

УДК 681.327

**ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ ЕЛЕМЕНТА ІНДИКАЦІЇ НА ІНФОРМАЦІЙНУ ЄМНІСТЬ
ТА РОЗМІР ПРИСТРОЇВ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ**

М.Г. КУЗЬОМКО, В.Б. ДРОМЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Проведено аналіз впливу геометричних розмірів та форми елемента індикації на розміри пристрою відображення інформації та правильності зчитування представленої інформації

Форма та розмір елемента індикації (ЕІ) відіграють ключову роль у розмірах пристроїв відображення інформації (ПВІ), кількості зовнішніх виводів, ефективності використання корисної площі екрану, а також впливає на вірогідність безпомилкового зчитування інформації.

Об'єкти та методи дослідження

Пристрої відображення інформації матричного типу та з застосуванням методів просторової модуляції яскравості, вірогідність безпомилкового зчитування інформації.

Постановка завдання

Провести порівняльний теоретичний аналіз основних параметрів ПВІ в залежності від методу модуляції яскравості, розробити алгоритм розрахунку цих параметрів в залежності від необхідних ергономічних параметрів та рівня використаної технології при створенні конкретної конструкції ПВІ.

Результати та їх обговорення

Ємність пристрою відображення M – це максимальна кількість відтворюваних на екрані символів [1]. У випадку роботи екрану у режимі ввімкнено-вимкнено вона визначається наступними параметрами: площею екрану S_0 , відстанню L_0 між оператором та екраном, кутовим розміром β , так, що:

$$M = \frac{S_0}{(L_0 \cdot \beta)^2}, \quad (1)$$

де $(L_0 \cdot \beta)^2$ – площа відтворюваного знаку. Якщо знак має вигляд квадрату зі стороною A' (рис. 1), детально розглянутий в [2], а площа екрану $S_0 = L_1 \cdot L_2$, де L_1 та L_2 – лінійні розміри екрану, тоді:

$$M = \frac{L_1 \cdot L_2}{A' \cdot A'}. \quad (2)$$

В цьому випадку кількість інформації буде дорівнювати:

$$I = \frac{L_1 \cdot L_2}{A' \cdot A'} \cdot \log_2 N, \quad (3)$$

де N – кількість різноманітних відтворюваних символів, яка відповідає основі системи кодування.

Об'єм інформації, який передається більшою мірою залежить не від числа градацій, а від числа ЕІ на екрані. Зі зростанням M кількість інформації зростає прямо пропорційно. Зі зростанням N вона зростає повільніше, оскільки знаходиться під знаком логарифму.

Якщо використовується матричний ПВІ, тоді зображення знаків формується шляхом вибірки ЕІ за ортогональними шинами x та y . При цьому число можливих положень знаку дорівнює кількості дискретних значень ЕІ на екрані, тобто добутку числа рядків та стовпців. В кожному з положень на ЕІ

можна сформувати $2^k = N$ різних символів. Таким чином, максимальне значення ентропії будь-якого рівномірного зображення буде:

$$H_{\max} = \log(m \cdot n \cdot N). \quad (4)$$

Звідси випливає, що збільшення кількості інформації в ПВІ можливе як за рахунок дискретності екрану (тобто збільшення кількості рядків та стовбців), так і шляхом передавання більшого числа напівтонів. Однак, використання методу просторової модуляції яскравості (ПМЯ) викликає зростання числа зовнішніх виводів екрану та збільшення площі під один ЕІ, що знижує дискретність екрану та призводить до зменшення кількості інформації, яка відтворюється на ПВІ.

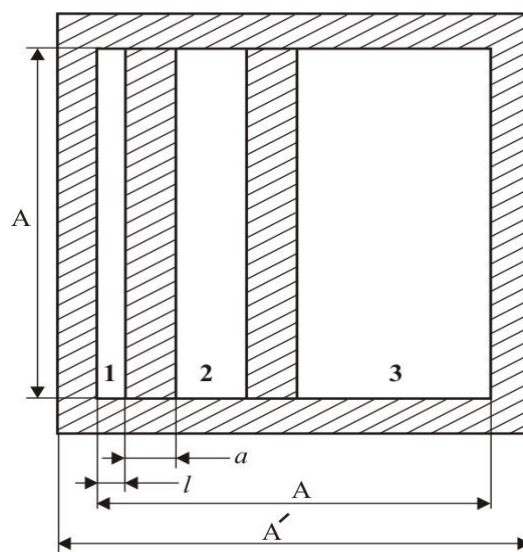


Рис. 1.

