

Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов

# **СИСТЕМИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ**



**Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет**

**Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко,  
С. В. Павлов**

**СИСТЕМИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ  
ТА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ**

**Навчальний посібник**

**Вінниця  
ВНТУ  
2014**

**УДК [621.397+004.93](075)**  
**ББК [32.94+32.96]я73**  
**Д69**

Автори:

**Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов**

Рекомендовано до видання Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Оптотехніка». Лист № 1/11-11064 від 08.07.2013 р.

Рецензенти:

**Л. І. Тимченко**, доктор технічних наук, професор (ДЕТУТ)

**О. В. Осадчук**, доктор технічних наук, професор (ВНТУ)

**З. Ю. Готра**, доктор технічних наук, професор (НУЛП)

**Дорощенко, Г. Д.**

**Д69** Системи телебачення та технічного зору : навчальний посібник / Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 209 с.

ISBN 978-966-641-593-9

В навчальному посібнику наведені основи системної побудови, структурна та функціональна організація, схемотехніка, елементна база, хронологія аналогового і цифрового телебачення та технічного зору. Призначений для студентів напрямку “Оптотехніка” та спеціальності “Лазерна та оптоелектронна техніка”.

**УДК [621.397+004.93](075)**

**ББК [32.94+32.96]я73**

**ISBN 978-966-641-593-9**

© Г. Дорощенко, В. Кожем'яко, С. Павлов, 2014

## Зміст

<b>Передмова</b> .....	6
<b>Вступ</b> .....	7
<b>Розділ 1 ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ</b> .....	8
1.1 Світло та його характеристики .....	8
1.1.1 Сила.....	8
1.1.2 Світловий потік.....	9
1.1.3 Освітленість .....	10
1.1.4 Яскравість.....	10
1.1.5 Світлова енергія, світимість, світлова експозиція .....	10
1.2 Основи фізіологічної оптики .....	11
1.2.1 Світлосприймаюча система ока.....	11
1.2.2 Відчуття простору.....	12
1.2.3 Відчуття інтенсивності світла та спектральна чутливість.....	13
1.2.4 Сприйняття дрібних деталей зображення .....	14
1.2.5 Інерційність зорового відчуття .....	15
1.2.6 Колір та його компоненти .....	15
Контрольні запитання та завдання .....	18
<b>Розділ 2 ОСНОВИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ</b> .....	19
2.1 Основні принципи телебачення.....	19
2.1.1 Хронологія винаходу телебачення .....	19
2.1.2 Особливості передачі та розгортка зображень.....	20
2.1.3 Відеосигнал і його характеристики .....	22
2.1.4 Структура телевізійної системи .....	25
2.2 Передача і прийом телевізійного сигналу .....	27
2.2.1 Розповсюдження радіохвиль.....	27
2.2.2 Діапазони передачі і прийому, телевізійні канали.....	29
2.2.3 Телевізійні антени, кабелі і їх параметри .....	30
2.2.4 Антена метрових та дециметрових хвиль.....	32
2.3 Основні системи кольорового телебачення.....	33
2.3.1 Передача сигналів кольору у спектрі сигналу яскравості .....	33
2.3.2 Система кольорового телебачення NTSC .....	37
2.3.3 Система кольорового телебачення PAL.....	43
2.3.4 Система кольорового телебачення SECAM .....	46
Контрольні запитання та завдання .....	51
<b>Розділ 3 ЦИФРОВЕ ТЕЛЕБАЧЕННЯ</b> .....	53
3.1 Дискретизація зображень у просторі і часі.....	54
3.1.1 Структура телевізійного растра.....	54
3.1.2 Вибір частоти дискретизації .....	55

3.1.3 Квантування сигналів зображення .....	57
3.2 Цифрове кодування сигналів зображення .....	60
3.2.1 Методи і характеристики цифрового кодування сигналів .....	60
3.2.2 Імпульсно-кодова модуляція .....	63
3.2.3 Форма імпульсів для подання інформації.....	65
3.2.4 Диференціальна імпульсно-кодова модуляція .....	68
3.2.5 Дельта – модуляція .....	78
3.2.6 Принципи кодування з перетворенням .....	79
3.3 Цифрова обробка та відтворення зображень .....	82
3.3.1 Стандарти цифрового телебачення .....	82
3.3.2 Цифрові методи подання сигналів .....	87
3.3.3 Структура цифрового телевізійного приймача .....	97
Контрольні запитання та завдання .....	98

## **Розділ 4 СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ .....**

4.1 Теоретичні основи та алгоритмічне забезпечення .....	100
4.1.1 Математичний опис та введення зображень .....	100
4.1.2 Принципи алгоритмічного забезпечення .....	104
4.1.3 Методи сегментації зображень .....	110
4.1.4 Принципи око-процесорної обробки зображень .....	114
4.2 Структура та особливості систем технічного зору .....	116
4.2.1 Основні функціональні задачі технічного зору.....	116
4.2.2 Відеоінформування в робототехнічних системах .....	123
4.2.3 Структура робототехнічних систем з технічним зором .....	125
4.3 Основи розрахунку систем технічного зору.....	132
4.3.1 Вибір структури системи технічного зору.....	132
4.3.2 Світлотехнічні (енергетичні) розрахунки .....	134
4.3.3 Розрахунок типових оптичних вузлів .....	137
4.3.4 Визначення об'єму відеоінформації.....	138
4.3.5 Розрахунок ємності обчислювальних засобів .....	139
4.4 Типове застосування технічного зору в робототехніці .....	141
4.4.1 Використання технічного зору при допоміжних виробничих операціях і контролю якості продукції.....	141
4.4.2 Технічний зір зварювальних, фарбувальних та складальних роботів .....	147
4.4.3 Технічний зір мобільних роботів .....	154
4.4.4 Тенденції і перспективи розвитку систем технічного зору.....	159
Контрольні запитання та завдання .....	161

## **Розділ 5 АПАРАТНІ ЗАСОБИ І ТИПОВІ ЕЛЕМЕНТИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ ТА СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ .....**

