

УДК 655.24:655.257:681.3

О.В.Юшик

**ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
РАСТРОВИХ СКАНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ
ЗАПISУ**

Растрові скануючі пристрої (РСП) запису застосовуються в різноманітних процесах обробки інформації — від виготовлення мікро-

фіш [2], друкарських форм і фототелеграфії [4, 5] до швидкісних лазерних електрографічних принтерів і лазерних фотоскладальних машин [1, 3].

Зображення спотворюється в РСП запису найчастіше через обмеженість розміру плями лазерного променя і низькі характеристики процесу формування зображення. Тому необхідно розглянути просторові залежності експонування і визначити критерій оптимізації потужності лазерного випромінювання, розміру точки запису і кроку сканування.

Розглянемо джерело лазерного випромінювання, яке послідовно сканує поверхню запису зліва направо (рис. 1).

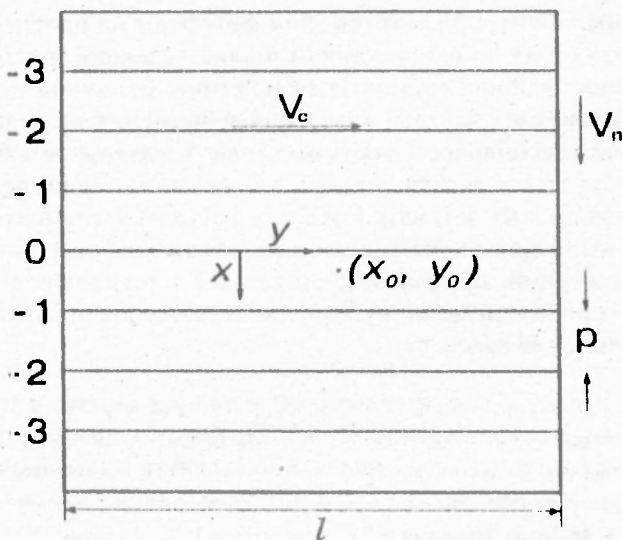


Рис. 1. Послідовно сканована поверхня РСП запису.

Прийmemo, що інтенсивність I джерела лазерного випромінювання розподіляється за законом Гаусса і представимо її у вигляді

$$I = \eta_{opt} \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1)$$

де η_{opt} — загальна оптична ефективність РСП запису; I_0 — максимальна інтенсивність джерела лазерного випромінювання.

Потужність джерела лазерного випромінювання P_L визначається як

$$P_L = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} I_0 \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{2 \cdot \sigma^2}} dx \cdot dy = \frac{\pi}{2 \cdot \sigma^2} \cdot I_0. \quad (2)$$

Каретка записуючого пристрою поступово переміщається зі швидкістю v_n перпендикулярно до лінії сканування довжиною l . Лінія сканування розгортається вздовж поверхні матеріалу запису зі швидкістю v_c . Відстань між лініями сканування дорівнює p . Співвідношення між v_n , v_c , p і l можна записати (рис. 1) як

$$v_c = \left(\frac{l}{p} \right) \cdot v_n. \quad (3)$$

Рівень енергії на одиницю площі $E(x_0, y_0)$, який отримує точка (x_0, y_0) , дорівнює сумі рівнів енергії, одержаних від кожної з ліній сканування. Вклад n -ої лінії сканування дорівнюватиме

$$E_n(x_0, y_0) = \eta_{opt} \cdot I_0 \cdot e^{-\frac{(x_0 - np)^2 y_0 \cdot l}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot \int_{y_0} e^{-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot dt, \quad (4)$$

де $dt = \frac{dy}{v_c}$.

