

УДК 621.397:535.6

**ОБЛАСТЬ КОЛЬОРІВ, ПЕРЕДАВАНИХ СИСТЕМАМИ
ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

ГОФАЙЗЕН О.В., ПИЛЯВСЬКИЙ В.В.

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова
ДП “Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення”

**DIGITAL TELEVISION SYSTEMS
COLOUR GAMUT**

GOFÄIZEN O.V., PILYAVSKIY V.V.

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov
SE “Ukrainian scientific-research institute of radio and television”

***Анотація.** Представлено математичний опис області кольорів, що їх передають системами цифрового телебачення стандартної, високої і надвисокої чіткості. Побудовано межі області передаваних кольорів у просторі системи CIE-31 (XYZ) і в рівноконтрастному кольорному просторі системи CAM02-UCS (J'M'h'), що є модифікацією простору моделі кольоросприйняття CIECAM02. Межі області передаваних кольорів представлено у вигляді проєкцій на площину (a'_M, b'_M) опонентних осей простору CAM02-UCS. Дано оцінку впливу яскравості адаптації зору та оточення сцени, що її спостерігають. Оцінки області передаваних кольорів стосуються двох можливих реалізацій телевізійної системи, коли відносні рівні сигналів основних кольорів обмежено граничними значеннями 0 і 1, та коли рівні сигналів основних кольорів можуть набувати від'ємних значень і значень, більших за 1.*

***Annotation.** Mathematical description of color gamut transferrable by the standard definition, high definition and ultra-high definition television systems is presented. The borders of area of transferrable colors are built in space of the system CIE-31 (XYZ) and in equi-contrast colour space of the system CAM02-UCS (J'M'h'), that is modification of space of colour appearance model CIECAM02. Borders of area of transferrable colors are presented as projections on the plane of opponent axes a'_M, b'_M of CAM02-UCS space. The estimation of influence of adapting brightness and surroundings of the viewed scene is given. The brought estimations transferrable colour gamut refer to two possible realizations of the television system, when the relative levels of primaries signals are limited to the values 0 and 1, and when the levels of signals of primaries signals can take on negative values and values, larger than 1.*

ВСТУП

Область кольорів, що їх передають ТВ системи, є важливою характеристикою цих систем, оскільки вона виражає частину області кольорів, існуючих в природі, що є предметом передавання. Представляється важливим побудувати математичний опис області передаваних кольорів том, щоб можна було оцінювати цю характеристику для різних варіантів систем, що відрізняються алгоритмом роботи і параметрами. При цьому бажано виходити із сучасного рівня колориметричної науки, що дозволяє враховувати умови адаптації зорового сприйняття до умов спостереження зображення.

Робота присвячена рішенням відповідного кола питань. Вона спирається на наукові дані про властивості зорового сприйняття з урахуванням його адаптації до умов спостереження зображення. Представлено математичний опис області кольорів, що їх передають системами цифрового телебачення стандартної, високої і надвисокої чіткості. Побудовано межі області передаваних кольорів у просторі системи CIE-31 (XYZ) і в рівноконтрастному кольорному просторі системи CAM02-UCS (J'M'h'), що є модифікацією простору моделі кольоросприйняття CIECAM02 [1]. Межі області передаваних кольорів представлено у вигляді проєкцій на площину опонентних осей a'_M, b'_M простору CAM02-UCS [2]. Дана оцінка впливу яскравості адаптації зору, і оточення сцени, що її спостерігають. Оцінки області передаваних кольорів стосуються двох можливих реалізацій телевізійної системи, коли відносні рівні сигналів основних кольорів обмежено граничними значеннями 0 і 1, та коли рівні сигналів основних кольорів можуть набувати від'ємних значень і значень, більших за 1.

**ОБЛАСТЬ КОЛЬОРІВ, ПЕРЕДАВАНИХ СИСТЕМАМИ
ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ, В ЯКИХ ВІДНОСНІ РІВНІ СИГНАЛІВ
ОСНОВНИХ КОЛЬОРІВ ОБМЕЖЕНО РІВНЯМИ 0 ТА 1**

Область кольорів, що їх передають використовувані у світі системи цифрового телебачення, визначено областю варіації сигналів первинних кольорів, обмеженою значеннями цих сигналів:

$$0 \leq R, G, B \leq 1.$$

Рівні яскравості для кожного первинного кольору та для опорного білого змінюються в межах:

– для червоного: $0 \leq Y \leq L_R$

– для зеленого: $0 \leq Y \leq L_G$

– для синього: $0 \leq Y \leq L_B$

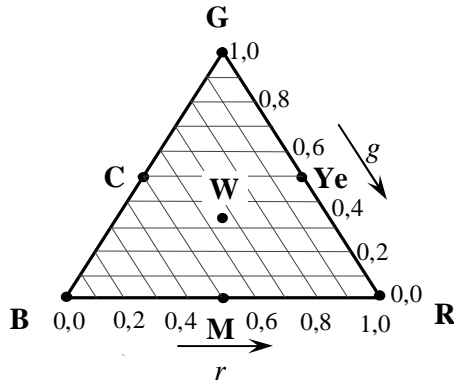
– для опорного білого: $0 \leq Y \leq 1$

У RGB-просторі границя області передаваних кольорів для заданого рівня відносної яскравості Y представляється прямими лініями на площі координат колірності:

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{B}{R+G+B}.$$

Ці лінії характеризують точками заломлення, координати яких визначено формулами, що їх наведено нижче:

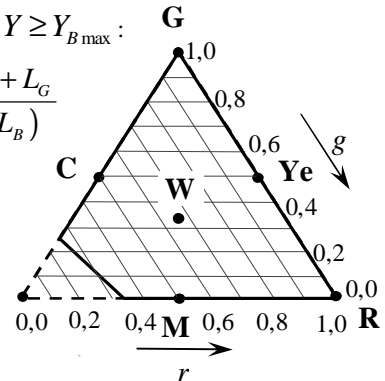
$$Y \leq Y_{B \max}, \quad Y_{B \max} = L_B$$



$$Y_{B \max} \leq Y \leq Y_{M \max}, \quad Y_{B \max} = L_B, \quad Y_{M \max} = L_R + L_B$$

Границя області $Y \geq Y_{B \max}$:

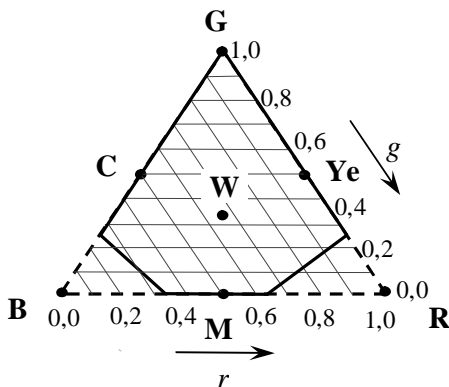
$$b \leq \frac{(L_R - L_G)r + L_G}{Y + (L_G - L_B)}$$



$$Y_{R \max} \leq Y \leq Y_{M \max}, \quad Y_{R \max} = L_R, \quad Y_{M \max} = L_R + L_B$$

Границя області $Y \geq Y_{R \max}$:

$$r \leq \frac{(L_B - L_G)b + L_G}{Y + (L_G - L_R)}$$

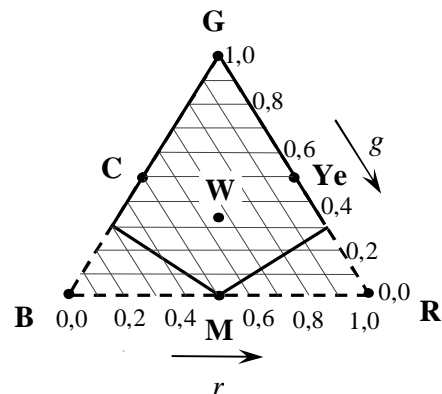


$$Y = Y_{M \max}, \quad Y = Y_{M \max}, \quad Y_{M \max} = L_R + L_B$$

Точка перетину границь областей:

$$Y \geq Y_{B \max} \quad \text{та} \quad Y \geq Y_{R \max}.$$

Якщо $R = B = 1; G = 0$: $r_M = b_M = 0,5; \quad g_M = 0$



$$Y_{M \max} \leq Y \leq Y_{G \max}, Y_{G \max} = L_G,$$

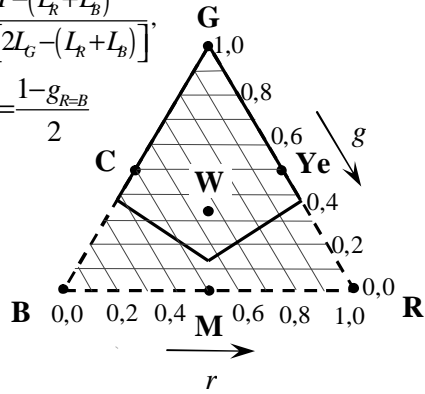
$$Y_{M \max} = L_R + L_B$$

Точка перетину границь областей:

$$Y \geq Y_{B \max} \text{ та } Y \geq Y_{R \max} \text{ де } R = B = 1:$$

$$g_{R=B} = \frac{Y - (L_R + L_B)}{Y + [2L_G - (L_R + L_B)]},$$

$$r_{R=B} = b_{R=B} = \frac{1 - g_{R=B}}{2}$$

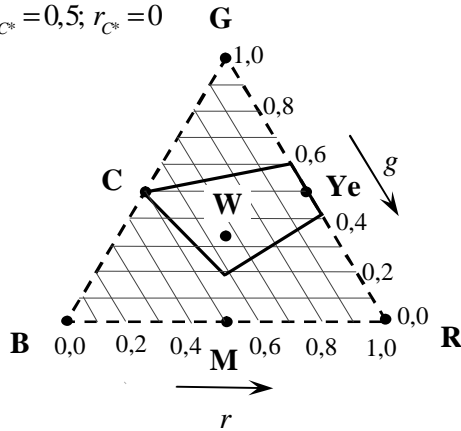


$$Y = Y_{C \max}, Y_{C \max} = L_G + L_B. \text{ Точка перетину}$$

границь областей: $Y \geq Y_{G \max}$ та $Y \geq Y_{B \max}$.

Якщо $G = B = 1, R = 0$:

$$g_{C^*} = b_{C^*} = 0,5; r_{C^*} = 0$$



$$Y = Y_{Ye \max}, Y_{Ye \max} = L_R + L_G$$

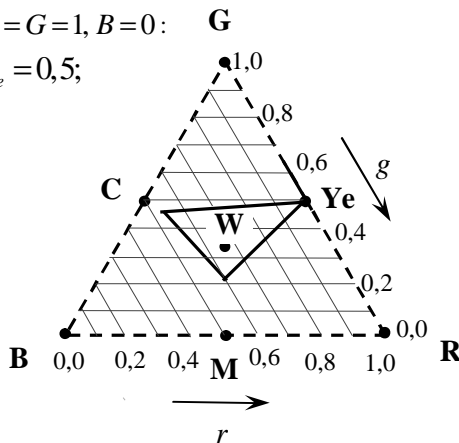
Точка перетину границь областей: $Y \geq Y_{R \max}$ та

$$Y \geq Y_{G \max}$$

Якщо $R = G = 1, B = 0$:

$$r_{Ye} = g_{Ye} = 0,5;$$

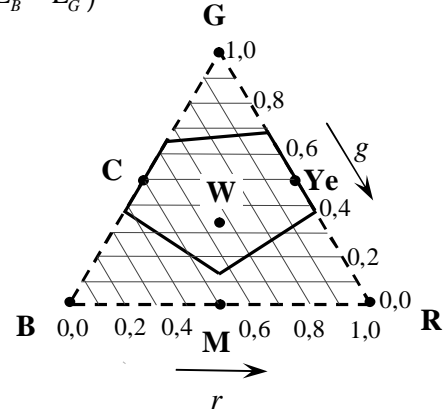
$$b_{Ye^*} = 0$$



$$Y_{G \max} \leq Y \leq Y_{C \max}, Y_{G \max} = L_G, Y_{C \max} = L_G + L_B$$

Границя області $Y \geq Y_{G \max}$:

$$g \leq \frac{(L_R - L_B)r + L_B}{Y + (L_B - L_G)}$$



$$Y_{C \max} \leq Y \leq Y_{Ye \max}, Y_{Ye \max} = L_R + L_G$$

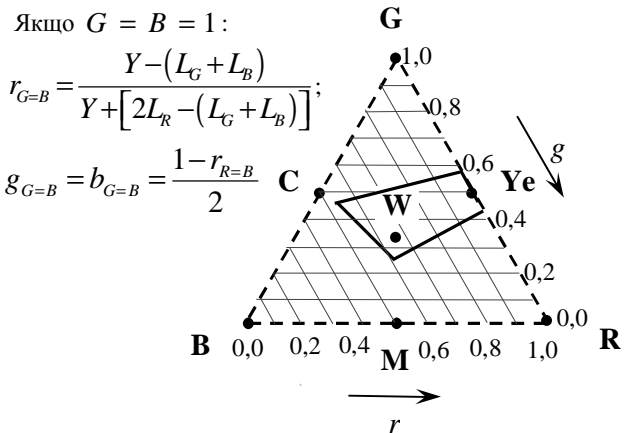
$$Y_{C \max} = L_G + L_B, \text{ Точка перетину границь}$$

областей $Y \geq Y_{B \max}$ and $Y \geq Y_{G \max}$.