5.1 Елементарні джерела і приймачі оптичного випромінювання .....	163
5.1.1 Джерела оптичного випромінювання .....	163
5.1.2 Приймачі оптичного випромінювання.....	166

5.2 Пристрої введення зображення та формування відеосигналу .....	167
5.2.1 Датчики телевізійного сигналу .....	167
5.2.2 Принцип накопичення світлової енергії .....	168
5.2.3 Передавальні телевізійні трубки .....	172
5.2.4 Формування сигналу в приладах із зарядовим зв'язком .....	179
5.2.5 Оптико-електронні функціональні перетворювачі .....	182
5.3 Пристрої для відтворення зображень .....	190
5.3.1 Електронно-променеві трубки .....	190
5.3.2 Дискретно-матричні пристрої .....	193
5.4 Специфічні засоби СТЗ .....	197
5.4.1 Фотореле і фото лічильники .....	197
5.4.2 Фотометричні перетворювачі і спектроаналізатори .....	199
5.4.3 Спеціалізовані відео процесори .....	201
Контрольні запитання та завдання .....	204
<b>Література .....</b>	<b>206</b>

## Передмова

Даний навчальний посібник присвячений основам побудови, структурної організації та апаратним засобам і пристроям систем телебачення та технічного зору, які тісно пов'язані між собою в системно-структурному та апаратно-елементному плані. Розглянуті основи системної побудови, схемотехніка, елементна база, хронологія аналогового і цифрового телебачення та технічного зору. Навчальний посібник має п'ять розділів.

В першому розділі розглядаються спільні фізичні аспекти телебачення та технічного зору, а саме світло та його характеристики і основи фізіологічної оптики. В другому розділі розглянуті основи телебачення, зокрема аналогового. Наведена хронологія винаходу телебачення; розглянуті основні принципи телебачення, передача і прийом телевізійного сигналу, основні системи кольорового телебачення. Третій розділ присвячений цифровому телебаченню. Розглянуті питання дискретизації зображень у просторі і часі, цифрового кодування сигналів зображення та обробки і відтворення зображень. Четвертий розділ знайомить читача з системами технічного зору, зокрема в робототехніці. Наведені теоретичні основи, алгоритмічне забезпечення, структура, особливості, основи розрахунку та типове застосування технічного зору. В п'ятому розділі наведені дані апаратних складових та типових елементів розглянутих систем.

Навчальний посібник “Системи телебачення та технічного зору” відповідає навчальному плану підготовки студентів напряму «Опtotехніка» і спеціальності «Лазерна та оптоелектронна техніка» і безумовно буде корисним студентам даної та інших споріднених спеціальностей.

Автори висловлюють подяку рецензентам роботи – д.т.н., проф. Осадчуку О. В, д.т.н., проф. Тимченко Л. І., д.т.н., проф. Готрі З. Ю. за цінні поради та рекомендації.

## Вступ

Сучасний науково-технічний прогрес неможливо уявити без автоматизованих систем відеоінформування та управління, до яких відносяться системи телебачення і технічного зору.

Системи та пристрої телебачення і технічного зору відіграють важливу роль в розвитку сучасної науки та техніки, зокрема в таких галузях, як освоєння космосу, вирішення технологічних задач в атомній енергетиці, автоматизація багатьох виробничих процесів, радіолокація, створення унікальних інструментів наукових досліджень [1-7].

Телебачення як наука розробляє методи і засоби формування, обробки, передачі та відтворення зображень з врахуванням особливостей зору людини. В широкому сенсі телевізійне зображення – це відображення просторових і часових змін яскравості, кольору або інших фізичних параметрів початкового зображення. В аналоговому телебаченні параметри зображення є неперервними функціями просторових і часових координат, в цифровому вони подаються впорядкованими множинами відліків, що дискретизовані у просторі та часі і квантовані за характеристичним параметром. Порівняно з класичним аналоговим цифрове телебачення є вищою стадією розвитку [3]. Обладнання для створення повністю цифрових апаратно-студійних комплексів вже розроблено. Цифрові телевізори вже створені і з'явилися на ринку. Впровадження цифрового телебачення є тільки питанням часу.

Вирішення актуальних завдань автоматизації виробництва потребує також розвитку робототехнічних систем з технічним зором. Поряд з простішими промисловими роботами, що функціонують за жорстких програм, в широку практику все більш входять робототехнічні системи якісно іншого класу, що мають адаптивні можливості та елементи штучного інтелекту. При створенні адаптивних роботів суттєва роль відведена системам технічного зору, що забезпечує сприйняття відеоінформації про навколишнє середовище, автоматичну обробку й аналіз зображень робочих сцен з метою формування команд керування роботом у процесі його функціонування.

Розробники робототехнічних систем технічного зору в багато чому спираються на досвід більш традиційних застосувань технічного зору в пристроях автоматики і телемеханіки, телебачення дефектоскопії, при обробці фотознімків, зображень біологічних препаратів, текстів і т. п. [1].

Науково-технічний рівень розробок систем технічного зору у світі росте дуже швидко і їх елементна база постійно оновлюється. Сучасні розробки систем технічного зору та розпізнавання зображень базуються на спробах відтворити модель функціонування людського ока та процеси, що відбуваються в мозку людини під час сприйняття та аналізу зображення. Саме такий підхід закладається в розробки нових принципів побудови технічних засобів систем технічного зору і штучного інтелекту.



# Розділ 1 ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

## 1.1 Світло та його характеристики

Вимірювання світлових характеристик – це прерогатива фотометрії. Під фотометрією розуміється процес кількісного вимірювання потоку випромінювання, який може викликати фізіологічне відчуття яскравості. Таким чином, це одна із областей радіометрії, що включає фізичне вимірювання потужності та енергії потоку випромінювання, а їхня кількісна фотометрична оцінка отримується в результаті накладання на ці виміри чутливості зорового аналізатора [8].