На практиці розмірності y_0 і l значно перевищують розмір плями джерела лазерного випромінювання, тому межі інтегрування в рівнянні (4) можуть бути замінені $\pm \infty$, даючи для загальної експозиції від всіх ліній сканування

$$E(x_0) = \frac{P_A \cdot \left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p \cdot \eta_{opt}}{\sqrt{\pi} \cdot l \cdot v_n} S_n(x_0 - np), \quad (5)$$

де $S_n(\alpha) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\alpha^2}{2 \cdot \sigma^2}}$. (6)

Розкриваючи цей ряд вираз за виразом, диференціюючи і прирівнюючи його до нуля, знайдемо, що екстремуми функції будуть при

$$x = np \text{ (максимуми),}$$

$$x = (n+1/2) \cdot p \text{ (мінімуми).}$$

Таким чином, мінімальна експозиція $E(p/2)$ може бути подана як

$$E(p/2) = \frac{P_A \cdot \left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p \cdot \eta_{opt}}{\sqrt{\pi} \cdot l \cdot v_n} S_n \left\{ (n - 1/2) p \right\}. \quad (7)$$

Для $\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot \rho \leq 2.0$ сума може бути апроксимована інтегралом, даючи

$$E(\rho/2) = \frac{P_A \cdot \eta_{опт}}{l \cdot \nu_n} \quad (8)$$

Якщо визначити $E_{пор}$ як мінімальну енергію на одиницю площі, яка потрібна для експонування матеріалу запису, то мінімальна потужність джерела лазерного випромінювання $P_{мін}$, необхідна для експонування матеріалу запису, визначиться з рівняння (8) при умові, що $E(\rho/2) = E_{пор}$:

$$P_{мін} = (E_{пор} \cdot l \cdot \nu_n) / \eta_{опт} \quad (9)$$

Використовуючи визначення $P_{мін}$, експозицію рівномірно сканованого матеріалу запису (рівняння 5) можна записати в нормалізованому вигляді наступним чином

$$\left[\frac{E(x)}{E_{пор}} \right] = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot \rho}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{мін}} \right) \cdot S_n(x - \eta\rho) \quad (10)$$

При виводі інформації за допомогою РСП запису необхідно забезпечити виконання шести граничних умов (рис. 2).

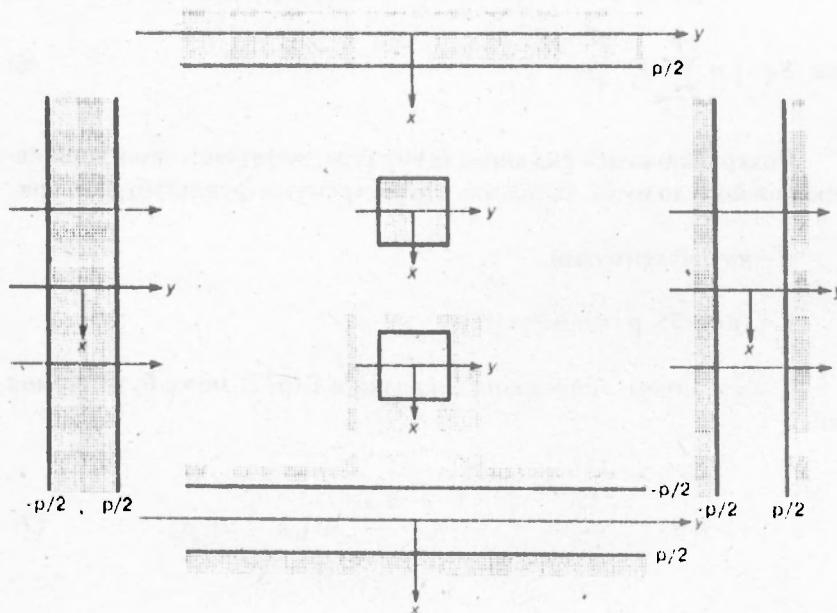


Рис. 2. Графічна інтерпретація необхідних умов відтворення деталей у РСП запису.

Розглянемо ізольовану чорну лінію вздовж лінії сканування. У цьому випадку маємо тільки одну лінію сканування, і сумування в рівнянні (10) скоротиться до простого виразу $n = 0$

$$\frac{E(x)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{P_{\lambda}}{P_{\text{мін}}} \right) \cdot e^{-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (11)$$

Необхідно, щоб ширина цієї лінії дорівнювала кроковій сканування p (див. рис. 2). Це означає, що експонування буде закінчуватись при $k = p/2$, тобто експозиція, отримувана при $k = p/2$, повинна дорівнювати пороговій експозиції $\{E(p/2)/E_{\text{пор}} = 1\}$.