Якщо $G = B = 1$:

$$r_{G=B} = \frac{Y - (L_G + L_B)}{Y + [2L_R - (L_G + L_B)]};$$

$$g_{G=B} = b_{G=B} = \frac{1 - r_{R=B}}{2}$$



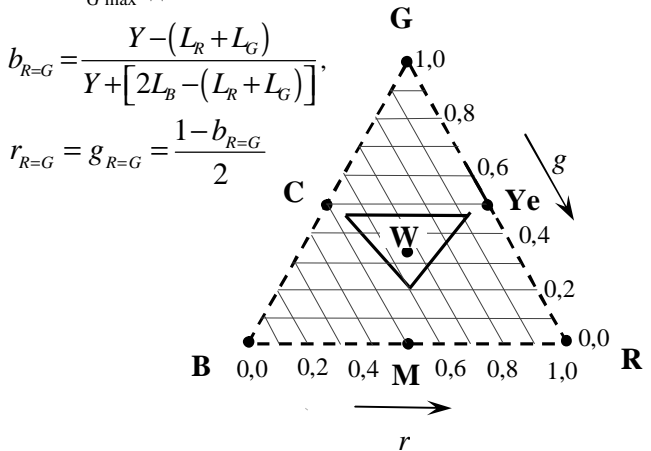
$$Y_{Ye \max} \leq Y \leq Y_{W \max}, Y_{Ye \max} = L_R + L_G, Y_{W \max} = 1$$

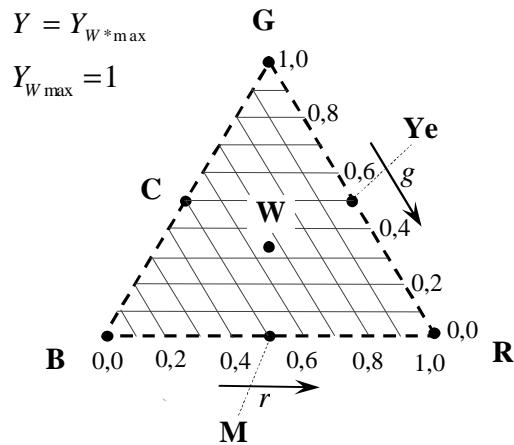
Точка перетину границь областей: $Y \geq Y_{R \max}$ та

$$Y \geq Y_{G \max} \text{ де } R = G = 1:$$

$$b_{R=G} = \frac{Y - (L_R + L_G)}{Y + [2L_B - (L_R + L_G)]},$$

$$r_{R=G} = g_{R=G} = \frac{1 - b_{R=G}}{2}$$





Область передаваних кольорів у просторі XYZ (x, y)

Границі області передаваних кольорів у системах телебачення відрізняються і залежать від колориметричних параметрів систем, які встановлено рекомендаціями ІТУ-R, в тому числі, систем телебачення стандартної чіткості – Рекомендацією ІТУ-R BT.601, систем телебачення високої чіткості та систем стереоскопічного телебачення (3DTV) з числом рядків 1080 – Рекомендаціями ІТУ-R BT.709 та ІТУ-R BT.2024, систем телебачення високої чіткості та систем стереоскопічного телебачення (3DTV) з числом рядків 720 – Рекомендаціями ІТУ-R BT.1543, ІТУ-R BT.1847 та ІТУ-R BT.2025, систем телебачення надвисокої чіткості ІТУ-R BT.2020.

Область кольорів, що їх передають системи стандартної, високої та надвисокої чіткості, представлено для відносних рівнів яскравості $Y \in \overline{0,1}$, що дорівнюють значенням $L_B, L_R, L_B + L_R, L_G, L_G + L_B, L_G + L_R$, у просторі СІЕ-31 XYZ на рисунках 1, 2 та 3.

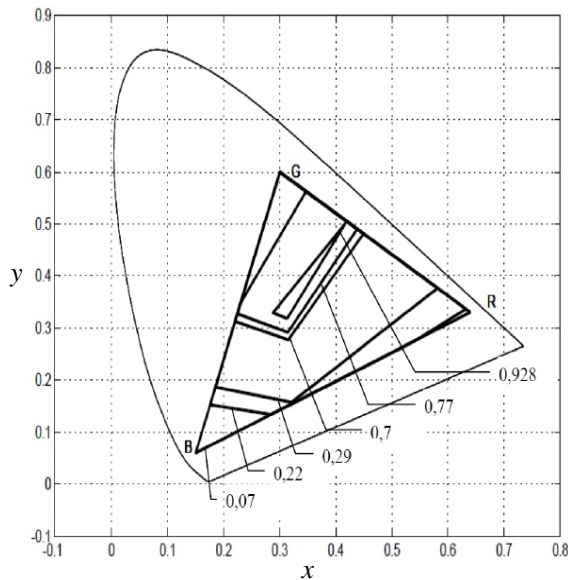


Рисунок 1 – Область кольорів, передаваних системами ТБСЧ

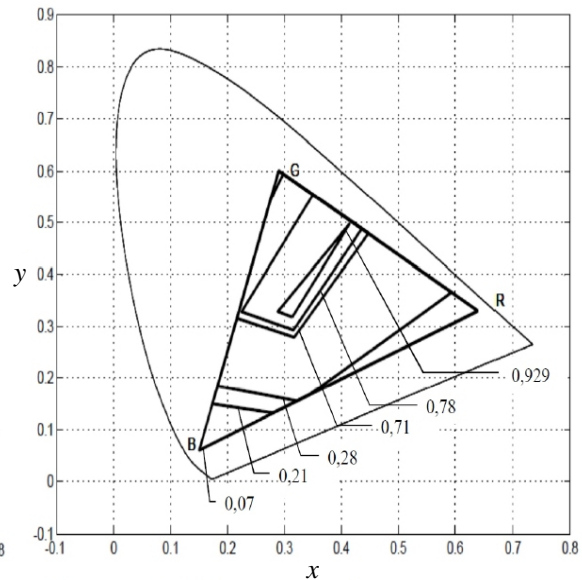


Рисунок 2 – Область кольорів, передаваних системами ТБВЧ

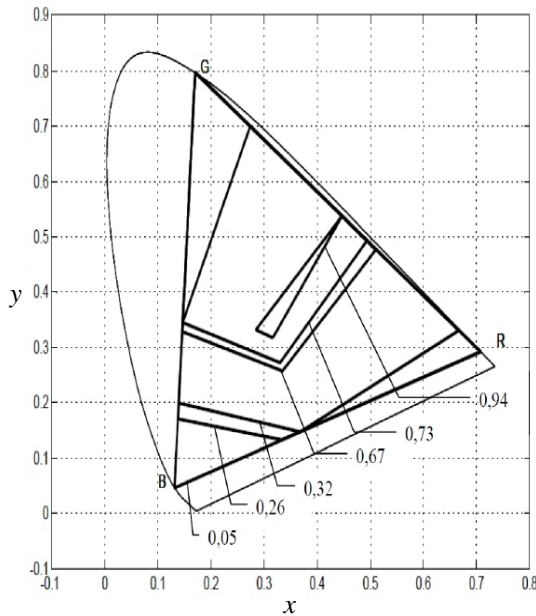


Рисунок 3 – Область кольорів, передаваних системами ТБНВЧ

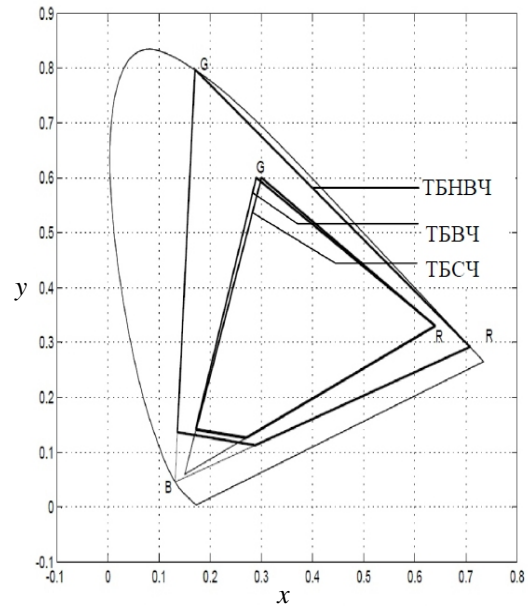


Рисунок 4 – Порівняння області кольорів, передаваних системами ТБСВ, ТБВЧ та ТБНВЧ, для $Y=0,2$

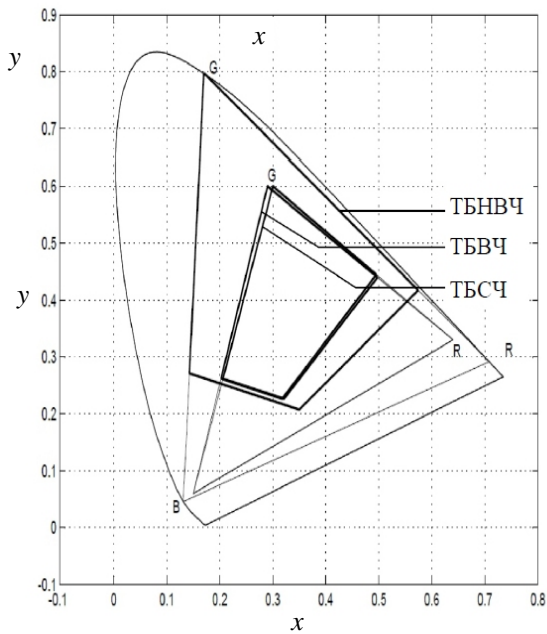


Рисунок 5 – Порівняння області кольорів, передаваних системами ТБСВ, ТБВЧ та ТБНВЧ, для $Y=0,5$

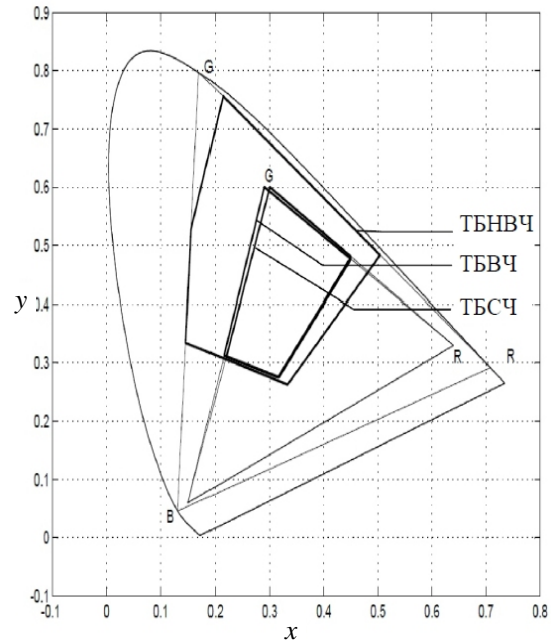


Рисунок 6 – Порівняння області кольорів, передаваних системами ТБСВ, ТБВЧ та ТБНВЧ, для $Y=0,5$

Порівняння області передаваних кольорів для $Y = 0,2; 0,5$ та $0,7$ представлено на рисунках 4, 5, 6, з яких видно, що для колориметричних параметрів, визначених для системи ТБНВЧ, для всіх рівнів яскравості має місце значно більша область передаваних кольорів порівняно з системами ТБСЧ та ТБВЧ.

Область передаваних кольорів у просторі $CAM02-UCS(a'_M, b'_M)$

Для того, щоб можна було об'єктивно судити про те, яку частину області існуючих кольорів може бути передано ТВ системами з урахуванням візуального сприйняття кольорових зображень, бажано представити область передаваних кольорів у перетинах рівноконтрастного колірної простору.

ру. Нижче представлено границі області передаваних кольорів в площині опонентних координат a'_M, b'_M рівноконтрастного колірному простору CAM02-UCS (a'_M, b'_M), який на теперішньому етапі можна вважати найбільш перспективним колірним простором для оцінок кольоропередачі, виходячи з сучасних моделей кольоросприйняття [2, 3].

Область кольорів, передаваних у системі телебачення стандартної чіткості. Область кольорів, передаваних у системі ТБСЧ, представлено на рисунках 7 та 8 в координатах простору CAM02-UCS (a'_M, b'_M) для рівнів яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$ та $L_A = 200 \text{ кд/м}^2$ й середнього оточення.

