

## ОСНОВН КОЛЬОРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

### 1 МЕТА

Вивчення фізичних принципів, що лежать в основі побудови систем кольорового телебачення.

### 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Для передавання кольорових зображень на відстань необхідно передавати не тільки дані про яскравість зображення, що має місце в чорно-білому телебаченні, але й додаткову інформацію про колір. У такій спосіб для побудови систем кольорового телебачення необхідно, в першу чергу, з'ясувати властивості кольорових зображень, характерні та параметри кольору, а також дослідити механізми сприйняття кольору глядачем.

*Не слід забувати, що основним завданням цих досліджень є моделювання процесу сприйняття кольорових зображень глядачем, тобто створення такого опису цього сприйняття, яке можна було б реалізувати за допомогою електронних пристроїв.*

Очевидно, що в основі кольорових телевізійних систем лежать поняття про колір:

**Колір** – суб'єктивна характеристика електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль, що лежать у діапазоні 380 – 780 нм.

**Колориметрія** – наука про вимірювання і кількісне вимірювання кольору.

Суб'єктивне сприйняття кольору глядачем називається відчуттям кольору, і, виходячи із зазначеного визначення, являє собою суб'єктивне сприйняття об'єктивних параметрів випромінювання. У якості найбільш повної кількісної характеристики відданого випромінювання можна використовувати частотний розподіл енергії цього випромінювання або його спектр. У такій спосіб колір можна характеризувати не тільки якісно (суб'єктивним описом на основі зорових відчуттів), але й кількісно (об'єктивно вимірюваними величинами), що складає передумову для створення систем кольорового телебачення. У зв'язку з тим, що спектр випромінювання містить у собі одночасно інформацію і про колір, і про яскравість зображення, в телебаченні прийнято характеризувати колірні властивості зображення кількома власними параметрами. При цьому параметри, що відносяться до сприйняття кольорів, прийнято називати *колірністю*.

#### 2.1 Об'єктивні та суб'єктивні параметри кольору

Як було зазначено вище, відоме випромінювання характеризується яскравістю і кольоровістю. З фотометрії відомо, що **яскравість** – це

енергетична величина, яка дорівнює відношенню сили світла до площі джерела випромінювання:

$$B = \frac{I_0}{S}, \quad [B] = \left[ \frac{\text{кД}}{\text{м}^2} \right], \quad (4.1)$$

де  $I_0$  – сила світла в напрямку нормалі до випромінюючої поверхні;  
 $S$  – площа випромінюючої поверхні.

У тому випадку, якщо спектр випромінювання рівномірно розподілений у видимому діапазоні, у глядача формується відчуття білого кольору. Формування кольорів, що сприймаються відмінними від білого, обумовлюється наявністю нерівномірного розподілу енергії в спектрі випромінювання. При цьому розходження між спектром випромінювання довільного кольору і спектром білого кольору має назву *колірності*. Іншими словами під **колірністю** варто розуміти сукупність параметрів випромінювання, що не залежать від сили світла. Очевидно, що ці параметри повинні характеризувати частотну структуру спектра випромінювання. У телебаченні прийнято характеризувати кольоровість двома параметрами: домінуючою довжиною хвилі або *домінантою* і *чистотою кольору*.

**Домінантою** називається довжина хвилі  $\lambda_d$ , що переважає в спектрі даного випромінювання. Саме наявність ділянок з підвищеною енергією в спектрі випромінювання спричиняє той або інший колір цього випромінювання (забарвленість).

Під **чистотою кольору** варто розуміти відношення яскравості, створюваної випромінюванням з домінуючою довжиною хвилі до усередненої яскравості всього зображення:

$$p = \frac{B_\lambda}{B} = \frac{B_\lambda}{B_\lambda + B_E}, \quad (4.2)$$

де  $B_\lambda$  – яскравість випромінювання на домінуючій довжині хвилі;

$B$  – загальна яскравість випромінювання;

$B_E$  – яскравість випромінювання з рівноенергетичним спектром (яскравість білого);

Зазначені вище параметри мають назву *об'єктивних* і дозволяють найбільш повно кількісно охарактеризувати випромінювання. Очевидно, що кожен об'єктивний параметр може трактуватися глядачем на підставі власних відчуттів – такі параметри мають назву *суб'єктивних* (мають суб'єктивний еквівалент) і, поряд з переліченими вище об'єктивними, формують повну систему опису кольору.

До суб'єктивних параметрів належать *світлота*, *колірний тон* і *насиченість*.

**Світлота** є якісною характеристикою кольору і може трактуватися як різниця в сприйнятті яскравості рівноенергетичного і довільного випромінювань. Іншими словами, під світлотою розуміється відмінність у відчуттях при сприйнятті яскравості довільного кольору стосовно відчуттів, що виникають при сприйнятті яскравості білого кольору.

**Колірним тоном** є характеристика, що дозволяє відрізнити один колір від іншого й дати кожному типу випромінювання (кольору) свою індивідуальну назву.

**Насиченістю** кольору прийнято називати ступінь «розбавлення» того або іншого кольору білим.

Взаємозв'язок між об'єктивними й суб'єктивними параметрами поданий в табл. 4.1:

Таблиця 4.1 – Суб'єктивні та об'єктивні параметри кольору

Суб'єктивний параметр	Об'єктивний параметр	Позначення
Світлота	Яскравість	$B$
Колірний тон	Доміанита	$\lambda_d$
Насиченість	Чистота кольору	$p$

## 2.2 Фізіологія сприйняття кольору

Зорова система людини, з технічної точки зору, є смуговим фільтром, смуга пропускання якого відповідає діапазону видимого випромінювання. Чутливість ока до випромінювання з різними довжинами хвиль неоднакова, що відповідає нерівномірній АЧХ еквівалентного фільтра. Залежність чутливості зорової системи від довжини хвилі має назву *кривої видності* та показана на рис. 4.1 (крива 1). Як видно з аналізу цієї залежності зорова система людини найбільш чутлива до синьо-зеленої частини спектра.

