

УДК 655. 226

**МОДЕЛЮВАННЯ ДЕМОДУЛЯЦІЇ СВІТЛИХ ЗОБРАЖЕНЬ,  
СИНТЕЗОВАНИХ ЗА ПЛОЩЕЮ РАСТРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

М. М. Луцків, Б. І. Федина, О. В. Шевчук

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

*Розроблено математичну модель демодуляції зображень світлих тонів, синтезованих за площею растрових елементів, яка ґрунтується на основі формули Юла-Нільсена і слугує для візуальної оцінки інтегральної (растрової) густини, синтезованої за скоригованою відносною площею растрових елементів. Побудовано структурну схему моделі демодуляції в пакеті MATLAB: Simulink, яка дає можливість коригувати відносну площу растрових елементів, паралельно розраховувати і будувати градаційні характеристики тоновідтворення у світах і аналізувати їх властивості.*

*Подано приклади результатів імітаційного моделювання коригування площ растрових елементів для різних показників степенів  $r=0,2$  і  $r=0,4$ , характеристики яких є випуклими кривими. Подані градаційні характеристики синтезованого тоновідтворення мають велику крутизну на початку діапазону тонопередачі ( $0 \leq S_r \leq 0,3$ ), що забезпечує контраст і розрізнення деталей світлих зображень, і поступово майже лінійно прямують до заданої кінцевої густини  $D=2,5$ . Для порівняння визначили відхилення  $E$  % градаційних характеристик від лінійної, синтезованої для показника степеня  $r=0,2$ , яке спочатку стрімко наростає до +30 %, а потім плавно прямує до нуля. Натомість при степені  $r=0,4$  максимальне відхилення від лінійності становить +17 %, поступово досягає нуля, змінює знак і прямує до нуля.*

**Ключові слова:** моделювання, растрування, демодуляція, зображення, синтез, коригування площі, градаційна характеристика, оптична густина.

**Постановка проблеми.** Якщо інтервал оптичної густини оригіналу узгоджено із оптичною густиною майбутнього відбитка в офсеті для заданих технологічних умов, тоді синтез тонопередачі зводиться до синтезу закону зміни відносної площі растрових елементів залежно від інформаційного змісту зображення, який може бути різним, для чого застосовують редакційну тонопередачу, яка приводить тони до інформаційної частини зображення [1, 8]. Скоригованим площад растрових елементів відповідає оптична густина. Коригуючи відносні площі, можна одержати скориговану градаційну характеристику в одиницях оптичної густини і підсилити контрасти сюжетно важливих інформаційних ділянок оригіналу. На сьогодні синтез редакційного тоновідтворення здійснює в комп'ютерних видавничих системах оператор-дизайнер на основі досвіду і майстерності

[2, 4, 8]. Отже, моделювання демодуляції світлих зображень, синтезованих коригуванням відносних площ растрових елементів, є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Більшість зображень, сканованих на професійних сканерах, здійснюють пакетно і групово, тому майже кожне скановане цифрове зображення потребує різноманітних коригувань, зокрема масштабування, контрасту і растрування зображень [4, 7, 8]. Для керування процесом відтворення зображень основну роль відіграє контроль проміжних стадій і усього процесу загалом. У більшості програм комп'ютерної графіки Photoshop та інших передбачено багато різноманітних функцій для покращення яскравості чи оптичної густини за допомогою гама-характеристики, глобальної зміни контрасту або за допомогою функції «Тіні / Середні тони / Світлі тони» чи типу «Curves» (Криві) [4, 7, 8]. Однак поліграфічні зображення значно складніші за цифрові, мають растрову структуру, а основним носієм інформації про зображення є площа растрових елементів. У поліграфії широко застосовують методи аналізу і синтезу растрових зображень на основі результатів денситометричних вимірювань для оцінки друківаних зображень.

На стадії підготовки до друку для визначення оптичної густини відбитків можна застосувати логарифмічну формулу Юла-Нільсена, яка дає результати, наближені до сенситометричних. Однак ця формула практично не застосовується для побудови градаційної характеристики і синтезу тонопередачі.