Порівняємо з цієї точки зору матричний екран, який містить $m \cdot n$ елементів, та екран, який містить $m \cdot n$ елементів і відтворює N рівнів сірої шкали. Площа одного ЕІ дорівнює S_E , а $S_0 = m \cdot n \cdot S_E$. У випадку з екраном, що відтворює напівтони, S_E може мати два значення:

- ЕІ має площу, яка дорівнює площі ЕІ у звичайному матричному ПВІ;
- ЕІ має площу, яка пропорційна числу відтворюваних напівтонів, а площа найменшої ділянки дорівнює площі ЕІ звичайного матричного екрану.

Порівняння доцільно провести за такими показниками, як число ЕІ, площа екрану, кількість інформації, число виводів, а також за відносними показниками: кількість інформації, що приходить на один вивід та по кількості інформації, що приходить на одиницю площі. Припускаємо, що матричний екран може відтворювати 4; 8 та 16 напівтонів.

Розрахунки виконаємо для двох вищезазначених варіантів, а також у випадку, що часто зустрічається, з рівною кількістю рядків та стовбців. Результати розрахунків зведені до таблиці 1. В дужках вказані значення параметрів у випадку $m = n$.

Для знаходження величини кількості інформації, віднесеної до числа зовнішніх виводів можна скористатися емпіричною формулою:

$$\frac{\text{Інф. ємність}}{\text{Число виводів}} = \frac{2^k}{k+1} \quad (5)$$

Як зазначалося вище, при незмінній величині найменшого ЕІ зростання інформаційної ємності можливе за рахунок збільшення площі екрану. Передача напівтонів також призводить до зростання інформаційної ємності, але потребує або ускладнення топології ЕІ (у випадку застосування методу ПМЯ), або схеми управління (методи амплітудно-імпульсної модуляції, частотно-імпульсної модуляції та широтно-імпульсної модуляції).

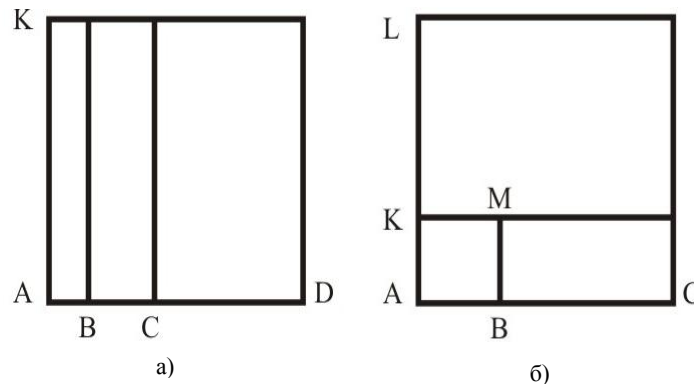


Рис. 2.

Розглянемо такі залежності на прикладі ЕІ, зображених на рис. 2а та 2б. Припускаємо, що форма знаку за будь-якої кількості ділянок в ньому є квадратною.

Із застосуванням існуючої технології та із врахуванням особливостей зору оператора можна сформувати найменшу ділянку у ЕІ з лінійним розміром l_{\min} .

Наприклад, за допомогою методів фотолітографії можна реалізувати ділянку з мінімальним лінійним розміром 1-2 мкм. Зі зростанням ділянок у ЕІ зростатиме і розмір самого елементу. Таке зростання буде різним для ЕІ з різною топологією. Ширина зазору між ділянками ЕІ та між самими ЕІ є постійною і дорівнює l_{\min} .

Отримані дані наведені в таблицях 2 та 3.

