

УДК 655.226

НОРМОВАНЕ РАСТРОВЕ СТЕПЕНЕВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

А. В. Янчинський

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розроблено математичну модель нормованого растрового степеневого перетворення цифрових зображень з нормованою відносною площею, яка знаходиться в межах $[1,0]$ і є основним носієм інформації про тон зображення на інтервалі $[0,255]$ рівнів сірого. Визначено растрову оптичну густину, яка дає можливість розраховувати градаційну характеристику цифрового зображення різної тональності, відносну площу растрового перетворення, растрову оптичну густину, аналізувати і порівнювати властивості нормованого растрового степеневого перетворення цифрових зображень. Для розв'язання поставленого завдання застосовано об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті MATLAB: Simulink. Розроблено структурну схему моделі симулятора нормованого растрового перетворення цифрових зображень, який паралельно розраховує і буде типові градаційні характеристики, графіки нормованих відносних площ та растрової оптичної густини.

Подано результати імітаційного моделювання нормованих градаційних характеристик цифрових зображень для показників степені перетворення $r=0,40; 0,60; 1,0; 1,5; 2,2$, які відповідають світлим і темним тонам. Встановлено, що початкові значення градаційних характеристик дорівнюють нулеві, а кінцеві – одиниці. Для світлих зображень характеристики є випуклими кривими і на початку діапазону мають велику крутизну (коефіцієнт нахилу), тому добре розрізняються деталі темних ділянок зображення, натомість є втрати у світлах. Для темних тонів характеристики мають малу крутизну і її значно більше значення на світлих тонах, що підвищує контрастність світлих тонів. Визначено характеристики растрового перетворення, які є оберненими до градаційних кривих, мають початкові значення площ $S_n=1,0$, а їхні кінцеві значення дорівнюють нулеві. Характеристики світлих тонів є вгнутими кривими, а темних – випуклими. Побудовано графіки растрової оптичної густини цифрових зображень, початкові значення на яких становлять $D_n=2,5$ одиниць незалежно від показника степені перетворення. При малих показниках степені графіки оптичної густини є вгнутими кривими, а при степені $r>1$ є децю випуклими кривими. Результати досліджень розширюють інформативність степеневого перетворення цифрових зображень, що необхідно при приготуванні їх до друкування.

Ключові слова: модель, нормоване растрування, цифрове зображення, тон, рівні сірого, симулятор, оптична густина, градаційні характеристики, інформативність.

Постановка проблеми. При приготуванні цифрових зображень до друкування здійснюють їх растрування-розклад на дрібні елементи (перетворення у растрову форму) – виготовляють растрову друкарську форму, необхідну для друкування. Основним носієм інформації про тональність зображення є площа растрових елементів, яка відповідає оптичній густині растрового перетворення. У програмах комп'ютерної графіки типу Adobe Photoshop та інших можна вибрати форму растрових елементів, задавши необхідну лініатуру растру, і за технологією стр виготовити друкарську форму, необхідну до друкування. Основним носієм інформації про тональність зображення є площа растрових елементів, яка відповідає оптичній густині растрового перетворення [1, 3–4]. Зауважимо, що у програмах комп'ютерної графіки не передбачена програма для побудови градаційної характеристики зображень, характеристики растрового перетворення і графіків оптичної густини зображення, що значно обмежує можливості оператора (дизайнера, технолога) комп'ютерної видавничої системи, що є недоліком сучасних програм для опрацювання зображень при їх приготуванні до друкування. Більшість сканованих цифрових зображень потребує різноманітних коригувань, зокрема тонованого коригування за допомогою традиційного степеневого гама-перетворення, яке здійснюється у робочому вікні комп'ютера за допомогою інструменту типу Curves (Криві) оператором «на око» і на власний розсуд залежно від його кваліфікації, досвіду та майстерності, тому не може бути оптимальним [6, 9]. Отже, актуальним завданням є розроблення математичної моделі нормованого растрового перетворення та симулятора, який паралельно розраховує та будує типові градаційні характеристики, графіки нормованого растрового перетворення та растрової оптичної густини, що значно розширюють інформативність перетворень цифрових зображень та підвищують ефективність приготування до друкування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Більшість поліграфічної продукції має білі і чорні кольори. Як відомо, чорний робить різні кольори більш темними, а білий – світлішими. Чорний має найбільшу палітру відтінків, дає контрастність зображень і характеризується потужним зоровим впливом, а тон визначає різницею темних і світлих тонів, що є важливою кількісною характеристикою при оцінці його якості [3, 5, 9]. Існують різні методи обробки цифрових зображень у різних галузях науки і техніки [2, 8–9]. У поліграфії найчастіше застосовуються перетворення в просторовій області, зокрема перетворення яскравості, які умовно поділені на логарифмічні перетворення, степеневі гама-перетворення та функціональні перетворення, подані різними класами функцій [4–5, 7–8]. Перетворення яскравості належать до простих ефективних методів опрацювання цифрових зображень, які оперують рівнями сірого [0,255] і потребують менших обчислювальних ресурсів для їх реалізації. Для спрощення процедури перетворення цифрових зображень застосовують аналогові (неперервні) функції:

$$L_{\text{вих}} = F(L_{\text{вх}}), \text{ якщо } 0 \leq L_{\text{вх}} \leq 255, \quad (1)$$

де $F()$ – задана функція перетворення, $L_{\text{вих}}$ і $L_{\text{вх}}$ – неперервні вхідні і вихідні значення яскравості [5, 7–8].

У цифрових зображеннях нуль означає чорне, а 255 – світле, в межах якого розташовані сірі зображення різної яскравості, над якими здійснюються різні перетворення.

Класичний традиційний синтез тоновідтворення зводиться до синтезу растрового перетворення та полягає у визначенні закону зміни відносної площі растрових елементів та растрової оптичної густини на інтервалі тонопередачі [1, 5, 7–8]. Відома логарифмічна формула демодуляції Юла-Нільсена [1, 3] дозволяє розрахувати растрову оптичну густину за відносною площею растрових елементів D_e фарбованого шару плашки і паперу D_n :

$$S = F_n[(S, D_e D_n)]. \quad (2)$$

Існує зворотний вираз, яким за формулою (2) можливо розрахувати відносну площу S за двома поданими оптичними густинами D_ϕ і D_n . Але подані формули неточні, тому практично не застосовуються, оскільки сучасна підготовка зображень до друкування ґрунтується на цифрових зображеннях у програмах комп'ютерної графіки, в яких не фігурує оптична густина.

Здебільшого сканування оригіналів здійснюється пакетом програмного забезпечення, тому майже усі скановані зображення вимагають різноманітних коригувань, головним з яких є тонове коригування у програмах комп'ютерної графіки [6, 9]. Після коригування здійснюється растрування. У діалоговому вікні Picture Halftone (налаштування растру) можна вибрати форму растрових точок, параметри растрування (лініатуру, кут тощо). Зауважимо, що у доступних джерелах мало даних і моделей про те, як впливають параметри растрування на зображення і лише загалом відзначають чи притемнюють, чи освітлюють зображення, що обмежує можливості оператора, який здійснює підготовку зображень до друкування. Отже, моделювання нормованого растрового степеневого перетворення цифрових зображень є актуальним завданням.

Мета статті – розробити математичну модель нормованого растрового степеневого перетворення цифрових зображень та структурну схему симулятора, подати результати імітаційного моделювання типових варіантів градаційних характеристик, графіки нормованих відносних площ і растрової оптичної густини та проаналізувати їхні властивості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Растрове перетворення зображення здійснюється зміною геометричних розмірів елементів, розміщених у комірках растрової решітки, і описується площею, яка відповідає яскравості цифрових зображень, що додатково оцінюється растровою оптичною густиною. Щоб узагальнити і спростити аналіз, запропоновано математичну модель, застосовано степеневе нормоване перетворення цифрового зображення, яке подано виразом:

$$L_n = L'_0, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq L_n \leq 1, \quad (3)$$

де L_0 – лінійна шкала, L_n – нормований неперервний аналог цифрового зображення, розташованого на інтервалі $[0, 255]$, r – показник степені перетворення.

Початкове значення нормованого цифрового зображення дорівнює нулеві і відповідає чорному кольору, а кінцеве дорівнює одиниці та відповідає білому кольору. Змінюючи показник степені r , можна змінювати форму кривої, розтягувати тони

усередині інтервалу тонопередачі. Якщо $r < 1$, то зображення стає більш світлим, а при $r > 1$ зображення притемнюється. Для дослідження сформуливали типові степеневі нормовані перетворення зображень із показниками степені $r = 0,40; 0,60; 1,0; 1,5; 2,2$, які відповідають світлим і темним тонам.