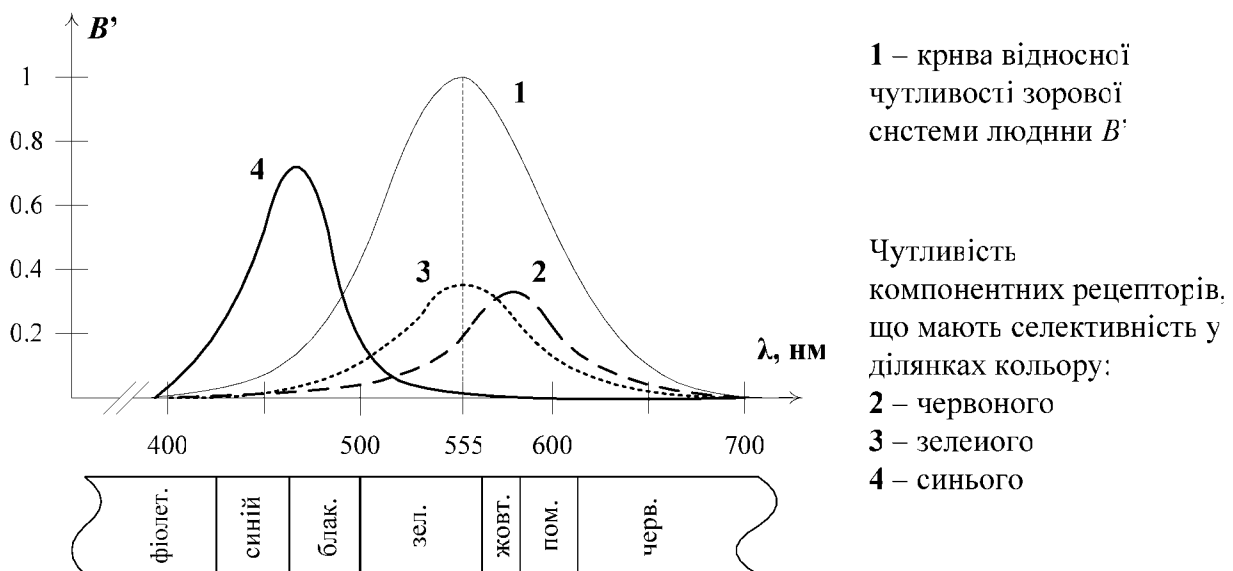


Рисунок 4.1 – Криві відності (спектральної чутливості) зорової системи людини

Відповідно до теорії, запропонованої Ломоносовим і розвинутої Гельмгольцем, зорова система людини містить три типи рецепторів, що мають різну чутливість до різних ділянок спектра випромінювання (криві 2 – 4 на рис.

4.1). Основним положенням цієї так званої **трикомпонентної теорії сприйняття** є таке твердження:

*будь-який колір може бути отриманий комбінацією трьох кольорів, вибраних так, що жоден із цих кольорів не може бути отриманий комбінацією двох інших<sup>2</sup>.*

Три кольори, що задовольняють зазначеній вище умові, мають назву *первинних* або *основних*.

Не дивлячись на численні експериментальні підтвердження трикомпонентної теорії зору, її іовне формальне доведення відсутнє<sup>3</sup>.

## 2.3 Способи формування кольорів

У зв'язку з тим, що відчуття кольору вклікається виіромінюванням з нерівномірним спектром, досить зробити фільтрацію рівномірного виіромінювання, що спричинить формування того або іншого кольору. Такий метод формування кольору називається *субтрактивним* і широко розповсюджений у живописі. При утворенні кольору субтрактивним методом з рівномірного виіромінювання (білого кольору) віднімаються деякі складові, при цьому утворюється новий довільний колір. Слід зазначити, що отримання певного кольору зазначеним методом можливе тільки за його наявності у вихідному виіромінюванні. Крім того, яскравість утвореного кольору завжди буде нижче яскравості вихідного кольору. Через це, а також деякі інші причини субтрактивний метод не знайшов поширення в телебаченні.

Експериментально встановлено, що око є інтегральним приймачем виіромінювання, тому не здатне розрізнити в складному спектрі виіромінювання його окремі складові. Дана особливість сприйняття разом із трикомпонентною теорією зору дозволяє заіміонувати способи формування довільного кольору, заснований на додаванні виіромінювань основних кольорів, що має назву *адитивного*. У свою чергу існує три типи адитивного способу формування кольору: *локальний*, *просторовий*, і *біокулярний*.

**Локальний** спосіб формування кольору заснований на дії джерел основних кольорів на сильну ділянку виступу, в якій і утвориться довільний колір (рис. 4.2, а). У випадку **просторового** формування кольору джерела основних кольорів діють на суміжні області виступу, розміщені таким чином, щоб глядач не розрізняв ці області (рис. 4.2, б). В телебаченні використовується саме адитивний просторовий спосіб формування кольору. При **біокулярному** способі відчуття кольору формується шляхом подразнення лівого й правого ока глядача різними за своїм спектральним складом виіромінюваннями (рис. 4.2, в).

---

<sup>2</sup> Слід зазначити, що за допомогою трьох основних кольорів існує можливість отримання великої, але не нескінченної кількості кольорів. Збільшення кількості основних кольорів дозволяє розширити діапазон відтворених кольорів.

<sup>3</sup> Звідси очевидна деяка умовність в уявленні людини про сприйняття кольору і його характеристик, і стають зрозумілими деякі неточності й обмеження, що мають місце в системах кольорового телебачення.

Характерно, що яскравість сформованого за допомогою адитивного способу кольору дорівнює сумі яскравостей основних кольорів, що його формують.