Отже,

$$\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p \cdot \left(\frac{P_{\lambda}}{P_{\text{мін}}} \right)_{\text{ЧПАРЛ}} \cdot e^{-\frac{p^2}{2 \cdot \sigma^2}} = 1 \quad (12)$$

Індекс Ч.ПАР.Л. відноситься до чорної лінії, паралельної напрямку сканування.

Рівняння (12) дозволяє визначити потужність джерела лазерного випромінювання (як функцію розміру точки і кроку сканування), яка потрібна для відтворення ізольованої чорної лінії шириною p , паралельної напрямку сканування.

Потужність джерела лазерного випромінювання, що необхідна для відтворення ізольованої білої лінії шириною p , паралельної напрямку сканування, може бути обчислена відніманням однієї лінії сканування з експонування цілої чорної сторінки (рівняння 10):

$$\frac{E(x)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{P_{\lambda}}{P_{\text{мін}}} \right) \cdot \left[S_n(x - np) - e^{-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right], \quad (13)$$

даючи

$$\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p \cdot \left(\frac{P_{\lambda}}{P_{\text{мін}}} \right)_{\text{БПАРЛ}} \cdot \left[S_n \left(\frac{2n+1}{2} \cdot p \right) - e^{-\frac{(p/2)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right] = 1 \quad (14)$$

Тепер розглянемо чорну лінію, перпендикулярну до напрямку сканування. Дана лінія відтворюється вмиканням джерела лазерного випромінювання при $y = -p/2$ і вимиканням його при $y = +p/2$. Це відбувається при кожній розгортці скануючого променя, утворюючи тим самим лінію, перпендикулярну до напрямку сканування. Відстань між лініями в точці (x, y) від одиночного лазерного ска-

нуючого променя, є площею під профілем інтенсивності джерела лазерного випромінювання, який проходить через дану точку. Загальна експозиція становить суму вкладів від усіх ліній сканування.

Розмір плями джерела лазерного випромінювання порівняльний з шириною лінії сканування. Отже, тільки частина профілю інтенсивності джерела лазерного випромінювання проходить через точку (x_0, y_0) між вмиканням і вимиканням, і межі інтегрування не можуть бути взяті від $-\infty$ до $+\infty$ (як для рівняння 5), але беруться від $y = (y_0 - p/2)$ до $y = (y_0 + p/2)$, даючи

$$\frac{E(x_0, y_0)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_L}{P_{\text{мін}}} \right) \cdot S_n(x_0 - np) \cdot \int_{y_0 - p/2}^{y_0 + p/2} e^{-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot dy, \quad (15)$$

або

$$\frac{E(x_0, y_0)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_L}{P_{\text{мін}}} \right) \cdot S_n(x_0 - np) \cdot [S_k(y_0 + p/2) - S_k(y_0 - p/2)], \quad (16)$$

де

$$S_k(\beta) = \sum_{i=0}^{+\infty} \frac{(-1)^{k+1} \cdot \left[\left| \frac{i}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot \beta \right]^{2k-1}}{(k-1)! \cdot (2k-1)}. \quad (17)$$

Відзначимо, що ширина лінії, перпендикулярної до напрямку сканування, є максимальною безпосередньо на лінії сканування і мінімальною між лініями сканування. Отже, потужність джерела лазерного випромінювання, потрібна для відтворення ізольованої чорної лінії шириною p , перпендикулярної до напрямку сканування, між лініями сканування ($x_0 = y_0 = p/2$) не дорівнює потужності джерела лазерного випромінювання, яка необхідна для відтворення цієї ж лінії безпосередньо на лінії сканування. Між лініями сканування маємо