Перехід від об'єктивної, що не залежить від властивостей приймача випромінювання, системи енергетичних величин до суб'єктивної – світлової системи – проводиться на основі співвідношення між світловим потоком  $\Phi_v$  та потоком випромінювання  $\Phi_e$  [1]:

$$F = \Phi_v = K_m \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (1.1)$$

де  $K_m \approx 680 \text{ Лм/Вт}$  – максимальне значення спектральної ефективності монохроматичного випромінювання для ока людини (на довжині хвилі  $\lambda \approx 0,555 \text{ мкм}$ );  $\lambda_1, \lambda_2$  – діапазон спектральної чутливості ока (зазвичай  $\lambda_1 = 0,38 \text{ мкм}$ ,  $\lambda_2 = 0,76 \text{ мкм}$ );  $V(\lambda)$  – спектральна характеристика чутливості ока (відносна видимість).

Крім інтегральних  $\Phi_e, \Phi_v$ , тобто розглядуваних в широкому спектральному діапазоні, енергетичних та світлових величин, в практиці розрахунків використовуються їх спектральні щільності  $\Phi_e(\lambda), \Phi_v(\lambda)$ . Наприклад,  $\Phi_e(\lambda) = \Delta\Phi_e/\Delta\lambda = d\Phi_e/d\lambda$ . Часто, коли ясно, про які величини йде мова, індекси  $e$  (енергетичний) та  $v$  (візуальний) не використовують.

Розглядаючи енергетичні та світлові величини маємо на увазі, що площі елементарних ділянок випромінюючої та опромінюваної поверхонь дорівнюють  $dA_1$  та  $dA_2$ , відповідно, причому беруться видимі площі, тобто проєкції на площину, перпендикулярну до напрямку, що з'єднує випромінювач та приймач; площа елементарної ділянки випромінюючої поверхні та точковий випромінювач (вершина) утворюють елементарний тілесний кут  $d\omega_1$ .

### 1.1.1 Сила світла

Це основна одиниця в фотометрії, оскільки вона є еталоном. Всі інші терміни визначаються відносно цієї одиниці. Згідно з ГОСТ 7601-78 [9] сила світла – це відношення світлового потоку, що розповсюджується від

джерела у певному напрямі всередині малого тілесного кута, до цього тілесного кута. Звернемося до діаграми, яка наведена на рис. 1.1 [8]. Сила світла вимірюється в канделах (кд). Точкове джерело, що має силу світла 1 кд, розміщене в центрі сфери радіусом 1 м. Просторовий (тілесний) кут, що вирізає на поверхні сфери ділянку ABCD дорівнює 1 ср (стерадіан). Таким чином, сила світла – це площа світлового потоку, що випромінюється точковим джерелом в будь-якому даному напрямі всередині конуса, що утворюється тілесним кутом.

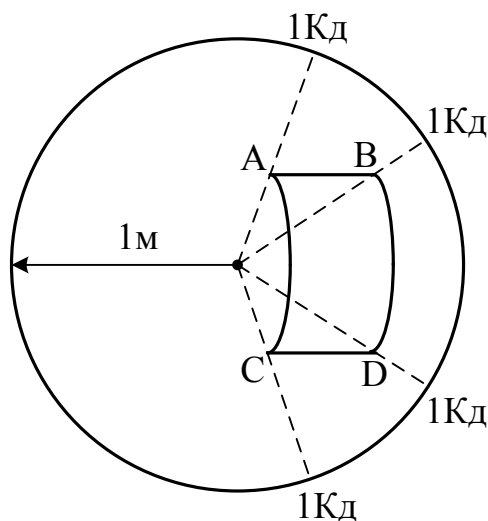


Рисунок 1.1 – Діаграма для пояснення світлових характеристик

Згідно з означенням силу світла описує формула:

$$I_v = d\Phi_v / d\omega_1. \quad (1.2)$$

Енергетична величина відповідна силі світла, є сила випромінювання, яку описує формула, аналогічна формулі (1.2):

$$I_e = d\Phi_e / d\omega_1.$$

Одиниця виміру сили випромінювання – ват на стерадіан (Вт/ср).

### 1.1.2 Світловий потік

Звертаючись до рис. 1.1, бачимо, що світловий потік, який випускається точковим джерелом в центрі сфери, при силі світла в будь-якому напрямі 1 кд в межах тілесного кута 1 ср, дорівнює 1 лм (люмен) та описується формулою:

$$F = I \cdot \omega_1.$$

Звертаючись до формули (1.1), світловий потік описує вираз [1]:

$$F = \Phi_v = 680 \int_{0,38}^{0,76} V(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda.$$

Енергетична величина, відповідна світловому потоку, є потік випромінювання, який описує формула [1]:

$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda.$$

Одиниця виміру потоку випромінювання – Вт.

### 1.1.3 Освітленість

Освітленість визначається як густина світлового потоку, що знаходиться на поверхні і вимірюється в люксах (лк = лм/м<sup>2</sup>). Освітленість описує формула [1]:

$$E_v = d\Phi_v / dA_2. \quad (1.3)$$

Енергетична величина, відповідна освітленості, є опроміненість (одиниця виміру – Вт/м<sup>2</sup>), яку описує формула, аналогічна формулі (1.3):

$$E_e = d\Phi_e / dA_2.$$

### 1.1.4 Яскравість

Яскравість – це відношення сили світла до площі випромінювача. Вимірюється в нітах або канделах на метр в квадраті (ніт = кд/м<sup>2</sup>) [1]:

$$L_v = d^2\Phi_v / (dA_1 d\omega_1), \quad (1.4)$$

Енергетична величина, відповідна яскравості, є променистість (одиниця виміру – Вт/м<sup>2</sup>ср), яку описує формула, аналогічна формулі (1.4):

$$L_e = d^2\Phi_e / (dA_1 d\omega_1).$$

### 1.1.5 Світлова енергія, світимість, світлова експозиція

Світлова енергія вимірюється в люменах за секунду (лм·с), описується формулою [1]:

$$Q_v = \int_0^t \Phi_v(t) dt,$$

їй відповідає енергія випромінювання (одиниця виміру – Дж), яку описує формула:

$$Q_e = \int_0^t \Phi_e(t) dt .$$

Світимість вимірюється в лм/м<sup>2</sup>, описується формулою [1]:

$$M_v = d\Phi_v / dA_1 ,$$

їй відповідає випромінювальність (одиниця виміру – Вт/м<sup>2</sup>), яку описує формула:

$$M_e = d\Phi_e / dA_1 .$$

Світлова експозиція вимірюється в люксах за секунду (лк·с), описується формулою [1]:

$$H_v = \int_0^t E_v(t) dt ,$$

їй відповідає енергетична експозиція (одиниця виміру – Вт·с/м<sup>2</sup>), яку описує формула:

$$H_e = \int_0^t E_e(t) dt .$$

## 1.2 Основи фізіологічної оптики

### 1.2.1 Світлосприймаюча система ока

Око людини 1 являє собою склоподібне тіло (рис. 1.2) [10, 15], обмежене непрозорою оболонкою – склерою 2, яка в передній частині переходить в прозору рогівку 3. За рогівкою розміщена райдужна оболонка 4 з отвором в центрі – зіницею, а за нею – кришталик 5. Простір між рогівкою і кришталиком заповнено рідиною.

Все це разом утворює оптичну систему ока (кришталик – це лінза), з допомогою якої зображення проектується на внутрішню поверхню склери, що покрита світлочутливою сітківкою 6 (ретиною). Сітківка містить два види світлочутливих рецепторів – колбочки і палички.

Колбочки утворюють апарат денного зору і працюють при освітленості більше 0,01 лк. Палички утворюють апарат нічного зору і здатні відрізнити білу поверхню від чорної при освітленості біля 0,000001 лк.

Найбільша щільність розподілення колбочок знаходиться в області жовтої плями 7 і в її центральній впадині – фовеа 8.

9 – зорова вісь ока, 10 – оптична вісь симетрії системи ока, 11 – зоровий нерв.

Кутовий розмір фовеа біля одного градуса, число колбочок в ньому приблизно 4000, а їх щільність  $1,8 \cdot 10^6 \text{ мм}^{-2}$ . Жовта пляма визначає область ясного бачення. Вона має овальну форму, видовжену в горизонтальному напрямку. Її кутові розміри приблизно  $6^\circ$  на  $8^\circ$ .

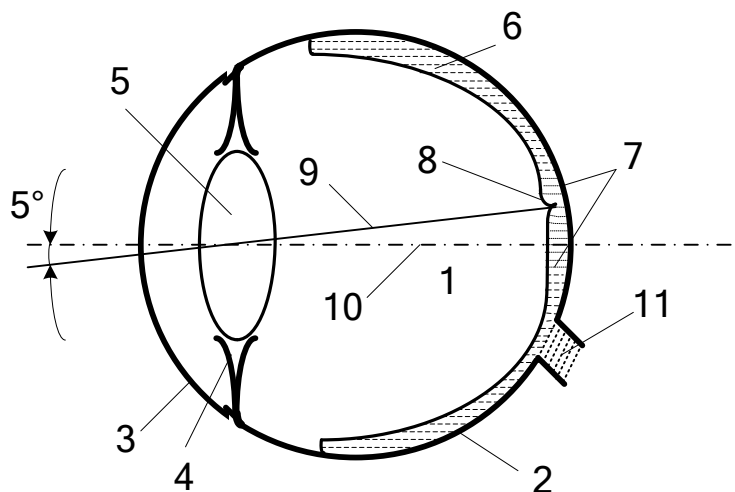


Рисунок 1.2 – Будова ока людини

При розгляданні зображень око автоматично освітлює найбільш цікаву (інформативну для спостереження) ділянку зображення з фовеа.

### 1.2.2 Відчуття простору

При бінокулярному (двома очима) спостереженні точки В (рис. 1.3) зорві осі обох очей в цій точці перехрещуються [10].

Утворений між ними кут  $\alpha$  називається кутом конвергенції або кутом зведення. Промені, які йдуть в очі від крайніх точок об'єкта А, С, утворюють паралактичні кути  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ .

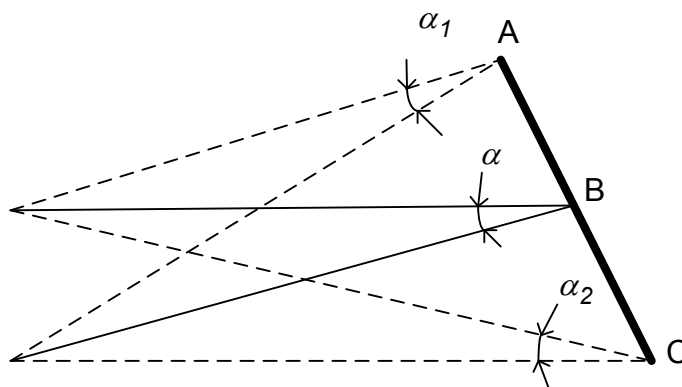


Рисунок 1.3 – Діаграма для пояснення відчуття глибини простору

Різниця паралактичних кутів  $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$  визначає кутове зміщення зображень точок А і С та називається паралаксом. Кутовий паралакс веде до утворення лінійного паралаксу на сітківці лівого та правого очей, що і

дає відчуття глибини простору. Поріг глибинного зору визначається мінімальним кутовим паралаксом і складає  $10 \dots 20''$  (кутових секунд).

### 1.2.3 Відчуття інтенсивності світла та спектральна чутливість

Відношення максимальної яскравості  $L_{\max}$ , яка відповідає відчуттю болю в очах до мінімальної  $L_{\min}$ , яку око ще розрізняє, сягає  $10^{11} \dots 10^{12}$ . Цей діапазон яскравостей охоплюється оком не одночасно. Око кожен раз адаптується до тієї чи іншої середньої яскравості. Зорове відчуття яскравості оцінюють непрямим методом. При розгляданні двох з'єднаних півкіл з яскравістю  $L$  та  $L + \Delta L$ , розташованих в центрі поля з фоновою яскравістю  $L_{\phi}$ , з'являється зорове відчуття яскравості  $D$  та  $D + \Delta D$  [10].

