

МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ЗВ'ЯЗКУ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА**

Кафедра телебачення та радіомовлення

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
з дисципліни
“ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ ТА РАДІОМОВЛЕННЯ”**

Напрямок підготовки – „Телекомунікації”

Для студентів факультетів ІМ та ТКС

Одеса 2011

УДК 621. 396. 97

План НМВ 2011 р.

Укладачі: Кузнецова О.С, Суліма М.М.

СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
телебачення та радіомовлення
і рекомендовано до друку.

Протокол № 10
від 03.06.2011 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
методичною радою
академії зв'язку.

Протокол № 8
від 11.02.2011 р.

ПЕРЕДМОВА

Загальна характеристика дисципліни „Основи телебачення та радіомовлення”: кількість кредитів ECTS – 2,5; модулів – 1, загальна кількість годин – 90; у тому числі: лекцій – 16 год.; лабораторних занять – 16 год.; практичних занять – 8 год.; самостійної роботи – 50 год; вид контролю – іспит.

Метою дисципліни „Основи телебачення та радіомовлення” (ОТБ та РМ) є формування знань принципів побудови мовленнєвих систем і мереж; формування знань новітніх технологій формування, зберігання, оброблення, передавання, розповсюдження, приймання та відтворення масової інформації у сучасних мовленнєвих системах і засобах; формування вмінь щодо побудови, організації, технічної експлуатації, моніторингу засобів мовлення; формування знань і вмінь щодо забезпечення якості роботи систем, мереж і засобів мовлення.

Курс ОТБ та РМ складається з одного модуля.

Вхідні вимоги до вивчення дисципліни (знання та вміння з дисциплін, які забезпечують вивчення даного модуля)

№ з/п	Зміст знань	Шифр
1	Вища математика. Розділи: диференціальне й інтегральне числення, Фур'є-анализ, узагальнені функції, ряди, функції комплексної змінної, матриці, математична статистика	ЗН.1
2	Фізика. Розділи: оптика, акустика, електрика	ЗН.2
3	Теорія електричних кіл. Розділи: лінійні системи, фільтри	ЗН.3
4	Теорія електричного зв'язку: характеристики детермінованих і випадкових сигналів; види модуляції, спектри модульованих сигналів; аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення; основи теорії кодування	ЗН.4
	Зміст умінь	
1	Виконувати обчислення похідних і інтегралів найпростіших і складних функцій	УМ.1
2	Визначати ширину смуги частот, необхідну для передавання сигналу при заданому виді модуляції	УМ.2
3	Володіти навичками найпростіших електричних вимірювань	УМ.3

Структура залікового модуля 1

Змістовий модуль	Кількість годин			
	лекції	лабораторні заняття	практичні заняття	самостійна робота
Вступ	2			
1 Загальні принципи побудови та основні параметри систем і мереж телебачення та радіомовлення, їх класифікація	2	4		6
2 Сигнали телевізійного та звукового мовлення	2	2	2	6
3 Сприйняття та якість відтворюваної аудіовізуальної інформації в мовленнєвих системах	2	2	2	6
4 Системи аналогового телебачення та звукового мовлення	4	2	2	8
5 Системи цифрового телебачення та звукового мовлення	2	2		12
6 Засоби передавання та приймання мовленнєвих сигналів, мережі розподілу програм телевізійного та звукового мовлення	2	4	2	12
Разом 1 модуль, год.	16	16	8	50

Теми практичних занять

№ з/п	Тема практичного заняття	Години
1	Сигнали звукового мовлення: опис та основні характеристики	2
2	Основи слухового сприйняття звукових сигналів	2
3	Принципи передавання зображень	2
4	Основи кольорового телебачення	2
	Усього	8

Теми лабораторних занять

№ з/п	Найменування лабораторної роботи	Години
1	Суб'єктивна оцінка якості звуку в мовленнєвих трактах	2
2	Основи стереофонії	2
3	Дослідження конструкцій та характеристик електроакустичних перетворювачів	4
4	Параметри телевізійних систем	2
5	Зв'язок між відеосигналами і ТВ зображеннями	2
6	Основи передавання та відтворення кольорових зображень	2
7	Вимірювання спотворень у ТВ трактах	2
	Усього	16

Вихідні знання та уміння з модуля 1

№ з/п	Зміст знань	Шифр
1	Фізичні основи телевізійного та звукового мовлення: основні властивості слухового та зорового апарату людини	ЗН.1
2	Основні характеристики сигналів і каналів (трактів) звукового та телевізійного мовлення	ЗН.2
3	Основні технічні вимоги, що ставляться до мовленнєвих каналів і трактів з метою забезпечення неспотвореного передавання аудіовізуальної інформації	ЗН.3
4	Принципи побудови систем аналогового і цифрового звукового та телевізійного мовлення у різних діапазонах частот	ЗН.4
Зміст умінь		
1	Перевіряти відповідність технічним і технологічним нормам контрольованих параметрів систем мовлення, доводити їх до нормативних значень	УМ.1
2	Виконувати розрахунки необхідних параметрів проєктованих систем, мереж і пристроїв мовлення	УМ.2

За тематикою практичних занять кожен студент виконує індивідуальне завдання.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1 **Электроакустика и звуковое вещание: учебное пособие для вузов** / [И.А. Алдошина, Э.И. Вологдин, А.П. Ефимов и др.]; под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. – 872 с.

2 **Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов** / [А.В. Выходец, М.В. Гитлиц, Ю.А. Ковалгин и др.]; под ред. М.В. Гитлица. – М.: Радио и связь, 1989. – 432 с.

3 **Звуковое вещание: Справочник** / [А.В. Выходец, М.П. Жмурин, И.Ф. Зорин и др.]; под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Радио и связь, 1993. – 464 с.

4 **Телевидение: Учебник для вузов** / [В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.]; под ред. В.Е. Джаконии. – М.: Радио и связь, 2004. – 616 с.

Додаткова

5 **Справочник по радиовещанию** / [А.В. Выходец, В.М. Захарин, Е.М. Рудый, В.И. Денисов]; под общ. ред. А.В. Выходца. – К.: Техніка, 1981. – 264 с.

6 **Справочник по акустике** / [А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.Н. Шоров]; под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Связь, 1988. – 244 с.

7 **Попов О.Б.** Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания: учебное пособие для вузов / О.Б Попов, С.Г. Рихтер – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 341 с.

8 **Выходец А.В.** Звуковое и телевизионное вещание. Учебник для техникумов / Выходец А.В., Коваленко В.И., Кохно М.Т. – М.: Радио и связь, 1987. – 448 с.

9 **Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие. Том 2 – Радиосвязь, радиовещание, телевидение** / Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантонопуло; под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 672 с.

10 **Самойлов В.Ф.** Телевидение: учебник для вузов / В.Ф. Самойлов, Б.П. Хромой – М.: Связь, 1975. – 400 с.

Практичне заняття № 1

СИГНАЛИ ЗВУКОВОГО МОВЛЕННЯ: ОПИС ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1 МЕТА ЗАНЯТТЯ

Вивчення основних властивостей мовних і музичних акустичних сигналів, а також вимог, що ставляться до характеристик каналів звукового мовлення для забезпечення високоякісного передавання програм різних жанрів.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Загальні відомості про сигнал звукового мовлення

Метою будь-якої системи звукового мовлення є неспотворене передавання звукової інформації із приміщення, в якому вона виникає (студія, концертний зал тощо), у приміщення прослуховування. Звукова інформація має різноманітний характер: мова, діалог, музика, іноді виробничі шуми тощо.

Звукове (механічне) коливання, що діє на мікрофон або випромінюється гучномовцем, називається *акустичним сигналом*. Він характеризується звуковим тиском, інтенсивністю (або силою) звуку, звуковою потужністю. Розрізняють *первинні* й *вторинні* акустичні сигнали. Первинні – створювані музичними інструментами, співом, мовою, а також шумові сигнали природного характеру. Вторинні – відтворені електроакустичними пристроями, тобто первинні сигнали, що пройшли електроакустичними трактами.

Колівання звукової частоти, передане електричними колами системи звукового мовлення, являє собою електричний сигнал і називається *сигналом звукового мовлення (СЗМ)*. Цей сигнал характеризується напругою, струмом, електричною потужністю.

Сигнал звукового мовлення являє собою випадковий процес, а акустичні або електричні величини, що його характеризують, безупинно змінюються в часі (рис. 1.1).

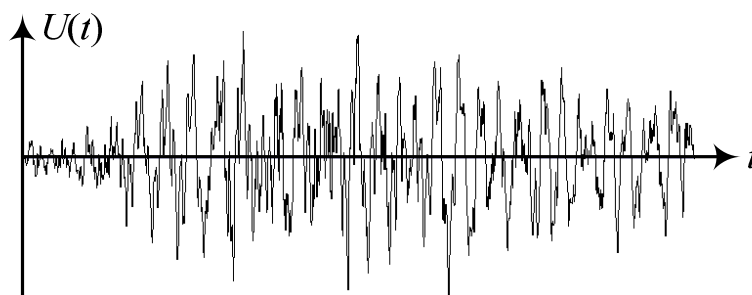


Рисунок 1.1 - Осцилограма сигналу звукового мовлення

Як випадковий процес, звуковий мовленнєвий сигнал характеризується законом розподілу його миттєвих значень, заданим густиною імовірності $w(x)$ або функцією розподілу $F(x)$.

Розподіл миттєвих значень звукового сигналу $x(t)$ за даними ряду авторів можна з достатньою точністю вважати нормальним, тобто таким, що підлягає законові Гаусса:

$$w(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.1)$$

де $w(x)$ – густина імовірності миттєвих значень x ,
 σ^2 – дисперсія випадкової величини x .

Якщо протягом значного проміжку часу вимірювати параметри сигналу звукового мовлення, то можна визначити його усереднені характеристики, тобто вважати сигнал стаціонарним. Усереднені характеристики сигналу мають велике значення, тому що дозволяють правильно підійти до проектування пристроїв і систем мовлення.

Для отримання стабільних розподілів аналіз проводять на досить тривалих уривках однакових за характером програм. Мінімальний час спостереження T_0 , подальше збільшення якого не призводить до зміни закону розподілу, називається *інтервалом стаціонарності*. Прийнято, що для мови $T_0 = 2 - 3$ хв, а для музики – від 20 хв до декількох годин – у залежності від характеру звукової програми.

До основних характеристик сигналів звукового мовлення відносяться:

- значення рівнів;
- динамічний діапазон;
- форма спектра і смуга частот, яку займає сигнал;
- час кореляції.

Окрім цього слухач завжди має власне розуміння «хорошого звуку», сформоване особистим досвідом, і оцінює звучання за багатьма суб'єктивними критеріями. Тому, кажучи про властивості звуку, також необхідно визначити критерії оцінки, погоджені з суб'єктивним сприйняттям звуку.

2.2 Основні характеристики СЗМ

Розглянемо основні поняття, що визначають сигнал звукового мовлення.

Рівень СЗМ характеризує сигнал у певний момент часу і являє собою виражене в децибелах випрямлене й усереднене за деякий попередній проміжок часу значення напруги сигналу мовлення $\overline{u(t_1)}$ (де риска зверху означає операцію усереднення за часом, t_1 – момент часу), віднесене до деякої умовної величини U_0 :

$$N_e(t_1) = 20 \lg \frac{\overline{u(t_1)}}{U_0}, \quad (1.2)$$

де $N_e(t_1)$ – рівень електричного сигналу звукового мовлення в момент часу t_1 (аналогічно можна визначити рівень $N_e(t_2)$ у момент часу t_2 і т.д.);

$$\overline{u(t_1)} = \frac{1}{T} \int_{t_1-T}^{t_1} |u(t)| dt - \text{середнє значення сигналу};$$

– U_0 – середньоквадратичне значення сигналу, прийняте за початок відліку рівнів, йому приписується рівень 0 дБ. Міжнародними рекомендаціями встановлені електричні нульові рівні:

– за напругою 0,775 В (напруга на навантаженні 600 Ом, на якому виділяється потужність 1 мВт);

– за потужністю 1 мВт.

Графік функції $N_e(t) = 20 \lg \left(\frac{u(t)}{U_0} \right)$ називається діаграмою рівнів СЗМ (рис. 1.2).

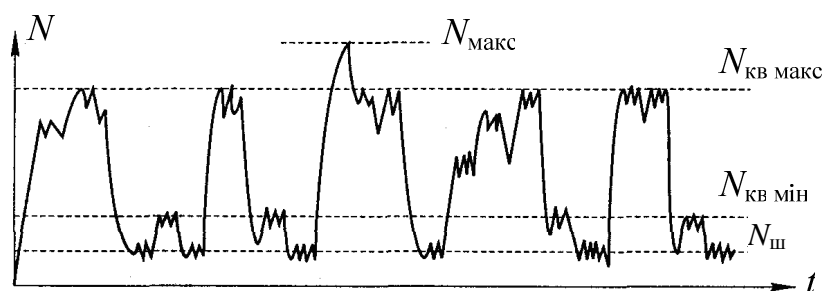


Рисунок 1.2 – Приклад діаграми рівнів СЗМ

Рівень СЗМ безперервно змінюється за часом. Інтервал таких змін може бути досить широким (рис. 1.2).