На основі відомого виразу [5, 8] визначили нормовану відносну площу S_n растрового цифрового зображення (3):

$$S_n = 1 - L_n. \quad (4)$$

Отже, відносна площа є інверсним перетворенням нормованого цифрового зображення (3). Зауважимо, що відносна площа растрових елементів є основним об'єктом інформації друкованого зображення. Для аналізу растрового перетворення цифрових зображень визначили його растрову оптичну густину на основі відомого виразу [5, 8]:

$$D_p = \log_{10} \left[\frac{255}{255L_n + 1} \right]. \quad (5)$$

Для прикладу складено вирази степеневих перетворення нормованого перетворення типових зображень для світлих і темних тонів:

$$\begin{aligned} L_{n1} &= L_{n0}^{0,4} \\ L_{n2} &= L_{n0}^{0,6} \\ L_{n3} &= L_{n0}^{1,5} \\ L_{n4} &= L_{n0}^{2,2}, \end{aligned} \quad (6)$$

якщо $0 \leq L_{n0} \leq 1$ та $0 \leq L_{n0} \leq 1$.

На основі викладеного і виразів (4)–(6) можна розрахувати градаційну характеристику типових цифрових зображень та визначити відносну площу і оптичну густину для різних показників степені. Для спрощення розв'язання поставленого завдання застосували об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті MATLAB: Simulink. У робочому вікні моделі із операційних блоків бібліотеки Simulink розробили структурну схему моделі симулятора нормованого растрового перетворення цифрових зображень, схема якого подана на рис. 1.

Схема симулятора є п'ятиканальною. Розглянемо роботу першого каналу. Операційний блок Ramp генерує лінійну шкалу, яка масштабується ($M = 1 / 255$) блоком Gain, на виході якого одержується нормована лінійна шкала L_0 , яка подається на вхід операційних блоків математичних функцій F_{cn} , у діалоговому вікні якого записано програму (перший вираз (6)) нормованого цифрового зображення для показника степені $r = 0,4$. Обчислена градаційна характеристика L_{n1} подається на входи операційних блоків математичних функцій F_{cn1} і F_{cn2} , у діалоговому вікні першого блока записується програма (вираз (4)) для обчислення відносної площі S_n , яка подається на вхід другого мультиплексора, візуалізується блоками MUX і відображається блоками Scope1 і Display1. У другому блоці F_{cn2} записана програма (вираз (5)) для обчислення растрової оптичної густини D_1 , яка візуалізується блоком Scope2. Аналогічно працюють інші канали симулятора.

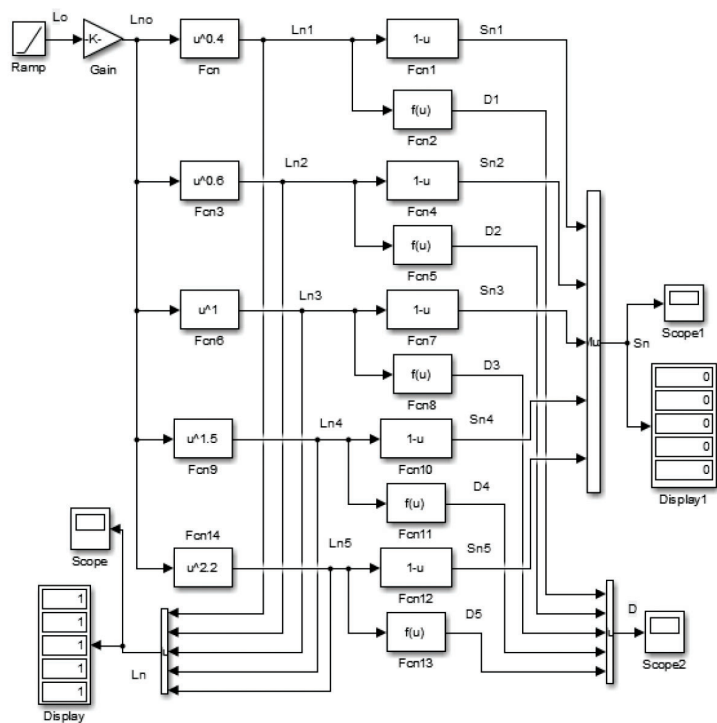


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора нормованого растрового перетворення цифрових зображень

Симулятор налаштований на задані показники степені $r = 0,40; 0,60; 1,0; 1,5; 2,2$, які відповідають світлим і темним тонам. Результати імітаційного моделювання типових градаційних характеристик $L_{n1} - L_{n5}$ цифрових зображень подані на рис. 2.