Таблиця 1. Порівняльні параметри двох типів екранів

Порівнюваний параметр	Матричний екран	Матричний екран з ПМЯ	
		варіант а	варіант б
Число ЕІ	$m \cdot n$ (m^2)	$m \cdot 2n$ ($2m^2$)	$m \cdot 2n$ ($2m^2$)
		$m \cdot 3n$ ($3m^2$)	$m \cdot 3n$ ($3m^2$)
		$m \cdot 4n$ ($4m^2$)	$m \cdot 4n$ ($4m^2$)
Площа екрану	$m \cdot n \cdot S_E$ ($S_E \cdot m^2$)	$m \cdot n \cdot S_E$ ($S_E \cdot m^2$)	$\frac{25}{4} \cdot m \cdot n \cdot S_E$ ($\frac{25}{4} \cdot S_E \cdot m^2$)
			$25 \cdot m \cdot n \cdot S_E$ ($25 \cdot S_E \cdot m^2$)
			$\frac{361}{4} \cdot m \cdot n \cdot S_E$ ($\frac{361}{4} \cdot S_E \cdot m^2$)
Число виводів	$m + n$ ($2m$)	$m + 2n$ ($3m$)	$m + 2n$ ($3m$)
		$m + 3n$ ($4m$)	$m + 3n$ ($4m$)
		$m + 4n$ ($5m$)	$m + 4n$ ($5m$)
Кількість інформації	$2 \cdot m \cdot n$ ($2m^2$)	$4 \cdot m \cdot n$ ($4m^2$)	$4 \cdot m \cdot n$ ($4m^2$)
		$8 \cdot m \cdot n$ ($8m^2$)	$8 \cdot m \cdot n$ ($8m^2$)
		$16 \cdot m \cdot n$ ($16m^2$)	$16 \cdot m \cdot n$ ($16m^2$)
Кількість інформації / кількість виводів	$\frac{2 \cdot m \cdot n}{m + n}$ (m)	$\frac{4 \cdot m \cdot n}{m + 2n}$ ($\frac{4}{3}m$)	$\frac{4 \cdot m \cdot n}{m + 2n}$ ($\frac{4}{3}m$)
		$\frac{8 \cdot m \cdot n}{m + 3n}$ ($2m$)	$\frac{8 \cdot m \cdot n}{m + 3n}$ ($2m$)
		$\frac{16 \cdot m \cdot n}{m + 4n}$ ($\frac{16}{5}m$)	$\frac{16 \cdot m \cdot n}{m + 4n}$ ($\frac{16}{5}m$)
Кількість інформації / площа екрану	$\frac{2 \cdot m \cdot n}{m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{2}{S_0}$)	$\frac{4 \cdot m \cdot n}{m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{4}{S_0}$)	$\frac{16 \cdot m \cdot n}{25 \cdot m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{0,64}{S_0}$)
		$\frac{8 \cdot m \cdot n}{m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{8}{S_0}$)	$\frac{8 \cdot m \cdot n}{25 \cdot m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{0,32}{S_0}$)
		$\frac{16 \cdot m \cdot n}{m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{16}{S_0}$)	$\frac{64 \cdot m \cdot n}{361 \cdot m \cdot n \cdot S_0}$ ($\frac{0,177}{S_0}$)

Таблиця 2. Залежність розміру ЕІ від кількості чарунок в ньому для варіанту топології на
рис. 2, а

Число чарунок в ЕІ	1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина сторони в ЕІ в $[l_{\min}]$	2	5	10	19	36	69	134	263
Площа ЕІ в $[l_{\min}]^2$	4	25	100	361	1296	4761	17956	69169

Таблиця 3. Залежність розміру ЕІ від кількості чарунок в ньому для варіанту топології на
рис. 2, б (зазори між чарунками та ЕІ не враховані)

Число чарунок в ЕІ	1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина сторони в ЕІ в $[l_{\min}]$	1	3	$2\frac{1}{3}$	5	$10\frac{1}{3}$	21	$42\frac{1}{3}$	85
Площа ЕІ в $[l_{\min}]^2$	1	9	5,44	25	106,77	441	1792	7225

Порівняльний аналіз таблиць доводить, що застосування ЕІ з топологією, яка зображена на рис. 2а, дає можливість отримати ПВІ меншого розміру, ніж з топологією, яка зображена на рис. 2б.