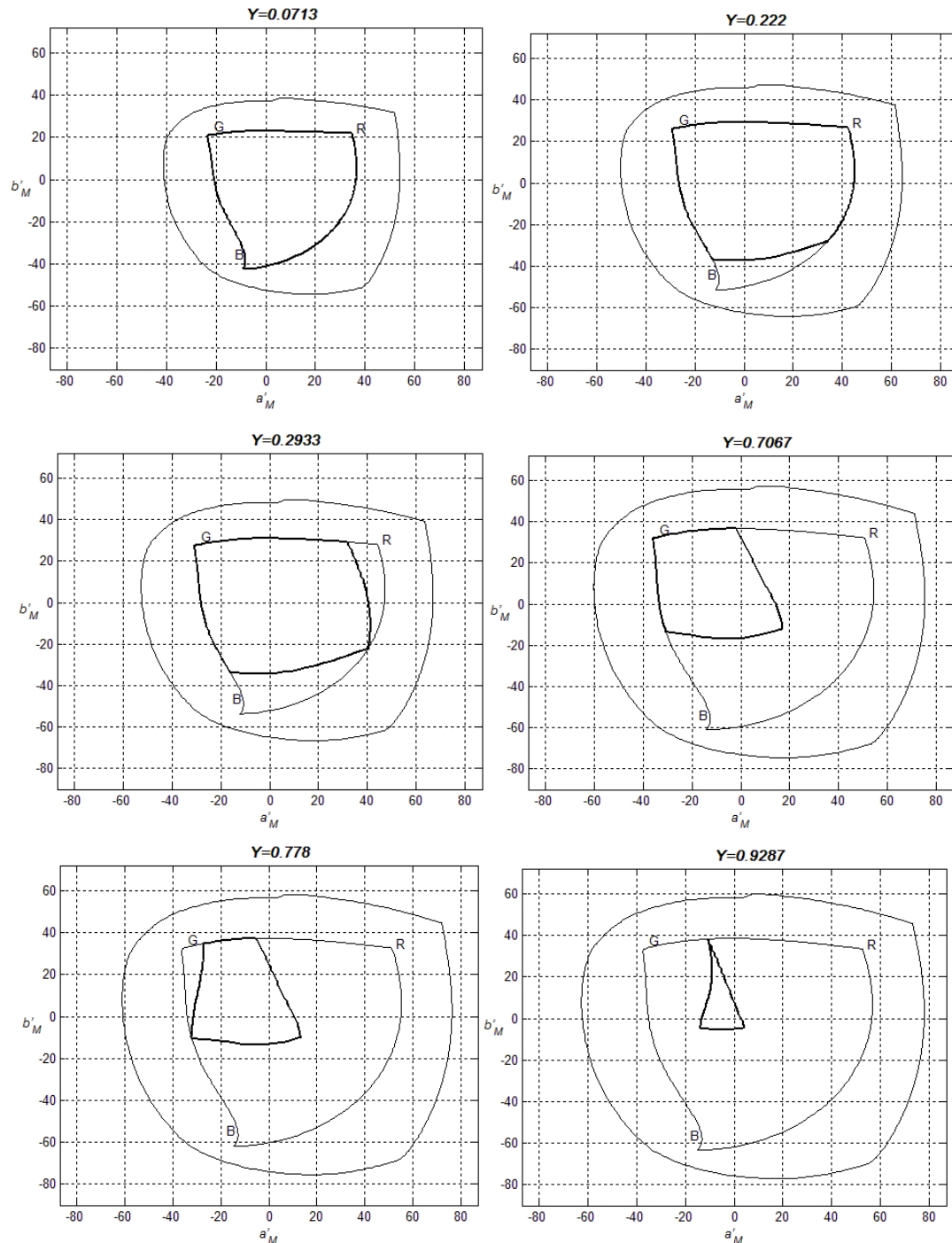


Рисунок 7 – Область кольорів у просторі CAM02-UCS (a'_M, b'_M), передаваних системами ТБСЧ, для яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$

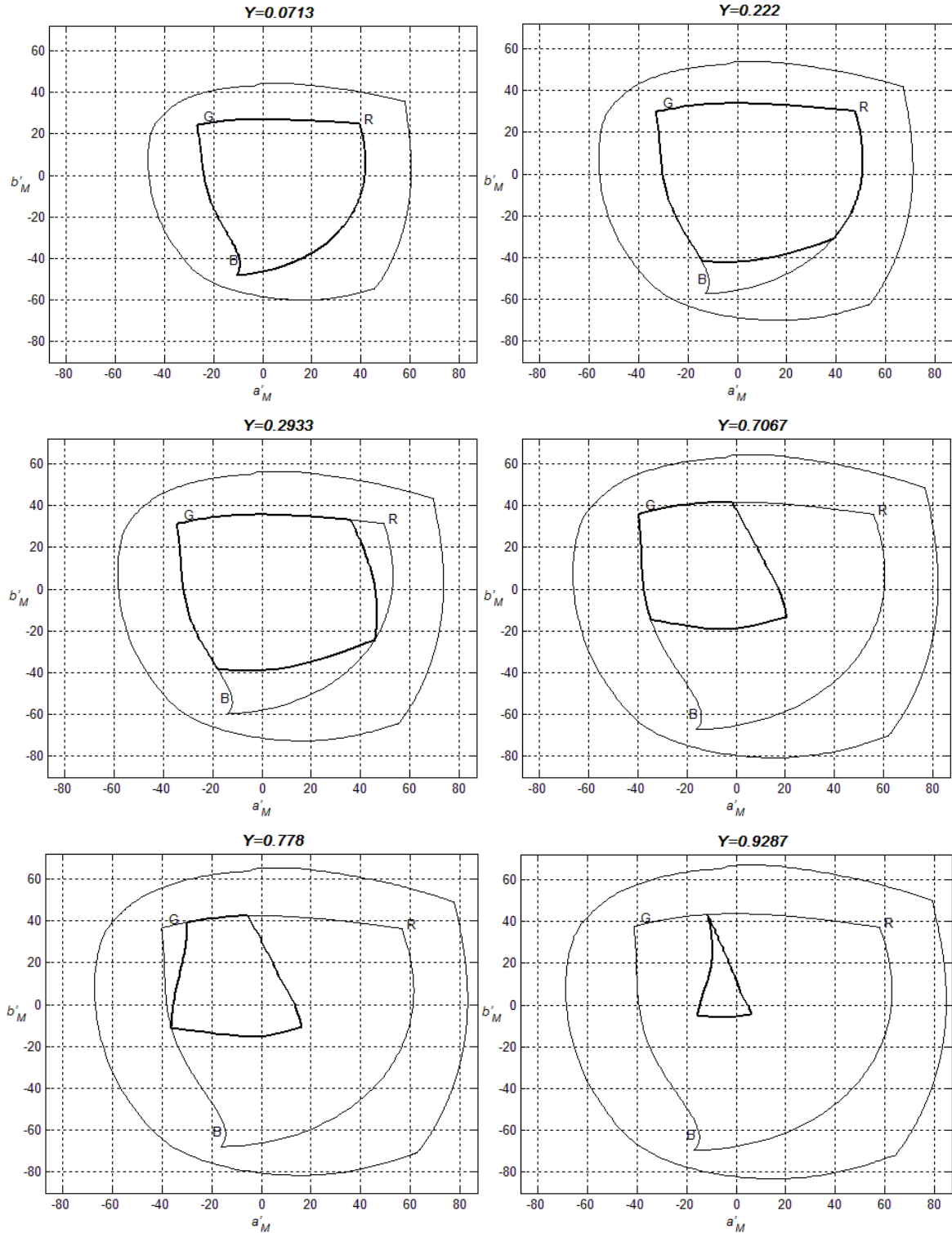


Рисунок 8– Область кольорів у просторі SAM02-UCS (a'_M, b'_M), передаваних системами ТБСЧ, для яскравості адаптації $L_A = 200$ кд/м²

Область кольорів, передаваних у системі телебачення високої чіткості. Область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, представлено на рисунках 9 та 10 в координатах простору CAM02-UCS (a'_M, b'_M) для рівнів яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$ та $L_A = 200 \text{ кд/м}^2$ й середнього оточення.

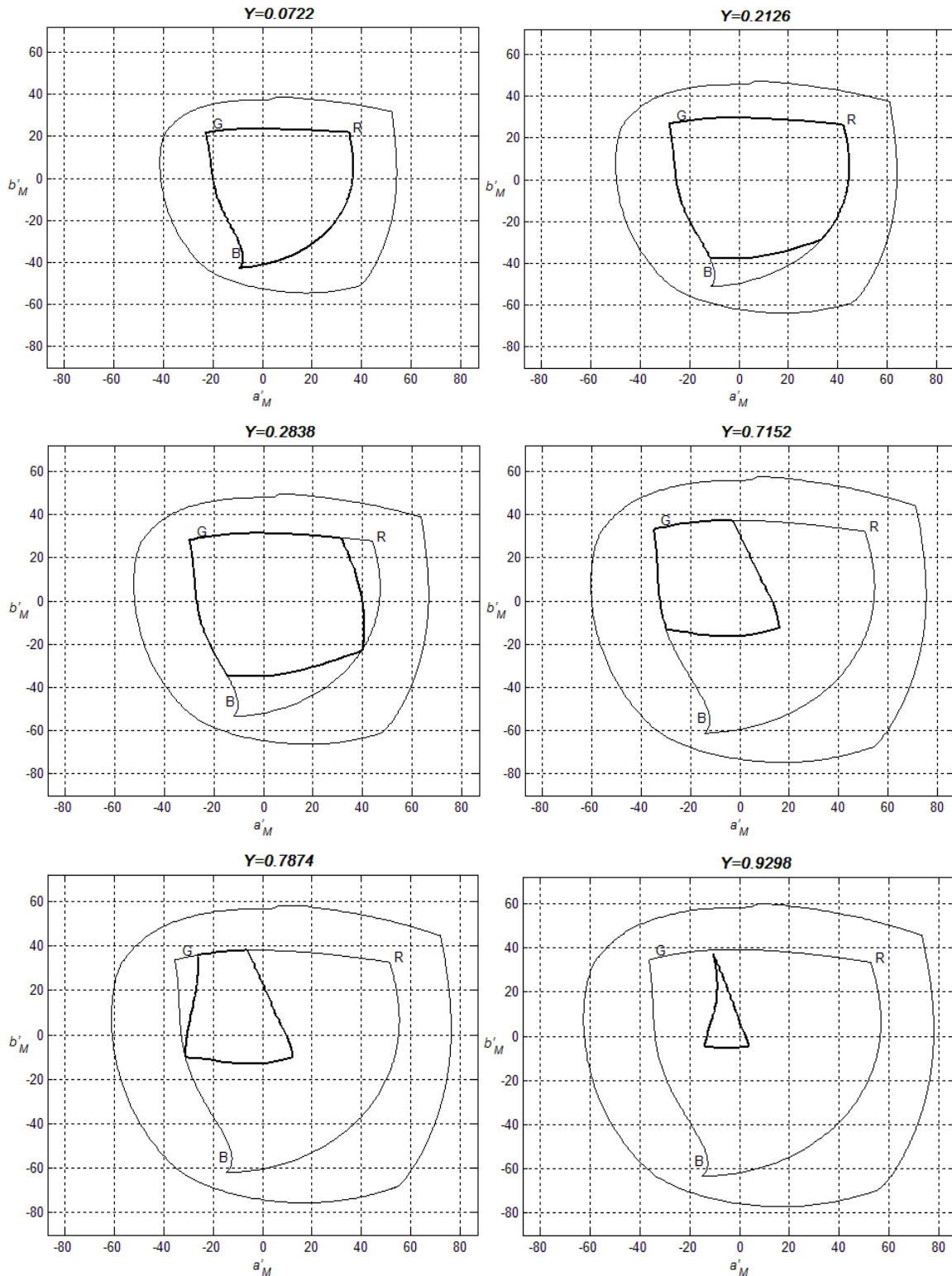


Рисунок 9 – Область кольорів у просторі CAM02-UCS (a'_M, b'_M), передаваних системами ТБВЧ, для яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$

