

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт

**Проектування тепловізійних
та телевізійних
систем спостереження**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як підручник для вищих технічних закладі*

Київ
НТУУ «КПІ»
2007

УДК 621.384.3
ББК 32.86-02в6я73
К 61

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(Лист № 1.4/18-Г-11/6 від 16.11.2006 р.)*

Рецензенти:

Л. В. Поперенко, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

А. П. Поліщук, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
Національний авіаційний університет України

А. В. Молодик, д-р техн. наук, проф.,
КП «ЦКБ Арсенал»

Відповідальний редактор
С. Т. Коваль, канд. техн. наук, доц.
Національний технічний університет України «КПІ»

Колобродов В. Г.

К 61 Проектування тепловізійних та телевізійних систем спостереження:
Підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364
с.

ISBN 966-622-230-2

Викладено фізичні основи теплобачення і телебачення та методи проектування оптико-електронних систем спостереження (ОЕСС). Подано математичні основи перетворення сигналів в ОЕСС, детально розглянуто моделювання таких елементів системи «об'єкт – ОЕСС - оператор», як об'єкт і фон, атмосфера, оптична система, приймач випромінювання, блок електронної обробки, дисплей і зоровий аналізатор оператора. Викладено методи розрахунку узагальнених характеристик ОЕСС, зокрема максимальної дальності виявлення та розпізнавання. Для практичного засвоєння матеріалу значну увагу приділено розв'язанню прикладів, що виникають при проектуванні ОЕСС.

Для магістрів за напрямками оптотехніки, фотоніки та оптико-електронного приладобудування. Може бути корисним розробникам відповідної оптико-електронної техніки.

УДК 621.384.3
ББК 32.86-02в6я73

ISBN 966-622-230-2

© В. Г. Колобродов,
М. І. Лихоліт, 2007

Навчальне видання

Колобродов Валентин Георгійович
Лихоліт Микола Іванович

Проектування тепловізійних та телевізійних систем спостереження

Підручник

Редактор-коректор
Н. В. Мурашова

Комп'ютерна верстка
В. Ф. Заволодько

Дизайн обкладинки
Г.О. Гребньова

Темплан 2005 р., поз. 1-1-004

Підп. до друку 12.12.2006. Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – офсет. Ум. друк. арк. 21,16. Обл.-вид. арк. 35,18 Зам. № . Наклад 500 пр.

НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
тел./факс (044) 241-68-78

ЗМІСТ

<i>Скорочення</i>	7
<i>Позначення</i>	9
<i>Вступ</i>	15
Розділ 1. Фізичні основи телебачення та теплобачення	17
1.1. Шкала електромагнітних хвиль оптичного випромінювання.....	17
1.2. Узагальнена схема оптико-електронної системи спостереження.....	18
1.3. Методи перетворення оптичного зображення в електричний відеосигнал	22
1.4. Методи розгортки зображення	28
1.4.1. Двовимірне сканування одноелементним ПВ	29
1.4.2. Паралельне сканування лінійкою ПВ.....	30
1.4.3. Послідовне сканування лінійкою ПВ.....	31
1.4.4. Послідовно-паралельне сканування матричним ПВ	32
1.4.5. Електронне сканування	33
1.5. Приклади розрахунку параметрів систем розкладу зображення.	36
1.6. Задачі для самостійного розв'язання.....	41
Розділ 2. Математичні основи перетворення сигналів в ОЕСС.	43
2.1. Оптичні та електричні сигнали.....	43
2.2. Частотний аналіз детермінованих сигналів	44
2.3. Частотний аналіз випадкових сигналів	46
2.4. Лінійні системи.....	50
2.5. Оптична передавальна функція	51
2.6. Проходження детермінованих і випадкових сигналів через лінійну систему	54
2.7. Ймовірність виявлення сигналів на фоні шумів.....	56
2.7.1. Статистичні характеристики виявлення.....	56
2.7.2. Правила вибору рішення.....	57
2.7.3. Визначення методом однократного відліку.....	57
2.7.4. Виявлення порогового відношення сигнал/шум	60
2.8. Приклади розрахунку перетворення сигналів в ОЕСС	63
2.9. Задачі для самостійного розв'язання.....	70
Розділ 3. Моделювання ОЕСС	73
3.1. Основні положення математичного моделювання.....	73
3.2. Об'єкти і фоні	75
3.2.1. Загальні положення	75
3.2.2. Енергетичні параметри.....	84
3.2.3. Просторові характеристики об'єктів і фонів	94
3.2.4. Моделі об'єктів і фонів	95