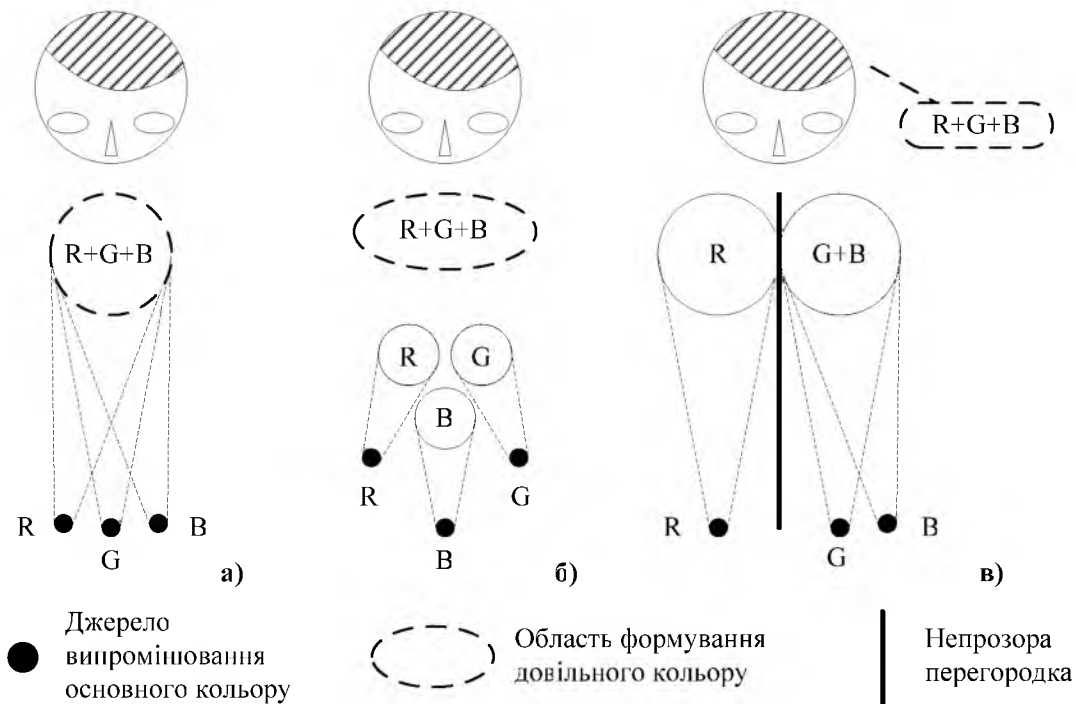


Рисунок 4.2 – типи адитивного способу формування кольору:  
 а) локальний; б) просторовий; в) бінокулярний

Слід зазначити, що відчуття кольору можна формувати як при одночасному подразненні зорової системи сукупністю випромінювань основних кольорів, так і при послідовному впливі цих випромінювань. Перший метод називається паралельним (одночасним), другий – послідовним. При цьому можливість існування одночасного методу обумовлена інтегруючою властивістю зору, а існування послідовного методу спирається на інерційність зорової системи.

## 2.4 Математичне і геометричне визначення кольору

Система з трьох основних кольорів є математичним лінійно незалежним базисом або системою координат, у якій можна задати довільний колір. Іншими словами довільний колір може бути виражений через певні кількості основних кольорів. Відповідно до закону Грассмана будь-який довільний колір  $D$  може бути виражений рівнянням:

$$d' \cdot D = a' \cdot A + b' \cdot B + c' \cdot C, \quad (4.3)$$

де  $A, B, C$  – позначення вибраних основних кольорів;

$d'$  – кількість (яскравість) довільного кольору, утвореного шляхом змішування основних кольорів;

$a', b', c'$  – кількості (яскравості) основних кольорів у вибраній системі.

Коефіцієнти  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ , що мають також назву модулів основних кольорів, визначають яскравість результуючого кольору  $d'$ :

$$d' = a' + b' + c'. \quad (4.4)$$

Тільки колірність довільного кольору (множник  $D$  у виразі (4.3), що носить також назву *одиночного* кольору) визначається через відносні компоненти, що мають назву триколірних компонентів:

$$a = \frac{a'}{d'}, \quad b = \frac{b'}{d'}, \quad c = \frac{c'}{d'}. \quad (4.5)$$

Триколірні коефіцієнти показують, у яких співвідношеннях варто змішати основні кольори  $A$ ,  $B$ ,  $C$  для отримання заданої колірності довільного кольору  $D$ :

$$D = a \cdot A + b \cdot B + c \cdot C, \quad \text{де } a + b + c = 1. \quad (4.6)$$

Рівняння (4.6) показують, що будь-який колір однозначно визначається коефіцієнтами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . При цьому досить мати лише два з трьох коефіцієнтів.

Наявність в основному колориметричному рівнянні (4.1) трьох коефіцієнтів  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ , що однозначно визначають колір, дозволяє розглядати його як вектор у тривимірному просторі, що виходить із початку координат. При цьому осями координат у такій системі, очевидно, є вектори основних кольорів  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$ , а початок координат відповідає чорному кольору (рис. 4.3, а).

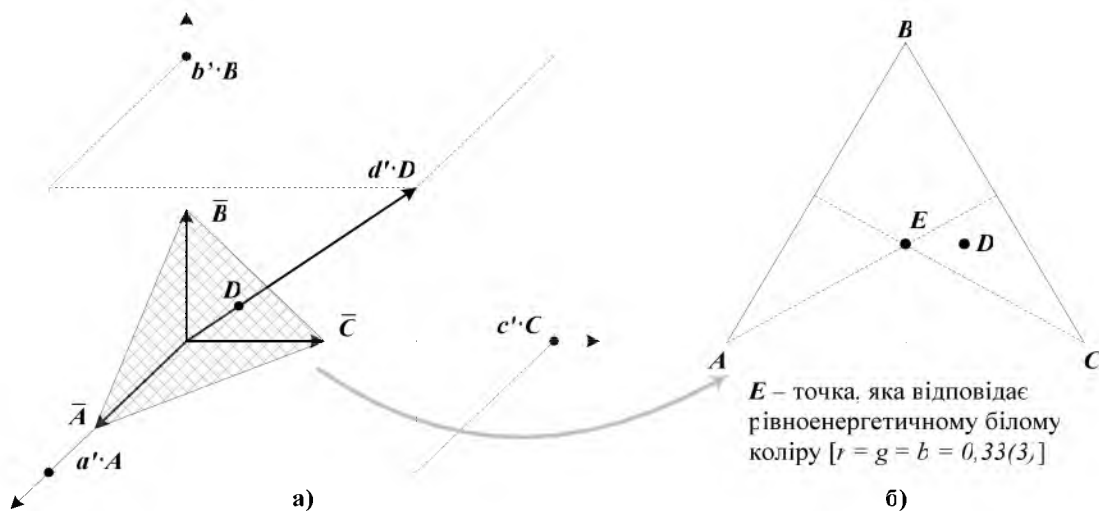


Рисунок 4.3 – Геометричне подання кольору:

а) в об'ємному просторі у вигляді вектора; б) у площині у вигляді точки

У цьому випадку довжина вектора, що визначається множителем  $d'$  для довільного кольору показує яскравість випромінювання даного кольору, а напрямок вектора  $\bar{D}$  показує його колірність. Якщо в тривимірній системі координат вибрати кількості основних кольорів  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  рівними одиниці й через отримані точки побудувати січну площину, можна отримати двовимірне відображення колірного простору (трикутник  $ABC$  на рис. 4.3, б), що називається *одиночною площиною* або *колірним трикутником*. У цьому випадку вектор довільного кольору буде перетинати площину  $ABC$  у певній точці, що

однозначно характеризує колірність. Дійсно, визначити координати кольору, поданого у вигляді точки на площині можна, знаючи лише два триколірних коефіцієнти із трьох, що підтверджує визначення колірності, як двовимірної величини (див. пп. 2.1).