У монографії [4] розглянуто постановку задачі і загальні підходи синтезу редакційного тоновідтворення монохромних зображень різного інформаційного змісту та подані рисунки кривих, якими може скористатися дизайнер, вважаючи їх кращими для конкретного зображення. Отже, синтез редакційної тонопередачі зводиться до синтезу відносної площі растрових елементів для конкретного зображення та його інформаційного змісту.

**Мета статті** — розробити математичну модель демодуляції світлих зображень, синтезованих за площею растрових елементів, і структурну схему моделі демодуляції, яка дає можливість коригувати площу растрових елементів, розраховувати градаційні характеристики тоновідтворення, проаналізувати та вибирати кращі.

**Вклад основного матеріалу дослідження.** Якщо синтез растрового тоновідтворення в офсетному друці здійснюється за допомогою відносної площі растрових елементів за умови, що товщина шару фарби на відбитку є сталою, тоді растрове зображення буде результатом демодуляції растрового перетворення, за яким можна визначити і оцінити за інтегральною густиною. Розглянемо синтез тоновідтворення зображення з інформаційним світлим змістом. Наприклад, зображення лижника у світлій екіпіровці на гірському схилі засніжених дерев, у якому темні тони є другорядними. Для синтезу цього зображення застосуємо гама-коригування растрового зображення [3, 4, 5, 6]:

$$S_r = S^a, \text{ якщо } (0 \leq S \leq 1), \quad (1)$$

де  $S$  — відносна площа растрових елементів, яка лінійно змінюється в межах  $[0 \leq S \leq 1]$ ;  $a$  — показник степеня, який задає необхідний (бажаний) вигляд скоригованої градаційної характеристики растрового перетворення.

Для демодуляції скоригованого зображення на основі гама-коригування (1) застосуємо відому формулу Юла-Нільсена для визначення інтегральної (растрової) густини [1, 2, 4]

$$D_r = -n \lg \left[ S_r \times 10^{-D_\phi/n} + (1 - S_r) \times 10^{-D_n/n} \right], \quad (2)$$

де  $D_\phi$  — оптична густина фарбового шару плашки на відбитку;  $D_n$  — оптична густина паперу;  $S_r$  — скоригована відносна площа растрових елементів;  $n$  — коефіцієнт Юла-Нільсена, який враховує лініатуру растра.

Для спрощення розв’язання поставленої задачі застосовано імітаційне моделювання у пакеті MATLAB: Simulink. На основі викладеного і виразів (1), (2) розроблено структурну схему моделі демодуляції гама-скоригованого зображення, яка подана на рис. 1.

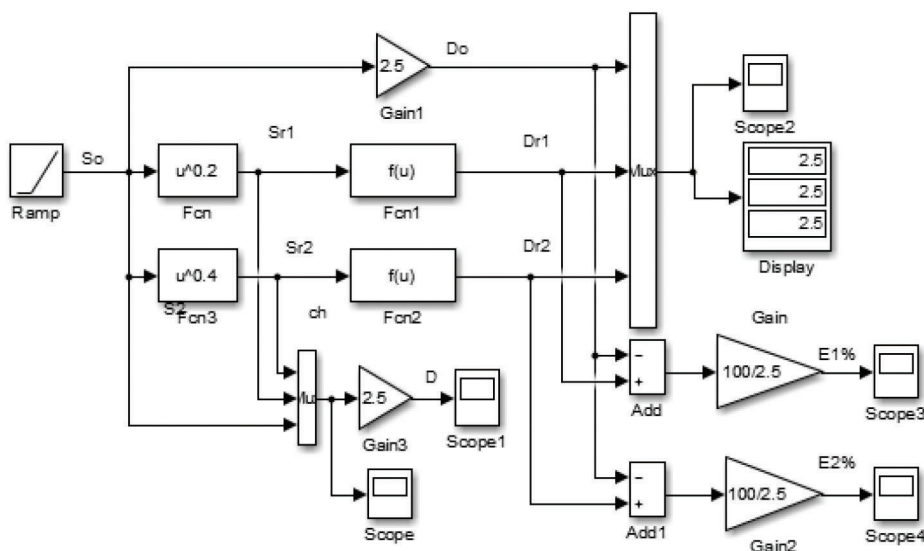


Рис. 1. Структурна схема демодуляції синтезованого зображення

Для порівняння досліджень у верхній частині розташований блок *Gain*, який формує лінійну градаційну характеристику демодуляції  $D_0$ . У блоках математичних функцій *Fcn* і *Fcn3* в діалогових вікнах записана програма (вираз (1)) для коригування відносної площі растрових елементів  $S_{r1}$  і  $S_{r2}$ , вона масштабується ( $M = 2,5$ ) в растрову густину, яка візуалізується блоком *Scope*.