Для високої якості відтворення необхідно, щоб за найбільшого значення рівня (найбільшої гучності) не перевантажувалися підсилювачі, а за найменшого – сигнал не втрачався у шумах і був би чітко відчутним. Отже, для проектування апаратури радіомовлення необхідно мати чітке розуміння різниці між максимальним і мінімальним рівнями сигналу, або інакше кажучи, про його *динамічний діапазон*, який звичайно виражають у дБ.

Однак, у природному звучанні важко виділити «найменше» й «найбільше» значення рівня. Можна говорити про рівень, що практично не перевищується, тобто про максимальний рівень з досить великою імовірністю, наприклад, 0,98. Відповідно для мінімального рівня імовірність буде складати 0,02. Це означає, що з імовірністю 0,02 (тільки 2 % часу від загальної тривалості сигналу) рівень сигналу може перевищувати максимальний або бути менше мінімального. Такі значення називаються «квазімаксимальними» й «квазімінімальними» (рис. 1.2).

Поняття *динамічного діапазону* відповідає різниці квазімаксимального $N_{КВ макс}$ і квазімінімального $N_{КВ мін}$ рівнів сигналу для досить великої тривалості інтервалу спостереження:

$$D_c = N_{КВ макс} - N_{КВ мін}, \quad (1.3)$$

де $N_{КВ мін}$ – найменший рівень, що перевищується сигналом протягом n % часу ($n = 99$ % для мови, 98 % для музики);

– $N_{\text{кв макс}}$ – найбільший рівень, що перевищується сигналом протягом m % часу ($m = 1$ % для мови, 2 % для музики).

Значення динамічного діапазону для сигналів звукового мовлення, що відповідають різним необробленим звучанням наведені нижче:

Мова диктора.	25 - 35 дБ
Розмова.	35 - 40 дБ
Естрадна музика.	35 - 40 дБ
Акторська мова (художнє читання)	35 - 45 дБ
Малі ансамблі, хор.	45 - 55 дБ
Фортепіано.	44 - 55 дБ
Симфонічна музика.	65 - 75 дБ
Рок-гурт.	90 - 110 дБ

Різниця між квазімаксимальним й усередненим за тривалий проміжок часу рівнями називають **пik-фактором** (коефіцієнтом амплітуди):

$$П = N_{\text{кв макс}} - N_{\text{усередн}}, \text{ дБ.} \quad (1.4)$$

Для музичних сигналів він може досягати 20 – 28 дБ, а для мови – у середньому 12 дБ. Для СЗМ результати вимірювань рівнів будуть постійними при досить значному часі спостереження та постійній середній потужності сигналу. Мінімальний час усереднення, за якого середня потужність не залежить від моменту початку вимірювання, приблизно дорівнює інтервалу стаціонарності.

Як бачимо з (1.4), значення пік-фактора показує, наскільки нижче середній рівень порівняно з його квазімаксимальним значенням, і визначає необхідний «запас» за потужністю для відтворення максимальних рівнів сигналу без спотворень.

Кажучи про динамічний діапазон, не слід змішувати два різних поняття: динамічний діапазон сигналу D_c і каналу передавання D_k . Останній визначає той інтервал змін рівня сигналу, у межах якого можлива неспотворена передача (без появи нелінійних спотворень при значних рівнях, і зашумлення за малих рівнів).

Очевидно, що передавання СЗМ каналом звукового мовлення без спотворень можливе, якщо $D_c < D_k$. У зв'язку із тим, що для реальних акустичних сигналів ця умова в ряді випадків не виконується, необхідно проводити попереднє оброблення СЗМ, що полягає в скороченні його динамічного діапазону, який у каналах і трактах звукового мовлення (після оброблення вихідних сигналів звукорежисером) не перевищує 40 дБ.

Частотний діапазон і спектри. Спектри сигналів ЗМ (смуга частот, форма й відносні потужності окремих компонентів) для різних джерел звуку сильно відрізняються (рис. 1.3).

Як відомо, для звучання органа характерна більша енергія в області низьких звукових частот. Скрипка, навпаки, створює максимальну енергію на верхніх частотах. Симфонічний оркестр дає широкий, більш-менш рівномірний спектр звучання.

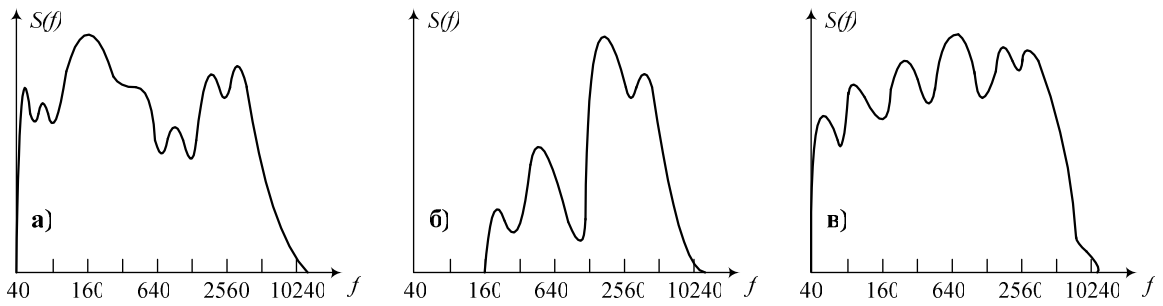


Рисунок 1.3 – Спектр сигналів: а) орган; б) скрипка; в) симфонічний оркестр

На практиці у якості спектральної характеристики СЗМ найчастіше використовується його *енергетичний спектр*, а саме – усереднена на деякому інтервалі часу τ *спектральна густина потужності*, що являє собою потужність сигналу мовлення, віднесена до смуги шириною 1 Гц. Можна вимірювати миттєві, середні та квазімаксимальні значення потужності.

Якщо при використанні джерела сигналу визначати спектр сигналу мовленнєвої програми для досить значного проміжку часу, то можна визначити так звану середньостатистичну добову спектральну густину середньої потужності даної програми мовлення. Спектр, отриманий таким чином, є результатом «усереднення за часом» і несе інформацію про сигнал у цілому. На рис. 1.4 показані середньостатистичні добові графіки спектральної густини потужності першої і другої національних програм звукового мовлення.

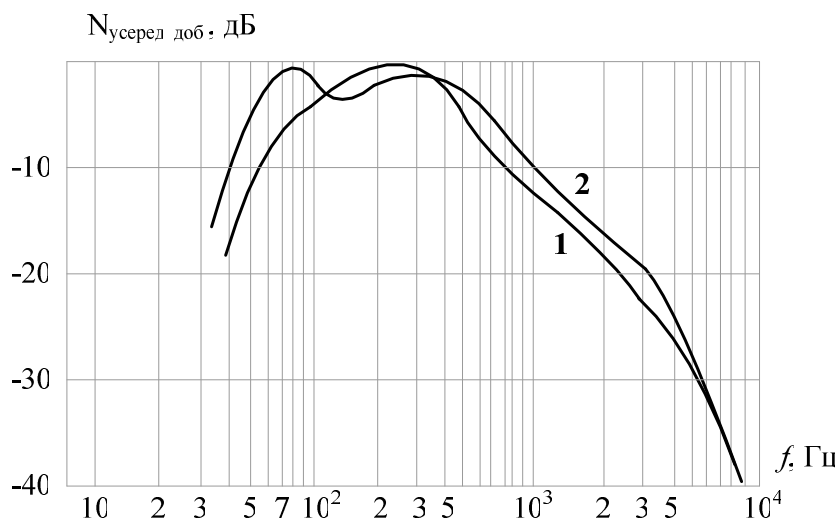


Рисунок 1.4 – Середньостатистичні добові спектри першої (1) і другої (2) національних програм звукового мовлення

Ці графіки показують, що рівень спектральної густини потужності зменшується на низьких і верхніх частотах. Форма кривих відповідає в основному характерним фрагментам кожної програми. Якщо для першої програми визначальною є мова, то для другої програми – музика й мова.

Важливою характеристикою СЗМ є його *частотний діапазон* – інтервал, у межах якого рівень частотних компонентів перевищує деяке задане значення (за межами цього частотного інтервалу значення рівнів частотних складових приймаються рівними нулеві). Співставляючи його зі смугою пропускання

звукового тракту, судять про наявність або відсутність частотних спотворень вихідного сигналу В табл. 1.1 наведені відомості щодо частотних діапазонів деяких джерел звуку.

Таблиця 1.1 – Частотні діапазони різних джерел звуку

Джерело звуку	Граничні частоти, Гц	
	нижня	верхня
Чоловічий голос	100	7000
Жіночий голос	200	9000
Рояль	100	5000
Скрипка	200	14000
Флейта	250	14000
Шум кроків	100	10000
Оплески	150	15000

Психоакустичні дослідження показують, що для високоякісного передавання музики канал звукового мовлення повинен мати смугу частот 30 - 15000 Гц. При цьому відсутність більш високих частот все-таки чітко помічається молодими слухачами, музикантами, та, на їхню думку, погіршує якість сприйняття. Тому в студійній апаратурі смуга робочих частот складає 20 - 20000 Гц.

З часових характеристик сигналу можна виділити **час кореляції**. **Кореляція** – залежність наступних значень рівня сигналу від попередніх. **Час кореляції** – середнє значення інтервалу часу, у межах якого ця залежність зберігається. Час кореляції важливо враховувати тому, що він визначає час взаємодії (інтерференції) з відбитими сигналами, а, отже, й інтерференційні завади.

При передаванні сигналів звукового мовлення через електроакустичні тракти можливі найрізноманітніші порушення точності передавання. Основні з них – обмеження частотного та динамічного діапазонів сигналу, завади і спотворення. Тому головним завданням розробки електроакустичних систем, і, зокрема, систем обробки звуку, є максимальне досягнення ідентичності характеристик первинних і вторинних акустичних сигналів. Для цього необхідна велика гама засобів, що впливають на той або інший параметр СЗМ.

2.3 Суб'єктивна оцінка якості звучання

Обов'язковим (якщо не найважливішим) етапом аналізу характеристик звуку є **суб'єктивна оцінка якості звучання**. Це обумовлено тим, що використовуваний набір об'єктивних параметрів: діапазон частот, рівні сигналу, внесені спотворення тощо – неоднозначно визначає «слуховий образ», що сприймається слухачем. Тому суб'єктивна експертиза із залученням значної кількості експертів-слухачів є обов'язковою процедурою на всіх етапах запису та обробки звуку, а також служить головним критерієм оцінки отриманого результату.

Результати оцінки якості звучання, що забезпечується системою звукопередачі, залежать від багатьох факторів, наприклад, параметрів приміщення прослуховування, вибору тестових програм, відбору і тренування експертів, методу вибору оцінок та обробки результатів тощо.

Для оцінки програмного матеріалу визначеного типу слухачами використовуються відповідні цьому типові характеристики. Якщо для мови найважливішою характеристикою є зрозумілість, що визначається через її розбірливість і ступінь залежності розбірливості від сторонніх шумів, то для музики якість звучання визначається за допомогою понять рівня гучності, прозорості, просторового враження, тембрового забарвлення звучання і подібних суб'єктивних критеріїв.

Розбірливістю мови називають відносну кількість прийнятих тренуваними слухачами елементів мови із загальної кількості переданих трактом. Як елементи мови застосовують склади, звуки, слова, фрази, цифри. Відповідно до цього розрізняють складову, звукову, словесну, сенсову і цифрову розбірливість. На практиці використовують переважно складову, звукову й словесну розбірливість. У табл. 1.2 наведені градації зрозумілості мови й відповідні їм обмірjовані значення розбірливості.

Таблиця 1.2 – Розбірливість мови для різних градацій зрозумілості передавання

Зрозумілість	Розбірливість	
	складова	словесна
Гранично припустима	25 – 40	75 – 87
Задовільна	40 – 56	87 – 93
Хороша	56 – 80	93 – 98
Відмінна	80 і вище	98 і вище

Варто розрізнити чисто інформативну мову – доповідь, оголошення і т.п., і мову художню, що має певний естетичний вміст, у першу чергу, завдяки інтонації. У другому випадку для оцінки якості звучання тільки розбірливості недостатньо. Для оцінки якості звучання художньої мови використовуються ще й характеристики, що застосовуються для музики.

Прозорість, під якою зазвичай розуміють розрізнення окремих звукових тонів й інструментів, незважаючи на відзвук, що накладається в приміщенні.

Відзвуком називають такий звук, що зберігається після відключення джерела звукового сигналу та слабшає з часом, обумовлений послідовністю повторюваних відбиттів і пов'язаним із цим явищем – поступовим затиханням звукового сигналу.

Відзначимо, що часова границя для корисних з погляду прозорості й просторового враження перших відбиттів і відзвуку приміщення становить близько 35 мс для мови і до 70 мс для музики.

Просторове враження виникає зі слухового сприйняття у частково або повністю закритому просторі й складається з декількох частин:

– відчуття, що слухач перебуває в одному приміщенні із джерелом звуку;

- уявлення про розміри приміщення;
- гулкості;
- локалізації окремих джерел звуку, музичних інструментів.