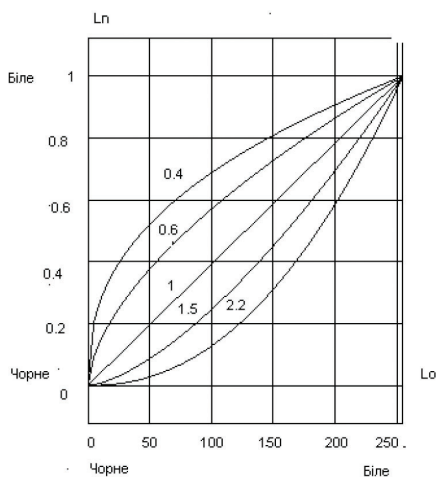


Рис. 2. Типові градаційні характеристики цифрових зображень

Початкові значення градаційних характеристик дорівнюють нулеві, а кінцеві одиниці незалежно від показника степені r . Для порівняння на рисунку подана лінійна шкала. Градаційні характеристики для показників степені $r = 0,4; 0,6$ є випуклими кривими. Зауважимо, що початкова крутизна характеристики порівняно невелика, тому не має пастеризації на темних ділянках зображення, тобто краще розрізняються деталі. Натомість є втрати у світлих тонах. Для показників $r = 1,5; 2,2$ градаційні характеристики є вгнутими кривими і на початку діапазону мають відносно малу крутизну, тому є втрати у тінях, натомість є велика крутизна на кінці діапазону, що впливає на краще сприйняття світлих деталей зображення.

Результати моделювання відносної площі растрового перетворення подані на рис. 3.

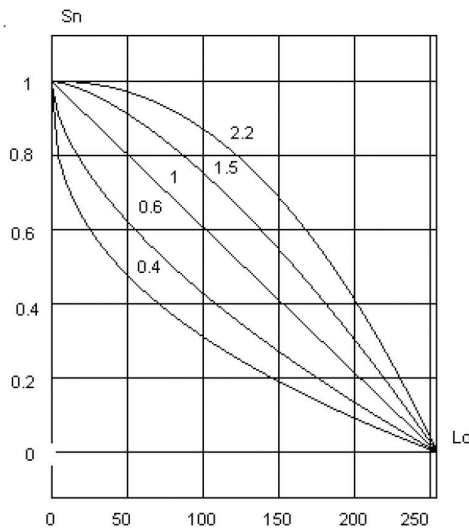


Рис. 3. Графіки відносної площі растрового перетворення

На початку діапазону на темних тонах відносна площа растрових елементів є великою, її значення повільно зменшуються і в кінці інтервалу прямують до нуля. При малих показниках степені ($r = 0,4; 0,6$) графіки відносної площі є вгнутими кривими, тому площа швидко зменшується. Натомість при великих показниках ($r = 1,5; 2,2$) графіки відносної площі є випуклими кривими, тому площа ледь зменшується, водночас у кінці інтервалу швидко зменшується і прямує до нуля. Зауважимо, що відносна площа є найбільш інформативним показником і саме вона є основним носієм тону зображення.

Результати імітаційного моделювання растрової оптичної густини растрових цифрових зображень подані на рис. 4.

Початкові значення оптичної густини цифрових зображень становлять 2,407 одиниць і не залежать від показника степені. При малих показниках степені ($r = 0,4; 0,6$) на початку діапазону оптична густина стрімко зменшується і при $L_o = 50$ рівнів становить 0,279; 0,420 одиниць. Якщо показник степені збільшується ($r = 1,5; 2,2$),

то графік оптичної густини є менш вгнутих і при $L_0 = 50$ становить 1,042; 1,499 одиниць. Графік оптичної густини лінійної шкали відповідає показнику степені $r = 1,0$ і розташований між попередніми кривими; при $L_0 = 50$ рівнів оптична густина становить 0,099 одиниць, що є злегка вгнутою кривою.