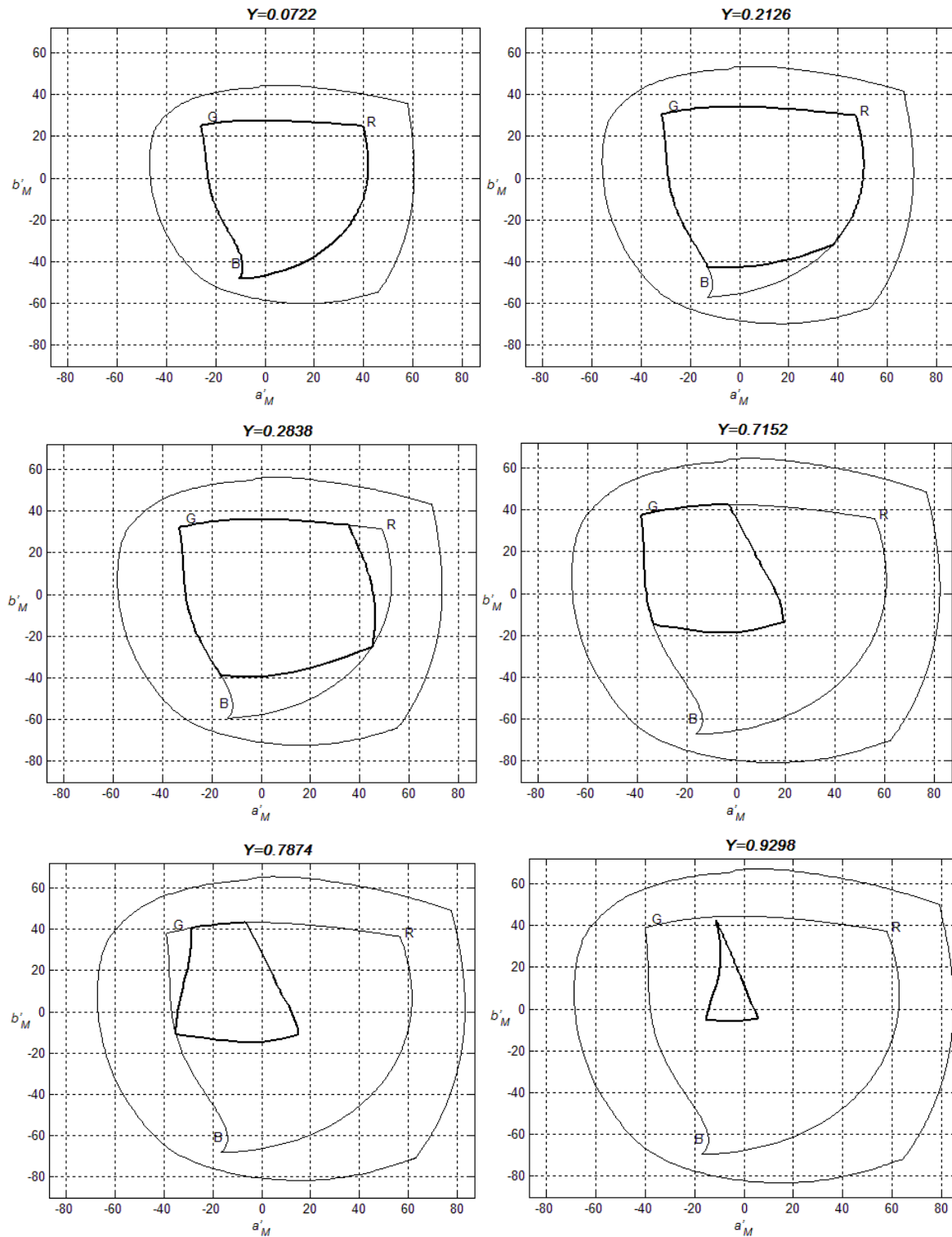


Рисунок 10 – Область кольорів у просторі SAM02-UCS (a'_M, b'_M), передаваних системами ТБВЧ для яскравості адаптації $L_A = 200$ кд/м²

Область кольорів, передаваних у системі телебачення надвисокої чіткості. Область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, представлено на рисунках 11 та 12 в координатах простору SAM02-UCS (a'_M, b'_M) для рівнів яскравості адаптації $L_A = 20$ кд/м² та $L_A = 200$ кд/м² й середнього оточення.

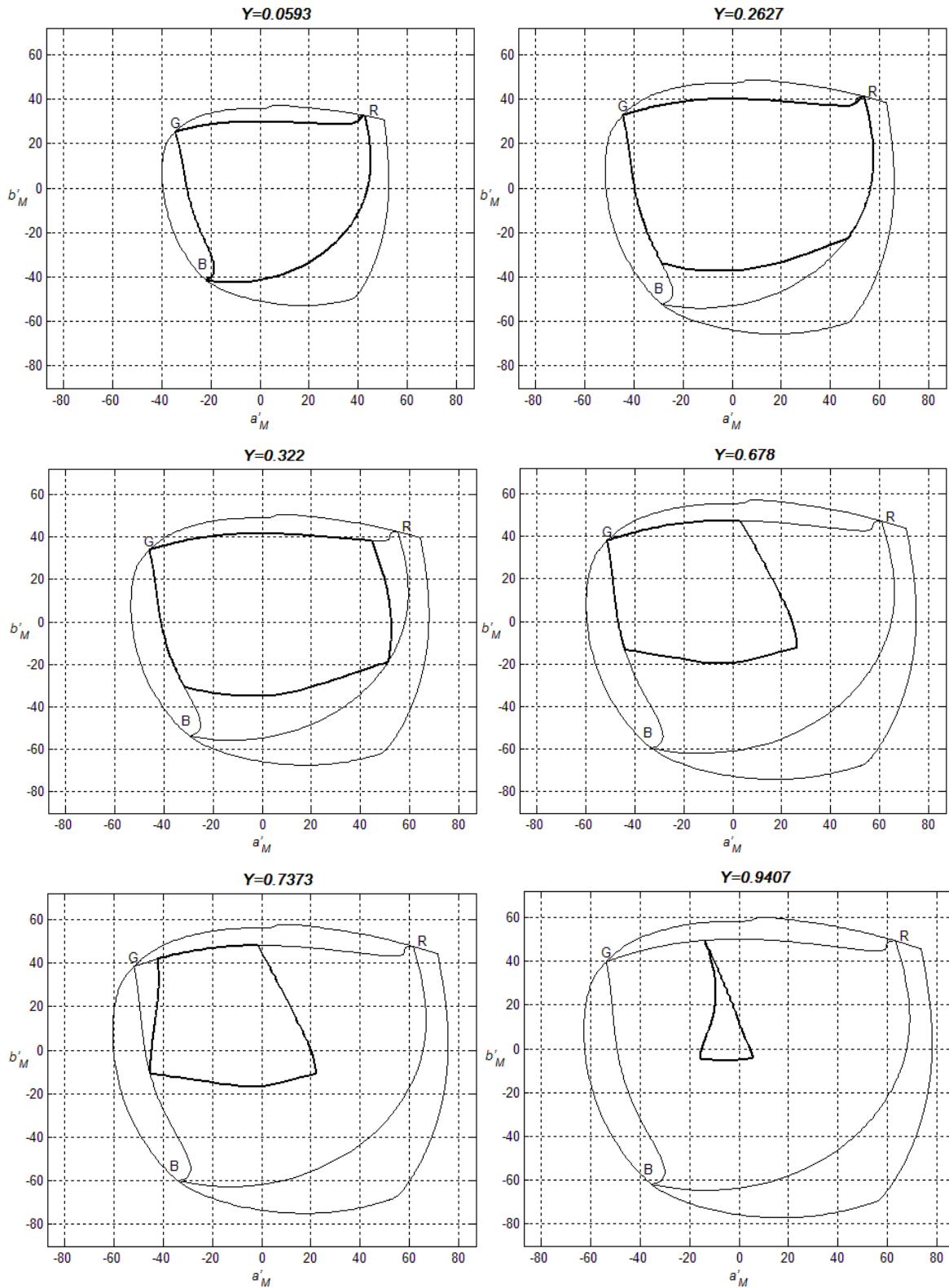


Рисунок 11 – Область кольорів у просторі SAM02-UCS (a'_M, b'_M), передаваних системами ТБНВЧ, для яскравості адаптації $L_A = 20$ кд/м²

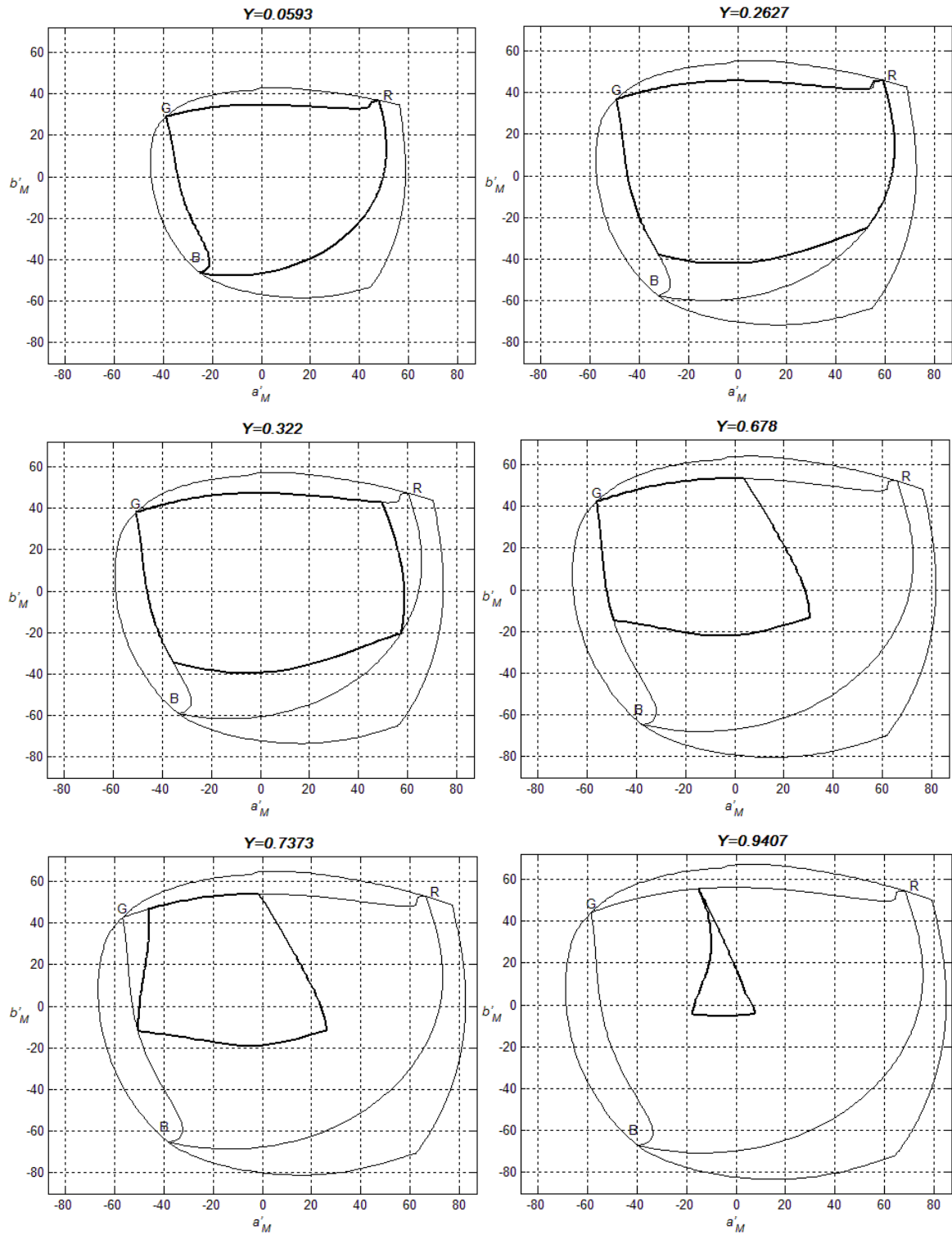


Рисунок 12 – Область кольорів у просторі CAM02-UCS (a'_M, b'_M), передаваних системами ТБНВЧ, для яскравості адаптації $L_A = 200$ кд/м²

РОЗШИРЕНА ОБЛАСТЬ КОЛЬОРІВ, ПЕРЕДАВАНИХ СИСТЕМАМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

У розширеному просторі кольорів, передаваних телевізійними системами, в Рекомендації ITU-R BT.1361, інтервал зміни сигналів основних кольорів визначено як

$$S_{\min} \leq R \leq S_{\max}; \quad S_{\min} \leq G \leq S_{\max}; \quad S_{\min} \leq B \leq S_{\max},$$

де $S_{\min} = -0,25$; $S_{\max} = 1,33$.