Правильність передавання тембральних характеристик звуків: чи не з'являються сторонні призвуки й хрипи, чи зберігається дзвінкість, об'ємність і повнота звучання.

Величиною частотних і нелінійних спотворень та рівнем завад визначається така характеристика як **чистота звучання**, що відображає помітність цих спотворень слухачами.

3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

3.1 Поясніть різницю між поняттями: миттєве значення й рівень СЗМ.

3.2 Що називається динамічним діапазоном сигналу звукового мовлення, електричного каналу (тракту)? Як визначається цей параметр?

3.3 Дайте визначення й поясніть рисунком поняття «квазімаксимальний рівень» сигналу, «квазімінімальний рівень» сигналу.

3.4 Чим обумовлюється необхідність скорочення динамічного діапазону сигналу при його передаванні електричними каналами звукового мовлення?

3.5 Що характеризує пік-фактор сигналу?

3.6 Які основні суб'єктивні ознаки якості звуку існують?

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

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

4.2 Підготувати відповіді на контрольні питання.

5 РОБОТА В АУДИТОРІЇ

5.1 За допомогою редактора звукових файлів «Sound Forge®» проведіть спостереження характеру зміни в часовій області рівнів СЗМ, що відповідають різним жанрам.

5.2 Проведіть спостереження форм амплітудних спектрів обраних у п. 5.1 СЗМ. Зробіть відповідні висновки.

5.3 Указаний викладачем сигнал перетворіть у телефонний, обмеживши його смугу фільтром зі смугою від 300 до 3400 Гц. Прослухайте, як він звучить. Зробіть відповідні висновки.

6 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

6.1 Тема і мета заняття.

6.2 Перелік і визначення основних характеристик сигналів звукового мовлення.

6.3 Висновки за виконанням пп. 5.2, 5.3.

ОСОБЛИВОСТІ СЛУХОВОГО СПРИЙНЯТТЯ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ

1 МЕТА ЗАНЯТТЯ

Вивчення основних властивостей слуху та характеристик сприйняття звукових сигналів.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Якість програми, переданої за допомогою тракту радіомовлення, в остаточному підсумку, визначається на основі слухового сприйняття переданого звуку.

Узгодження технічних засобів передавання із суб'єктивними характеристиками сприйняття допомагає досягти потрібної інформаційної достовірності переданих сигналів, отримати в процесі мовлення семантичну (змістову) й емоційну відповідність між первинними та сприйнятими звуковими образами програм мовлення. При цьому вторинний акустичний сигнал не повинен бути абсолютно точною копією первинного, що дозволяє встановити менш жорсткі вимоги до параметрів якості каналів і трактів передавання. Припустима розбіжність характеристик переданих і прийнятих сигналів звуку визначається особливостями слухового аналізатора.

2.1 Слуховий апарат

Слухова система людини (ССЛ) складається із трьох відділів (рис. 2.1).

Зовнішнє вухо містить у своєму складі вушну раковину та слуховий прохід. Вушна раковина, окрім захисту слухового проходу, забезпечує направлені властивості слуху у високочастотній області, що позитивно впливає на точність визначення розміщення джерела звуку (локалізацію джерел звуку). Зовнішній слуховий прохід закінчується тонкою мембраною (барабанною перетинкою). Зміна тиску на вході зовнішнього слухового каналу призводить до коливань мембрани.

Середнє вухо є каналом, який розміщений у скроневої кістці, і містить слухові кісточки, за рахунок яких здійснюється передавання енергії від мембрани, що коливається, у внутрішнє вухо. До барабанної перетинки прилягає молоточок, що стикається з ковадлом, яке, у свою чергу, з'єднується зі стремінцем. Слухові кісточки забезпечують узгодження механічних опорів повітряного середовища зовнішнього вуха й рідинного середовища у внутрішньому вусі. Крім того, особливість руху слухових кісточок дозволяє захистити внутрішнє вухо за високих рівнів тиску звуку. Євстахієва труба, що з'єднує середнє вухо та носоглотку, забезпечує вирівнювання тиску з обох сторін барабанної перетинки, охороняючи її від пошкодження.

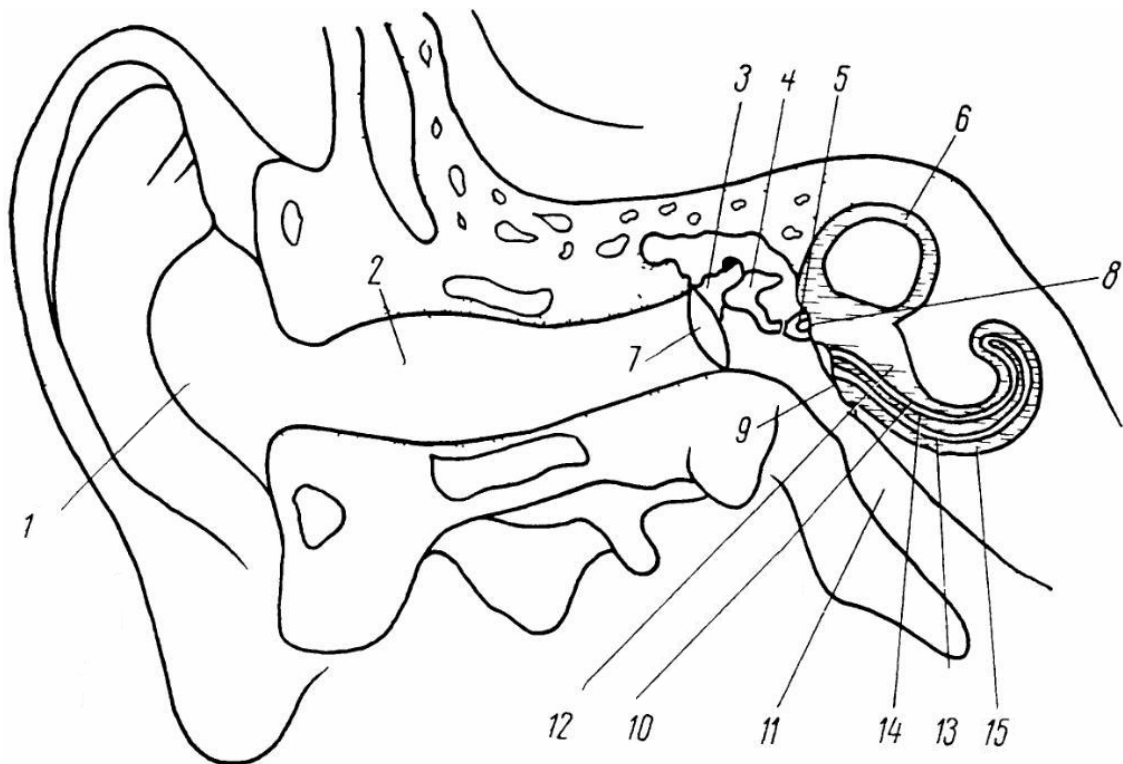


Рисунок 2.1 – Схематична будова слухової системи людини:

1 – вушна раковина; 2 – слуховий прохід; 3 – молоточок; 4 – ковадло; 5 – стремінце; 6 – півкруглий канал; 7 – барабанна перетинка; 8 – овальне вікно; 9 – кругле вікно; 10 – рейснерова мембрана; 11 – евстахієва труба; 12 – вестибулярний хід; 13 – базилярна мембрана; 14 – середня частина спірального ходу; 15 – волосяні клітини

Внутрішнє вухо є складною системою каналів, і його слуховий відділ представлений завиткою і закінченнями слухового нерва. У завитці відбувається перетворення механічних процесів у нервові. Завитка являє собою згорнуту у спіраль сукупність трьох каналів змінного перетину, заповнених рідинами різної густини. У середньому каналі розміщується рецепторний апарат завитки – орган Корті, що складається з декількох рядів волосяних клітин, що реагують на коливання базилярної мембрани. Зсув стремінця змінює тиск рідини усередині завитки, при цьому зміна тиску поширюється у вигляді біжучої хвилі. У зв'язку із різним ступенем піддатливості каналів завитки відбувається просторове кодування звукового тиску: певні області базилярної мембрани збуджуються коливаннями тільки з певною частотою. Іншими словами завитка являє собою частотно–координатний перетворювач.

Слід зазначити, що крім безпосереднього передавання звуку існує також так звана **кісткова провідність** – передавання звуку від зовнішнього вуха за рахунок коливань стінок слухового каналу й скроневої кістки.

Вказані вище відділи, що відносяться до периферичної слухової системи, виконують просторове кодування акустичних сигналів, їх попередній частотний і часовий аналіз з метою виділення найбільш значущих ознак. Окрім цього, внутрішнє вухо перетворює отримані сигнали у форму, зручну для передавання слуховим нервом. У подальшому, оброблене вищими відділами нервової системи, подразнення слухового нерва призводить до відчуття звуку.

2.2 Фізичні величини, що характеризують слухове сприйняття звукових коливань

Простий гармонічний коливальний процес характеризується двома основними величинами – амплітудою та частотою. Під амплітудою звукового коливання слід розуміти максимальне значення звукового тиску, коливальної швидкості або відповідну їм інтенсивність (силу) звуку.

Амплітуда звукового коливання обумовлює відчуття тієї або іншої *гучності звуку*.

Частота звукового коливання викликає відчуття звуку певної «*висоти*», що називається *тоном*. Простому або «чистому» тону відповідає звукове коливання, що відбувається за гармонічним законом з певною частотою. Збільшення частоти сприймається на слух як підвищення тону.

Звукові коливання, що створюються музичними інструментами, голосом і багатьма іншими джерелами звуку, являють собою складний коливальний процес. Якщо звучить одна музична нота, то коливальний спектр є періодичним. Приклад такого процесу показаний на рис. 2.2 у вигляді залежності миттєвого значення тиску p від часу t .

Періодичне коливання (за умови його необмеженої тривалості) можна представити у вигляді суми гармонічних функцій (методом розкладання в ряд Фур'є). Гармонічні складові складного музичного тону називаються його *гармоніками*. Частоти гармонік збільшуються за законом натурального ряду чисел. Відповідно до цього гармоніка позначається порядковим номером.

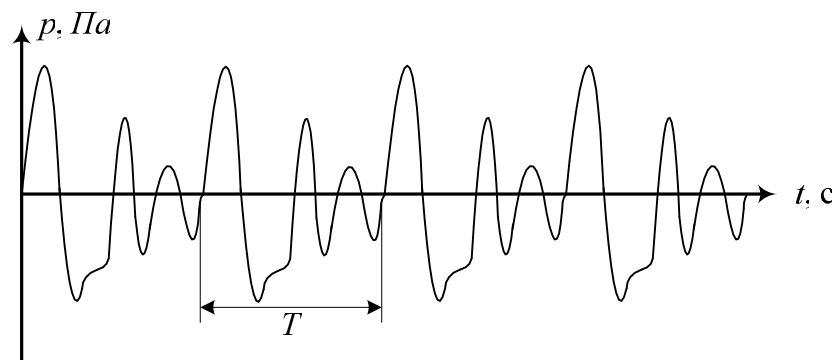


Рисунок 2.2 – Приклад часової зміни звукового тиску для складного періодичного коливального процесу

Якщо період складного коливання дорівнює T (рис. 2.2), то частота першої гармоніки, що має назву *основної частоти*, $f_1 = \frac{1}{T}$.

Висота тону при складному періодичному коливанні визначається основною частотою.

$$\text{Частота другої гармоніки } f_2 = \frac{2}{T} = 2f_1.$$

Частота n -ї гармоніки $f_n = \frac{n}{T} = n f_1$.

З чого бачимо, що чим більший період складного коливання, тим менший частотний інтервал між сусідніми гармоніками.

Наявність гармонік надає музичному звуку особливий відтінок, що має назву **тембр**. Завдяки цьому ми здатні на слух розрізняти музичні інструменти з однією і тією ж самою основною частотою створюваного звуку. Тембр звуку залежить від кількості гармонік і співвідношення між їх амплітудами. Чисті тони не мають тембру та в музичному відношенні «незабарвлені».

Таким чином, ми бачимо, що звуковий коливальний процес характеризується такими фізичними величинами: основною частотою, амплітудою та формою спектра для мовного або музичного акустичного сигналу. Відповідно до цього слухове сприйняття акустичного сигналу складається зі сприймання висоти тону, гучності та тембру звуку. Правильне відтворення гармонік при електроакустичному передаванні є однією з основних умов збереження природності звуку.

2.3 Область чутності за амплітудою і частотою звукових коливань

Слухова система людини здатна сприймати зміну тиску звуку в дуже широких межах. При малих значеннях тиску мембрана, що коливається, не досягає волосяних клітин – збудження нервів не відбувається, і звук залишається непомітним. При збільшенні амплітуди тиску мембрана торкнеться найближчої волосної клітини, що призведе до подразнення нервового закінчення і відчуття звуку. Перехід від нечутного стану до чутного відбувається стрибкоподібно і дозволяє визначити той мінімальний рівень звукового тиску, за якого починається сприйняття звуку, і який називається порогом чутності. **Поріг чутності** – найменше значення подразнювальної сили чистого тону, що викликає відчуття звуку. Іншими словами **поріг чутності** – *мінімальний звуковий тиск, за якого існує відчуття звуку*. Поріг чутності є абсолютним, тому що вимірюється в умовах повної тиші на синусоїдальному сигналі, тривалість дії якого ≥ 250 мс. У зв'язку з особливостями будови ССЛ значення абсолютного порога чутності є частотнозалежним (рис. 2.3).