## 2.5 Системи опису кольору RGB і XYZ

Для того, щоб визначити границі колірного простору, яке необхідно описати в колориметричній системі, тобто встановити сукупність кольорів, призначених для аналізу і синтезу, користуються геометричним визначенням кольору і додатковими побудовами. У тривимірній системі координат у вигляді векторів відкладаються *монохроматичні* або *спектральні* кольори в межах видимого діапазону, а саме з довжинами хвиль від 400 до 700 нм<sup>4</sup>. При такій побудові утвориться конічна поверхня з вершиною в точці, яка відповідає початку координат (чорному кольору), та має назву *конуса кольорів*<sup>5</sup> (див. рис. 4.4, а). Очевидно, що перетин конуса кольорів одиничною поверхнею призведе до утворення на ній кривої, кожна точка якої відповідає кольоровості спектрального кольору і зветься *локусом*. Іншими словами *локус* – це геометричне місце точок, що являють собою координати чистих спектральних кольорів (див. рис. 4.4, б). Пунктиром показана область кольорів, що виходять за межі видимого діапазону. Слід зазначити, що будь-який колір видимого діапазону буде лежати або на гранці локусу, якщо він є спектрально чистим, або усередині локусу, якщо являє собою суміш. Таким чином, локус характеризує всю видиму сукупність кольорів, а кольори, що лежать за межами локусу, в дійсності не існують.

Експериментально доведено, що найбільше число варіацій кольорів можна отримати, використовуючи в якості основних реально існуючі червоний, зелений і синій кольори<sup>6</sup>. Крім цього використання як основних кольорів червоного, зеленого й синього мало й чисто практичне значення: ці кольори були фізично реалізованими, що полегшувало експерименти.

Система синтезу довільного кольору, що використовує як основні червоний (Red), зелений (Green) і синій (Blue) кольори, має назву система RGB, а експериментально вибрані довжини хвиль випромінювань цих кольорів складають відповідно  $\lambda_R = 700$  нм,  $\lambda_G = 546,1$  нм,  $\lambda_B = 435,8$  нм. Основне колориметричне рівняння (4.3) для системи RGB набуде вигляду:

$$d' \cdot D = r' \cdot R + g' \cdot G + b' \cdot B, \quad (4.7)$$

де  $R, G, B$  – позначення основних червоного, зеленого й синього кольорів;  
 $r', g', b'$  – координати кольору або кількості (яскравості) основних кольорів.

<sup>4</sup> Монохроматичним називається таке випромінювання, енергія якого зосереджена на єдиній частоті.

<sup>5</sup> Слід зазначити, що просторові поверхні, що визначають сукупність кольорів часто називають *колірними тілами*.

<sup>6</sup> Слід зазначити, що під червоним, зеленим, і синім варто розуміти скоріше області кольорів, а не будь-які певні кольори.

Напрямок векторів основних кольорів  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$ ,  $\bar{B}$  у просторі вибрано таким, щоб колірний трикутник RGB виявився рівностороннім з довжиною сторін, що дорівнює одиниці (заштрихована область на рис. 4.4, б). Експериментально встановлено, що не кожен колір може бути отриманий змішуванням вибраних основних кольорів, іншими словами існує цілий ряд кольорів, які неможливо описати координатами системи RGB.

Дійсно, згідно з рис. 4.4, певна область локусу перебуває за межами трикутника RGB. Іншими словами, для спектральних кольорів, що лежать поза трикутником RGB коефіцієнти  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  можуть мати негативні значення. Крім зазначених вище недоліків, а саме неможливості описати всі видимі кольори і негативність колірних модулів, система RGB також вимагає наявності всіх трьох компонентів  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  для визначення яскравості утвореного кольору.

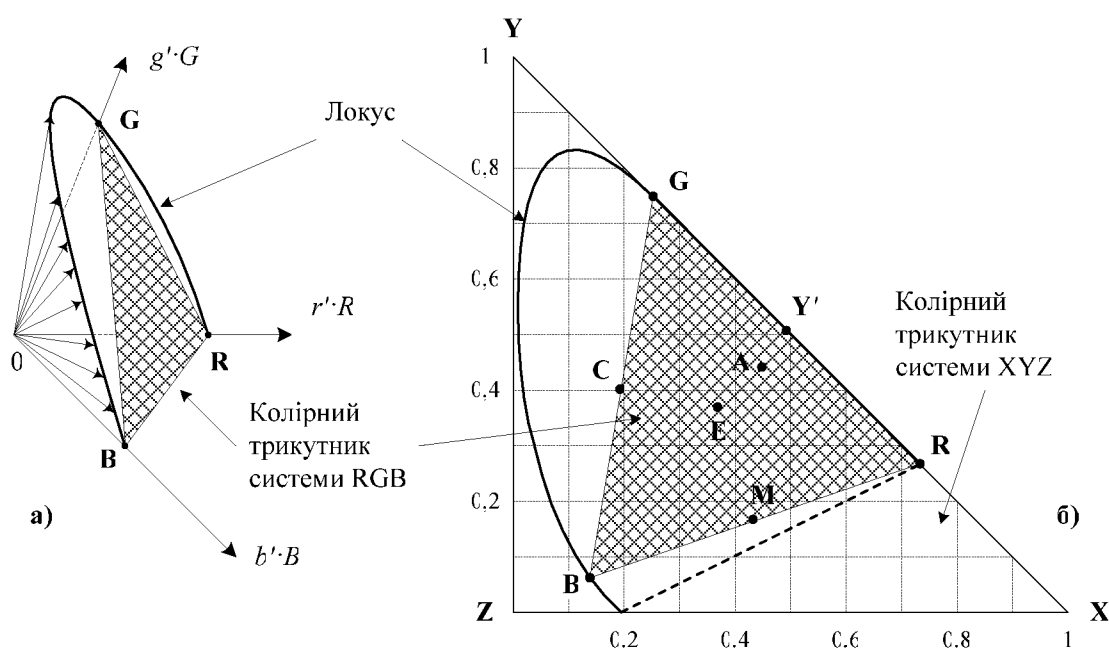


Рисунок 4.4 – Колірні простори різних систем:

а) конус кольорів; б) колірні трикутники систем RGB й XYZ

Наприклад, деяка точка А, розміщена усередині трикутника (рис. 4.4, б), являє собою характеристику кольору і визначається трьома координатами. Розміщені на стороні RB точки характеризують кольори, що містять основні синій і червоний кольори, але не мають у своєму складі зеленого. Розміщена на середині сторони RB точка М відповідає пурпурному (magenta), тобто додатковому до зеленого кольору. Додатковими кольорами називають два кольори, змішування яких дає нейтральний білий.