Око починає відрізняти яскравості при деякому пороговому значенні  $\Delta L = \Delta L_{\text{пор}}$ , яке утворює відчуття порогового розрізнення ока  $\Delta D_{\text{пор}}$ . Відношення  $\Delta L_{\text{пор}}/L$  називається диференціальним порогом або пороговим контрастом. Згідно з законом Вебера-Фехнера, приріст зорового відчуття  $\Delta D$  пропорційний відносній зміні яскравості  $\Delta L/L$ :

$$\Delta D = K_L \frac{\Delta L}{L}, \quad (1.5)$$

де  $K_L$  – коефіцієнт пропорційності.

Якщо замінити приріст диференціалами і провести інтегрування рівняння (1.5), отримаємо:

$$D = K_L \cdot \lg L + C, \quad (1.6)$$

де  $C$  – стала інтегрування.

З рівняння (1.6) виходить, що зорове відчуття яскравості пропорційне логарифму яскравості.

На рис. 1.4. [8] зображено криві відносної спектральної чутливості денного (колбочкового) та нічного (паличкового) зору.

Ці криві прийняті як стандарт для візуального розпізнання, хоч характеристики світлової чутливості різних індивідів різняться, зокрема, в точках екстремумів. Дані криві відображають відгук людини-спостережника на різноманітні частоти або кольори при постійному рівні потужності вимірювання і тісно пов'язані з характеристиками сприйняття зорової системи людини. Око найбільш чутливе до зеленого кольору і чутливість його спадає на декілька порядків для довжин хвиль, що відповідають червоному та синьому кольорам.

Світлова ефективність  $W$  зорової системи є відношенням фотометричної вихідної величини до енергетичної вхідної величини і для монохроматичного світла визначається таким чином:

$$W = 680y(\lambda),$$

де  $y$  – функція колбочкового зору, наведена на рис. 1.4.

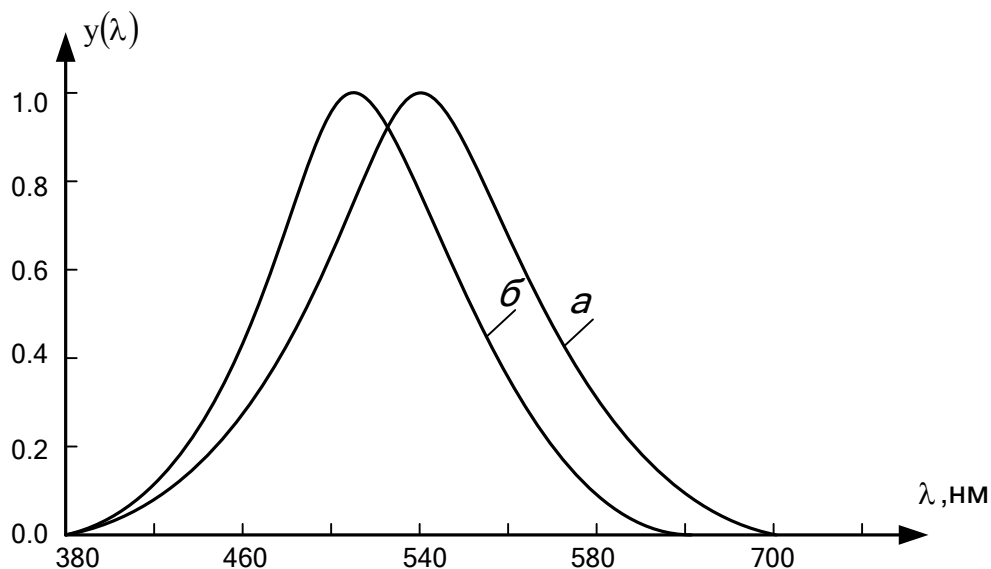


Рисунок 1.4 – Криві відносної спектральної чутливості *a)* денного (колбочкового) та *б)* нічного (паличкового) зору

Таким чином, на довжині хвилі 555 нм  $W$  дорівнює 680 лм/Вт, що відповідає піку на кривій колбочкового відгуку і зеленому кольору.

#### 1.2.4 Сприйняття дрібних деталей зображення

Здатність ока розрізнити дрібні деталі зображення називається роздільною здатністю [10]. Це найбільш складний параметр цієї групи, тому що існує велика кількість термінів та означень, які його замінюють.

В простій формі роздільна здатність визначається розміром найменш розрізненої або вимірюваної деталі зображення. Роздільна здатність – це характеристика реакції людини на світлову дію, що називається гостротою зору.

Визначимо гостроту зору як мінімальний кут, при якому можливе розрізнення двох сусідніх точок, тобто мінімальний кут, при якому дві розташовані поруч точки ще не сприймаються як одна та який для нормального зору дорівнює 1 кут. хв.

Абсолютна межа здатності, яка досягається при оптимальних умовах спостереження і обумовлена індивідуальними розмірами паличок і колбочок ока, дорівнює 0,3...0,5 кут. хв. В реальних умовах, враховуючи явище оптичної дифракції, поріг гостроти зору приймається 2...3 кут. хв.

У телебаченні загальноприйнятим є вираження роздільної здатності у значеннях телевізійних ліній. Термін «телевізійні лінії» означає кількість чітко розрізнених близько розташованих ліній на випробувальній таблиці, яка призначена для вимірювання роздільної здатності [8].

Поле ясного зору людини обмежене кутовими розмірами: 16...20° по горизонталі та 12...15° по вертикалі.

Звідси, у телебаченні вибрано формат інформаційного поля  $k = 4/3$  і відстань  $d \approx (3...6)h$  до спостерігача, де  $h$  – розмір зображення по вертикалі.