Основними функціональними елементами є блоки математичної функції *Fcn1* і *Fcn2*, у діалогових вікнах яких записана програма (вираз (2)) формули Юла-Нільсена. Блок *Ramp* генерує лінійну растрову шкалу, яка подається на виходи блоків математичних функцій, які здійснюють гама-коливання площ растрових елементів  $S_r$ , які подаються на входи блоків математичних функцій *Fcn1* і *Fcn2*, які визначають інтегральні растрові густини — результат демодуляції, які паралельно візуалізуються блоком *Scope 2*.

Для прикладу налагодили параметри моделі на показники степенів  $a_1 = 0,2$ ,  $a_2 = 0,4$  до заданих бажаних характеристик растрового перетворення. Задали оптичну густину плашки, досягну в офсеті  $D_\phi = 2,5$ , та оптичну густину паперу  $D_\Pi = 0,02$ , коефіцієнт Юла-Нільсена  $n=3$ .

Результати імітаційного моделювання скоригованих відносних площ растрових елементів зображені на рис. 2.

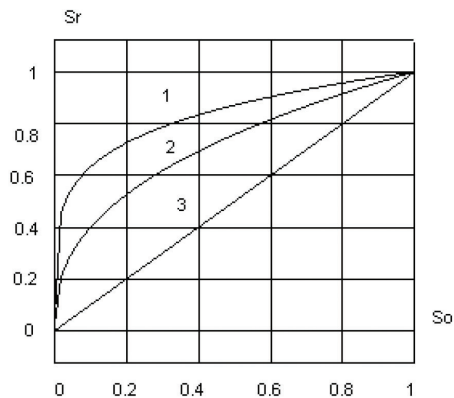


Рис. 2. Характеристики скоригованих площ растрових елементів

Для порівняння на рис. 2 подано лінійну характеристику. Перша характеристика відповідає показнику степеня  $a = 0,2$  і є експоненціально-подібною кривою, яка стрімко наростає на початку діапазону малих площ ( $0 \leq S_r \leq 0,3$ ), що відповідають тоновідтворенню зображення зі світлим інформаційним змістом. Друга характеристика з показником степеня  $a = 0,4$  розташована дещо нижче першої. При площах  $S_0 > 0,3$  скориговані характеристики є більш пологі і поступово прямують до кінцевого значення відносної площі  $S_r = 1$ .

Результати імітаційного моделювання скоригованого зображення за виразом (1) для різних значень показників степеня  $r$  у вигляді градаційних характеристик подані інтегральною густиною на рис. 3.

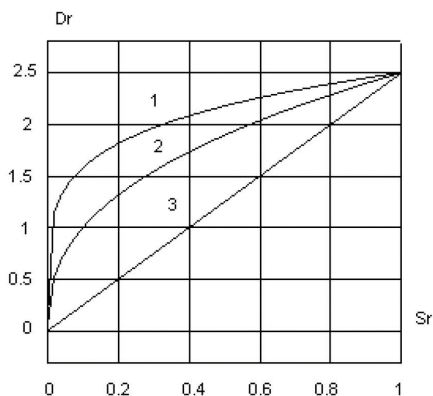


Рис. 3. Градаційні характеристики демодуляції скоригованого зображення

Для порівняння на рис. 3 подано лінійну характеристику демодуляції растрового перетворення. На світлому діапазоні ( $0 \leq S_r \leq 0,3$ ) перша градаційна характеристика стрімко наростає, має велику крутість, що забезпечує контраст і добре сприйняття на світлих ділянках зображення. Друга характеристика демодуляції розташована нижче попередньої, має достатню крутість на початку діапазону, що забезпечує достатній контраст і відтворення світлих ділянок зображення. Отже, синтезоване за скоригованою площею растрових елементів забезпечує якісне відтворення світлих зображень.