При підвищенні звукового тиску (сили звуку), після області нормальної чутності, до відчуття слухання додається відчутне відчуття тиску, і, нарешті, подразнення стає болісним. У зв'язку із цим існують поняття **поріг відчутності** та **больовий поріг**.

Поріг відчутності – рівень тиску, за якого з'являється відчуття тиску на вуха. Таке відчуття обумовлюється тисками 60...80 Па (132 дБ).

Больовий поріг – рівень тиску, за якого звук завдає болю. Такий ефект досягається при тисках 150...200 Па (140 дБ).

Експериментально отримані криві чутливості вуха показані на рис. 2.3, де по осі абсцис відкладені частоти звукових коливань, по осі ординат – діючі значення інтенсивності звуку. Наведені криві охоплюють область усіх чутних звуків.

Пара частотнозалежних кривих абсолютного порога чутності й больового порога обмежує область чутності звуку, визначаючи значення *динамічного діапазону* ССЛ, який дорівнює 120...130 дБ.

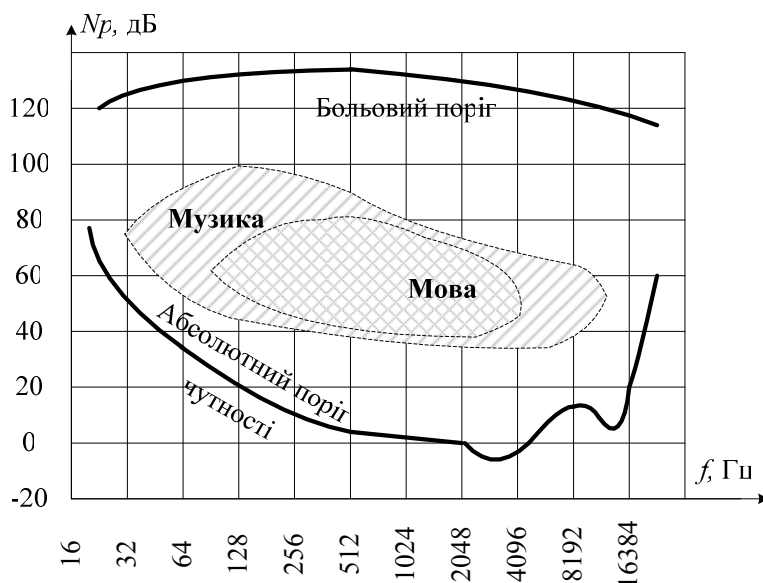


Рисунок 2.3 – Область чутності людського вуха

Криві на рис. 2.3 показують, що при частотах, менших ніж 16 – 20 Гц і вищих 16000 – 20000 Гц, ми не отримуємо слухового відчуття, яка б не була амплітуда звукового коливання. Нагадаємо, що звукові коливання із частотами нижче чутної області частот, називаються інфразвуковими, а із частотами вище чутних – ультразвуковими.

У середній смузі чутних частот, приблизно від 500 до 4000 Гц, область чутності охоплює найбільш широкий діапазон зміни інтенсивності. Так, наприклад, при частоті 1000 Гц відношення інтенсивності, що відповідає больовому порогу, до інтенсивності на порозі чутності дорівнює $\frac{25}{10^{-12}} \approx 10^{13}$ (рис. 2.3). На низьких і найвищих частотах це відношення істотно зменшується. Порогу чутності та больовому порогу при частоті 1000 Гц відповідають округлені значення основних величин, що характеризують амплітуду звукового коливання в повітрі, зазначені в табл. 2.1, і названі *стандартними порогоми*.

Таблиця 2.1 – Стандартні пороги чутності та больового відчуття

Найменування величини	Поріг чутності	Поріг больового відчуття
Інтенсивність (сила звуку)	10^{-12} Вт/м ²	25 Вт/м ²
Діюче значення звукового тиску	$2 \cdot 10^{-5}$ Па	36 Па
Діюче значення коливальної швидкості	$5 \cdot 10^{-6}$ см/с	150 см/с

Діапазон зміни інтенсивностей (звукових тисків) від абсолютного порога чутності до больового порога називається *динамічним діапазоном слуху*.

Тиск і силу звуку зручно визначати в рівнях, виражених у децибелах:

$$N_p = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right), \quad (2.1)$$

$$N_I = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right), \quad (2.2)$$

де p_0 і I_0 – стандартні пороги чутності (табл. 2.1).

У зв'язку з тим, що в одній і тій самій точці поля $N_p = N_I$, індекси у N звичайно не пишуть і для стислості користуються поняттям «рівень поля».

2.4 Особливості слухового сприйняття

Сприйняття за амплітудою. При зміні інтенсивності I слухове відчуття S не буде змінюватися за лінійним законом, так само як і при зміні частоти f . Наближена характеристика залежності, що зв'язує відчуття гучності із силою діючого звуку, дається так званим *психофізіологічним законом Вебера-Фехнера*, відповідно до якого слух однаково оцінює однакові *відносні* зміни інтенсивності зовнішнього подразнення. Ця залежність була сформульована у вигляді $S = k \cdot \lg(I/I_0)$ (k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від інтенсивності та частоти). У застосуванні до слухового відчуття це означає, що при неперервній зміні інтенсивності звуку відчуття змінюється не неперервно, а дискретно, тобто стрибками. Такі стрибки називають *порогом розрізнення інтенсивності*.

Між больовим порогом і порогом чутності кілька сотень елементарних стрибків відчуття, причому на низьких і високих частотах їх значно менше, ніж на середніх. Дискретність сприйняття слуху за амплітудою дає в середньому близько 150 елементарних градацій у всій області слухового сприйняття. Можна вважати, що мінімальне збільшення інтенсивності, що викликає зміну відчуття, становить приблизно 1 дБ у середньому по всьому діапазоні звукових частот.

Криві рівної гучності. Для кількісної оцінки гучності будь-якого складного звуку (у тому числі й шуму) даний звук на слух порівнюється за гучністю із чистим тоном частотою 1000 Гц, інтенсивність якого (I_{1000}) змінюється.

Коли обидва порівнюваних звуки на слух виявляться однаково гучними, то рівень інтенсивності чистого тону ($N_{1000} = 10 \lg \frac{I_{1000}}{10^{-12}}$) вважається рівним рівню гучності досліджуваного звуку та виражається у фонах.

Рівні інтенсивності однакових за гучністю чистих тонів на різних частотах показані у вигляді *кривих рівної гучності* на рис. 2.4. Кожна з наведених кривих відповідає певному значенню рівня гучності. Число фонів, за визначенням, збігається із числом децибелів рівня інтенсивності однакового за гучністю еталонного тону із частотою 1000 Гц. Очевидно, що для частоти 1000 Гц рівень інтенсивності та рівень гучності однакові.

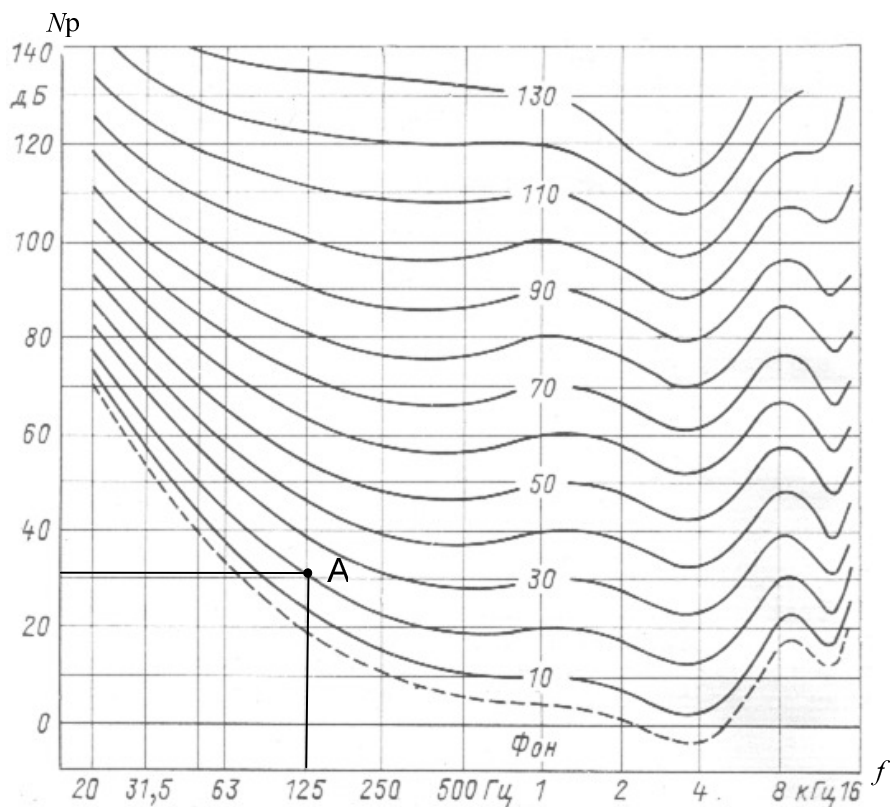


Рисунок 2.4 – Криві рівної гучності

Приклад. Визначити рівень гучності чистого тону частотою 100 Гц при силі звуку $I = 10^{-9}$ Вт/м².

Рівень гучності визначимо за кривими рівної гучності, які наведені на рис. 2.4. Для того, щоб можна було скористатися графіком, обчислимо рівень інтенсивності (сили звуку): $N_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$,

де I_0 – значення інтенсивності, що відповідає стандартному порогу чутності (табл. 2.1).

Для заданого значення інтенсивності на частоті 100 Гц

$$N_I = 10 \lg \frac{10^{-9}}{10^{-12}} = 30 \text{ дБ.}$$

Як бачимо з рис. 2.4, точка з абсцисою $f = 100$ Гц і ординатою $N_I = 30$ дБ розміщується на кривій, що відповідає рівню гучності 20 фонів.

Таким чином, обчисленому рівню інтенсивності відповідає рівень гучності 20 фонів (точка А на рис. 2.4).

Інакше кажучи, при рівні інтенсивності 30 дБ тон із частотою 100 Гц буде сприйматися на слух як однаковий за гучністю з тоном 1000 Гц, рівень інтенсивності якого дорівнює 20 дБ.

Сприйняття за частотою. Слухове відчуття при зміні частоти, також як і при зміні амплітуди, не буде змінюватися за лінійним законом. Як вже згадувалося вище, логарифмічний закон справедливий і при оцінці слухового сприйняття звуку за частотою.

Зміна сприйманої на слух висоти тону залежить не від абсолютної, а від відносної зміни частоти звукового коливання. Інакше кажучи, ми сприймаємо рівні ступені підвищення тону при збільшенні частоти в однакову кількість разів. Основний ступінь підвищення висоти тону, якому відповідає подвоєння частоти звукового коливання є *октава*.

Припустимо, що частота звукового коливання f_0 послідовно збільшується вдвічі, так що:

$$f_1 = 2 \cdot f_0; f_2 = 2 \cdot f_1 = 2^2 \cdot f_0; f_3 = 2 \cdot f_2 = 2^3 \cdot f_0; \dots f_n = 2^n \cdot f_0.$$

При кожному послідовному подвоєнні частоти висота тону підвищиться на один і той самий ступінь, тобто на октаву. З останньої рівності зрозуміло, що

$\frac{f_n}{f_0} = 2^n$, звідси кількість октав:

$$n = \log_2 \frac{f_n}{f_0} \approx 3,34 \cdot \lg \frac{f_n}{f_0} \quad (2.3)$$

Таким чином, ми бачимо, що кількість ступенів (октав), що характеризують зміну висоти тону, що сприймається на слух, пропорційна логарифмові відносного змінення частоти. Виходячи із цього, при побудові графіків залежності різних величин від частоти звукових коливань останні зазвичай наносять у логарифмічному масштабі.

Важливо також відзначити, що при виборі частотних інтервалів для вимірювань спектрів сигналів крім октави часто користуються такими значеннями інтервалів як:

$$\text{напівоктавні } \frac{f_1}{f_0} = \frac{f_n}{f_{n-1}} = \sqrt{2} \text{ та}$$

$$\text{третиннооктавні } \frac{f_1}{f_0} = \frac{f_n}{f_{n-1}} = \sqrt[3]{2} .$$

2.5 Маскування звуку

Розглядаючи особливості слухового сприйняття, що мають важливе значення при побудові та експлуатації електроакустичної і мовленнєвої апаратури, слід відзначити таке явище як маскування звуку.

При одночасному впливі на вухо двох або більше звукових коливань відбувається «заглушення» слабкого звуку більш сильним. Таке явище, що призводить до зменшення чутливості вуха до одного звуку за наявності іншого, називається *маскуванням звуку* (рис. 2.5, а).