Електрооптичний ефект (ЕОЕ), що виникає у шарі активної речовини між електродами з прикладеною керуючою напругою, займає область з межами, які не відповідають геометричній фігурі, що може бути отримана при проекції одного електроду на інший. Напруженість електричного поля, при якій виникає ЕОЕ, має просторову неоднорідність, так що око оператора бачить і частину збудженої області, яка виступає з під керуючих електродів. Слід зауважити, що ця область не може бути меншою, ніж площа управляючих електродів тому, що у їх країв, що є обкладинками ємності, силові лінії поля мають діжкоподібну форму. Тому мова йде про перевищення видимої області ЕОЕ площі, яку займають управляючі електроди. Такий ефект не відіграє особливої ролі при застосуванні методів амплітудно-, широтно- та частотно-імпульсної модуляції яскравості та отримання напівтонів. Однак, він може впливати на передачу напівтонів при застосуванні методу просторової модуляції яскравості. Величина виходу області ЕОЕ для будь-якого електроду може бути однаковою у абсолютному виразі, однак його частковий внесок буде вище для електродів найменшої площі. Для врахування внеску такого ефекту на правильність передачі напівтонів необхідно вирішити задачу корекції площі керуючих електродів у ЕІ для 2-х, 3-х, 4-х і т.д. ділянок.

Розглянемо цю задачу для випадку, коли ЕІ містить три ділянки (рис. 1). Припустимо, що зазор між ділянками є співрозмірним з шириною ділянки. Якщо формою ЕІ є квадрат, тоді площа окремих ділянок буде наступною:

$$\text{для першої ділянки: } S_1 = l \cdot 9l = 9l^2; \quad P_1 = 20l;$$

$$\text{для другої ділянки: } S_2 = 2l \cdot 9l = 18l^2; \quad P_2 = 22l; \quad (6)$$

$$\text{для третьої ділянки: } S_3 = 4l \cdot 9l = 36l^2; \quad P_3 = 26l;$$

де P_1 , P_2 , P_3 – периметри відповідних ділянок.

Позначимо через ψ – число, що показує яку частину від ширини найменшого електроду становить вихід області ЕОЕ за межі ділянок. В одиницях ширини першої ділянки зростання видимої ширини для всіх ділянок становить $\psi \cdot l$. З врахуванням цього, прибавка до площі першої ділянки становитиме:

$$S_1' = 20 \cdot l \cdot \psi \cdot l + \pi \cdot (\psi \cdot l)^2 = l^2 \cdot (20 \cdot \psi + \pi \cdot \psi^2). \quad (7)$$

Для другої ділянки прибавка становитиме:

$$S_2' = 22 \cdot l \cdot \psi \cdot l + \pi \cdot (\psi \cdot l)^2 = l^2 \cdot (22 \cdot \psi + \pi \cdot \psi^2). \quad (8)$$

Відповідно, для третьої ділянки:

$$S_3' = l^2 \cdot (26 \cdot \psi + \pi \cdot \psi^2). \quad (9)$$

Із врахуванням цих прибавок площі всіх ділянок будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} S_1 &= l^2 \cdot (\pi \psi^2 + 20\psi + 9); \\ S_2 &= l^2 \cdot (\pi \psi^2 + 22\psi + 18); \\ S_3 &= l^2 \cdot (\pi \psi^2 + 26\psi + 36). \end{aligned} \quad (10)$$

Як видно, вплив «розповзання» області ЕОЕ призводить до зміни площі ділянок і співвідношення $S_1 : S_2 : S_3 = 1 : 2 : 4$ порушується.