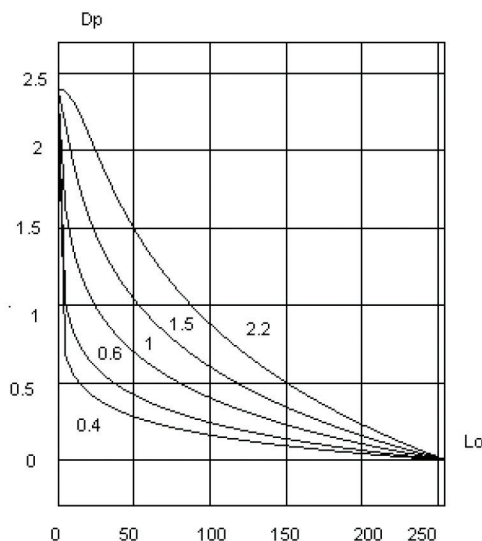


Рис. 4. Графіки оптичної густини цифрових зображень

Результати дослідження можна використати при приготуванні цифрових зображень до друкування у комп'ютерних видавничих системах.

Висновки. Розроблено математичну модель нормованого степеневого растрового перетворення цифрових зображень різної тональності. Визначено його відносну площу, растрову оптичну густина на інтервалі $[0, 255]$ рівнів сірого, яка дає можливість розраховувати градаційні характеристики цифрових зображень різної тональності, графіки відносної площі растрового перетворення та растрову оптичну густина і аналізувати результати для цифрових зображень різних відтінків сірого, та визначити об'єктивні кількісні оцінки властивостей. Розроблено структурну схему моделі симулятора типових цифрових зображень в пакеті MATLAB: Simulink, який паралельно розраховує і будує градаційні характеристики, графіки відносної площі растрового перетворення та оптичної густини.

Подано результати моделювання градаційних характеристик для різних показників степені перетворення, початкові значення яких дорівнюють нулеві. При показниках степені, менших за одиницю, градаційні характеристики є випуклими кривими, мають великий початковий нахил, що забезпечує краще розрізнення дрібних темних деталей зображень. У кінці діапазону характеристики більш пологі, тому є втрати у світлих тонах. При показниках степені, більших за одиницю, градаційні характеристики є вгнутими кривими, мають малий початковий нахил, тому є втрати у тінях. У другій половині інтервалу градаційні характеристики мають велику крутизну, що сприяє розрізненню світлих деталей зображень. Пряма лінія

відповідає лінійній шкалі. Збільшення показника степені зміщує характеристики вниз у темні тони.

Графіки відносної площі растрового перетворення на початку діапазону на темних тонах мають значення, близькі до одиниці; їхні значення поступово зменшуються, в кінці інтервалу прямують до нуля. При малих показниках степені ($r = 0,4; 0,6$) графіки є вгнутими кривими, мають великий нахил, тому добре розрізняються темні дрібні деталі зображень. У кінці інтервалу криві мають малий нахил, тому є втрати у світлих частинах. При великих показниках ($r = 1,5; 2,2$) графіки є випуклими кривими і на початку діапазону мають малий нахил; отже, є втрати у тінях. У кінці інтервалу крутизна кривих збільшується, тому добре розрізняються дрібні деталі зображень у світлі. Встановлено, що відносна площа є найбільш інформативним показником, а саме вона є основним носієм тону порівняно із оптичною густиною растрових зображень.

Початкові значення растрової оптичної густини цифрових зображень становлять 2,407 одиниць і не є залежними від показника степені, і швидко зменшуються. Встановлено, що при $L_0 = 50$ рівнів для показників степені $r = 0,40; 0,60$ значення оптичної густини становлять 0,279, 0,420 одиниць. Якщо показник степені збільшується ($r = 1,5; 2,2$), то графік оптичної густини є менш вгнутим і при $L_0 = 50$ рівнів становить 1,042; 1,499 одиниць. Графік оптичної густини лінійної шкали відповідає показнику степені $r=1,0$, розташований між попередніми кривими, і при r оптична густина становить 0,699 одиниць, що відображає злегка вгнуту криву.