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_L}{P_{\text{мін}}} \right)_{\text{Ч.ПЕРП.Л.}} \cdot S_n \left[(n - 1/2)p \right] \cdot S_k(p) = 1. \quad (18)$$

Індекс Ч.ПЕРП.Л. відноситься до чорної ізольованої лінії, перпендикулярної до напрямку сканування, а індекс м.л.с. означає інтенсивність джерела лазерного випромінювання між лініями сканування. Потужність джерела лазерного випромінювання, необхідна для відтворення ізольованої чорної лінії шириною p , перпенди-

кулярної до напрямку сканування, безпосередньо на лінії сканування ($x_0 = 0$, $y_0 = p/2$) буде дорівнювати

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\substack{\text{на л.с.} \\ \text{ЧПЕРПЛ}}} \cdot S_n(np) \cdot S_k(p) = 1. \quad (19)$$

Експозиція білої лінії, перпендикулярної до напрямку сканування, визначається відніманням одиночної лінії, перпендикулярної до напрямку сканування (рівняння 16), з виразу для повної експозиції сторінки (рівняння 10)

$$\frac{E(x_0, y_0)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right) \cdot S_n(x_0 - np) \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot [S_k(y_0 + p/2) - S_k(y_0 - p/2)] \right\}. \quad (20)$$

Звідси можна визначити потужність джерела лазерного випромінювання, необхідну для відтворення білої ізольованої лінії шириною p , перпендикулярної до напрямку сканування, між лініями сканування і безпосередньо на лінії сканування, відповідно

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\text{БПЕРПЛ.}} \cdot S_n[(n - 1/2)p] \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot S_k(p) \right] = 1, \quad (21)$$

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\text{БЛІРПЛ.}} \cdot S_n(np) \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot S_k(p) \right] = 1. \quad (22)$$

Експозицію чорної точки можна визначити з експозиції чорної ізольованої лінії, перпендикулярної до напрямку сканування (рівняння 16), при умові, що $n = 0$:

$$\frac{E(x_0, y_0)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right) \cdot e^{-\frac{x_0^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot [S_k(y_0 + p/2) - S_k(y_0 - p/2)] \quad (23)$$

даючи

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\text{ч.т.}}^{\text{на л.с.}} \cdot S_k(p) = 1, \quad (24)$$

$$2 \cdot \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\text{ч.т.}}^{\text{м.л.с.}} \cdot e^{-\frac{(p/2)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot S_k(p/2) = 1 \quad (25)$$

для визначення потужності джерела лазерного випромінювання, необхідної для відтворення чорного пікселя довжиною p і шириною p відповідно.

Експозиція ізольованої білої точки визначиться відніманням експозиції чорної точки (рівняння 23) від експозиції повної сторінки (рівняння 10)

$$\frac{E(x_0, y_0)}{E_{\text{пор}}} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right) \cdot \left\{ \sqrt{\pi} \cdot S_n(x_0 - np) - e^{-\frac{x_0^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot [S_k(y_0 + p/2) - S_k(y_0 - p/2)] \right\}, \quad (26)$$

даючи

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\text{б.т.}}^{\text{на л.с.}} \cdot [\sqrt{\pi} \cdot S_n(np) - S_k(p)] = 1, \quad (27)$$

$$\frac{\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p}{\pi} \cdot \left(\frac{P_A}{P_{\min}} \right)_{\text{б.т.}}^{\text{м.л.с.}} \cdot \left\{ \sqrt{\pi} \cdot S_n[(n - 1/2)p] - 2 \cdot e^{-\frac{(p/2)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot S_k(p/2) \right\} = 1 \quad (28)$$

для визначення потужності джерела лазерного випромінювання, потрібної для відтворення білої точки довжиною p і шириною p відповідно.

Функціональна залежність потужності джерела лазерного випромінювання від $\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p$, визначена рівняннями (12), (14), (18), (19), (21), (22), (24), (25), (27) і (28), представлена на рис. 3.