Якщо врахувати, що довжина ділянки лишається незмінною, тільки збільшеною на величину $2 \cdot \psi l$, тоді для відновлення співвідношення площ як $1 : 2 : 4 : \dots$ необхідно змінити ширину ділянок. Очевидно, що ні ширину, ні довжину першої ділянки змінити неможливо, оскільки вони задані конструкцією ЕІ та рівнем технології і дорівнюють $H_1 = l \cdot (1 + 2\psi)$ та $L_1 = l \cdot (9 + 2\psi)$. Тоді ширина другої ділянки становитиме:

$$H_2 = \frac{2S_1}{L_1} = \frac{2l \cdot (\pi \psi^2 + 20\psi + 9)}{9 + 2\psi}. \quad (11)$$

Відповідно,

$$H_3 = \frac{4S_1}{L_1} = \frac{4l \cdot (\pi \psi^2 + 20\psi + 9)}{9 + 2\psi}. \quad (12)$$

Загальна ширина ЕІ з трьох ділянок дорівнюватиме $H = H_1 + H_2 + H_3 + l + l$, тобто

$$H = l \cdot (1 + 2\psi) + \frac{6l \cdot (\pi \psi^2 + 20\psi + 9)}{2\psi + 9} + 2l. \quad (13)$$

З формули видно, що при $\psi \rightarrow 0$ загальна ширина ЕІ прагнучиме до $9 \cdot l$. У випадку $\psi \neq 0$ загальна ширина буде більшою за $9 \cdot l$, тобто ЕІ перетворюється на прямокутник.

Для того, щоб розрахувати форму нового ЕІ у вигляді квадрату, необхідно:

- визначити загальну площу ЕІ при фіксованому ψ : ($S = H \cdot L_1$);
- знайти нову довжину сторони квадрату ЕІ: ($L^1 = \sqrt{S}$);
- визначити площу двох зазорів, коли його ширина лишається рівною l , тоді ($S_{заз} = L^1 \cdot 2l$);
- знайти площу, яка лишилась під активні ділянки ЕІ: ($S - S_{заз}$);

- для ЕІ з трьох ділянок площа, яка відведена під першу ділянку дорівнює $1/7$ від всієї активної площі: $(S - S_{заз})/7$;

- нова ширина першої ділянки в ЕІ буде дорівнювати

$$H_1' = \frac{S - S_{заз}}{7 \cdot L^1};$$

- знаходимо нову ширину другої та третьої ділянок:

$$H_2' = 2H_1'; \quad H_3' = 4H_1'.$$

Загальна формула для розрахунку нової ширини першої ділянки з врахуванням «розповзання» за рахунок області ЕОЕ набуде вигляд:

$$H_1' = \frac{1}{7} \cdot \sqrt{l \cdot (9 + 2\psi)} \cdot \left[l \cdot (1 + 2\psi) + \frac{6l(\pi\psi^2 + 20\psi + 9)}{2\psi + 9} + 2l \right] - 2 \cdot \frac{l}{7}. \quad (14)$$

З врахуванням обраних припущень виконаємо розрахунок уточнених розмірів ширини першої ділянки для двохділянкових ЕІ. В такому разі формула (14) набуде вигляд:

$$H_1' = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2l \cdot (2 + \psi)} \cdot \left[l \cdot (1 + 2\psi) + \frac{4l(\pi\psi^2 + 10\psi + 1)}{\psi + 2} + l \right] - \frac{l}{3}. \quad (15)$$

Для чотирьохділянкової системи перерахунок дає наступне значення:

$$H_1' = \frac{1}{15} \cdot \sqrt{2l \cdot (9 + \psi)} \cdot \left[2l \cdot (2 + \psi) + \frac{7l(\pi\psi^2 + 20\psi + 18)}{\psi + 9} \right] - \frac{l}{5}. \quad (16)$$

Отримані результати справедливі у випадку, коли при будь-якому значенні ψ між двома ділянками ЕОЕ існує постійний проміжок, який дорівнює l . Це призводить до втрати площі екрану, що відводиться під активні елементи та веде до зниження коефіцієнту використання площі КВП [2]. Можливе використання цієї пасивної частини екрану при збереженні правильності передачі напівтонів у випадку, коли $\psi \leq 50\%$ від l . Це означає, що проміжок між ділянками в ЕІ лишається постійним і дорівнює l , а область ЕОЕ не може займати відстань більше половини проміжку між електродами. В такому випадку видимі оператором області ЕОЕ двох суміжних ділянок не перекриваються і формули для H' та L' матимуть вигляд:

- для ЕІ з двох ділянок:

$$L_1' = 2l \cdot (2 + \psi); \quad H_1' = l \cdot (1 + 2\psi) + \frac{4l(\pi\psi^2 + 10\psi + 1)}{\psi + 2} + l - 2 \cdot \psi \cdot l; \quad (17)$$

- для ЕІ з трьох ділянок:

$$L_1' = l \cdot (9 + 2\psi); \quad H_1' = l \cdot (1 + 2\psi) + \frac{6l(\pi\psi^2 + 20\psi + 6)}{2\psi + 9} + 2 \cdot l - 4 \cdot l \cdot \psi; \quad (18)$$

- для ЕІ з чотирьох ділянок:

$$L_1' = 2l \cdot (9 + \psi); \quad H_1' = l \cdot (1 + 2\psi) + \frac{7l(\pi\psi^2 + 20\psi + 18)}{\psi + 9} + 3 \cdot l - 6 \cdot \psi \cdot l. \quad (19)$$

Запропонований спосіб дозволяє виконати попередній розрахунок геометричних розмірів ділянок ЕІ для правильної передачі напівтонів.

Згідно ГОСТ 29.05.002-82 до числа ергономічних параметрів індикаторів відносяться: допустима відстань спостереження, зовнішня освітленість, розмір елемента індикації, кут огляду, яскравість, контрастність, колір свічення та його спектральна характеристика, роздільна здатність та інформаційна ємність. Виходячи з цих параметрів запропонуємо методичні основи для складання алгоритму розрахунку ЕІ для ПВІ.

Відомо [3], що пропускна здатність зорової системи оператора C при розпізнанні предметів складає 50-70 біт/сек., а при розпізнанні букв та цифр – 55 біт/сек. На практиці, з врахуванням тривалості роботи та, як наслідок, втомлюваності оператора, швидкість прийому та переробки інформації приймають рівною 0,1-5,5 біт/сек. При рівномірному характері надходження символів ймовірність правильного зчитування P можна визначити:

$$P = \frac{P}{\log_2 N} = \frac{C \cdot T}{(\log_2 N)^2} \quad (20)$$

де P – число правильно розпізнаних символів; N – загальне число символів, пред'явлених для розпізнання; T – час пред'явлення символів.

Символи (або зображення) при відображенні на твердотілих індикаторах мають різний ступінь дискретності, тобто містять різну кількість елементів. Чим вищий ступінь дискретизації, тим виразніше представлений символ, тим вище вірогідність його правильного розпізнання. Skorиставшись графіком залежності вірогідності розпізнання зображення P від контрасту K при різній кількості елементів дискретизації (рис. 3) по відомій величині P та прийнятому нами ступені дискретизації k визначимо необхідний контраст K . Оскільки оператор спостерігає пред'явлений символ на освітленому індикаторі з відстані L , тоді за залежністю між контрастністю K , яскравістю поля зображення B та кутовою роздільною здатністю α для «стандартного» оператора в зоні «ясного бачення» (рис. 3) знаходимо допустиму кутову роздільну здатність α , виражену в хвилинах. Відстань спостереження L , розмір знака h та кутова роздільна здатність α знаходяться в залежності:

$$\alpha = 2 \cdot \arctg\left(\frac{h}{2 \cdot L}\right) \quad (21)$$

Як правило, при проведенні таких розрахунків задають діапазон змін α та L від гранично допустимого до оптимального, який залежить від B . Якщо B знаходиться в межах освітленостей, які не виходять за діапазон яскравостей, що сприймаються оком, тоді за наведеною формулою (21) знаходимо величину ЕІ. Така величина визначає його максимально допустимий розмір. Якщо для індикатора задано значення величини затухання для напруги, яка розповсюджується вздовж довгої лінії [4, стор. 51] (що визначає допустиме зменшення яскравості на дальньому кінці лінії), тоді можна розрахувати кількість елементів, які вміщуються на цій довгій лінії, тобто визначити інформаційну ємність індикатора як добуток $m \cdot n$ та його габаритні розміри. Після цього, враховуючи існуючий рівень технології за роздільною здатністю, визначимо число ділянок в ЕІ, тобто можливе число градацій сірої шкали, що відображаються.

