$; $M2=0,75$; $M3=0,9$; $M4=1,15$. Результати імітаційного моделювання градаційних характеристик типових варіантів поліноміального перетворення цифрових зображень світлих тонів подані на рис. 2.

Для порівняння на рисунку подана лінійна шкала L_0 . Градаційні характеристики є випуклими кривими і добре розтягнуті у світлі тони які досліджуються. На початку діапазону характеристики мають велику крутизну, тому швидко досягають світлих тонів. На середніх тонах крутизна поступово зменшується, а характеристики прямують до кінцевого значення 255 рівнів. Отже, поліноміальне перетворення добре розтягує світлий діапазон тонів порівняно з традиційним гама перетворенням.

Результати моделювання растрового перетворення типових варіантів поліноміального перетворення цифрових зображень світлих тонів подані на рис. 3.

Зверху розташована лінійна характеристика растрування L_0 . Початкові значення характеристик растрового перетворення дорівнюють одиниці, що відповідає темним тонам. Характеристики растрування є вгнутими кривими, і рівномірно розтягнутими у сторону світлих тонів, які раструються. Отже, поліноміальне перетворення дає змогу одержати різні алгоритми растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів, що є перевагою порівняно із існуючими видами растрування.

Результати моделювання різниць характеристик растрування від лінійного перетворення подані на рис. 4.

Графіки різниць є U-подібними легко зміщеними ліворуч кривими. Знак мінус означає що лінійні значення різниць становлять: $E1 = -0,142$; $E2 = -0,198$; $E3 = -0,262$; $E4 = -0,35$ одиниць. Звернемо увагу на те, що різниці відносних площ $E = S_i - S_0$ пропорційні абсолютній різниці площі двох елементів, які є носіями тону, відповідає абсолютному контрасту [4] має екстремум, і кількісно у відносних одиницях характеризує реакцію зорової системи на світле збудження.

Результати моделювання растрової оптичної густини растрово перетворених цифрових зображень світлих тонів подані на рис. 5.

Початкове значення растрової оптичної густини становить 2,398 одиниць, швидко зменшується на початку діапазону і в околі $L_0 = 50$

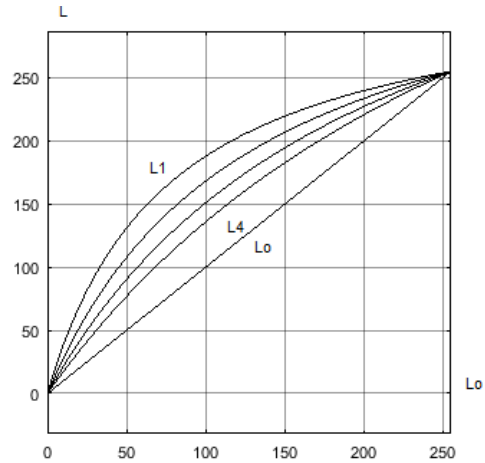


Рис. 2. Градаційні характеристики типових варіантів поліноміального перетворення цифрових зображень

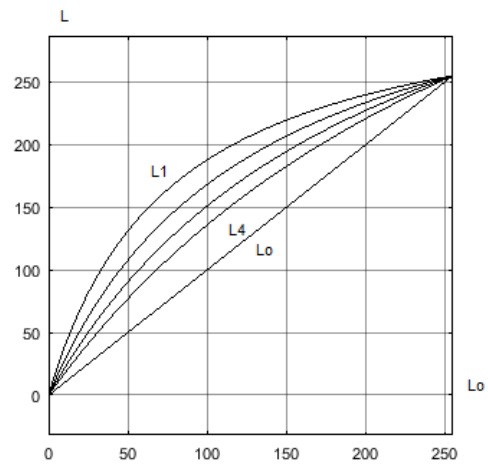


Рис. 3. Графіки растрового перетворення типових варіантів поліноміального перетворення цифрових зображень