У результаті маскування одного звуку іншим може відбутися або повне заглушення (слабкий звук зовсім перестане бути чутним), або часткове. Із цих міркувань ступінь маскування можна кількісно визначити числом децибелів, на яке збільшився поріг чутності одного звуку за наявності іншого. Ця величина називається *маскувальним ефектом* і кількісно може бути оцінена в такий спосіб:

$$M = N_{\text{пчш}} - N_{\text{пчт}}, \text{ дБ}, \quad (2.4)$$

де $N_{\text{пчш}}$ – рівень порога чутності за наявності шуму (або іншої завади);
 $N_{\text{пчт}}$ – рівень порога чутності в тиші.

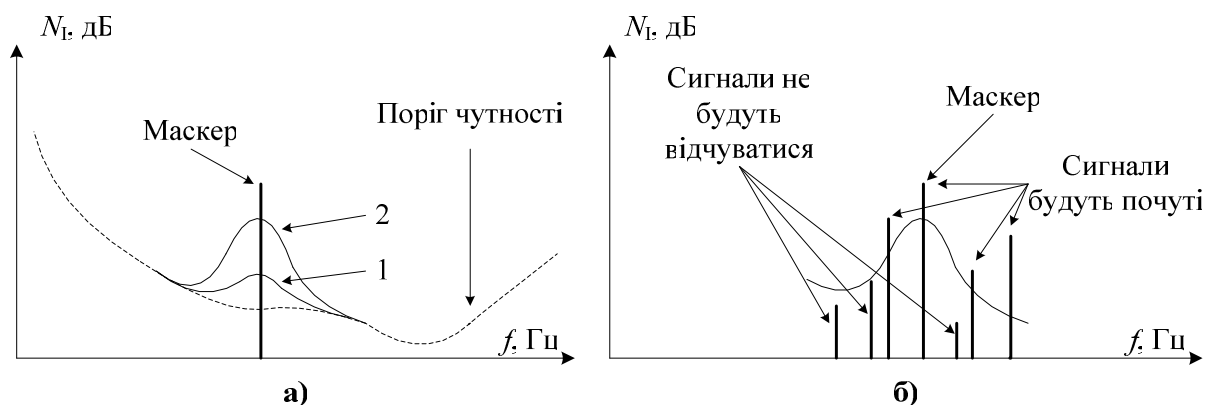


Рисунок 2.5 – Пояснення ефекту частотного маскування:

а) підвищення порога чутності за наявності маскуючого тонального сигналу відбувається пропорційно підвищенню рівня маскера (криві 1, 2); б) сприйняття сигналів з різним рівнем під час маскування

Маскувальна дія тону певної частоти на звуки більш високих частот виявляється набагато сильнішою, ніж на звуки із частотами нижче частоти маскувального тону. Особливо велике маскування тонів, частоти яких близькі до частоти маскувального тону. Ефект маскування проявляється у тому, що звуки, рівень яких нижче за поріг чутності у присутності маскера в певному частотному діапазоні не будуть сприйняті (рис. 2.5, б).

Прослуховування радіомовної передачі іноді супроводжується завадами, які можуть виникати як у самому тракці (електричні завади), так й у приміщенні (акустичні завади). Чутність завад пов'язана з відносним рівнем присутньої завади (стосовно основного корисного сигналу) і властивістю основного сигналу в більшому або меншому ступені маскувати ту або іншу заваду. Останнє пов'язане із частотним складом як корисного сигналу, так і завади. Порівняно слабкі завади можуть бути чутні в паузах передавання основної програми й зовсім нечутні при передаванні самої програми. Останнє пояснюється маскувальною дією переданої програми на заваду.

Розглянуті вище приклади ілюструють явище частотного маскування, коли слабкі звукові сигнали стають непомітними на фоні близьких за частотою більш сильних сигналів. Однак існує ще і явище часового маскування – явище неперервного сприйняття переривчастого звуку.

ССЛ є інерційною системою, ступінь інерційності якої визначається **постійною часу слуху** – часом, протягом якого після вимкнення джерела звуку відчуття за рівнем гучності зменшується на 8-10 фонів. У середньому вона дорівнює 150-200 мс. Інерційність слуху і зумовлює ефект часового маскування. Експериментально доведено, що при подразненні слуху двома короткими імпульсами, однаковими за складом та рівнем із запізнюванням другого імпульсу, що не перевищує 50 мс, відчуття звуку буде носити неперервний характер (рис. 2.6, а).

У разі, коли імпульс, що запізнюється, має менший рівень, він може бути несприйнятим навіть при більшій затримці, тому що відбудеться маскування залишковим відчуттям від першого імпульсу (рис. 2.6, б). Це маскування обумовлене підвищенням порога чутності.

Ще однією особливістю слуху є його *інтегрувальна здатність* – здатність сприйняття з однаковою гучністю двох різних за тривалістю та інтенсивністю звуків (рис. 2.6, в).

Інерційність слуху позначається також на *часі устанавлення висоти* (частоти тону, тональності) сприйманого звуку. Необхідно 2 – 3 періоди звукового впливу, щоб визначити його висоту (приблизну частоту).

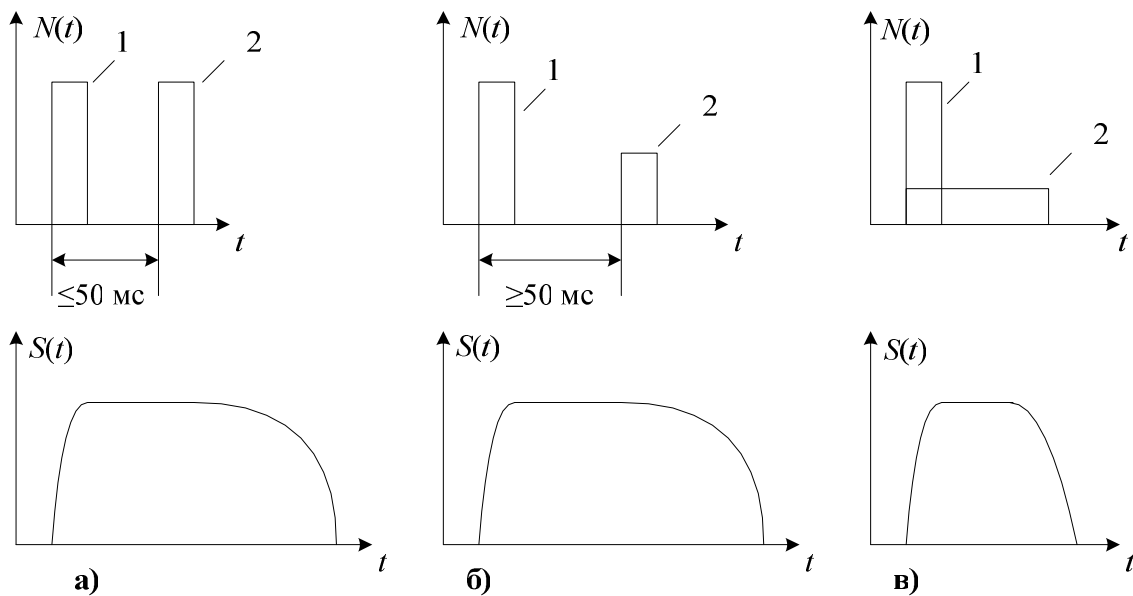


Рисунок 2.6 – Пояснення ефекту часового маскування:

а) імпульсний вплив звуку сприймається як неперервний, якщо затримка між імпульсами не перевищує 50 мс; б) другий імпульс, що має менший рівень, не викликає відчуття звуку, тому що його вплив маскується залишковим відчуттям від першого імпульсу; в) імпульси різної тривалості та амплітуди сприймаються однаково гучно, якщо добутки інтенсивності й тривалості імпульсів рівні

3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

3.1 Яким є частотний і динамічний діапазон слуху? Чому дорівнює максимальне значення динамічного діапазону слуху?

3.2 Як сприймає орган слуху зміну частоти та рівня сигналу? Яка зміна рівня сигналу непомітна на слух?

3.3 Чим визначається «висота» тону, «тембр» звуку?

3.4 Що називається октавою, напівоктавою?

3.5 Що таке гучність звуку? Чому криві рівної гучності дістали таку назву?

3.6 Як проявляється маскування звуку? Як кількісно визначається маскування звуку?

3.7 Назвіть особливості слухового аналізатора людини.

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

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

4.2 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

5 РОБОТА В АУДИТОРІЇ

5.1 Проробити приклади розв'язання задач по визначенню кількості октав і напівоктав у заданому діапазоні звукових частот і визначенню рівня гучності звукових сигналів.

6 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

6.1 Тема і мета заняття.

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

ПРИНЦИПИ ПЕРЕДАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

1 МЕТА ЗАНЯТТЯ

Вивчення параметрів систем телевізійного мовлення та вплив їх вибору на якість відтворюваних зображень.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Телевізійна система (ТВС) являє собою сукупність оптичних, електронних і радіотехнічних пристроїв, що використовуються для передавання на відстань рухомих зображень.

Передавання зображень здійснюється електричним способом, тобто оптичне зображення об'єкта перетворюється в електричний сигнал, що передається по каналу зв'язку, і потім у місці приймання використовується для формування еквівалента оптичного зображення. При цьому необхідно добиватися того, щоб еквівалент зображення, що створюється приймальним телевізійним пристроєм, максимально відповідав об'єкту передавання.

Однією з основних властивостей електричного каналу зв'язку є можливість передавати в кожен момент часу тільки одне значення сигналу. Іншими словами, сигнал повинен бути функцією тільки однієї незалежної змінної – часу: $u = f(t) = u(t)$.

Дослідним шляхом встановлено, що зображення будь-якого об'єкта I може бути описане багатовимірною функцією, що залежить від координат об'єкта в просторі (x, y, z) , розподілу яскравості B відбитого об'єктом випромінювання, спектрального складу цього випромінювання S і часу t :

$$I = f(x, y, z, B, S, t). \quad (3.1)$$

Очевидно, що сигнал, який описується функцією виду (3.1), неможливо передати по електричному каналу зв'язку без додаткових перетворень. Відповідно до накопиченого досвіду у фотографії вдається зберегти об'ємність зображення у випадку відсутності третьої координати. Очевидно, що зображення об'єкта буде повністю визначатися розподілом яскравості відбитого від цього об'єкта випромінювання.¹ У телебаченні при передаванні чорно-білих плоских рухомих зображень розподіл яскравості, а отже й саме зображення описується функцією трьох змінних:

$$I = f(x, y, B, t) \rightarrow B = f(x, y, t). \quad (3.2)$$

Крім інформації про миттєве значення яскравості B необхідно точно знати, з якої точки переданої сцени ця інформація отримана. Для розв'язання задачі перетворення тривимірної функції (3.2) в одновимірну використовуються два фундаментальних принципи, які лежать в основі телебачення –

¹ Мова йде про чорно-білі зображення, системи електричного передавання яких з'явилися раніше систем передавання кольорових зображень.

дискретизація зображення і його розгортка (просторова й часова дискретизація).

Просторова дискретизація полягає в розбитті всього поля переданого зображення на кінцеве число дискретних елементів. Теоретично кількість елементів на зображенні може бути нескінченно великою.

Для телевізійної системи, коли зображення сприймається спостерігачем, ступінь точності відтворення зображення обмежується фізіологічними характеристиками зору: роздільною здатністю ока, його контрастною чутливістю та інерційністю зорового сприйняття. Тому при передаванні зображення умовно розбивається приблизно на 500000 елементарних площадок – елементів зображення. **Елементом зображення** називається мінімальна деталь зображення, усередині якої яскравість і колір вважаються постійними.

Таким чином, телевізійному перетворенню зображень в електричний сигнал передують побудова плоского оптичного зображення і його поелементний аналіз. Елементи повинні бути досить дрібними, а їхнє число досить велике, щоб око не помічало дискретної структури зображення.

У разі одночасного передавання інформації про всі елементи ТВС потребувала б кількість каналів, яка дорівнює кількості елементів зображення, що практично неможливо. Проблему великої кількості каналів зв'язку вирішує другий основний принцип, на якому базується телебачення – це послідовне в часі передавання по каналу інформації про яскравість елементів зображення. Цей принцип називається **розгорткою**.

Можливість послідовного передавання телевізійного зображення по одному каналу зв'язку базується на явищі інерційності зорового сприйняття.

Принцип розгортки, що перетворює зображення в чергу послідовних електричних сигналів, вирішує поставлене завдання – отримання злитого зображення.

При реалізації розгортки повинні бути виконані такі вимоги:

- за повний цикл розгортки повинні бути передані *всі* елементи зображення лише *один раз*;
- час розгортки одного елемента повинен бути одним і тим самим по всьому зображенню;
- технічна простота виконання.

Процес розгортки полягає в періодичному русі елемента розгортки по зображенню, що передається і відтворюється. В наш час для розгортки використовується електронний промінь передавальної та приймальної вакуумних ТВ трубок або комутація світлочутливих елементів напівпровідникових перетворювачів. Спосіб переміщення електронних променів по площині зображень може бути будь-яким. Однак для правильного відтворення зображення закон руху електронних променів при передаванні і прийманні зображень повинен бути строго однаковим, тобто необхідно дотримуватися *синхронності* і *синфазності* розгортки. Якщо ці умови не будуть виконані, відтворення на приймальному кінці еквівалента зображення об'єкта буде неможливим.