### 1.2.5 Інерційність зорового відчуття

Важливим фактором, який тісно пов'язаний з яскравістю, є миготіння. Існування миготіння обумовлене здатністю спостерігача сприймати зміни рівня яскравості, які виникають з частотою, нижчою тієї, на якій око завдяки властивості інтегрування не реагує на зміни яскравості. Миготіння дуже дратує, оскільки викликає сильне зорове напруження у спостерігача навіть при малій інформаційній ємності зображення. Відомий термін, який застосовується для визначення мінімальної частоти миготіння, і який гарантує відсутність його сприймання, називається критичною частотою миготіння  $f_{кчм}$ . Залежність між яскравістю і  $f_{кчм}$  описується законом Феррі-Портера [8]:

$$f_{кчм} = a \lg L_{ef} + b, \quad (1.7)$$

де  $a = 12,5$  (колбочковий зір) або  $a = 1,5$  (при паличковому зорі);  $b = 37$ ;  $L_{ef}$  – ефективна яскравість або відчуття яскравості.

Вираз (1.7) емпіричний, а значення  $a$  і  $b$  є приблизними, однак він може використовуватись для оцінювання значень  $f_{кчм}$  в реальних умовах. Для зображення з яскравістю до декількох сотень ніт  $f_{кчм}$  приймається рівною 50 Гц. При впливі на око деякої яскравості протягом достатньо довгого часу між яскравістю та відчуттям яскравості встановлюється однозначна залежність [11]:

$$L_{ef} = L.$$

Однак  $L_{ef}$  перестає бути рівною  $L$ , як тільки  $L$  стає величиною, змінною у часі  $L(t)$ . Згідно з законом Тальбота [12] ефективна яскравість точки зображення:

$$L_{ef} = \frac{1}{T_k} \int_{t_1}^{t_2} L(t) dt, \quad (1.8)$$

де  $t_1, t_2$  – моменти початку і кінця світіння;  $T_k$  – період повторення світіння (період кадрів).

При виконанні умови  $1/T_k > f_{кчм}$  та незмінності яскравості за час  $\tau = t_2 - t_1$ , вираз (1.8) набуває вигляду:

$$L_{ef} = L \frac{\tau}{T_k}. \quad (1.9)$$

### 1.2.6 Колір та його компоненти

Колір є найбільш складним та суперечливим аспектом зорового сприйняття.

Згідно зі стандартом [13] колір є афінною векторною величиною трьох вимірів, яка виражає властивість, спільну для всіх спектральних складових



вимірювання, що візуально не розрізняються в колориметричних умовах спостереження.

Будь-який колір – це величина, яка має яскравість, кольоровий тон і насиченість. Яскравість – це кількісна характеристика кольору, а кольоровий тон і насиченість – якісні характеристики [14].

Кольори якісно однакові, але, маючи різну яскравість, створюють різні зорові відчуття. Наприклад, колір, який при великій яскравості сприймається як жовтий, при малій яскравості сприймається як коричневий.

Кольоровий тон (відтінок) характеризує якість кольору, яка відрізняє його від білого і сірого. Ця якість дозволяє оцінювати колір як червоний, блакитний, зелений і т. п.

Насиченість визначає чистоту кольору, тобто ступінь розведення його білим кольором, наприклад, синій, світло-синій, блакитний і т. п. Більш точно насиченість визначає число кольорових порогів, тобто майже бачених переходів (змін), які відокремлюють цей колір від білого, рівного з ним по яскравості.

Давно відомо, що трьома основними кольорами є пурпуровий, жовтий та блакитний для пігментів і червоний, зелений та синій для приладів відображення зображень [8]. Відомо також, що їх можливо комбінувати в різноманітних пропорціях для отримання всіх інших кольорів.

Це привело до створення трикомпонентної теорії кольорового зору, яка була вперше сформована ще в 1756 році М. В. Ломоносовим [15]. Згідно з цією теорією в сітківці ока є три види колбочок, які мають різну спектральну чутливість. При збудженні відповідного виду колбочок з'являється відчуття червоного ( $R$ ), зеленого ( $G$ ) або синього ( $B$ ) кольору.

Взаємозв'язок трьох лінійно незалежних кольорів  $R$ ,  $G$ ,  $B$  можна виразити через будь-який колір  $D$  за допомогою рівняння:

$$D = R_1(R) + G_1(G) + B_1(B),$$

де  $R_1(R)$  – частка червоного,  $G_1(G)$  – частка зеленого,  $B_1(B)$  – частка синього кольору в кольорі  $D$ , що утворює трикольорову систему вимірювання кольору.

За основні кольори системи  $RGB$  Міжнародною комісією по освітленню (МКО) в 1931 році [10, 15] прийнято кольори однорідних випромінювань з довжинами хвиль:  $\lambda_R = 0,7000$  мкм,  $\lambda_G = 0,5461$  мкм,  $\lambda_B = 0,4358$  мкм, світлові потоки яких відносяться як 1,00 : 4,58 : 0,06, тобто око найбільше чутливе до зеленого кольору, менше – до червоного і ще менше – до синього.

Шукані частки кожної з трьох компонент знаходяться шляхом їх комбінування до тих пір, поки отриманий результат не буде відповідати бажаному кольору. Цей процес потребує дуже багато часу. Вирішення такої задачі стало можливим завдяки використанню дещо інших математичних

співвідношень, які виражені через так звані координати кольору  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , які пов'язані рівнянням [8, 15]:

$$x + y + z = 1.$$

Для вимірювання кольоровості широко застосовується графік кольоровості. Він являє собою прямокутний трикутник, катети якого є осями зміни координат кольоровості (рис. 1.5).

На графіку кольоровості нанесено підковоподібну лінію кольоровості спектральних вимірювань, яка отримала назву локус кольорів. Локус є незамкненою фігурою. По периметру локусу розташовані чисті спектральні кольори, які мають крайню насиченість – від фіолетового до червоного.

На локусі кожен колір однозначно характеризується координатами  $x$  та  $y$ . Для білого кольору  $x = y = 0,33$ . Якщо на локусі кольорів провести пряму, що з'єднує точку білого кольору з будь-якою точкою локусу, то на прямій будуть розташовані кольори різної насиченості, але однакового тону. Чим ближче до точки білого кольору, тим менш насиченим буде колір.