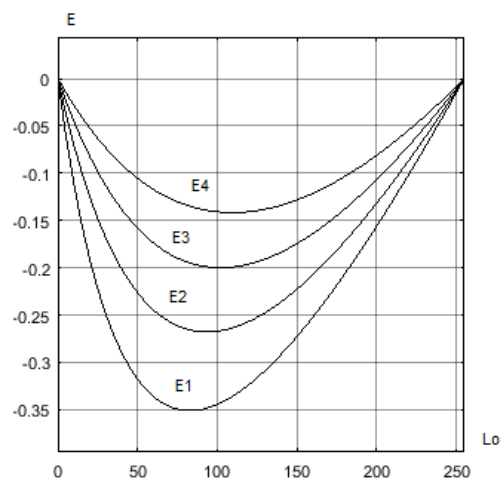


Рис. 4. Графіки різниць характеристик растрування від лінійного перетворення

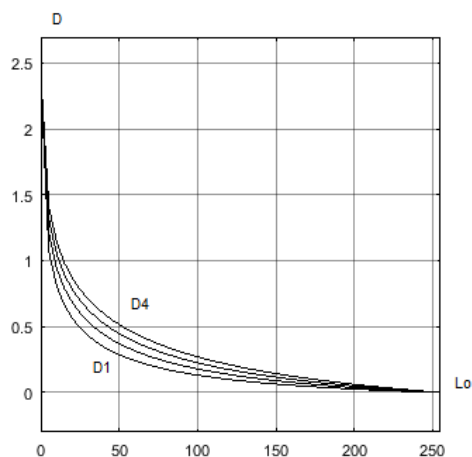


Рис. 5. Графіки растрової оптичної густини поліномінальних перетворень цифрових зображень світлих тонів

рівнів становить: 0,515; 0,446; 0,370; 0,286 одиниць. Після цього плавно і майже лінійно прямують до нульового кінцевого значення. Отже, растрова оптична густина для різних алгоритмів растрування цифрових зображень є мала майже на усьому діапазоні і відповідає світлим тонам.

Результати проведених досліджень можна застосувати у комп'ютерних видавничих системах при приготуванні цифрових зображень до друкування.

Висновки. Розроблено математичну модель растрування поліномінального перетворення цифрових зображень світлих тонів, що забезпечує кращі градаційні характеристики, різні алгоритми растрового перетворення, графіки різниць характеристики растрування від лінійного перетворення і растрової оптичної густини. На основі викладеного розроблено структурну схему моделі симулятора растрування поліномінального перетворення цифрових зображень світлих тонів в пакеті MATLAB:Simulink. Запрограмовано і налаштовано симулятор на чотири типові варіанти растрового перетворення, який розраховує і будує градаційні характеристики, визначає графіки алгоритмів растрування, різниць характерис-

тик растрування від лінійної і растрової оптичної густини.

За результатами моделювання встановлено, що типові варіанти градаційних характеристик поліномінального перетворення є випуклими кривими добре розтягнуті у світлих тонах порівняно з традиційним гама перетворенням зображень. Початкові значення характеристик растрового перетворення дорівнюють одиниці, що відповідає темним тонам є вгнутими кривими рівномірно розтягнутими у сторону світлих тонів. Доведено, що поліномінальне перетворення дає змогу одержати різні алгоритми растрового перетворення цифрових зображень світлих тонів, що є перевагою над існуючими видами растрування.

Для оцінки властивостей растрового перетворення визначено різниці характеристик растрування від лінійного перетворення. Графіки різниць є від'ємними U-подібними кривими, а знак мінус означає, що лінійне растрове перетворення S_0 переважає S_i . Експериментальне значення різниць становлять: $E_1 = 0,142$; $E_2 = -0,198$; $E_3 = -0,262$; $E_4 = -0,35$ одиниць. Доведено, що різниця відносних площ $E = S_i - S_0$ пропорційна абсолютній різниці двох елементів, які є носіями тону, тому відповідають абсолютному контрасту, мають екстремум і кількісно характеризують реакцію зорової системи на світле збудження.

Встановлено, що початкове значення растрової оптичної густини растрового перетворення цифрових зображень становлять 2,389 одиниць, швидко зменшуються на початку діапазону і в околі $L_0 = 50$ рівнів становить: 0,515; 0,446; 0,370; 0,286 одиниць, що характеризує світлі тони. Після цього плавно і майже лінійно прямують до нульового кінцевого значення. Растрова оптична густина для різних алгоритмів растрування цифрових зображень є невелика майже на усьому діапазоні і відповідає світлим тонам.