Найбільш простим видом розгортки вважається *лінійна розгортка*. Прийнята у ТВ мовленні *порядкова* або *прогресивна* розгортка належить до виду лінійних. Елементи зображення при цьому зчитуються зліва направо, рядок за рядком зверху вниз, як текст у книзі.

За рахунок руху електронного променя по горизонталі прокреслюються паралельні прямі лінії – рядки. Рух від початку до кінця рядка утворить *прямий хід* розгортки по рядку, а повернення елемента розгортки від кінця попереднього рядка до початку наступної називається *зворотним ходом*, який необхідний для підготовки до розгортки наступного рядка. У результаті переміщення по вертикалі, що створюється кадровою розгорткою, всі рядки розміщуються один під одним. Переміщуючись, електронний промінь модулюється за яскравістю, величина якої повинна бути пропорційна яскравості того елемента зображення, у положенні якого перебуває промінь у даний момент часу. Внаслідок інерційності зорового сприйняття спостерігач одночасно побачить всю сукупність елементів зображення на екрані.

Структура зображення (сукупність прямих і зворотних ходів уздовж рядків та уздовж кадру), утворена в процесі розгортки, називається *растром* (рис. 3.1, а).

Повний цикл обходу аналізуючим та відтворюючим пристроями всіх елементів зображення називається *кадром*.

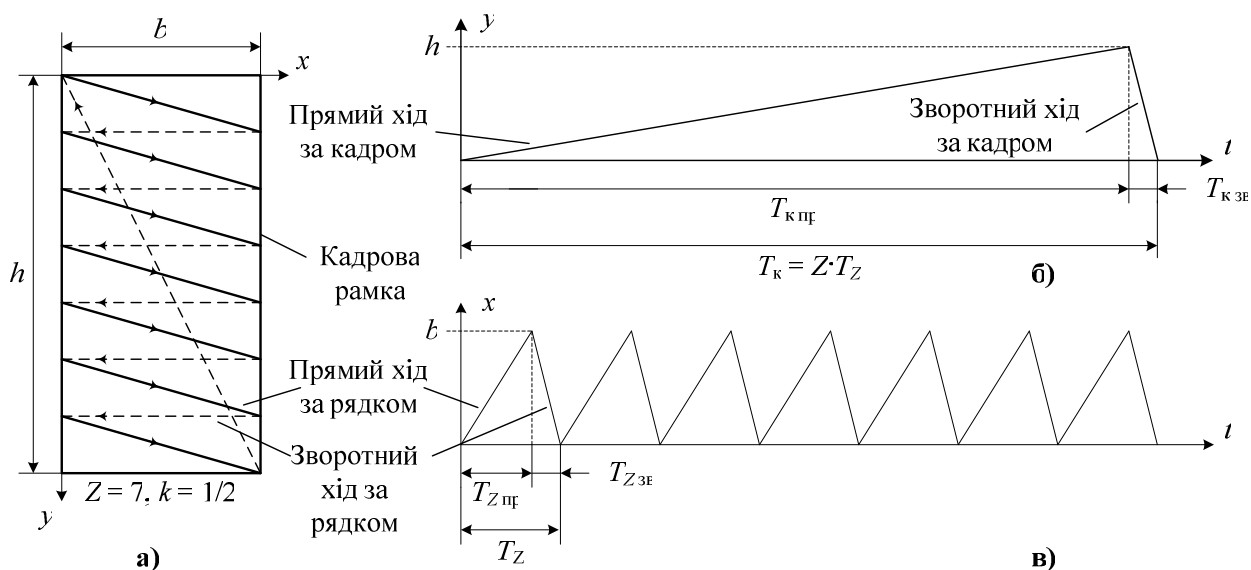


Рисунок 3.1 – Прогресивна розгортка зображення:

а) схема утворення растра; б) часова діаграма руху елемента розгортки для вертикальної (кадрової) розгортки; в) часова діаграма руху елемента розгортки для горизонтальної (рядкової) розгортки

Закон руху елемента розгортки по горизонталі – уздовж осі x як функція часу $x = f(t)$ зображується у вигляді кривої пилкоподібної форми (рис. 3.1, в). Щоб рядки растра були паралельні та розміщувалися один під одним, характер руху по вертикалі також робиться лінійним. При цьому рядки растра опиняються трохи нахиленими відносно горизонтальної границі ТВ зображення, що при великій кількості рядків растра практично непомітно.

Закон руху елемента розгортки по вертикалі як функція часу $y = f(t)$ аналогічний закону руху по горизонталі і також є пилкоподібним (рис. 3.1, б). Аналогічно рядковій кадрової розгортка має прямий і зворотний ходи.

Кількість рядків зображення Z є одним з основних параметрів, що характеризують ТВ систему.

Крім того, до основних параметрів телевізійної системи також належать:

– кількість кадрів, переданих за секунду, n ;

– формат кадру $k = \frac{b}{h}$, де b – ширина кадрової рамки, h – її висота.

Число рядків у растрі Z вибирають, виходячи з роздільної здатності зору.

Особливості будови зорової системи людини визначають найкращі умови спостереження зображення. Зображення добре спостерігається з відстані L , що в 4 – 6 разів перевищує висоту кадру h . Вертикальний кут α , під яким при цьому спостерігається кадр, становить $10 - 14^\circ$ (рис. 3.2). Щоб на зображенні не була помітна його рядкова структура, два сусідні рядки повинні спостерігатися під кутом $\psi = 1'$. Цей кут характеризує роздільну здатність зору.

Звідси $Z = \frac{\alpha}{\psi} = 600 \dots 840$ рядків.

Вибране число рядків характеризує *чіткість* ТВ зображення у вертикальному напрямку, тобто здатність відтворювати дрібні деталі по вертикалі.

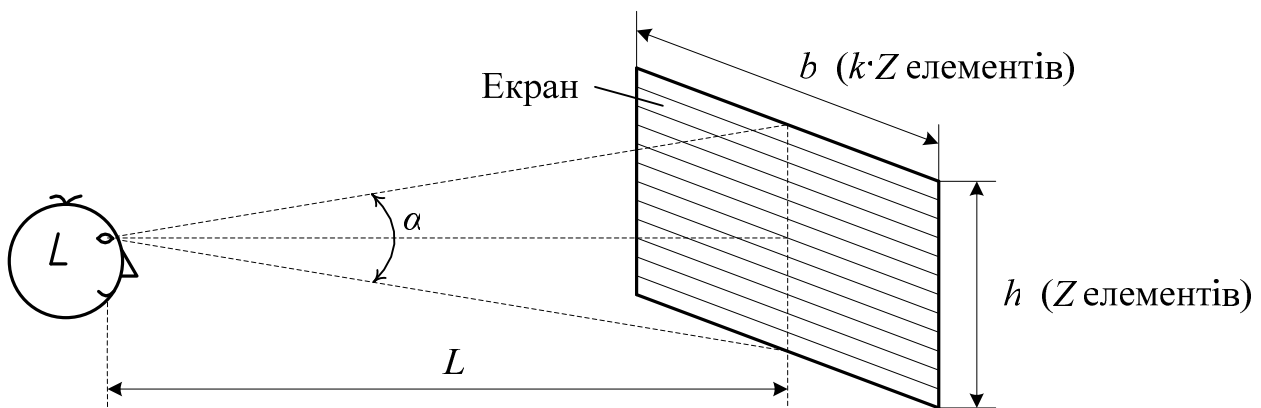


Рисунок 3.2 – Підрахунок граничного числа рядків зображення

Для системи звичайної чіткості в країнах Європи стандартизовано $Z = 625$.

Шириною рядка й відстанню між рядками визначається мінімальний розмір елемента зображення. Якщо елемент має форму квадрата, то в одному рядку укладається $k \cdot Z$ елементів зображення (рис. 3.2). У растрі, що містить Z рядків, укладається $N = k \cdot Z^2$ елементів. Вибір числа рядків растра визначає і загальне число елементів усього зображення.

Що стосується вибору числа кадрів n , він ґрунтується на таких властивостях зору:

– інерційність зору;
– критична частота мерехтінь – частота спалахів джерела світла, починаючи з якої джерело здається неперервно випромінюючим (таким, що неперервно світиться).

З кінематографії відомо, що достатньо передавати 16 окремих фаз руху (кадрів) за секунду, щоб не була помітна дискретність руху в часі. Однак за такої частоти зміни кадрів створюються помітні мерехтіння яскравості. Для відсутності мерехтінь яскравості на сучасних теле- і кіноекранах, критична частота мерехтінь повинна бути не менш ніж 48 – 50 Гц. Для систем ТВ мовлення частота мерехтінь відтворених зображень узгоджується також із частотою живильної мережі змінного струму, що поліпшує синхронізацію розгортки. При застосуванні прогресивної розгортки частота зміни кадрів повинна дорівнювати 50 Гц. Це робиться для того, щоб фон мережі змінного струму, що створює нерівномірність яскравості уздовж кадру, був менш помітний на зображенні.

Значення частоти зміни кадрів визначає смугу частот ТВ сигналу. При прогресивній розгортці мінімальна частота сигналу дорівнює частоті вертикальної розгортки $f_{\text{мін}} = 50$ Гц. Максимальна частота визначається дрібними деталями зображення, які ще можуть бути відтворені на екрані телевізора. Вираз для $f_{\text{макс}}$ може бути поданий у вигляді:

$$f_{\text{макс}} = \frac{k \cdot Z^2 \cdot n}{2}. \quad (3.3)$$

Беручи до уваги стандартні значення $Z = 625$ й $n = 50$, отримаємо $f_{\text{макс}} = 4/3 \cdot 625^2 \cdot 50/2 = 13$ МГц. Таким чином, смуга частот, яку займає ТВ сигнал при прогресивній розгортці $\Delta f = f_{\text{макс}} - f_{\text{мін}} \approx 13$ МГц.

Організувати широкосмуговий канал передавання ТВ сигналів досить не вигідно. Тому при побудові телевізійної системи намагаються зменшити ширину смуги частот, яку займає повний ТВ сигнал. Подвійне скорочення смуги частот можна отримати застосуванням *черезрядкової розгортки*. Її сутність полягає в передаванні одного кадру зображення у два прийоми. Повний кадр зображення складається із двох полів. За час розгортки першого поля прокреслюються всі непарні, а за час розгортки другого поля – всі парні рядки кадру. Внаслідок інерційності око сприймає зображення обох полів як злите зображення кадру, що містить повне число елементів.

Чергування рядків першого й другого полів досягається вибором непарного числа рядків у кадрі, завдяки чому друге поле починається з половини рядка, і всі рядки другого поля опиняються відповідно зсувеними по вертикалі відносно рядків першого поля (рис. 3.3, а).

Якщо перемежування рядків порушується, вони накладаються один на одного, при цьому погіршується роздільна здатність системи у вертикальному напрямку. Крім того, число рядків у кадрі Z повинне ділитися на прості числа. Це потрібно для простішої побудови синхрогенератора, що формує сигнали синхронізації та гасіння. Сигнал синхронізації задає частоти рядкової та кадрової розгортки.

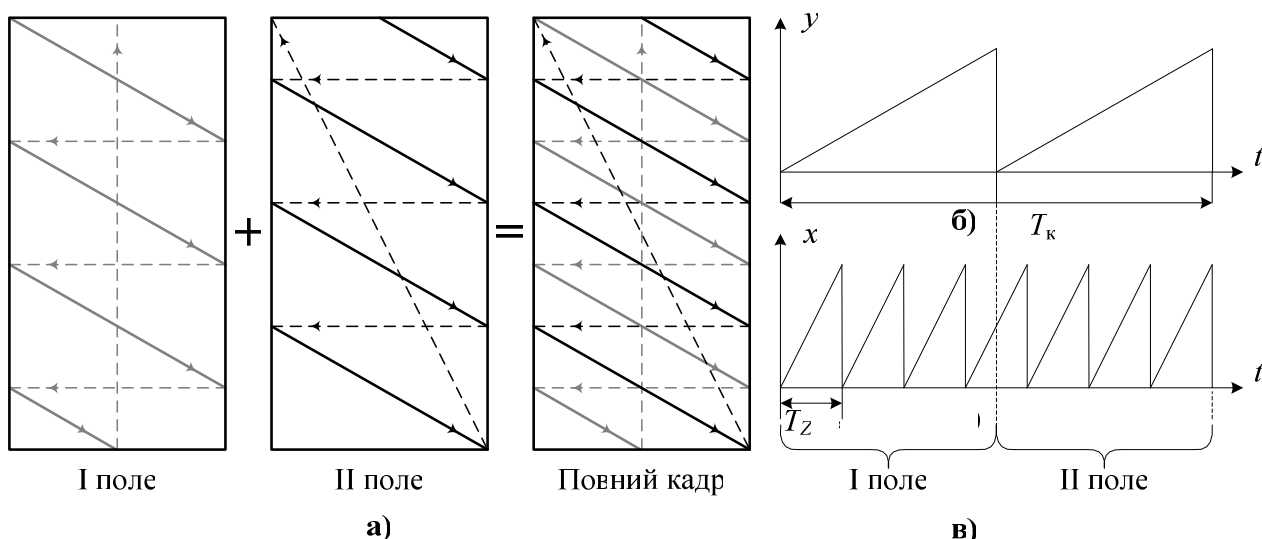


Рисунок 3.3 – Черезрядкова розгортка зображення:

а) схема утворення раstra; б) часова діаграма руху елемента розгортки для вертикальної (кадрової) розгортки; в) часова діаграма руху елемента розгортки для горизонтальної (рядкової) розгортки

При черезрядковій розгортці частота зміни полів $f_{\text{п}}$ дорівнює частоті мерехтінь яскравості зображення. У ТВ мовленні прийнята частота зміни полів 50 Гц. При цьому частота зміни кадрів $f_{\text{к}}$ буде вдвічі нижче частоти зміни полів, тобто $f_{\text{к}} = 25$ Гц.