Цим рівням відповідають границі координат колірності у просторі RGB , які можна визначити формулами:

- для границь області сигналу червоного основного кольору:

$$a_{0R\min} + a_{1R\min} b \leq r \leq a_{0R\max} + a_{1R\max} b,$$

де

$$\begin{aligned} a_{0R\min} &= a_{0R}(S_{\min}); & a_{1R\min} &= a_{1R}(S_{\min}); \\ a_{0R\max} &= a_{0R}(S_{\max}); & a_{1R\max} &= a_{1R}(S_{\max}); \\ a_{0R} &= \frac{L_G S}{Y - S_{\max}(L_R - L_G)}; & a_{1R} &= \frac{S(L_G - L_B)}{S(L_R - L_G) - Y}; \end{aligned}$$

- для границь області сигналу зеленого основного кольору:

$$a_{0G\min} + a_{1G\min} b \leq g \leq a_{0G\max} + a_{1G\max} b,$$

де

$$\begin{aligned} a_{0G\min} &= a_{0G}(S_{\min}); & a_{1G\min} &= a_{1G}(S_{\min}); \\ a_{0G\max} &= a_{0G}(S_{\max}); & a_{1G\max} &= a_{1G}(S_{\max}); \\ a_{0G} &= \frac{Y - SL_G}{S(L_R - L_G) + Y}; & a_{1G} &= \frac{S(L_G - L_B) - Y}{S(L_R - L_G) + Y}; \end{aligned}$$

- для границь області сигналу синього основного кольору:

$$a_{0B\min} + a_{1B\min} r \leq b \leq a_{0B\max} + a_{1B\max} r,$$

де

$$\begin{aligned} a_{0B\min} &= a_{0B}(S_{\min}); & a_{1B\min} &= a_{1B}(S_{\min}); \\ a_{0B\max} &= a_{0B}(S_{\max}); & a_{1B\max} &= a_{1B}(S_{\max}); \\ a_{0B}(S) &= \frac{L_G S}{(L_B - L_R)[S(L_G - L_R) + Y]}; & a_{1B}(S) &= \frac{S(L_R - L_G)}{S(L_G - L_B) + Y}. \end{aligned}$$

Розширена область передаваних кольорів у просторі $XYZ(x, y)$

Області кольорів, що їх передають системи, визначені в Рекомендації ITU-R BT.1361, для колориметричних характеристик, що відповідають системам ТБСЧ, ТБВЧ та ТБНВЧ, представлено для рівнів яскравості Y , що дорівнюють значенням $L_B, L_R, L_B + L_R, L_G, L_G + L_B, L_G + L_R$, у просторі СІЕ-31 XYZ на рисунках 13, 14 та 15. Порівняння цих областей для рівнів відносної яскравості 0,1; 0,25 та 0,5 представлено на рисунках 16, 17 та 18.

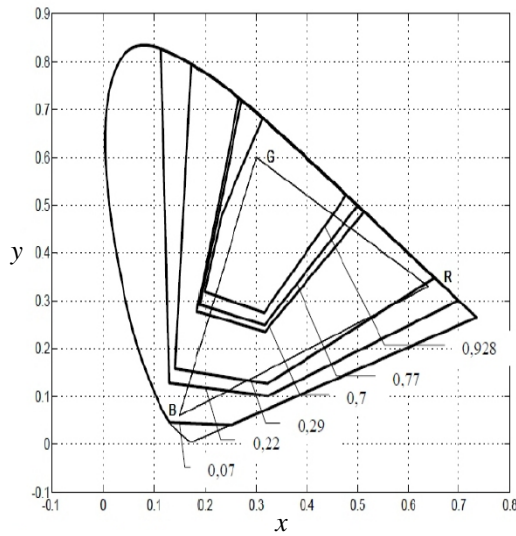


Рисунок 13 – Розширена область передаваних в системі ТБСЧ кольорів в координатах XYZ

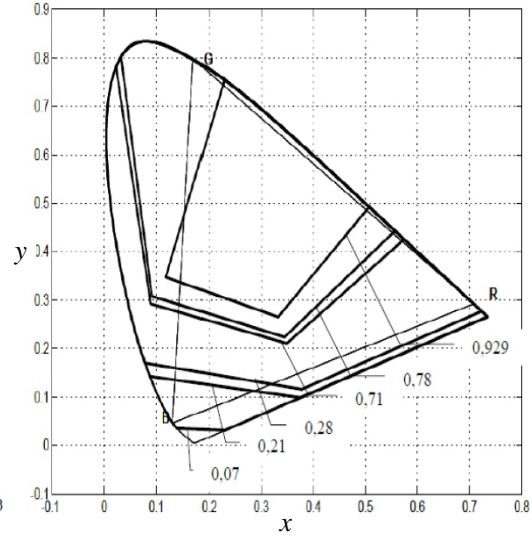


Рисунок 14 – Розширена область передаваних в системі ТБВЧ кольорів в координатах XYZ

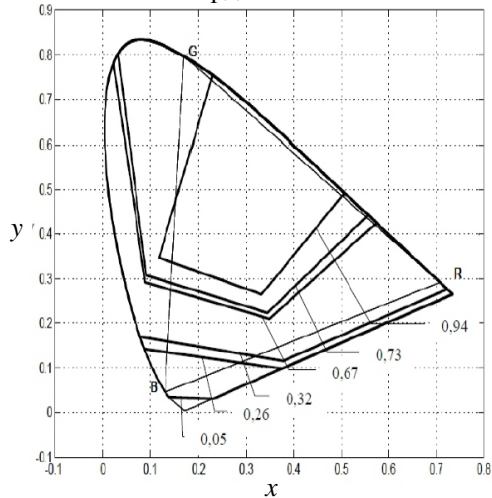


Рисунок 15 – Розширена область передаваних в системі ТБНВЧ кольорів в координатах XYZ

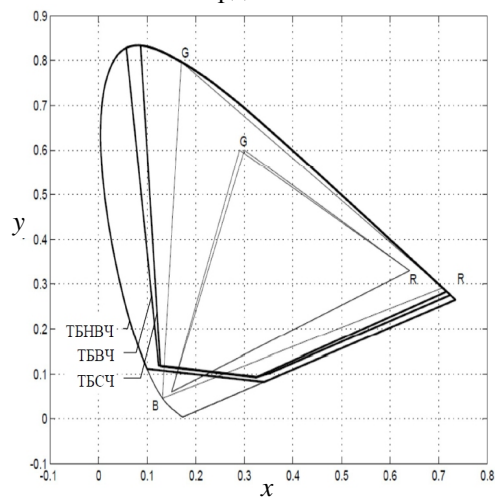


Рисунок 16 – Порівняння розширеної області кольорів, передаваних в системах ТБСЧ, ТБВЧ та ТБНВЧ, для $Y=0.1$

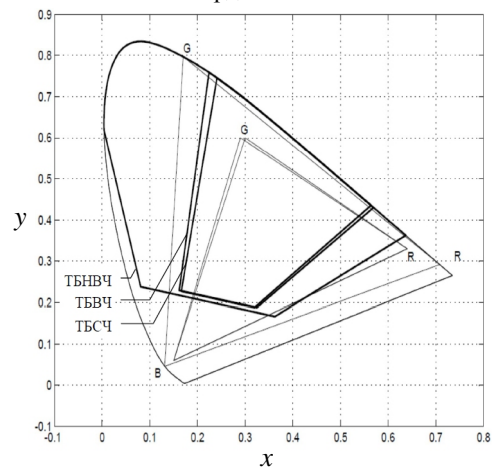


Рисунок 17 – Зіставлення області кольорів, передаваних в системах ТБСЧ, ТБВЧ та ТБНВЧ, для $Y=0.25$

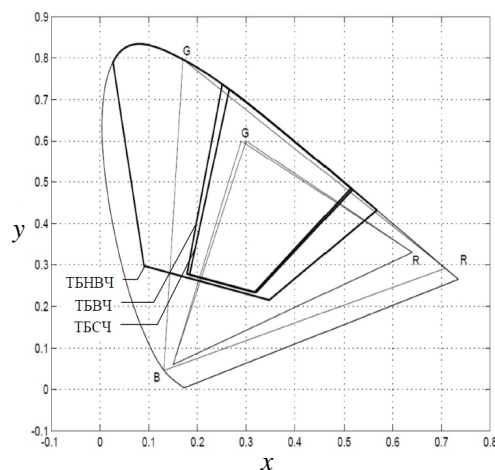


Рисунок 18 – Зіставлення області кольорів, передаваних в системах ТБСЧ, ТБВЧ та ТБНВЧ, для $Y=0.5$

Область передаваних кольорів у просторі $SAM02-UCS(a'_M, b'_M)$

Розширена область передаваних кольорів для системи телебачення, що її визначено в Рекомендації ITU-R BT.1361, в координатах (a'_M, b'_M) представлена на рисунках 11 та 12.

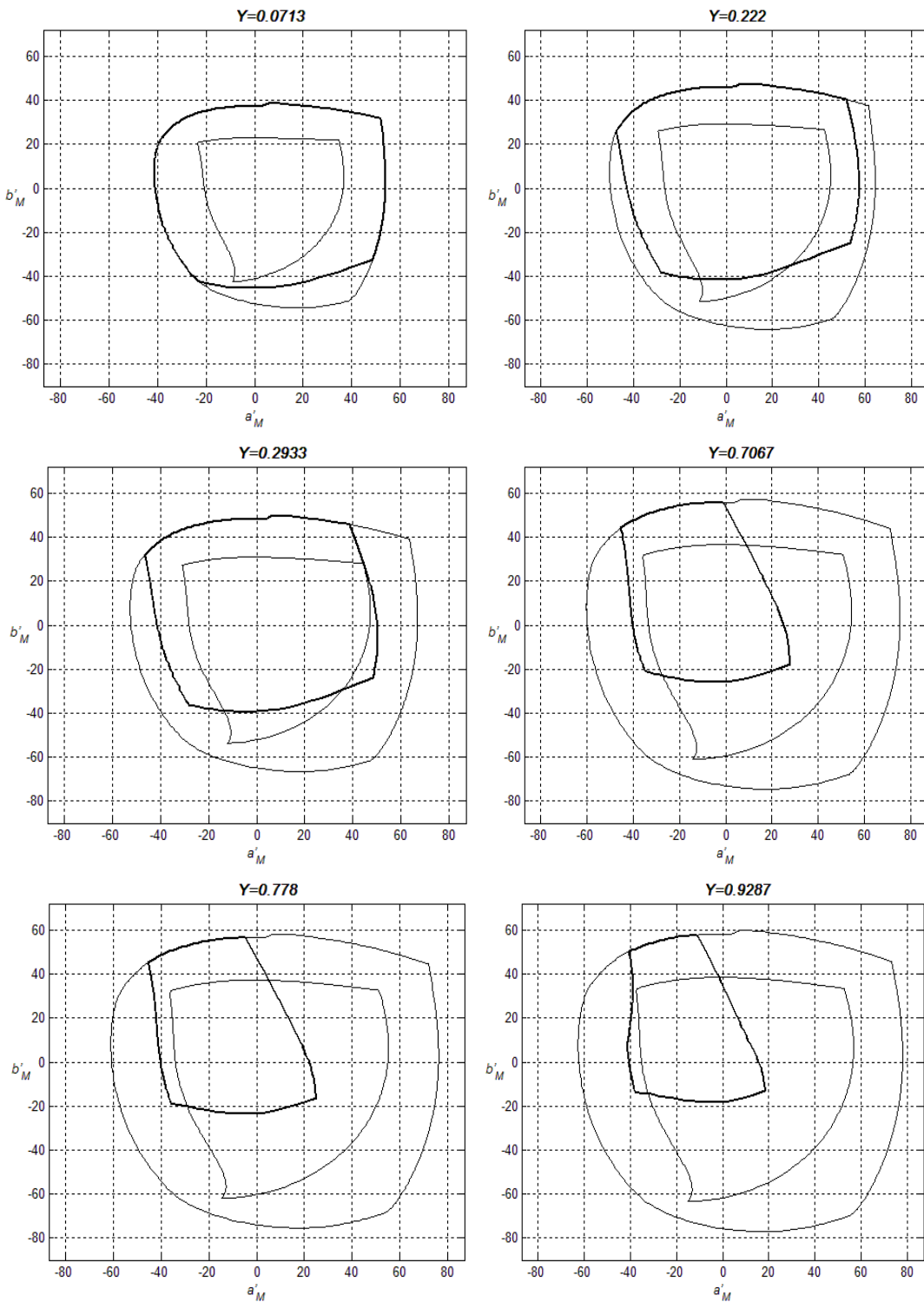


Рисунок 19 – Розширена область кольорів, передаваних у системі ТБСЧ, в координатах (a'_M, b'_M) для яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$ й середнього оточення.