Так само розміщена на середині сторони GR точка Y', відповідає жовтому (yellow) кольору, додатковому до синього, який перебуває на протилежній вершині; середня на стороні BG точка С (cyan) характеризує блакитний колір (додатковий до червоного, що перебуває на протилежній вершині). Точка перетинання висот трикутника відповідає кольору, що складається з рівних часток червоного, синього й зеленого, тобто білому кольору (точка Е на рис. 4.4).



З метою усунення недоліків, властивих системі RGB, розроблена система XYZ<sup>7</sup>, призначена для теоретичного використання при колориметричних розрахунках. Як основні кольори в цій системі вибрані реально неіснуючі кольори X, Y, Z, вектори яких розміщені поза конусом видимих кольорів і утворюють прямокутну систему координат. Колірний трикутник XYZ є рівнобедреним, і дозволяє визначити координати будь-якого видимого кольору, який отримується шляхом змішування основних кольорів системи XYZ. При цьому основне колориметричне рівняння для системи XYZ набуде вигляду:

$$d \cdot D = x' \cdot X + y' \cdot Y + z' \cdot Z. \quad (4.8)$$

У виразі (4.8) коефіцієнти  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ , що визначають координати кольору завжди позитивні.

## 2.7 Колориметричне і радіотехнічне кодування

Відомості про механізм фізіологічного сприйняття кольору і наявність формального (математичного) опису його параметрів і властивостей створюють передумови для передавання кольорових зображень. Грунтуючись на трикомпонентній теорії колірної сприйнятності можна зробити *аналіз* і *синтез* будь-якого кольорового зображення. Під *аналізом* варто розуміти оцінку кількісного складу основних кольорів у відбиваному від кольорового об'єкта світловому потоці. *Синтезом* називається процес формування світлового потоку з основних кольорів, подібного відбиваному від аналізованого кольорового об'єкта. Ступінь подібності аналізованого і синтезованого кольорових зображень визначає точність передавання інформації про колір даною системою і визначає якість кольорового зображення<sup>8</sup>. Слід зазначити, що досягнення повної ідентичності між переданими і відтвореними кольоровими телевізійними зображеннями на сьогоднішній день неможливо. Як було сказано вище (див. пп. 2.5), застосовувана система опису кольору RGB не дозволяє відтворити всю сукупність видимих кольорів. Крім цього жодній відтворюючій пристрій не може відтворити весь діапазон абсолютних яскравостей переданих об'єктів. Однак, як показали експерименти, для задовільної якості прийнятого зображення досить зберігати відносний розподіл яскравості і кольоровості переданого об'єкта замість передавання абсолютних значень яскравості його ділянок. Виконання умов однакових колірностей і постійності співвідношення яскравостей дозволяє говорити про колориметричну тотожність аналізованого і синтезованого зображень.

Через те що системи чорно-білого мовленнєвого телебачення застосовувалися раніше систем кольорового телебачення, до останніх стали ставити вимоги *прямої* і *зворотної сумісності*. Під *прямою сумісністю* варто розуміти можливість приймання програм кольорового телебачення на чорно-

---

<sup>7</sup> Існує система рівнянь, що зв'язує між собою координати кольору в системі RGB та XYZ.

<sup>8</sup> Поняття «якість» у телебаченні має більш широкий зміст, і у даному контексті мова йде лише про ступінь подібності відчуттів, що виникають при розгляданні кольору вихідного об'єкта та його синтезованого аналога.

білі телевізійні приймачі без втрати якості<sup>9</sup>. **Зворотна сумісність** означає можливість приймання чорно-білих програм кольоровими телевізійними приймачами. З метою дотримання вимог сумісності необхідно здійснити роздільне передавання і приймання інформації про яскравість і колірність зображення. Іншими словами, варто формувати окремі сигнали яскравості та колірності, обробляючи їх відповідним чином залежно від типу приймального пристрою.

Сукупність операцій з формування окремих сигналів яскравості і колірності називається **колориметричним кодуванням**, завдання якого полягає в забезпеченні сумісності чорно-білої та кольорової систем телебачення. Очевидно, що вимоги сумісності створюють певні технічні вимоги до проектованої системи кольорового телебачення, а саме:

1. Однаковий із системою чорно-білого телебачення стандарт розкладання (рівне число рядків, однакові частоти кадрової і рядкової розгортки).

2. Рівна смуга частот для кольорової та чорно-білої систем, що досягається передаванням інформації про кольоровість в існуючих вільних ділянках спектра сигналу чорно-білої системи.

3. Відсутність взаємних завад між сигналами яскравості, кольоровості та звукового супроводу.

Система, що задовольняє умовам і вимогам сумісності, називається **сумісною системою** кольорового телебачення (рис. 4.5).

Для досягнення мети формування окремих сигналів яскравості і колірності розглядають світловий потік, відбитий від об'єкта передачі, як сукупність трьох потоків основних кольорів з різною інтенсивністю. Для формування сигналів, що відповідають основним кольорам, варто зробити смугову фільтрацію випромінювання, розділивши його на три складові<sup>10</sup>. Сигнали  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ , отримані на виході перетворювачів «світло-сигнал», мають назву **кольороподільних**, а рівні цих сигналів пропорційні інтенсивностям компонентних світлових потоків. Слід зазначити, що для правильного передавання кольору необхідно забезпечити пропорційність між цими сигналами і координатами кольору у вибраній системі опису кольору.

Для системи RGB величини кольороподільних сигналів повинні задовольняти рівнянням:

$$E_R = k_1 \cdot r', E_G = k_2 \cdot g', E_B = k_3 \cdot b', \quad (4.9)$$

де  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  – кольороподільні сигнали відповідно червоного, зеленого і синього основних кольорів;

$k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – постійні коефіцієнти пропорційності;

$r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  – координати (модулі) основних кольорів у системі RGB.

<sup>9</sup> Природно, що мова йде про приймання кольорових програм у чорно-білому виді.

<sup>10</sup> Спектральне розділення світлового потоку слід здійснювати так, щоб у випадку дії рівномірного випромінювання формувалося три рівних за інтенсивністю потоки.