Найважливішим параметром ТВ системи є частота рядкової розгортки f_{z} , що визначається виразом

$$f_{\text{z}} = Z \cdot f_{\text{к}}. \quad (3.4)$$

Для вітчизняного мовленнєвого ТВ стандарту, що передбачає застосування черезрядкової розгортки, f_{z} має числове значення:

$$f_{\text{z}} = 625 \cdot 25 = 15625 \text{ Гц.}$$

При цьому період рядкової розгортки дорівнює: $T_{\text{z}} = 1/f_{\text{z}} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 64 \text{ мкс.}$

Причому $T_{\text{z}} = T_{\text{z1}} + T_{\text{z2}}$, де T_{z1} , T_{z2} – тривалості відповідно прямого і зворотного ходів рядкової розгортки (рис. 3.3, в). Тривалість зворотного ходу, під час якого відеосигнал не передається і зображення не відтворюється, становить 12 мкс.

Період кадрової розгортки дорівнює:

$$T_{\text{п}} = 1/f_{\text{п}} = 1/50 = 2 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ мс.}$$

Причому $T_{\text{п}} = T_{\text{п1}} + T_{\text{п2}}$, де $T_{\text{п1}}$, $T_{\text{п2}}$ – тривалості прямого і зворотного ходів кадрової розгортки. Час зворотного ходу кадрової розгортки охоплює 25 періодів рядків, які не беруть участі у формуванні ТВ зображення, тобто $T_{\text{п2}} = 25 \cdot T_{\text{z}} = 1,6 \text{ мс.}$ Якщо врахувати, що у телебаченні використовується черезрядкова розгортка, то протягом періоду кожного кадру здійснюється два зворотних ходи по вертикалі. Тому з номінального числа рядків в одному кадрі 50 рядків не відтворюються на зображенні, тому що вони припадають на інтервали зворотних ходів по вертикалі.

У процесі розгортки оптичного зображення елемент за елементом, рядок за рядком формуються електричні імпульси, розмах яких пропорційний яскравості відповідних ділянок зображення. Ці імпульси в сукупності утворюють *сигнал яскравості*.

Щоб повернення променя до початку наступного рядка і початку наступного поля було непомітним, у вихідний сигнал яскравості вводиться *сигнал гасіння* – сигнал у вигляді сукупності спеціальних імпульсів з частотою рядків і полів, призначених для «запирання» перетворювачів на час зворотних ходів розгортки. Під час дії сигналу гасіння вихідний сигнал яскравості не передається. На імпульсах гасіння розміщують *сигнал синхронізації*, необхідний для підтримки синхронної й синфазної роботи генераторів розгортки при аналізі та синтезі зображення.

Початковий сигнал яскравості, сигнали гасіння і синхронізації утворюють повний телевізійний сигнал ПТВС (рис. 3.4).

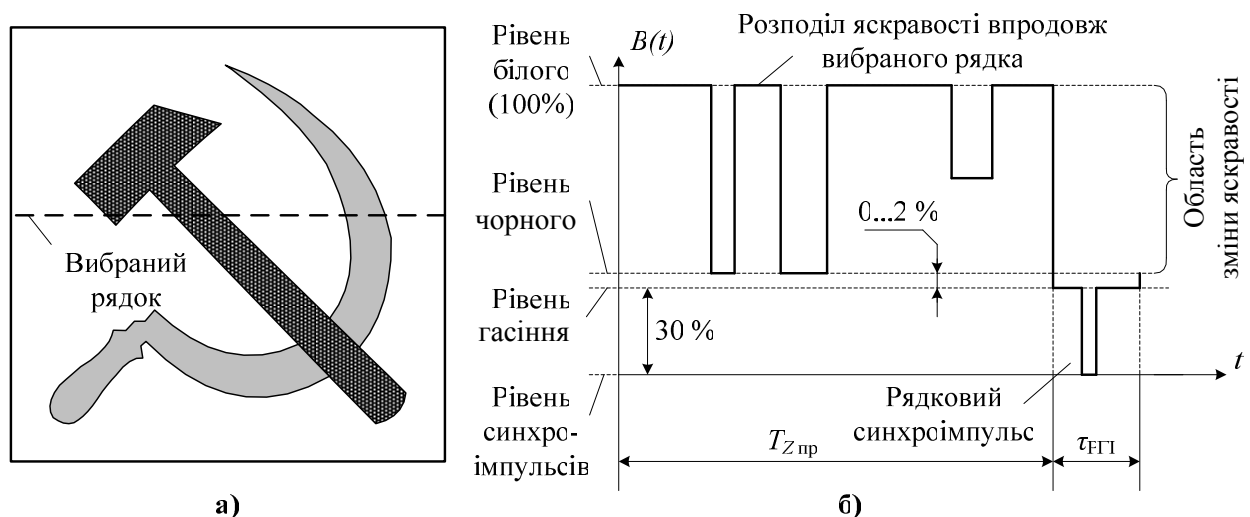


Рисунок 3.4 – Формування повного ТВ сигналу:

а) зображення з вибраним рядком; б) спрощена форма ПТВС на інтервалі, що відповідає тривалості вибраного рядка

На рисунку форма повного ТВ сигналу подана на часовому інтервалі, що відповідає одному періоду рядкової розгортки T_Z . В інтервалі часу $T_{Zпр}$, що відповідає прямому ходу рядкової розгортки, передається сигнал яскравості. Рівень сигналу, що відповідає мінімальному значенню яскравості, називається рівнем чорного, а рівень, що відповідає максимальному значенню яскравості, – рівнем білого. Між цими рівнями розміщуються миттєві значення рівня сигналу яскравості. В інтервалі часу $T_{Zзв}$, що відповідає зворотному ходу рядкової розгортки, передається рядковий імпульс гасіння, *тривалістю* $\tau_{ГІ}$, на якому розміщується імпульс синхронізації.

3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

3.1 На яких властивостях зору ґрунтується передавання телевізійних зображень?

3.2 В чому полягає принцип прогресивної та черезрядкової розгортки?

3.3 Причини використання черезрядкової розгортки у мовленнєвому телебаченні.

3.4 Які умови потрібно виконати для отримання черезрядкової розгортки?

3.5 З яких умов визначається число рядків ТВ зображення?

3.6 На чому заснований вибір частоти зміни кадрів у ТВ системі?

3.7 Поясніть склад повного ТВ сигналу.

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

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

4.2 Підготувати відповіді на ключові питання.

5 РОБОТА В АУДИТОРІЇ

Опрацювати приклади побудови ТВ растра при прогресивній і черезрядковій розгортках для заданих значень параметрів z і k .

6 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

6.1 Тема і мета заняття.

6.2 Структури растра при прогресивній і черезрядковій розгортках.

ОСНОВИ 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 такий спосіб для побудови системи кольорового телебачення необхідно, в першу чергу, з'ясувати властивості кольорових зображень, характеристики 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 лежить 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 вираження 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 видимого випромінювання можна використовувати частотний розподіл енергії цього випромінювання або його спектр. У такий спосіб колір можна характеризувати не тільки якісно (суб'єктивним описом на основі зорових відчуттів), але й кількісно (об'єктивно вимірюваними величинами), що складає передумови 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, видиме 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 λ_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_λ – 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	Домінанта	λ_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.

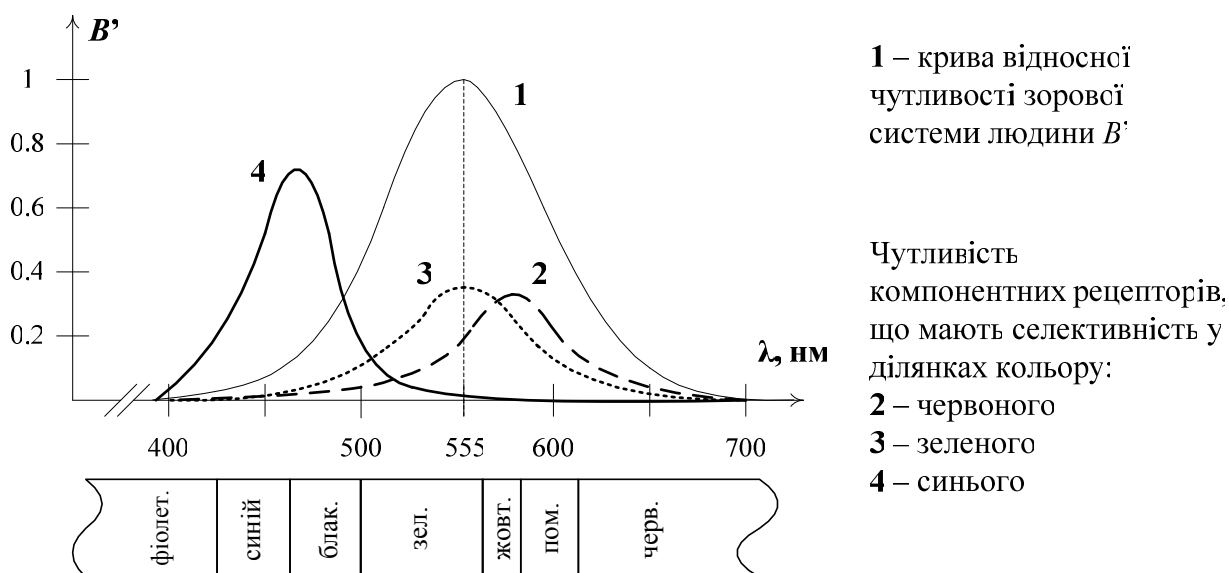


Рисунок 4.1 – Криві відності (спектральної чутливості) зорової системи людини

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 інших².

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

Не дивлячись на численні експериментальні підтвердження трикомпонентної теорії зору, її повне формальне доведення відсутнє³.

2.3 Способи формування кольорів

У зв'язку з тим, що відчуття кольору викликається випромінюванням з нерівномірним спектром, досить зробити фільтрацію рівномірного випромінювання, 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 випромінювання (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 початковому випромінюванні. Крім того, яскравість утвореного кольору завжди буде нижче яскравості початкового кольору. Через це, а також деякі інші причини субтрактивний метод не знайшов поширення в телебаченні.

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

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

² 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.

³ 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.

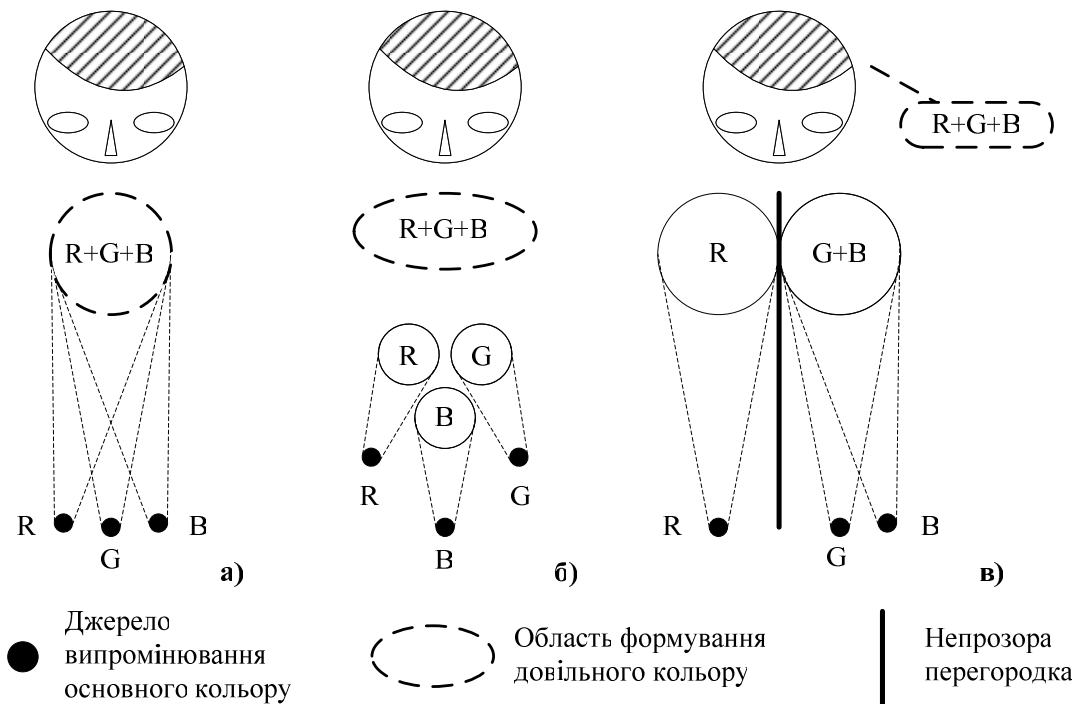


Рисунок 4.2 – типи адитивного способу формування кольору:
а) локальний; б) просторовий; в) бінокулярний

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).