Результати дослідження та імітаційного моделювання можуть бути застосовані при приготуванні цифрових зображень до друкування для вибору оптимальної градаційної характеристики репродукції.

Список літератури:

1. Барановський І.В., Яхимович Ю.П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації. навч. посібник. Київ-Львів: ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Барановський І.В., Луцків М.М., Філь Л.В. Побудова і аналіз характеристик растрування Наукові записки: Зб. наук. праць. Львів: УАД. 2013. № 4 (45).
3. Барановський І.В., Філь Л.В. Аналіз характеристики растрування для ромбічного растрового елемента Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. праць. Львів: УАД. 2013. № 45 – С. 150-157.
4. Воробель Р.А. Логарифмічна обробка зображень: монографія. Київ, НВП «Видавництво "Наукова думка НАН" України» 2012, 232 с.

5. Гавриш Б.М., Дурняк Б.В., Тимченко О.В., Ющик О.В. Відтворення зображень растровими скануючими пристроями: навч. посібн. Львів: УАД, 2016, 180 с.
6. Гулько Д.Т. Нормована модель растрового перетворення для елементів квадратної форми: Зб. наук. праць. Львів: УАД, 2020. № 2(38) – С. 32-39.
7. Луків М.М. Цифрові технологічні друкарства: монографія. Львів: УАД, 2012, 488 с.
8. Мартинюк В.Т. Основи друкарської підготовки образотворчої інформації: підручник Кн.2. Процеси опрацювання образотворчої інформації. Київ: Університет «Україна», 2009. 291 с.
9. Gonzalez R., Woods E., Digital image Processing: International Version 3-rd. Edition, Inc. publishing as Printice hall. Copuright. 2008-1104 p.
10. Donnie O'Quinn Print Publishing a Hayden Shop Hahual. 201 West 103 rd. Street, Indiana-polis, Indiana. 2003-594 p.
11. Johre Berdd Digitall Image Processing. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 2007-584p.

Kavyn B.Ya. RASTERIZATION OF POLYNOMIALLY TRANSFORMED DIGITAL IMAGES

The article is devoted to the development of a model of polynomially transformed digital images based on the analysis of the properties of raster processing at the stage of preparing them for printing to improve the quality of printed images.

The article develops and presents a mathematical model of polynomial transformation of digital images of light tones in the range $0 \leq L \leq 255$ levels. It is found that the extension of the dynamic range allows for the formation of typical variants of gradation characteristics of the image and various algorithms of raster transformation. The differences in the characteristics of rasterization from linear transformation are determined, as well as the raster optical density of rasterized digital images, on the basis of which the properties of the rasterization of typical variants of polynomial transformation are analyzed.

The article develops and presents a structural diagram of a simulator for rasterization of polynomial transformation of digital images of light tones in the MATLAB:Simulink package, designed for calculating and constructing gradation characteristics of polynomial transformation, rasterization characteristics of their differences, and raster optical density. The gradation characteristics of the polynomial transformation of digital images represented by gray levels $0 \leq L \leq 255$ are constructed, which are convex curves shifted towards light tones. They were rasterized, and various raster transformation algorithms were obtained, which expand the capabilities of the raster image processing process.

The differences in gradation characteristics from linear transformation were determined to assess the properties of rasterization. It was found that the difference graphs are negative U-shaped curves, have extrema, and correspond to absolute contrast, quantitatively characterizing the response of the visual system to a light image. The optical density of the raster-transformed digital images was determined, with initial values of 2.389 units, and it was established that they rapidly decrease. After Level $0 > 50$ levels, depending on the adopted algorithm, they range from 0.5 to 0.3 units, which is typical of light tones.

The article formulates recommendations for using the research results when preparing digital images for printing, which will help improve the quality of printed images. In particular, the results of the research and simulation modeling can be applied when preparing digital images for printing to select the optimal gradation characteristics of reproduction.

Key words: rasterization, algorithms, digital images, polynomial transformation, characteristics, quality.