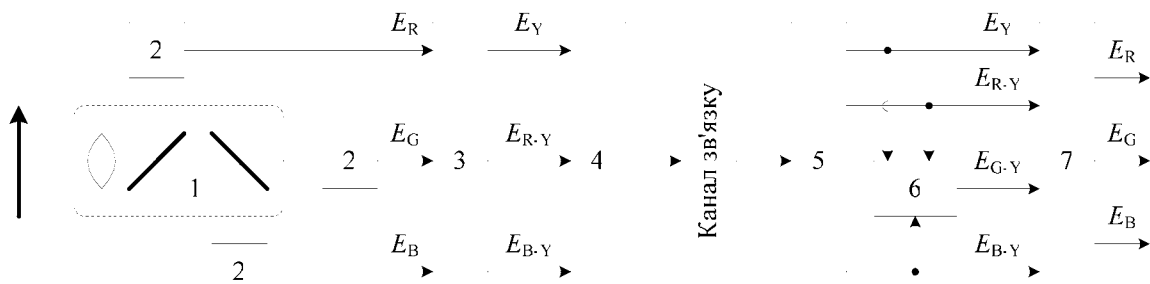


Рисунок 4.5 – Узагальнена структурна схема сумісної системи кольорового телебачення:

1 – світлоподільна система; 2 – перетворювач «світло-сигнал»; 3 – матриця колориметричного кодування; 4 – модулятор і передавач; 5 – приймач і демодулятор; 6 – матриця відновлення сигналу  $E_{G-Y}$ ; 7 – матриця відновлення кольороподільних сигналів

Очевидно, що крім сигналів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ , що повністю описують колірність, необхідно передавати інформацію про яскравість. Для отримання сигналу, пропорційного яскравості об'єкта, досить здійснити перетворення комплексного світлового потоку без фільтрації. Однак такий метод вимагає використання окремого додаткового перетворювача «світло-сигнал», що здорожчує і ускладнює систему. На практиці використовується спосіб отримання сигналу яскравості з наявних кольороподільних сигналів. Сигнал яскравості  $E_Y$  утворюється шляхом додавання сигналів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  у певному, визначеному спектральною чутливістю зору співвідношенні, і вираз для його визначення можна отримати з основного колориметричного рівняння (4.7):

$$E_Y = r' \cdot E_R + g' \cdot E_G + b' \cdot E_B, \quad (4.10)$$

де  $E_Y$  – сигнал яскравості;

$E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  – сигнали основних кольорів (кольороподільні сигнали);

$r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  – відносні яскравості основних кольорів.

В існуючих мовленнєвих системах кольорового телебачення сигнал яскравості прийнято визначати виразом:

$$E_Y = 0,299 \cdot E_R + 0,587 \cdot E_G + 0,114 \cdot E_B. \quad (4.11)$$

Очевидно, що необхідність передавання кольороподільних сигналів разом із сигналом яскравості призводить до розширення смуги частот, яку займає телевізійний сигнал. Однак, відповідно до виразів (4.7) і (4.10) у кольороподільних сигналах міститься інформація про яскравість, що є надлишковою. Для усунення цієї надлишкової яскравісної інформації з кольороподільних сигналів  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  варто відняти сигнал яскравості  $E_Y$ , при цьому утвориться три сигнали колірності, називані **кольорорізницевими**:

$$E_{R-Y} = E_R - E_Y, \quad E_{G-Y} = E_G - E_Y, \quad E_{B-Y} = E_B - E_Y. \quad (4.12)$$

Однак каналом зв'язку досить передати два із трьох кольорорізницевих сигналів, а третій відновити на приймальній стороні за відомим сигналом яскравості відповідно до виразу (4.10). Дослідним шляхом встановлено, що найбільшому зниженню необхідної смуги частот сприяє виключення сигналу  $E_{G-Y}$ . Таким чином, варто передавати яскравісний сигнал  $E_Y$  і пару кольорорізницевих  $E_{R-Y}$ ,  $E_{B-Y}$ , що є достатнім для відновлення на приймальній

стороні необхідного сигналу  $E_{G-Y}$ . Сукупність операцій з формування кольорорізницевих сигналів називається **радіотехнічним кодуванням**, сутність якого складається в скороченні надмірності, властивій кольороподільним сигналам, і зменшенні смуги частот, яку займає телевізійний сигнал<sup>11</sup>.

На останок необхідно відзначити, що існуючі системи кольорового телебачення відрізняються лише способом розміщення кольорорізницевих сигналів у спектрі повного телевізійного сигналу, ґрунтуючись на узагальненій схемі сумісної системи телебачення.

### **3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

3.1 Назвіть визначення кольору і вкажіть його об'єктивні й суб'єктивні параметри.

3.2 Вкажіть назви та визначення об'єктивних параметрів кольору.

3.3 Вкажіть назви та визначення суб'єктивних параметрів кольору.

3.4 Назвіть основні положення теорії колірного зору.

3.5 Укажіть способи формування кольору.

3.6 Назвіть і опишіть типи адитивного способу формування кольору.

3.7 Наведіть основне колориметричне рівняння; поясніть значення складових.

3.8 Поясніть опис кольору у тривимірному просторі і на площині.

3.9 Вкажіть переваги і недоліки колориметричної системи RGB.

3.10 Вкажіть переваги і недоліки колориметричної системи XYZ.

3.11 Назвіть сутність і поясніть процес колориметричного кодування.

3.12 Наведіть вираз для визначення сигналу яскравості і поясніть його складові.

3.13 Назвіть основні етапи радіотехнічного кодування.

3.14 Наведіть і поясніть структурну схему сумісної системи кольорового телебачення.

### **4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ**

4.1 Користуючись даним методичним посібником і рекомендованою літературою, вивчити ключові положення.

4.2 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

### **5 РОБОТА В АУДИТОРІЇ**

5.1 Опрацювати приклади розв'язання задач з визначення колірному тону та насиченості кольору за заданими коефіцієнтами  $r$ ,  $g$ ,  $b$ .

---

<sup>11</sup> Радіотехнічне кодування дозволяє системі кольорового телебачення зберегти рівну із системою чорно-білого телебачення ширину смуги частот.

**Приклад.**

Щоб знайти на трикутнику точку, що відповідає заданому кольору, співвідношення основних кольорів у якому відомо, потрібно користуватися таким правилом. На кожній зі сторін трикутника, що відповідають шкалам  $r$ ,  $g$  й  $b$  (рис. 4.6), відраховують задану координату. Потім проводять прямі, паралельні сторонам, які є протилежними вершинам основних кольорів.