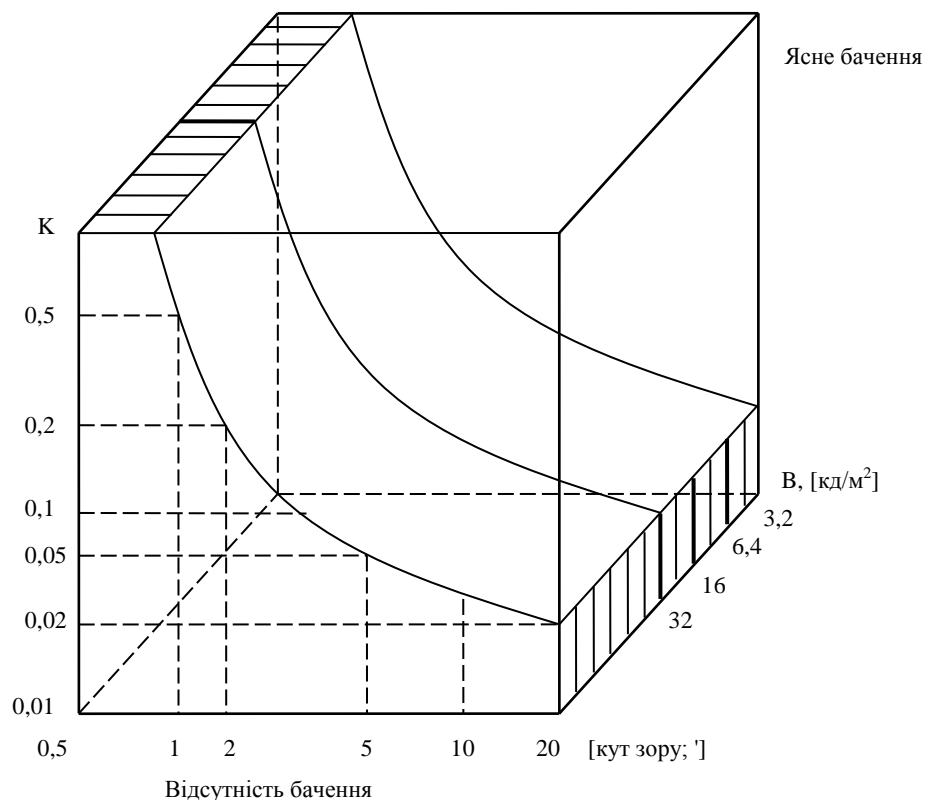


Рис. 3. Залежність між контрастністю, яскравістю поля та кутовою роздільною здатністю

Висновки.

Запропонована методика може бути покладена в основу попереднього розрахунку основних конструктивних параметрів екрану. Слід відмітити, що існує і зворотній алгоритм розрахунку, виходячи з мінімально допустимого розміру ділянки в ЕІ та закінчуючи визначенням вимог до умов експлуатації і режимів роботи ПВІ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Костюк В.И., Ходаков В.Е. Системы отображения информации и инженерная психология. – К.: Вища школа, –1977.
2. Кузьомко М.Г., Клапченко Г.М. Топологічні аспекти побудови елементів зображення та їх вплив на якість сприйняття інформації // Вісник КНУТД / Зб. наук. праць. – К.: КНУТД. – 2008. –№6, – с. 34–41.
3. Тищенко Н.М. Введение в проектирование сложных схем. М.: Энергия. –1976.
4. Кузьомко М.Г., Клапченко Г.М. Вплив топології елемента індикації на електрооптичні характеристики матричних пристроїв відображення інформації. // Вісник КНУТД / Зб. наук. праць. – К.: КНУТД. – 2010. – №3. – с. 49–55.