Звернемо увагу на те, що градаційна характеристика демодуляції виражена інтегральною (растровою) густиною (рис. 3), скоригованої на основі гама-коригування відносної площі растрових елементів і одержана шляхом моделювання за формулою Юла-Нільсена (2), відповідає характеристикам скоригованих площ растрових елементів (рис. 2). Для встановлення їх відповідності змасштабуємо характеристики площ шляхом безпосереднього їх множення на оптичну густину плашки  $D_{\phi} = 2,5$ . Результати градаційної характеристики демодуляції скоригованого зображення одержані за формулою Юла-Нільсена і шляхом безпосереднього масштабування скоригованої площі растрових елементів множенням на оптичну густину плашки зображені на рис. 4.

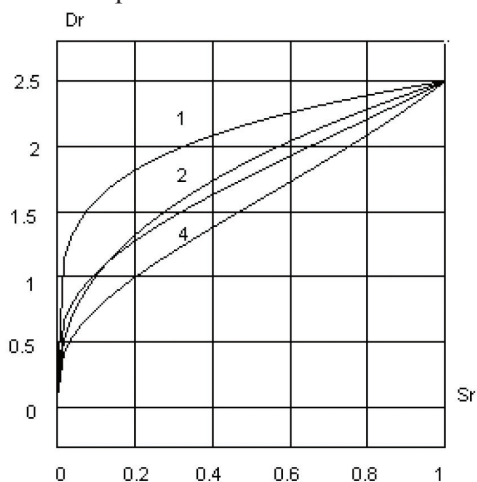


Рис. 4. Градаційні характеристики демодуляції скоригованого зображення, поданих інтегральною оптичною густиною, одержані різними методами

Перша і друга градаційні характеристики, одержані шляхом безпосереднього масштабування скоригованої площі растрових елементів, розташовані зверху. Третя і четверта характеристики, одержані за формулою Юла-Нільсена, розташовані нижче. На світлих ділянках зображення ( $0 \leq S_r \leq 0,3$ ) на початку діапазонів характеристики мають велику крутість, тому добре розрізняються деталі світлих ділянок зображення. Друга і третя характеристики, одержані різними методами, є досить близькі, що підтверджує відповідність скоригованих площ растровим густинам, яким часто користуються на практиці.

Оскільки характеристики демодуляції скоригованого зображення є нелінійними і мають різну кривизну, тому для оцінки властивостей запропоновано визначити відхилення від лінійної характеристики у відносних одиницях (відсотках).

$$E = \frac{D_r - D_0}{D_\phi} \times 100 \%, \quad (2)$$

де  $D_0$  — лінійна характеристика;  $D_\phi$  — оптична густина плашки, залежна від товщини шару фарби.

Схема для визначення відхилення скоригованої характеристики від лінійної розташована у нижній частині моделі рис. 1. Для прикладу задали оптичну густину плашки  $D_\phi = 2,5$ . Результати імітаційного моделювання відхилення градаційної характеристики демодуляції скоригованого зображення від лінійної для показника степеня  $r = 0,2$  подана на рис. 5.

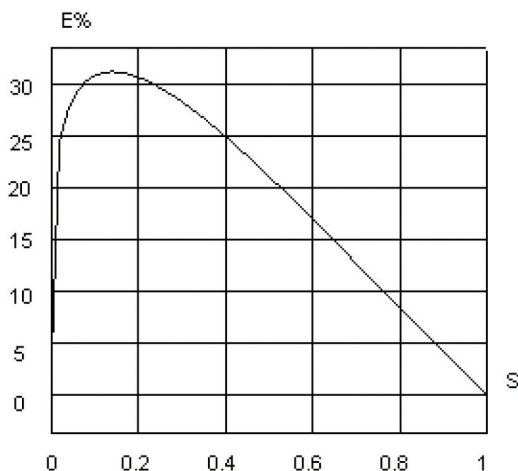


Рис. 5. Відхилення градаційної характеристики скоригованого зображення від лінійної

Початкове значення відхилення рівне нулеві, стрімко збільшується при відносній площі  $S=0,13$ . Досягає максимального значення  $+30\%$ , після чого поступово і плавно прямує до нуля. Результати імітаційного моделювання відхилення градаційної характеристики демодуляції для показника степеня  $r = 0,4$  подані на рис. 6.