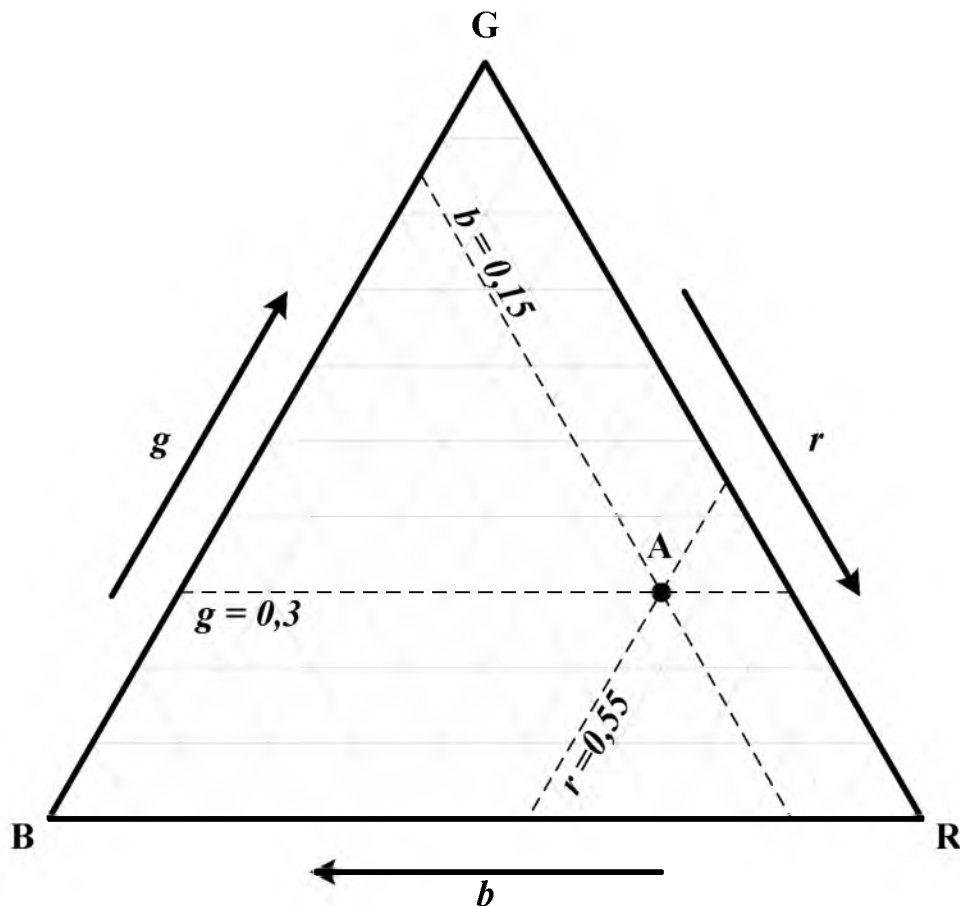


Рисунок 4.6 – Визначення колірних координат за трикутником Максвелла

При цьому пряма, паралельна стороні BG, протилежній вершині R, повинна перетинати шкалу  $r$  у точці із заданою координатою  $r$ . Пряма, паралельна стороні RB, протилежній вершині G, повинна перетинати шкалу  $g$  у точці із заданою координатою  $g$ . Аналогічним чином пряма, паралельна стороні GR, протилежна вершині B, перетинає шкалу  $b$  у точці, що відповідає заданій координаті  $b$ .

Так, наприклад, показана на рис. 4.6 точка A з координатами  $r = 0,55$ ;  $g = 0,3$ ;  $b = 0,15$  перебуває на перетинанні прямих, проведених відповідно до зазначеного правила.

За заданими координатами можна здійснити розрахунки чистоти кольору. Кількісне визначення чистоти описане виразом (4.2), однак у нашому прикладі, коли мова йде тільки про поняття колірності, і яскравість кольору не враховується, чистоту кольору можна визначити як:

$$p = \frac{F_{\lambda}}{F_{\lambda} + F_{\sigma}},$$

де  $F_\lambda$  – кількість кольору, що забарвлює;

$F_\delta$  – кількість розбавляючого білого.

Координати в цілому можна представити в такий спосіб:

$$r = r_\lambda + r_\delta,$$

$$g = g_\lambda + g_\delta,$$

$$b = b_\lambda + b_\delta,$$

де  $r_\lambda, g_\lambda, b_\lambda$  – координати, що визначають кількість кольору, що забарвлює,

$r_\delta, g_\delta, b_\delta$  – координати, що визначають кількість розбавляючого білого.

Значення  $F_\lambda$  проіорційне одній з координат  $r_\lambda, g_\lambda$  або  $b_\lambda$ , якщо колір, що забарвлює, є основним, або сумі двох координат, якщо колір, що забарвлює, є додатковим.

Значення  $F_\delta$  проіорційне сумі координат білого кольору, що розбавляє,  $r_\delta, g_\delta$  і  $b_\delta$ , рівних між собою.

При цьому

$$r_\lambda + g_\lambda + b_\lambda = p,$$

$$r_\delta + g_\delta + b_\delta = 1 - p$$

Визначимо чистоту кольору, що відиовідає точці А на кольоровому трикутнику (рис. 4.6). Із трьох заданих координат дві з найбільшими значеннями визначають забарвлення, а третя координата з найменшим значенням робить свій внесок у розбавлюючий білий.

Для нашого прикладу найменше значення у координати  $b$ , тобто  $b = b_\delta = 0,15$  (при цьому  $b_\lambda = 0$ ).

Оскільки  $b_\delta = r_\delta = g_\delta = 0,15$ , то можемо відрахувати, що  $1 - p = 3 \cdot 0,15 = 0,45$ , звідки  $p = 0,55$  або 55 %.

Колір, що забарвлює, визначається сумою двох інших координат:

$$r_\lambda = r - r_\delta = 0,55 - 0,15 = 0,4;$$

$$g_\lambda = g - g_\delta = 0,3 - 0,15 = 0,15.$$

5.2 Виконати розрахунки індивідуального завдання 5.

## 6 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

6.1 Тема і мета заняття.

6.2 Приклади розв'язання задач із висновками за отриманими результатами.

## ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

### Завдання 1.

1.1 Визначити кількість октав і напівоктав у діапазоні звукового сигналу від 20 Гц до  $n \cdot 1000$  Гц ( $n$  – номер варіанта згідно з табл. 3.1).