Пряма лінія, яка з'єднує кінці кривої локусу, називається лінією пурпурової кольоровості, тобто кольоровості різних сумішей червоного та синього кольорів, які (суміші) є не спектральними.

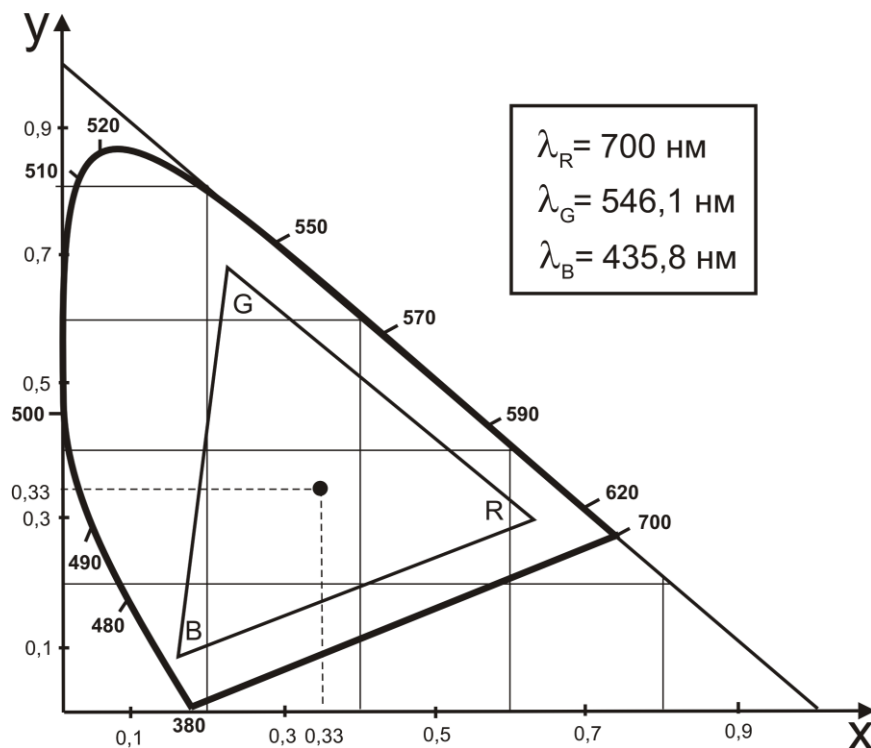


Рисунок 1.5 – Графік кольоровості

Спектральні кольори, пурпурові кольори, а також кольори, які розташовані всередині локусу кольоровостей, відповідають реальним кольорам, решта точок графіка кольоровостей (точки розташовані зовні локусу ко-

льоровостей і лінії пурпурових кольорів) – нереальні кольори, тобто кольори з координатами точок, розташованих зовні локусу, утворити неможливо.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Що розуміється під фотометрією?
2. Назвіть основну еталонну одиницю в фотометрії.
3. Що характеризує сила світла?
4. Пояснить одиницю виміру яскравості ніт.
5. Чим визначається поріг глибинного зору людини?
6. Чому пропорційне зорове відчуття яскравості?
7. Згідно з яким законом відбувається приріст зорового відчуття яскравості?
8. Що вимірюється за терміном «телевізійні лінії»?
9. Яким законом описується залежність між яскравістю і критичною частотою миготіння?
10. Згідно з яким законом вимірюється ефективна яскравість, якщо яскравість є змінною у часі?
11. Що таке основні кольори?
12. Яким кольорам відповідають точки, розташовані зовні локусу кольоровості і лінії пурпурових кольорів?
13. Що таке нереальні кольори?
14. Яким координатам відповідає білий колір?
15. Яким координатам відповідає чорний колір?
16. Що таке спектральні кольори?
17. Як називається підковоподібна лінія кольоровості?
18. Якою фігурою є локус?
19. Коли вперше була сформована трикомпонентна теорія кольорового зору?
20. Що є колір згідно зі стандартом?

## Література

1. Техническое зрение роботов / [Мошкин В. И., Петров А. А., Титов В. С., Якушенков Ю. Г.]; под общ. ред. Ю. Г. Якушенкова. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
2. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / [Писаревский А. Н., Чернявский А. Ф., Афанасьев Г. К. и др.]; под ред. А. Н. Писаревского и А. Ф. Чернявского. – Л. : Машиностроение, 1988. – 424 с.
3. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и практика / Милан Птачек; пер. с чешск. под ред. Л. С. Виленчика. – М. : Радио и связь, 1990. – 528 с.
4. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис; [2-е издание.] : пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
5. Ким Н. В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения / Ким Н. В. – М. : МАИ, 2001. – 164 с.
6. Хорн Б. К. П. Зрение роботов / Хорн Б. К. П.; пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 487 с.
7. Техническое зрение роботов / Под ред. А. Пью; пер с англ. под ред. Г. П. Катуса. – М. : Машиностроение, 1987. – 319 с.
8. Шерр С. Электронные дисплеи / Сол Шерр; пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 624 с.
9. ГОСТ 7601-78 Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин.
10. Домбругов Р. М. Телевидение / Домбругов Р. М. – К. : Выща школа, 1988. – 398 с.
11. Луизов А. В. Глаз и свет / Луизов А. В. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.
12. Смоляров А. М. Системы отображения информации и инженерная психология / Смоляров А. М. – М. : Высшая школа, 1982. – 272 с.
13. ГОСТ 13088-67 Колориметрия. Термины, буквенные обозначения.
14. Ашкенази Г. И. Цвет в природе и технике / Ашкенази Г. И. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 96 с.
15. Мешков В. В. Основы светотехники : учебное пособие для вузов : в 2-х ч. – Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия / В. В. Мешков, А. Б. Матвеев. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.
16. Колин К. Т. Основы телевидения / К. Т. Колин, Ю. В. Аксентов, Е. Ю. Колпенская. – М. : Связь, 1967. – 448 с.
17. Седов С. А. Индивидуальные видеосредства: телеантенны, телевизоры, видеоманитофоны, видеокамеры, видеопроекторы, видеодиски / Седов С. А. – К. : Наукова думка, 1990. – 752 с.
18. Смирнов В. В. Основы цифрового телевидения / Смирнов В. В. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 224 с.