Аналогічно до попереднього початкове значення відхилення рівне нулеві, швидко збільшується і при площі  $S=0,13$  досягає максимального значення  $+17\%$ , після чого поступово зменшується і при площі  $S=0,73$  змінює знак, а при  $S=0,87$  досягає мінімального значення  $-1,2\%$ , після чого прямує до нуля.

Порівнюючи результати відхилення градаційних характеристик демодуляції зображень, синтезованих за площею растрових елементів, доходимо висновку, що показник  $r$  степеня коригування дає змогу синтезувати бажану градаційну характеристику заданої форми, яка забезпечує якісне відтворення зображення.

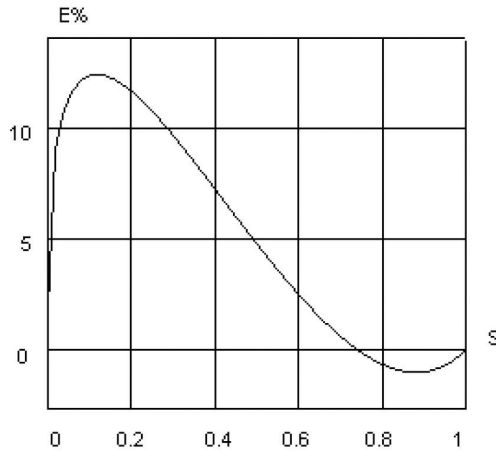


Рис. 6. Відхилення градаційної характеристики скоригованого зображення від лінійної при збільшенні показника степеня

**Висновки.** Розроблено математичну модель демодуляції зображень світлих тонів, синтезованих за площею растрових елементів, яка ґрунтується на основі формули Юла-Нільсена і дає можливість скоригувати відносну площу растрових елементів та визначити градаційні характеристики демодуляції скоригованого зображення. Побудована структурна схема моделі демодуляції синтезованого зображення в пакеті MATLAB: *Simulink* дає можливість паралельно розрахувати і будувати градаційні характеристики скоригованих зображень для заданого інформаційного змісту.

Подані результати імітаційного моделювання для заданих показників степенів  $a_1 = 0,2$  та  $a_2 = 0,4$  для бажаних характеристик растрового перетворення, які є експоненціально подібними і швидко збільшуються на початку діапазону тонопередачі ( $0 \leq S_r \leq 0,3$ ), що відповідає зображенням світлих тонів. На середніх тонах характеристики є більш пологі і прямують до кінцевого згасання відносної площі  $S_r = 1$ . Результати імітаційного моделювання скоригованого зображення для різних значень показника степенів  $r = 0,2$  та  $r = 0,4$  градаційних характеристик, поданих інтегральною густиною, які є близькі до логарифмічної форми на світлому діапазоні ( $0 \leq S_r \leq 0,3$ ), стрімко нарастають, мають велику крутість, що забезпечує контраст і добре сприйняття світлих зображень за площею растрових елементів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна обробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів, 1998. 400 с.
2. Лотошинська Н. Д., Івахів О. В. Теорія кольору та кольоровідтворення: навч. посіб. Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2014. 204 с.
3. Луцків М. М., Бубен Б. В. Побудова характеристики демодуляції растрової шкали. Комп'ютерні технології друкарства. 2018. № 2 (40). С. 109–115.



4. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації : підруч. Кн. 2. Процеси опрацювання образотворчої інформації. Київ : Університет «Україна», 2009. 291 с.
5. Назар І. М., Лазаренко Е. Т., Якущевич С. Параметри відбитків рулонного офсетного друку: фактори управління і впливу. Львів : Українська академія друкарства, 2009. 128 с.
6. Пашуля П. Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії : підруч. Львів : УАД, 2011. 408 с.
7. Buczynski L. Skanery i skanowanie. Warszawa, 2005. 88 с.
8. Donnie O'Quinn. Print publishing: A hayden shop manual. Hayden Books, 2000. 800 p.
9. Rafael C. Gonsales, Richard E. Woods Digital Image Processing and national version 3rd Edition. Copuringt, New York, 2008. 1104 p.

#### REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakhymovych, Yu. P. (1998). Polihrafichna obrobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv (in Ukrainian).
2. Lotoshynska, N. D., & Ivakhiv, O. V. (2014). Teoriia koloru ta kolorovidtvorennia. Lviv : Vydavnytstvo NU «Lvivska politehnika» (in Ukrainian).
3. Lutskiv, M. M., & Buben, B. V. (2018). Pobudova kharakterystyky demoduliyatsii rastrovoi shkaly: Komp'uterni tekhnologii drukarstva, 2 (40), 109–115 (in Ukrainian).
4. Martyniuk, V. T. (2009). Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii. Kн. 2. Protsepy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii. Kyiv : Universytet «Ukraina» (in Ukrainian).
5. Nazar, I. M., Lazarenko, E. T., & Yakutsevych, S. (2009). Parametry vidbytkiv rulonnoho ofsetnoho druku: faktory upravlinnia i vplyvu. Lviv : Ukrainaska akademiia drukarstva (in Ukrainian).
6. Pashulia, P. L. (2011). Standartyzatsiia, metrolohiia, vidpovidnist, yakist u polihrafii. Lviv : UAD (in Ukrainian).
7. Buczynski, L. (2005). Skanery i skanowanie. Warszawa (in Polish).
8. O'Quinn, D. (2000). Print publishing: A hayden shop manual. Hayden Books (in English).
9. Gonzalez, R.C. & Woods, R.E. (2008). Digital Image Processing and national version 3rd Edition. Copuringt, New York (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2023-1-66-23-31

#### SIMULATION OF LIGHT IMAGES DEMODULATION SYNTHESIZED BY THE RASTER ELEMENTS AREA

M. M. Lutskiv, B. I. Fedyna, O. V. Shevchuk

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
lutolen@i.ua,  
fedynabogdana@gmail.com,  
uad.sow@gmail.com*



*A mathematical model of the demodulation of light tone images synthesized by the raster elements area is developed, which is based on the Yule-Nielsen formula and serves for the visual assessment of the integral (raster) density based on the optical density of the ink layer of the plate, the optical density of the paper and a coefficient that takes into account a specific raster lineature, synthesized by the corrected relative area of raster elements. A structural diagram of the demodulation model is constructed in the MATLAB: Simulink package, which makes it possible to correct the relative area of raster elements, to simultaneously calculate and form the gradation characteristics of tone reproduction in the areas, and to analyze their properties.*

*Examples of the simulation modeling results of the correction of the raster elements areas for various indicators of degrees  $r=0.2$  and  $r=0.4$ , the characteristics of which are convex curves, are shown. The presented gradation characteristics of the synthesized tone reproduction have a large steepness at the beginning of the tone reproduction range ( $0 \leq S \leq 0,3$ ), which provides contrast and distinction of light images details, and gradually go almost linearly to the specified final density  $D=2.5$ . For comparison, the deviation  $E\%$  of the gradation characteristics from the linear one synthesized for the power indicator  $r=0.2$  is determined, which first rapidly increases to  $+30\%$ , and then smoothly goes to zero. On the other hand, at the power of  $r=0.4$ , the maximum deviation from linearity is  $+17\%$ , gradually reaches zero, changes its sign and goes towards zero.*

*It is established that the gradation characteristic of demodulation expressed by the raster density according to the Yule-Nielsen formula corresponds to the characteristic of the gamma corrected areas of the raster elements, scaled (multiplied) by the optical density of  $D_\phi$  plate. The gradation characteristics obtained by different methods are quite close, so they can be used for operational assessment of raster density based on the raster elements area.*

**Keywords:** *simulation, rasterization, demodulation, image, synthesis, area correction, gradation characteristic, optical density.*

*Стаття надійшла до редакції 06.02.2023.*

*Received 06.02.2023.*