1.2 Виконати такі розрахунки:

для  $n = 1 - 5$ .

Рівень сигналу з частотою  $m \cdot 100$  Гц зріс з  $n \cdot 10$  дБ до 80 дБ ( $m$  – передостання цифра студентського квитка). На скільки фон збільшилася гучність сигналу?

Для  $n = 6 - 10$ .

Сигнал з частотами 100 і 500 Гц і рівнем гучності  $n \cdot 10$  фон зменшили на 30 дБ. Як зміняться рівні гучності цих сигналів?

### Завдання 2

2.1 Зобразити черезрядковий ТВ растр при заданому числі рядків  $Z$  і форматі кадру  $k$ .

2.2 Визначити кількість елементів розкладання при заданих  $Z$  і  $k$ .

2.3 Розрахувати частоту рядкової розгортки  $f_z$  при заданому  $Z$  і числі кадрів за секунду  $n$ .

### Завдання 3

3.1 Накреслити в полі зображення довільним шрифтом з довільною товщиною ліній дві останні цифри власної залікової книжки. Зобразити в масштабі сигнали трьох послідовних рядків, припускаючи що зображені цифри мають максимальну яскравість, і розташовані на сірому фоні з відносною яскравістю 25%.

3.2 Визначити нижню  $f_n$  і верхню  $f_v$  граничні частоти спектра телевізійного сигналу в системі з заданими параметрами:  $Z$  – число рядків;  $n$  – число кадрів за секунду;  $k$  – формат кадру;  $\alpha$  і  $\beta$  – відносні тривалості зворотного ходу розгортки за рядком і кадром відповідно; вид розгортки – черезрядкова, значення  $n$  і  $k$  взяти з умови завдання 2.

### Завдання 4

4.1 Передаються дві вертикальні кольорові смуги максимальної яскравості та заданої насиченості на деякому фоні. Насиченість смуги №1 для всіх варіантів дорівнює 100%. Розрахувати значення яскравісного і кольорорізницевих сигналів для кожної смуги. Побудувати епюри напруг кольороподільних сигналів, яскравісного та кольорорізницевих сигналів на інтервалі часу, відповідному двом періодам рядкової розгортки.

4.2 Покажіть на колірному трикутнику RGB точку, відповідну смузі № 2. Яке положення займе точка, якщо насиченість смуги № 2 знизиться вдвічі?

**Таблиця 3.1 – Визначення номера варіанта індивідуального завдання**

Номер за списком групи	Номер групи									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	24	25	24	1	1	2	1	23
2	2	4	22	24	1	3	4	5	7	24
3	3	6	20	23	22	5	7	8	13	25
4	4	8	18	22	3	7	10	11	19	3
5	5	10	16	21	20	9	13	14	25	9
6	6	12	14	20	5	11	16	17	2	4
7	7	14	12	19	18	13	19	20	8	10
8	8	16	10	18	7	15	22	23	14	5
9	9	18	8	17	16	17	25	3	20	11
10	10	20	6	16	9	19	2	6	3	6
11	11	22	4	15	14	21	5	9	9	12
12	12	24	2	14	11	23	8	12	15	7
13	13	1	25	13	12	25	11	1	21	13
14	14	3	23	12	13	2	14	15	4	8
15	15	5	21	11	10	4	17	18	10	14
16	16	7	19	10	15	6	20	21	16	21
17	17	9	17	9	8	8	23	24	22	15
18	18	11	15	8	17	10	3	4	5	1
19	19	13	13	7	6	12	6	7	11	11
20	20	15	11	6	19	14	9	10	17	2
21	21	17	9	5	4	16	12	13	23	16
22	22	19	7	4	21	18	15	16	6	18
23	23	21	5	3	2	20	18	19	12	17
24	24	23	3	2	23	22	21	22	18	19
25	25	25	1	1	25	24	25	25	24	20



**Таблиця 3.2 – Дані для виконання індивідуальних завдань 2 – 4**

Номер варіанта	Завдання 2			Завдання 3			Завдання 4		
	Z	n	k	Z	$\alpha$	$\beta$	Смуга №1	Смуга №2	Фои
1	5	25	4:3	405	0,16	0,08	Червоий	Зел.50%	Сірий
2	7	25	4:5	525	0,12	0,08	Синій	Жовт.60%	Чорний
3	9	25	3:4	625	0,16	0,1	Зелений	Жовт.50%	Чорний
4	11	25	1:1	313	0,14	0,1	Жовтий	Син.60%	Білий
5	13	25	3:5	1125	0,14	0,07	Блакитний	Зел.50%	Сірий
6	15	25	3:4	819	0,2	0,07	Пурпурний	Чер.50%	Білий
7	17	25	4:3	625	0,18	0,07	Зелений	Пурп.70%	Чорний
8	19	30	5:4	525	0,18	0,12	Червоий	Чер.50%	Сірий
9	21	30	1:2	625	0,2	0,12	Синій	Бл.50%	Чорний
10	23	30	1:1	313	0,25	0,12	Пурпурний	Син.50%	Білий
11	25	30	5:4	1125	0,15	0,05	Жовтий	Жовт.50%	Чорний
12	17	30	8:3	819	0,1	0,1	Блакитний	чер.50%	Білий
13	19	60	1:2	525	0,18	0,1	Червоий	Зел.30%	Білий
14	11	50	2:1	405	0,15	0,08	Зелений	Син.40%	Чорний
15	13	30	4:3	220	0,2	0,1	Синій	Черв. 75%	Білий
16	15	50	5:4	330	0,2	0,05	Пурпуровий	Жовт. 50%	Чорний
17	17	30	1:2	350	0,18	0,1	Блакитний	Синій 80%	Чорний
18	19	60	2:1	580	0,18	0,05	Жовтий	Зел. 50%	Сірий
19	21	60	4:3	620	0,12	0,05	Синій	Зел. 30%	Сірий
20	23	30	5:4	370	0,12	0,12	Червоий	Жовт. 40%	Чорний
21	25	50	3:8	540	0,2	0,02	Жовтий	Черв. 20%	Білий
22	9	25	4:3	480	0,18	0,12	Зелений	Блак. 30%	Сірий
23	7	30	3:4	560	0,22	0,12	Блакитний	Черв. 50%	Білий
24	5	50	5:4	620	0,15	0,1	Пурпуровий	Зел. 40%	Білий
25	15	60	1:2	700	0,16	0,07	Червоий	Блак. 60%	Чорний