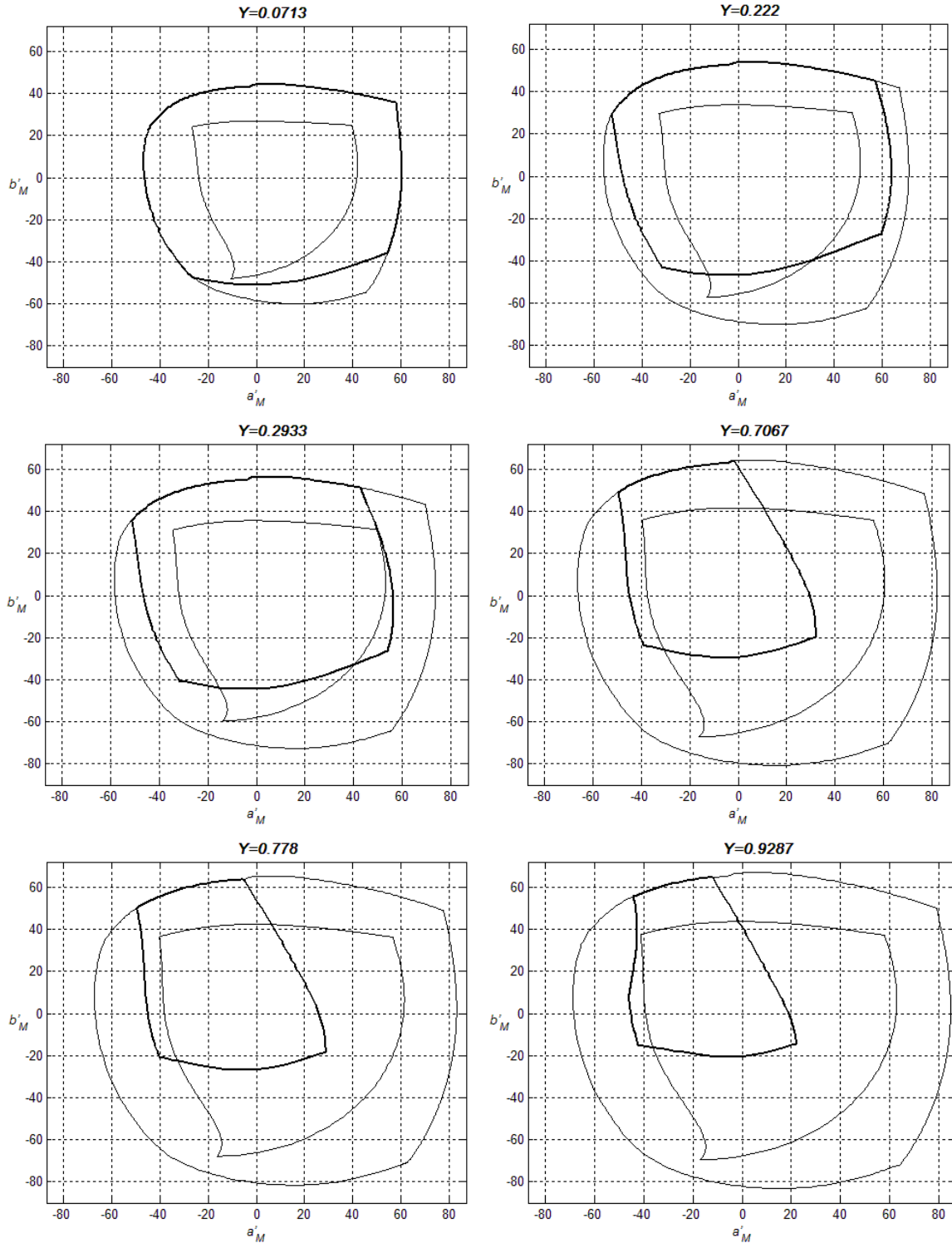


Рисунок 20 – Розширена область передаваних кольорів в координатах (a'_M, b'_M) у системі телебачення стандартної чіткості для яскравості адаптації $L_A = 200$ кд/м² й середнього оточення

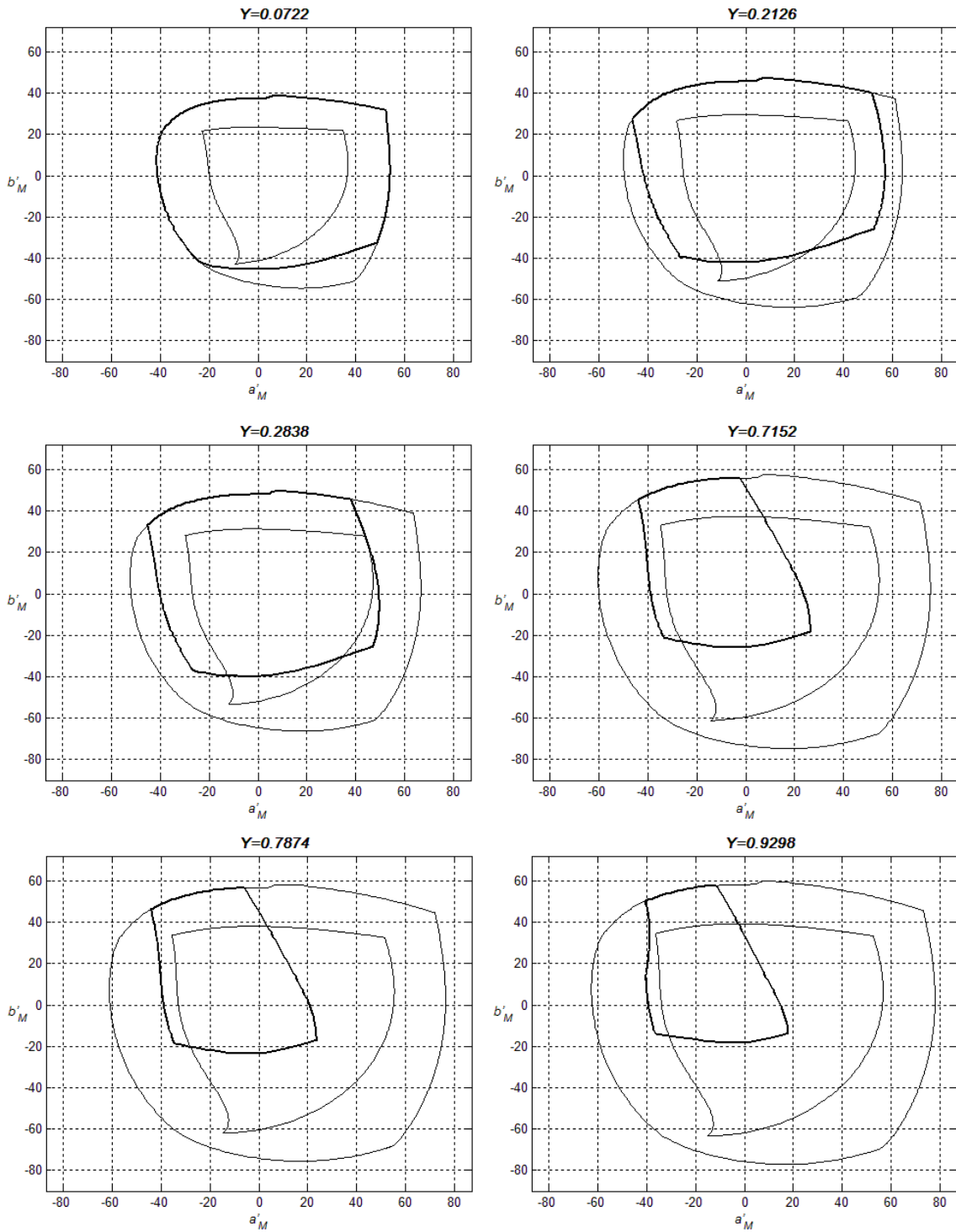


Рисунок 21 – Розширена область передаваних кольорів в координатах (a'_M, b'_M) у системі телебачення високої чіткості для яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$ й середнього оточення

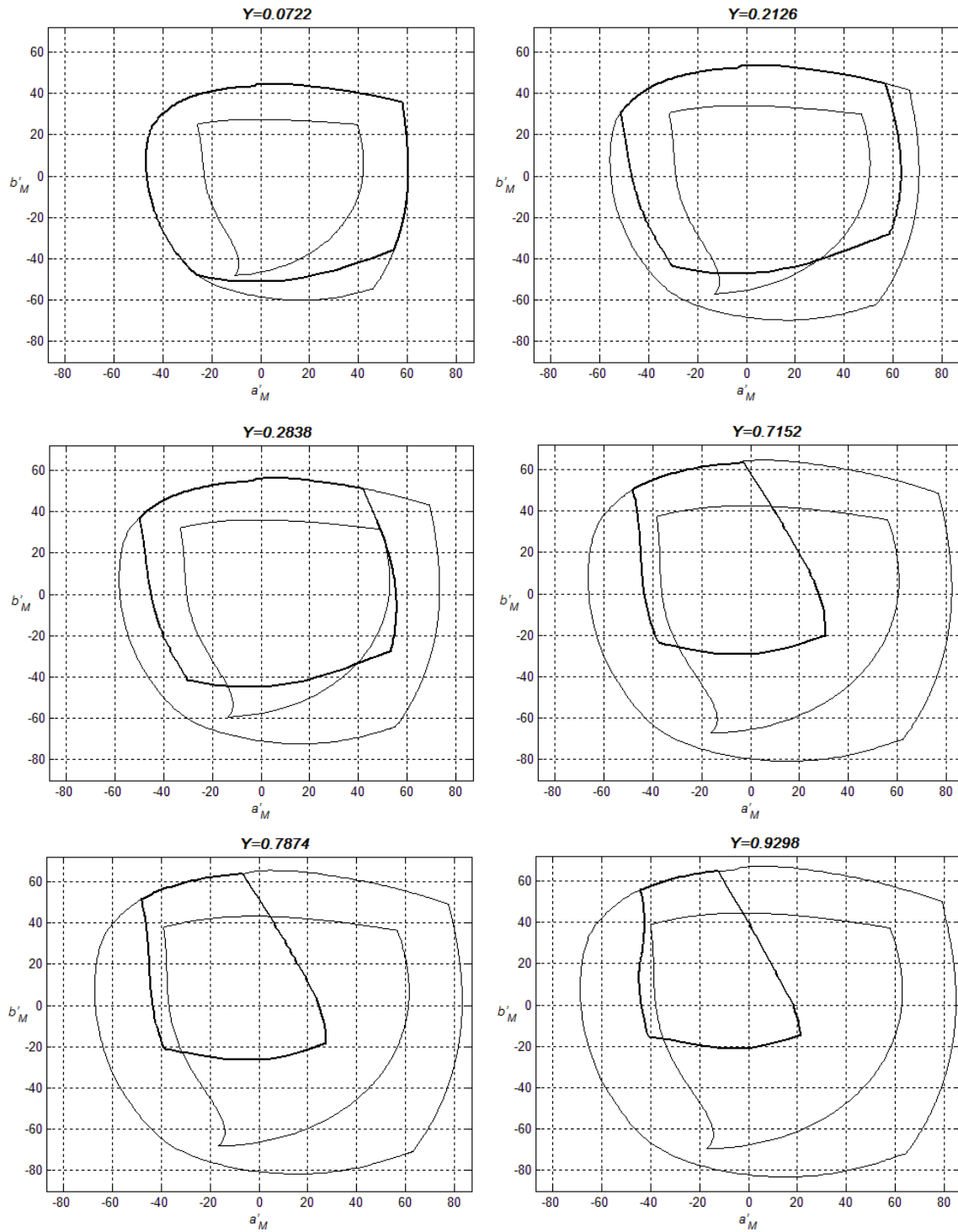


Рисунок 22 – Розширена область передаваних кольорів в координатах (a'_M, b'_M) у системі телебачення високої чіткості для яскравості адаптації $L_A = 200$ кд/м² й середнього оточення

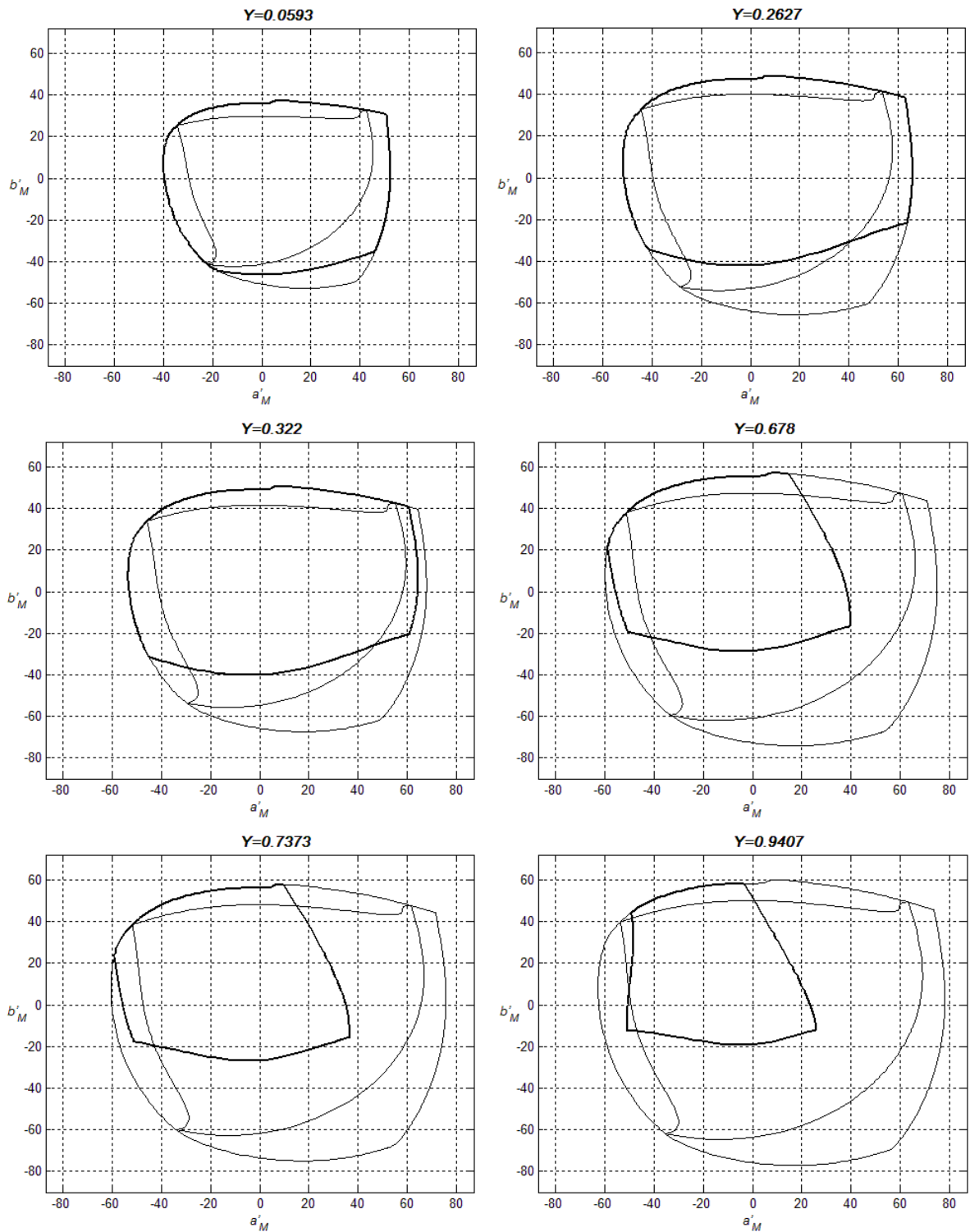


Рисунок 23 – Розширена область передаваних кольорів в координатах (a'_M, b'_M) у системі телебачення надвисокої чіткості для яскравості адаптації $L_A = 20 \text{ кд/м}^2$ й середнього оточення