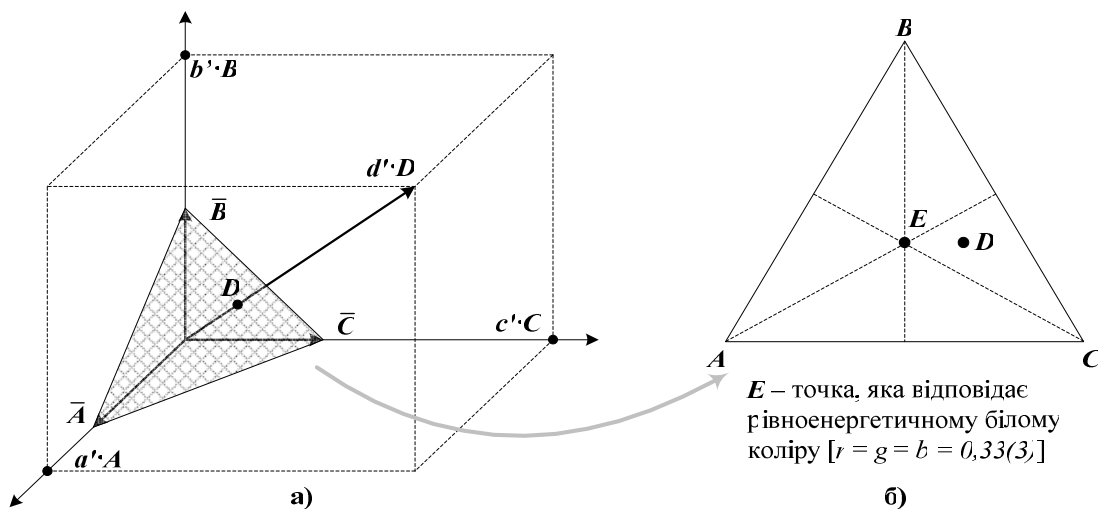


Рисунок 4.3 – Геометричне подання кольору:

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 нм⁴. При такій побудові утвориться конічна поверхня з вершиною в точці, яка відповідає початку координат (чорному кольору), та має назву *конуса кольорів*⁵ (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 границі 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 кольори⁶. 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.

⁴ Монохроматичним називається таке випромінювання, енергія якого зосереджена на єдиній частоті.

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

⁶ 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.

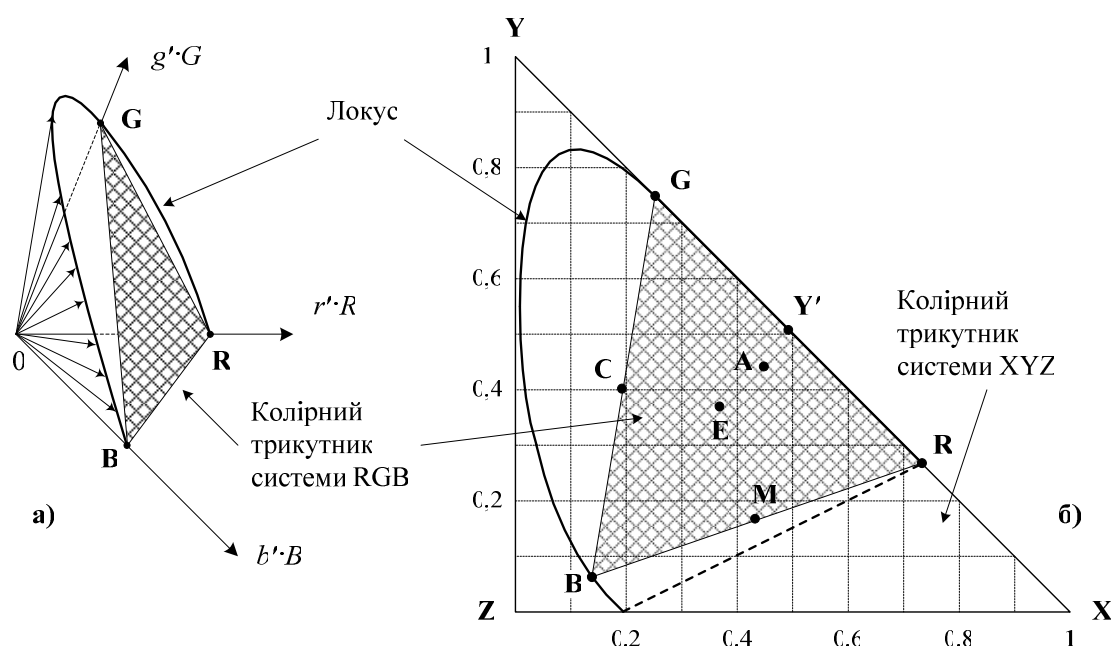


Рисунок 4.4 – Колірні простори різних систем:

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 XYZ⁷, 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. Ґрунтуючись на трикомпонентній теорії колірної сприйняття 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 зображення⁸. 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 жодний відтворюючий 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-

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

⁸ 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 якості⁹. **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 складові¹⁰. 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.

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

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

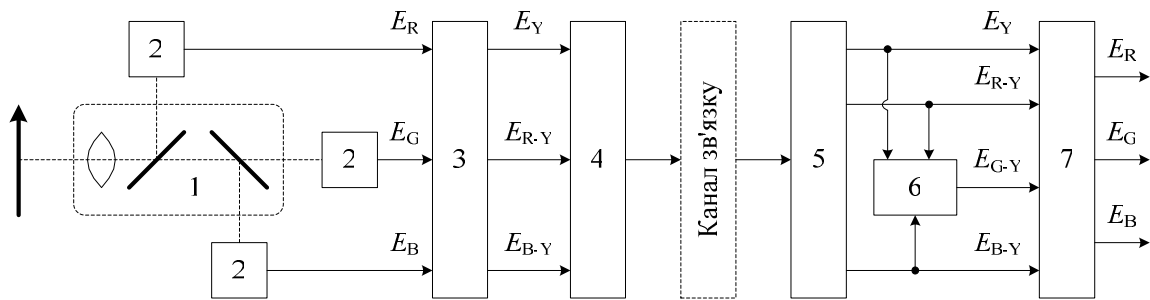


Рисунок 4.5 – Узагальнена структурна схема сумісної системи кольорового телебачення:

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 **кольорорізнцевими**:

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

Однак каналом зв'язку досить передати два із трьох кольорорізнцевих 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 кольорорізнцевих 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 сигнал¹¹.

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 .

¹¹ 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.

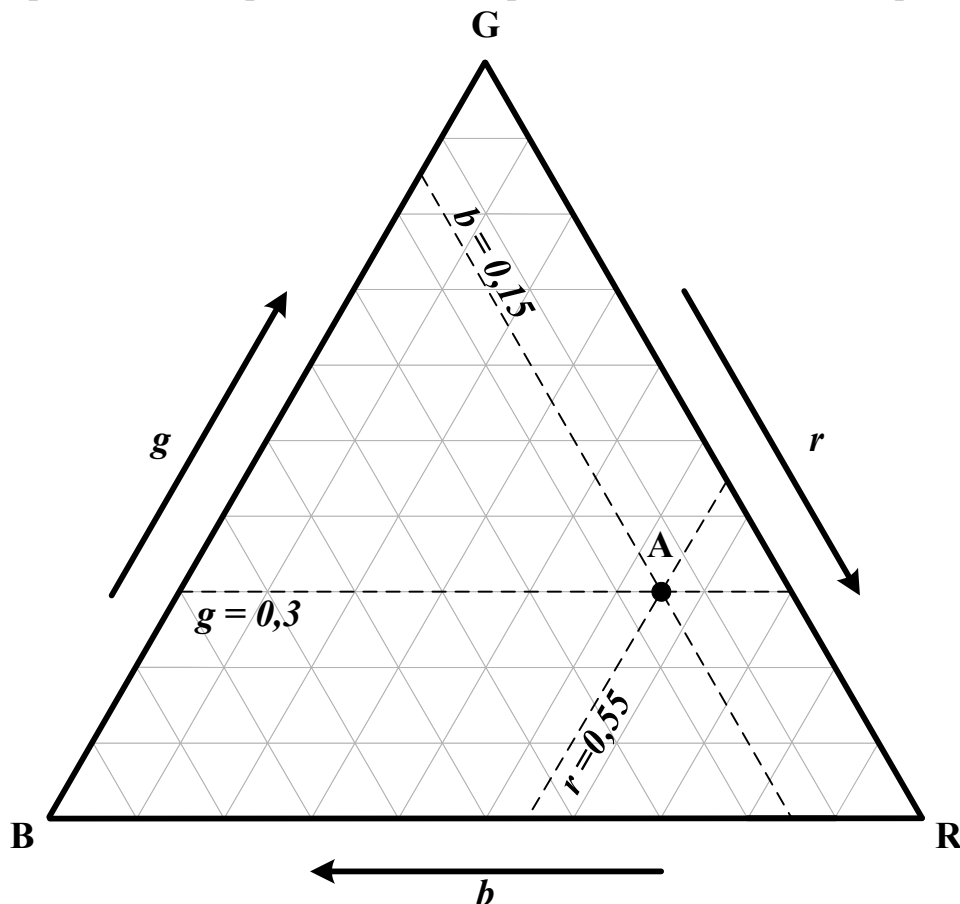


Рисунок 4.6 – Визначення колірних координат за трикутником Максвелла

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_λ – кількість кольору, що забарвлює;

F_δ – 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_λ пропорційне одній з координат r_λ, g_λ або b_λ , якщо колір, що забарвлює, є основним, або сумі двох координат, якщо колір, що забарвлює, є додатковим.

Значення F_δ пропорційне сумі координат білого кольору, що розбавляє, r_δ, g_δ і b_δ , рівних між собою.

При цьому

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

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

Визначимо чистоту кольору, що відповідає 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 підрахувати, 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 числу 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 заданному 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; α і β – 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	α	β	Смуга №1	Смуга №2	Фон
1	5	25	4:3	405	0,16	0,08	Червоний	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	Червоний	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	Червоний	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	Червоний	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	Червоний	Блак. 60%	Чорний

УКРАЇНСЬКО-РОСІЙСЬКИЙ ПОКАЖЧИК ТЕРМІНІВ

волосяні клітини (у складі ССЛ)	– волосковые клетки (в составе ССЧ)
густина імовірності	– плотность вероятности
гучність звуку	– громкость звука
зворотний хід розгортки	– обратный ход развертки
завитка (у складі ССЛ)	– улитка (в составе ССЧ)
звуковий тиск	– звуковое давление
зрозумілість мови	– понятность речи
інтегрувальна здатність	– интегрирующая способность
ковадло (у складі ССЛ)	– наковаленка (в составе ССЧ)
колірність	– цветность
кольороподільні сигнали	– цветоделенные сигналы
кольорорізницеві сигнали	– цветоразностые сигналы
область чутності	– область слышимости
поріг відчуття	– порог ощущения
поріг розрізнення інтенсивності	– порог различения интенсивности
поріг чутності	– порог слышимости
порядкова розгортка	– построчная развертка
прямий хід розгортки	– прямой ход развертки
розбірливість мови	– разборчивость речи
розгортка	– развертка
роздільна здатність зору	– разрешающая способность зрения
сигнал гасіння	– сигнал гашения
сигнал яскравості	– сигнал яркости
скронева кістка (у складі ССЛ)	– височная кость (в составе ССЧ)
складова роізбірливість	– слоговая разборчивость
спектральна густина потужності	– спектральная плотность мощности
стремінце (у складі ССЛ)	– стремечко (в составе ССЧ)
частота мерехтінь	– частота мельканий
черезрядкова розгортка	– чересстрочная развертка

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	6
Практичне заняття № 1 – СИГНАЛИ ЗВУКОВОГО МОВЛЕННЯ: ОПИС І ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	7
Практичне заняття № 2 – ОСОБЛИВОСТІ СЛУХОВОГО СПРИЙНЯТТЯ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ.....	15
Практичне заняття № 3 – ПРИНЦИПИ ПЕРЕДАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ.....	26
Практичне заняття № 4 – ОСНОВИ КОЛЬОРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ	34
ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ.....	48
УКРАЇНСЬКО-РОСІЙСЬКИЙ ПОКАЖЧИК ТЕРМІНІВ.....	51

Здано в набір 27.10.2011 Підписано до друку 2.11.2011

Формат 60x90/16 Зам. № 46

Наклад 100 прим. Обсяг 3,2 друк. арк.

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова

м. Одеса, вул. Ковалевського, 5

Тел. 720-78-94

ОНАЗ, 2011