Таким чином, для оптимального відтворення деталей за допомогою РСП запису потрібно, щоб

$$\frac{P_A}{P_{\min}} = \frac{P_A \cdot \eta_{\text{опт}}}{E_{\text{пор}} \cdot l \cdot v_n} = 2. \quad (29)$$

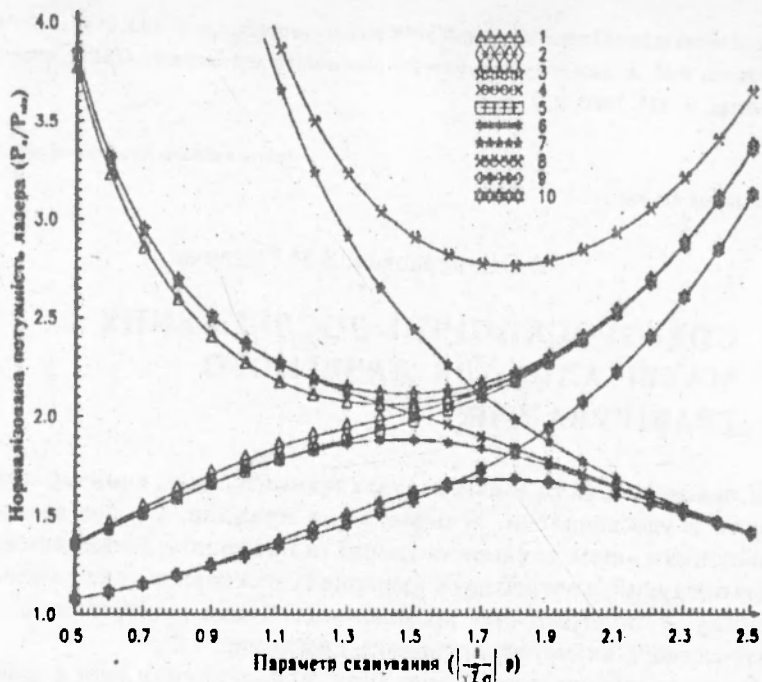


Рис. 3. Потужність джерела лазерного випромінювання, необхідна для відтворення ізолюваних ліній, перпендикулярних до напрямку сканування, (3 — Ч.ПЕРП.Л. м.л.с., 4 — Ч.ПЕРП.Л. на л.с., 5 — Б.ПЕРП.Л. м.л.с., 6 — Б.ПЕРП.Л. на л.с.), ізолюваних ліній паралельних напрямкові сканування (1 — Ч.ПАР.Л., 2 — Б.ПАР.Л.) і ізолюваних пікселів (7 — Ч.Т. на л.с., 8 — Ч.Т. м.л.с., 9 — Б.Т. на л.с., 10 — Б.Т. м.л.с.).

і щоб $\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p$ була обмежена діапазоном значень $1,5 \leq \left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p \leq 2,0$. Жорсткі вимоги до відтворення одиночних пікселів і намагання мінімізувати чутливість до дев'яти системних змінних вимагають, щоб РСР запису працював біля верхньої межі цього діапазону, тобто при $\left| \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right| \cdot p > 1,65$, де процент перекриття інтенсивності дорівнює $\approx 40-50\%$.

1. Элькин В.Д., Ющик О.В. Моделирование процессов вывода полнокодовой текстовой информации с использованием сканирующих устройств // Автоматизированная обработка текста и иллюстраций. Тр. ВНИИ полиграфии. 1985. Т. 34. Вып. 3. С. 55-63.
2. Hopkins W.L. Use of lasers in micrographic recording // Journal of Micrographics, V. 83, №11, (Nov.-Dec., 1977).
3. Kramer H.P., Olson M. Graphics imaging with laser line-printers // SPIE seminar proceedings, V. 223, 1980, P. 12-16.
4. Linsley D.K. Recording materials

and use of lasers in small format imaging //SPIE seminar proceedings. V. 223. 1980. P. 7-10.
5. Landsman R.M. A laser imaging system for platemaking and facsimile //SPIE seminar proceedings. V. 223. 1980. P. 2 -6.

Стаття надійшла до редколегії 16.01.95.