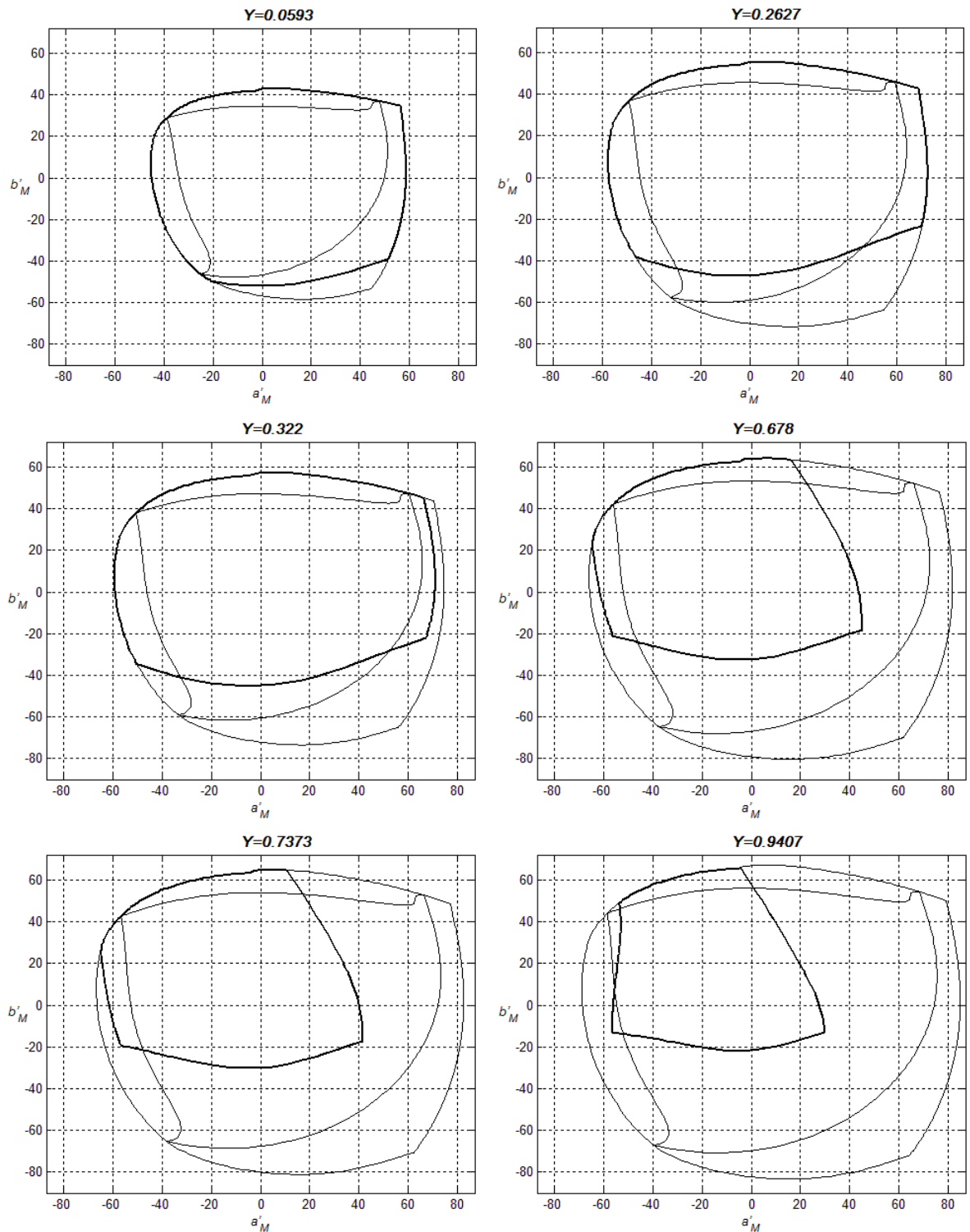


Рисунок 24 – Розширена область передаваних кольорів в координатах (a'_M, b'_M) у системі телебачення надвисокої чіткості для яскравості адаптації $L_A = 200$ кд/м² й середнього оточення

ОЦІНКИ ВІДНОСНОЇ ПЛОЩІ ОБЛАСТІ КОЛЬОРІВ, ПЕРЕДАВАНИХ
ТВ СИСТЕМАМИ У ПРОСТОРІ SAM02-UCS (a'_M, b'_M) З УРАХУВАННЯМ
УМОВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

Вплив яскравості адаптації на область передаваних кольорів для систем ТБВЧ та ТБНВЧ представлено на рисунках 21, 22 та 23, а також 27, 28 та 29 для середнього оточення. На рисунках 24, 25 та 26, а також 30, 31 та 32 представлено вплив типу оточення на область передаваних кольорів.

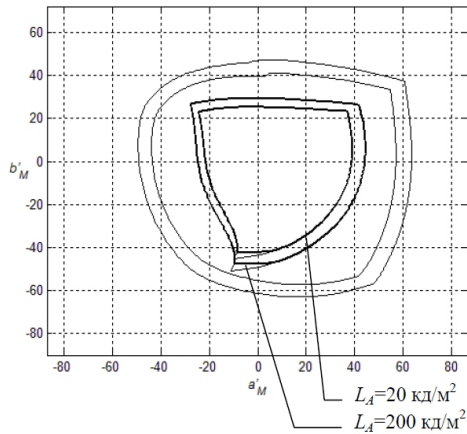


Рисунок 21 – Вплив яскравості адаптації на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,1$

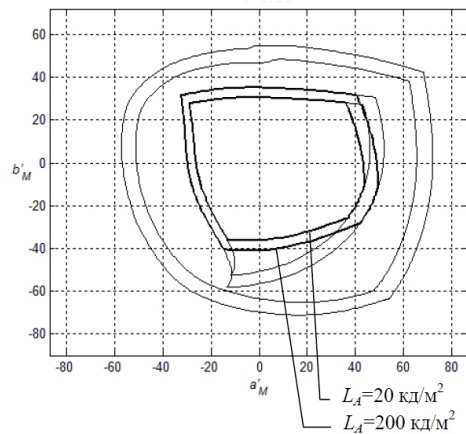


Рисунок 22 – Вплив яскравості адаптації на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,25$

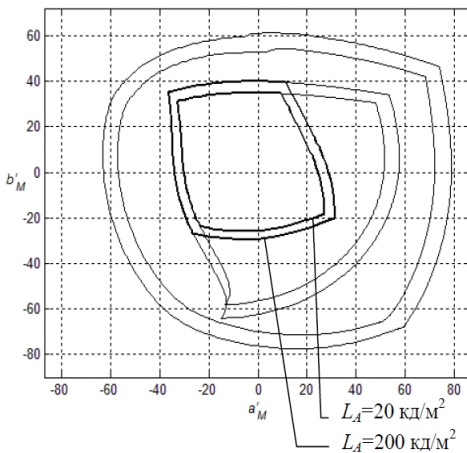


Рисунок 23 – Вплив яскравості адаптації на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,5$

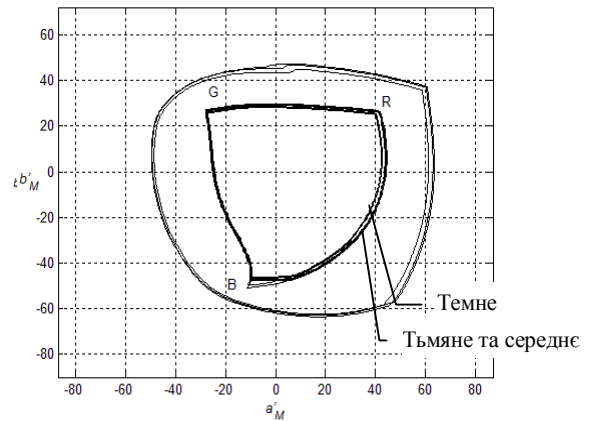


Рисунок 24 – Вплив оточення на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,1$

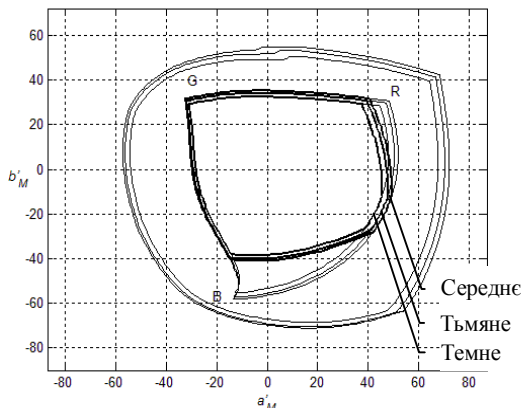


Рисунок 25 – Вплив оточення на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,25$

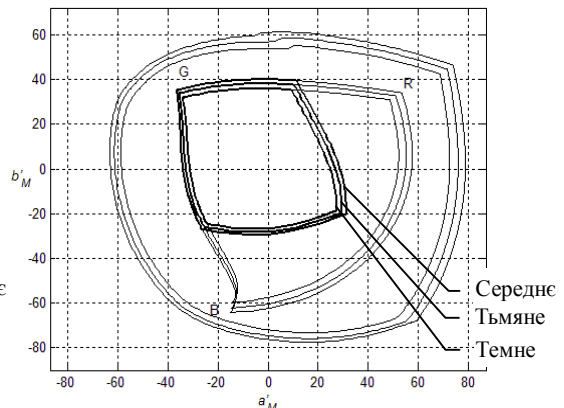


Рисунок 26 – Вплив оточення на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,5$

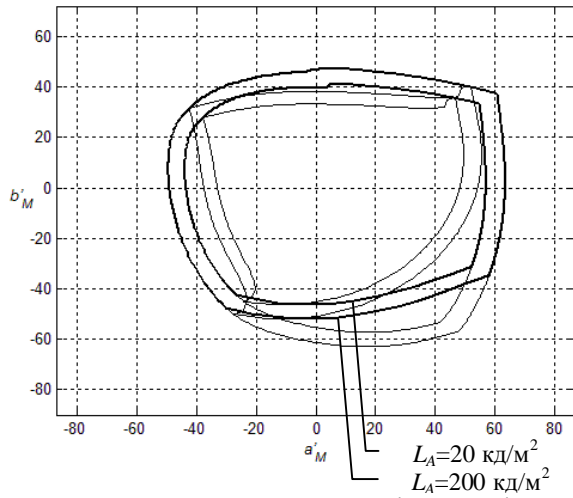


Рисунок 27 – Вплив яскравості адаптації на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,1$

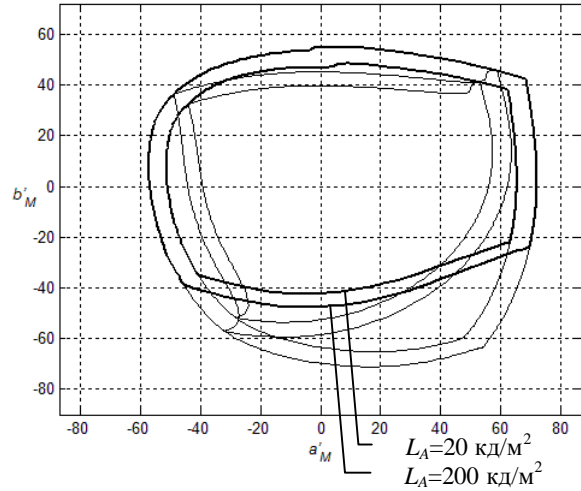


Рисунок 28 – Вплив яскравості адаптації на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,25$