19. Мамчев Г. В. Основы цифрового телевидения / Мамчев Г. В. – Новосибирск : Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики, 2003. – 248 с.
20. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / Прэтт У.; пер. с англ. – М.: Мир, 1981.  
Т. 1 – 1981 – 310 с.  
Т. 2 – 1981 – 290 с.
21. Сачанюк-Кавецька Н. В. Елементи око-процесорної обробки зображень в логіко-часовому середовищі / Н. В. Сачанюк-Кавецька, В. П. Кожем'яко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 135 с.
22. Пат. 2178915 РФ, МПК G 06 K 9/66, G 06 F 15/18. Способ глаз-процессорной обработки изображений и оптико-электрическое устройство для его реализации / Кожем'яко В. П., Павлов С. В. и др.; заявителем и патентообладателем являются авторы патента. – № 98113270/09; заявл. 03.07.98; опубл. 27.01.02, Бюл. № 3.
23. Кожем'яко В. П. Обробка, передача і відтворення зображень в управлінських геоінформаційно-енергетичних системах на базі логіко-часових перетворень / Кожем'яко В. П., Волонтир Л. О., Дорощенко Г. Д. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 184 с.
24. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень / [Кожем'яко В. П., Мартинюк Т. Б., Суприган О. І., Клімкіна Д. І.]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 130 с.
25. Лебедев В. В. Техника оптической спектроскопии / Лебедев В. В. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 352 с.
26. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения / под ред. П. Йесперса, Ф. Ван де Виле и М. Уайта. – М. : Мир, 1977. – 573 с.
27. Жаботинский Ю. Д. Системы технического зрения для промышленных роботов / Ю. Д. Жаботинский, А. А. Сердцев // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 12. – С. 23-33.
28. Заказнов Н. П. Прикладная геометрическая оптика / Заказнов Н. П. – М. : Машиностроение, 1984. – 184 с.
29. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов / Якушенков Ю. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 360 с.
30. Жаботинский Ю. Д. Адаптивные промышленные роботы и их применение в микроэлектронике / Ю. Д. Жаботинский, Ю. В. Исаев. – М. : Радио и связь, 1985. – 104 с.
31. Sicard P. An approach to an expert robot welding system / P. Sicard, M. Levine // IEEE Trans: on systems, man and cybernetics. – 1988. – V. 18, № 2. – P. 204 – 222.
32. Conceptual development of an adaptive real-time seam tracker for welding automation / N. Nayak // Proc. IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation. Washington. – 1987. – V. 2. – P. 1019 – 1024.

33. Robotics in the year 2000 / A. L. Porter, F. A. Rossini. // *Robotics Today*. – 1987. – V. 9, № 3. – P. 27 – 28.
34. Мобильный робот для выполнения транспортных операций в автоматических производствах с высокими требованиями к чистоте окружающей среды // *Мицубиси денко гихо*, 1985, Т. 59, № 10. – с. 700-704.
35. Robots do the dirty work / M. A. Fischetti // *IEEE Spectrum*. – 1985. – V. 22, № 4. – P. 65 – 72.
36. Robots find their place / M. Rogers // *Newsweek*. – 1988. – V. 111, № 13. – P. 44 – 45.
37. Моравец Х. П. Тележка Станфордского университета и ровер Университета Карнеги-Меллона / Х. П. Моравец // *ТИИЭР*, 1983, Т. 71, № 7. – с. 112-128.
38. Брагин В. Б. Системы оучувствления и адаптивныы промышленныы роботы / Брагин В. Б., Войлов Ю. Г., Жаботинский Ю. Д. и др.; под ред. Попова Е. П. и Ключева В. В. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.
39. Новейшыы тенденции и перспективы развития систем машинного зрения / Г. Соколов. – <http://www.asutp.ru/?p=600003>
40. Твердотельное телевидение: Телевизионныы системы с переменныы параметрами на ПЗС и микропроцессорах / [Хромов Л. И., Лебедев Н. В., Цыцулин А. К., Куликов А. Н.]; под ред. И. А. Росселевича. – М. : Радио и связь, 1986. – 184 с.
41. Пресс Ф. П. Фоточувствительныы приборы с зарядовой связью / Пресс Ф. П. – М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.
42. Носов Ю. Р. Оптоэлектроника / Носов Ю. Р. – М. : Радио и связь, 1989. – 360 с.
43. Беляев В. Современныы электронныы дисплеи / В. Беляев // *Электронныы компоненты*. – 2002. – № 1. – С. 24–27.
44. Кожем'яко В. П. Сучасні методи та засоби відображення інформації. Ч.1. Дискретні системи відображення інформації / Кожем'яко В. П., Васюра А. С., Дорощенко Г. Д. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 106 с.
45. Виноградов В. А. Зарубежныы цветныы телевизоры с цифровой обработкой и управлением АІВА / Виноградов В. А. – СПб. : Корона, 1998. – 160 с.
46. Яблонский Ф. М. Исследования и разработки плоских телевизионныы экранов / Ф. М. Яблонский // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1982. – № 1. – С. 63–79.
47. Телевидение : учебник для вузов / [В. Е. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин и др.]; под ред. В. Е. Джаконии. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 616 с.
48. Рідкокристалічна електроніка / [Готра З. Ю., Зелінський Р. Я., Микитюк З. М. та ін.]; за ред. З. Готри. – Львів : Априорі, 2010. – 532 с.

*Навчальне видання*

**Дорощенко Геннадій Дмитрович  
Кожем'яко Володимир Прокопович  
Павлов Сергій Володимирович**

## **СИСТЕМИ ТЕЛЕБАЧЕННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ**

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено Г. Дорощенковим

Підписано до друку 01.12.2014 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 13,7.  
Наклад 300 (1-й запуск 1-100) пр. Зам. № 2014-083.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.