Результати дослідження можна використати при раструванні цифрових зображень під час підготовки до друкування у комп'ютерних видавничих системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. Я. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів : ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Київ : Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. 232 с.
3. Лотошинська Н. Д., Івахів О. В. Теорія кольору та кольоротворення : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 204 с.
4. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства : монографія. Львів : УАД, 2016. 488 с.
5. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації : Кн. 2. Основи опрацювання образотворчої інформації : підруч. Київ : Університет «Україна», 2009. 292 с.
6. Baczynski L. Skanery i skanowanie. Warszawa : Wydawnictwo Mikoma, 2005. 88 p.
7. Panak J., Ceppan M., Avonka V., Karpynski L., Kovdos P., Mikula M., Jakuczewicz S. Poligrafia: procesy i technika. COBRPE. Warszawa, 2009. 278 p.
8. Gonzales C., Woods E. Digital image Processing: International Version 3rd Edition, Inc publishing as Prentice Hall. Copyright, 2008. 1104 p.
9. Donnie O'Quinn, Print Publishing Hayden Shop Manual. 201 West 103rd street, Indianapolis, Indiana, 2003. 590 p.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakhymovych, Yu. Ya. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv : IZMN (in Ukrainian).
2. Vorobel, R. A. (2012). Loharyfmichna obrobka zobrazen. Kyiv : Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy» (in Ukrainian).
3. Lotoshynska, N. D., & Ivakhiv, O. V. (2014). Teoriia koloru ta kolorotvorennia. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki (in Ukrainian).
4. Lutsiv, M. M. (2016). Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva. Lviv : UAD (in Ukrainian).
5. Martyniuk, V. T. (2009). Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii : Kn. 2. Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii. Kyiv : Universytet «Ukraina» (in Ukrainian).
6. Baczynski, L. (2005). Skanery i skanowanie. Warszawa : Wydawnictwo Mikoma (in Polish).
7. Panak, J., Ceppan, M., Avonka, V., Karpynski, L., Kovdos, P., Mikula, M., & Jakucewiz, S. (2009). Poligrafia: procesy i technika. COBRPE. Warszawa (in Polish).
8. Gonzales, C., & Woods, E. (2008). Digital image Processing: International Version 3rd Edition, Inc publishing as Prentice Hall. Copyright (in English).
9. Donnie O'Quinn, Print Publishing Hayden Shop Manual. 201 West 103rd street, Indianapolis, Indiana, 2003 (in English).

doi: 10.32403/2411-3611-2023-2-44-26-35

NORMAL RASTER STEP CONVERSION OF DIGITAL IMAGES

A. V. Yanchynskyi

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
andrii.yanchynskyi@gmail.com*

A mathematical model of the normalized raster power transformation of digital images with a normalized relative area that is within $[1,0]$ and is the main carrier of information about the tone of the image on the interval $[0,255]$ of gray levels is developed, and the raster optical density is determined, which makes it possible to calculate the gradation characteristic of a digital image of different tonality, the relative area of the raster transformation, determine the raster optical density, analyze and compare the properties of the normalized raster power transformation of digital images. To solve the problem, object-oriented programming in the MATLAB package: Simulink is applied, a structural diagram of the simulator model of normalized raster transformation of digital images is developed, which simultaneously calculates and constructs typical gradation characteristics, graphs of normalized relative areas and raster optical density.

The results of simulated modeling of normalized gradation characteristics of digital images for indicators of the degree of conversion $r = 0.40$ are given; 0.60; 1.0; 1.5; 2,2, which correspond to light and dark tones. It is established that the initial values of

the gradation characteristics are equal to zero, and the final values are equal to units. For bright images, the characteristics are convex curves and at the beginning of the range have a large steepness (slope coefficient), so the details of the dark areas of the image are well distinguished, but there are losses in the highlights. For dark tones, the characteristics have a small steepness and its value is much greater on light tones, which increases the contrast of light tones. The characteristics of the raster transformation are determined, which are the inverse of the gradation curves, have initial values of areas $S_n = 1.0$, and their final values are equal to zero. Characteristics of light tones are concave curves, and dark tones are convex. Graphs of the raster optical density of digital images are constructed, the initial values of which are $D_n = 2.5$ units regardless of the degree of conversion. At low exponents, the graphs of optical density are concave curves, and at exponent $r > 1$ they are slightly convex curves. The results of the research expand the informativeness of the power transformation of digital images, which is necessary when preparing them for printing.

Keywords: *model, normalized raster, digital image, tone, gray levels, simulator, optical density, gradation characteristics, informativeness.*

Стаття надійшла до редакції 06.07.2023.

Received 06.07.2023.