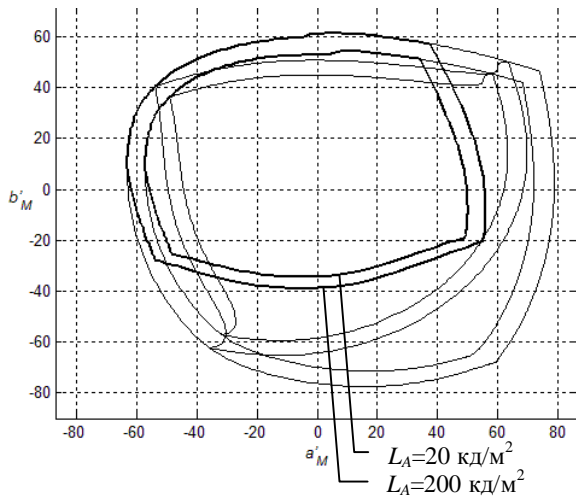


Рисунок 29 – Вплив яскравості адаптації на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для яскравості стимулу $Y = 0,5$

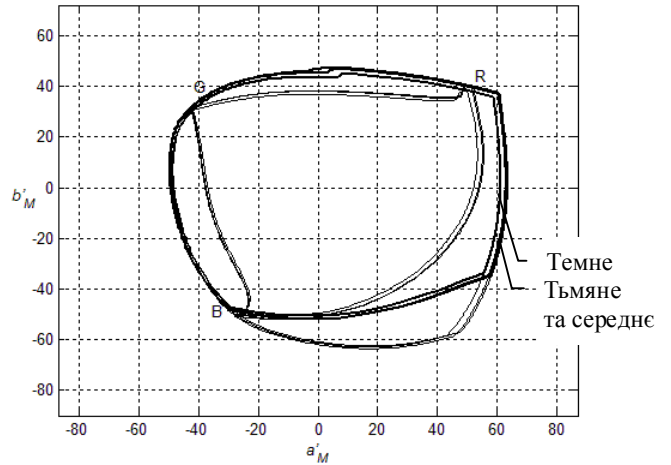


Рисунок 30 – Вплив оточення на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для $Y = 0,1$; $L_A = 200$ кд/м²

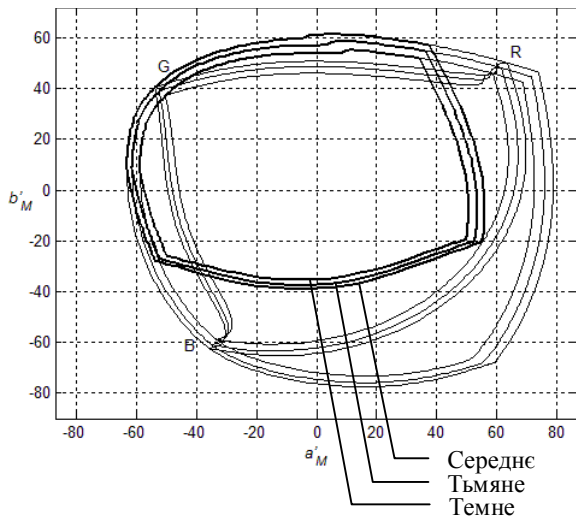


Рисунок 31 – Вплив оточення на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для $Y = 0,25$; $L_A = 200$ кд/м²

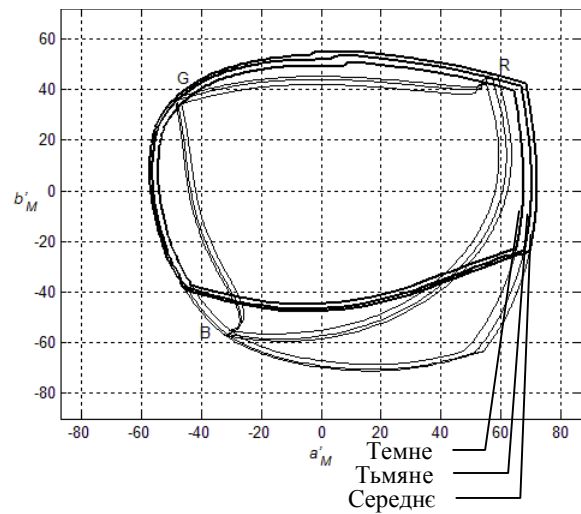


Рисунок 32 – Вплив оточення на область кольорів, передаваних у системі ТБВЧ, для $Y = 0,5$; $L_A = 200$ кд/м²

В таблицях 1–8 надано відповідні кількісні оцінки у вигляді відносного розміру області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M , причому відносний розмір означає відношення площі області передаваних кольорів до площі, яку охоплює крива спектральних та пурпурних кольорів для заданих рівнів відносної яскравості Y та яскравості адаптації.

Таблиця 1 – Відносний розмір області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M для ТВ систем, в яких рівні основних сигналів змінюються між рівнями 0 до 1, для значень яскравості адаптації $L_A = 20$ та 200 кд/м² та середнього оточення

Система телебачення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
ТБСЧ	20	0,40	0,33	0,27	0,22	0,18	0,15	0,035
	200	0,42	0,35	0,29	0,24	0,20	0,16	0,039
ТБВЧ	20	0,39	0,32	0,26	0,10	0,17	0,14	0,035
	200	0,41	0,34	0,28	0,23	0,19	0,15	0,039
ТБНВЧ	20	0,63	0,55	0,45	0,38	0,31	0,25	0,063
	200	0,65	0,56	0,47	0,39	0,33	0,27	0,068

Таблиця 2 – Відносний розмір області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M для ТВ систем, в яких рівні основних сигналів змінюються між рівнями $-0,25$ та $1,33$, для значень яскравості адаптації $L_A = 20$ та 200 кд/м² та середнього оточення

Система телебачення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
ТБСЧ	20	0,88	0,6	0,49	0,41	0,35	0,3	0,21
	200	0,89	0,61	0,51	0,43	0,36	0,31	0,23
ТБВЧ	20	0,88	0,58	0,47	0,4	0,33	0,29	0,21
	200	0,89	0,6	0,49	0,41	0,35	0,3	0,22
ТБНВЧ	20	0,9	0,77	0,66	0,57	0,5	0,43	0,31
	200	0,9	0,78	0,68	0,59	0,51	0,45	0,32

Таблиця 3 – Відносний розмір області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M для систем ТБСЧ, в яких рівні основних сигналів змінюються між рівнями 0 та 1, для значень яскравості адаптації $L_A = 20$ та 200 кд/м² та середнього оточення

Оточення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Середнє	20	0,400	0,333	0,270	0,220	0,181	0,147	0,035
	200	0,416	0,351	0,288	0,237	0,195	0,158	0,039
Тьмяне	20	0,400	0,329	0,265	0,216	0,176	0,142	0,033
	200	0,416	0,346	0,282	0,232	0,189	0,153	0,037
Темне	20	0,397	0,323	0,259	0,100	0,170	0,137	0,032
	200	0,412	0,340	0,275	0,224	0,183	0,147	0,035

Таблиця 4 – Відносний розмір області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M для систем ТБВЧ, в яких рівні основних сигналів змінюються між рівнями 0 та 1, для значень яскравості адаптації $L_A = 20$ та 200 кд/м² та середнього оточення

Оточення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Середнє	20	0,398	0,326	0,264	0,216	0,176	0,143	0,035
	200	0,413	0,343	0,281	0,232	0,19	0,154	0,039
Тьмяне	20	0,397	0,322	0,259	0,211	0,171	0,138	0,033
	200	0,413	0,338	0,276	0,226	0,185	0,149	0,037
Темне	20	0,394	0,315	0,252	0,204	0,165	0,133	0,032
	200	0,400	0,332	0,269	0,219	0,178	0,144	0,035

Таблиця 5 – Відносний розмір області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M для систем ТБНВЧ, в яких рівні основних сигналів змінюються між рівнями 0 та 1, для значень яскравості адаптації $L_A = 20$ та 200 кд/м² в залежності від оточення

Оточення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Середнє	20	0,63	0,55	0,45	0,38	0,31	0,25	0,06
	200	0,65	0,56	0,47	0,39	0,33	0,27	0,068
Тьмяне	20	0,63	0,54	0,45	0,37	0,31	0,25	0,06
	200	0,652	0,561	0,469	0,393	0,326	0,264	0,065
Темне	20	0,63	0,54	0,44	0,36	0,3	0,24	0,05
	200	0,648	0,556	0,462	0,385	0,319	0,257	0,063

Таблиця 6 – Відносний розмір області передаваних кольорів на площі координат a'_M, b'_M системами ТБНВЧ, в яких рівні основних сигналів змінюються між рівнями $-0,25$ та $1,33$, для значень яскравості адаптації $L_A = 20$ та 200 кд/м² в залежності від оточення

Оточення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Середнє	20	0,888	0,6	0,492	0,413	0,351	0,301	0,219
	200	0,895	0,617	0,512	0,433	0,369	0,317	0,236
Тьмяне	20	0,885	0,594	0,486	0,406	0,344	0,294	0,214
	200	0,892	0,611	0,504	0,425	0,361	0,31	0,226
Темне	20	0,882	0,586	0,477	0,398	0,336	0,287	0,208
	200	0,889	0,604	0,496	0,416	0,353	0,302	0,219

Таблиця 7 – Площа займана областю передаваних кольорів системою телебачення високої чіткості зі значеннями сигналу, що змінюються від $-0,25$ та $1,33$, при яскравості адаптації $L_A = 20, 200$ кд/м²

Оточення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Середнє	20	0,889	0,583	0,477	0,4	0,339	0,291	0,213
	200	0,897	0,601	0,497	0,419	0,357	0,307	0,226
Тьмяне	20	0,886	0,577	0,47	0,393	0,332	0,284	0,208
	200	0,893	0,594	0,489	0,411	0,349	0,299	0,22
Темне	20	0,883	0,569	0,462	0,384	0,325	0,277	0,202
	200	0,89	0,587	0,481	0,402	0,341	0,291	0,213

Таблиця 8 – Площа займана областю передаваних кольорів системою телебачення надвисокої чіткості зі значеннями сигналу, що змінюються від $-0,25$ та $1,33$, при яскравості адаптації

$$L_A = 20,200 \text{ кд/м}^2$$

Оточення	L_A	Y						
		0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Середнє	20	0,9	0,776	0,668	0,577	0,5	0,433	0,312
	200	0,907	0,786	0,683	0,594	0,518	0,451	0,327
Тьмяне	20	0,897	0,771	0,662	0,57	0,493	0,426	0,306
	200	0,904	0,781	0,676	0,587	0,51	0,443	0,32
Темне	20	0,895	0,766	0,655	0,562	0,485	0,418	0,299
	200	0,901	0,776	0,67	0,579	0,501	0,434	0,312

ВИСНОВКИ

1 Алгоритми визначення границь областей кольорів, відтворюваних ТВ системами різного рівня, представлені в роботі, є основою визначення будь-яких оцінок щодо цих областей, а також побудови алгоритмів оцінки наскрізних характеристик цих систем, складовою частиною яких є визначення зазначених границь.

2 Представлені границі областей відтворюваних кольорів у просторі XYZ та їх порівняльний аналіз розширюють уявлення щодо колориметричних характеристик ТВ систем різного рівня та дозволяють судити про те, наскільки розширюються технічні можливості нових ТВ застосовань. Зокрема, різниця в цьому відношенні між системами ТБСЧ та ТБВЧ мала через близькість значень координат колірності основних кольорів. При цьому область кольорів, передаваних системами ТБНВЧ, суттєво розширена відносно областей передаваних системами ТБСЧ та ТБВЧ, перш за все, в області зелених кольорів.

3 Представлені проекції границь областей відтворюваних кольорів на простір CAM02-USC є основою для судження про технічні можливості систем ТБСЧ, ТБВЧ та ТБНВЧ з урахуванням властивостей кольоросприйняття, визначених в моделі CIECAM02 та побудованого на її основі рівноконтрастному колірному просторі CAM02-USC. Представлені границі та отримані кількісні оцінки можуть служити для орієнтації під час аналізу характеристик ТВ систем з урахуванням умов спостереження зображень, в тому числі, яскравості деталей зображень, яскравості адаптації зору та оточення – середнього, тьмяного та темного.

ЛІТЕРАТУРА

1. CIE 159:2004 Technical Report. A Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM02
2. M. Ronnier Luo, Guihua Cui, Changjun Li Uniform Colour Spaces based on CIECAM02 Colour Appearance Model – Colour Research and Application. – Volume 31. – Issue 4. – May 2005
3. Гофайзен О.В., Характеристики кольоросприйняття ТВ зображень: адаптивні властивості / Гофайзен О.В., Пилявський В.В. // Цифрові технології. – 2011. – № 10. – С. 43–66