3.2.5. Приклади розрахунку характеристик моделей об'єктів і фонів	106
3.3. Атмосфера	108
3.3.1. Загальні положення.....	108
3.3.2. Уплив атмосфери на енергетичні характеристики випромінювання.....	111
3.3.3. Модуляційна передавальна функція атмосфери	114
3.4. Оптична система	116
3.4.1. Основи габаритного розрахунку	116
3.4.2. Основи енергетичного розрахунку	118
3.4.3. Просторове розділення	119
3.4.4. Геометрична шумова смуга пропускання – новий критерій для визначення роздільної здатності оптичних та оптико-електронних приладів.....	126
3.4.5. Сканування	128
3.4.6. Приклади розрахунку параметрів оптичних систем.	130
3.5. Приймач випромінювання.....	136
3.5.1. Основні характеристики приймачів випромінювання.	136
3.5.2. Модуляційна передавальна функція.	139
3.5.3. Типи приймачів випромінювання.	140
3.5.3.1. Теплові ПВ.....	140
3.5.3.2. Фотонні ПВ для ТПСС.....	149
3.5.3.3. Фотонні ПВ для ТВСС.....	158
3.5.4. Тривимірна модель шуму МПВ.	168
3.5.5. Перспективи у розробці приймачів випромінювання для ТПСС	169
3.5.6. Приклади розрахунку параметрів приймачів випромінювання.....	171
3.6. Електронний тракт обробки відеосигналів.....	177
3.7. Дисплей.	184
3.8. Закони зорового сприйняття зображення.....	189
3.8.1. Основні характеристики зорового сприйняття.....	190
3.8.2. Модуляційна передавальна функція ока.....	191
3.8.3. Просторове та часове інтегрування зорової системи.	194
3.8.4. Основи теорії сприйняття зображення на екрані дисплея.	199
3.8.4.1. Ймовірність виявлення.	199
3.8.4.2. Ймовірність розпізнавання.....	202
3.8.4.3. Національна шкала оцінок інтерпретації зображень NIRS (США)	204
3.8.5. Контрастна чутливість зору.....	205

3.8.6. Вплив кадрової та рядкової розгортки на сприйняття зображення	209
3.8.7. Вплив фону на сприйняття зображення об'єктів	210
3.8.8. Приклади застосування законів зорового сприйняття під час проектування ОЕСС	211
3.9. Задачі для самостійного розв'язання.....	212

Розділ 4. Методи розрахунку основних параметрів

і характеристик ОЕСС	219
4.1. Узагальнені характеристики ОЕСС.....	219
4.1.1. Загальні положення і визначення	220
4.1.2. Просторова роздільна здатність.....	226
4.1.2.1. Контрастно обмежені системи	227
4.1.2.2. Системи, обмежені шумами.....	229
4.1.3. Функція передачі сигналу	230
4.1.4. Передавальна функція	232
4.1.5. Освітленість, еквівалентна шуму	234
4.1.6. Еквівалентна шуму різниця температур	236
4.1.7. Мінімальна виявлювальна різниця температур	238
4.1.8. Мінімальна роздільна різниця температур	244
4.1.9. Оптимальне збільшення системи «ОЕСС – оператор»	249
4.1.10. Приклади розрахунку узагальнених характеристик ОЕСС....	252
4.2. Класичний енергетичний розрахунок ОЕСС.....	265
4.2.1. Розрахунок дальності дії ОЕСС у разі відсутності фону	266
4.2.2. Розрахунок дальності дії ОЕСС під час спостереження об'єкта на рівномірному фоні.....	268
4.2.3. Розрахунок дальності дії ОЕСС під час спостереження об'єкта на нерівномірному фоні.....	270
4.2.4. Синтез оптичної системи ОЕСС.....	272
4.2.4.1. Забезпечення температурного та просторового розділення	272
4.2.4.2. Поле зору.....	275
4.2.5. Спектр сигналу на виході матричного приймача випромінювання	276
4.2.6. Модель ОЕСС з фотонним матричним приймачем випромінювання.....	281
4.2.6.1. Модель сигналу.....	281
4.2.6.2. Модель шуму	282
4.2.6.3. Відношення сигнал/шум.....	283
4.2.7. Приклади енергетичного розрахунку ОЕСС	284
4.3. Методи розрахунку максимальної дальності виявлення і розпізнавання ОЕСС	289

4.3.1. Визначення максимальної дальності дії ОЕСС	289
4.3.2. Стандарт НАТО для розрахунку максимальної дальності дії ТПСС	291
4.3.3. Порівняльний аналіз різних методик розрахунку дальності виявлення і розпізнавання.....	293
4.3.4 Загальне рівняння для розрахунку максимальної дальності дії ТПСС.....	294
4.3.5. Розрахунок дальності дії ТПСС NER, MDR і MRR.....	296
4.3.5.1. Максимальна дальність дії NER.....	296
4.3.5.2. Максимальна дальність виявлення MDR.....	297
4.3.5.3. Максимальна дальність розпізнавання MRR.....	297
4.3.6. Розрахунок максимальної дальності виявлення реальних об'єктів за допомогою ТПСС	298
4.3.6.1. Розрахунок МДВ зао відеосигналом	298
4.3.6.2. Розрахунок МДВ з урахуванням контрастної чутливості зору	300
4.3.6.3. Розрахунок МДВ з урахуванням інтегруючих властивостей зорового сприйняття	302
4.3.7. Максимальна дальність дії ТПСС за рівнем NIRS	304
4.3.8. Розрахунок максимальної дальності розпізнавання ТПСС, обмежених контрастом і шумами.....	306
4.3.8.1. Контрастно обмежені системи	306
4.3.8.2. Системи, обмежені шумом	307
4.3.8.3. Методика розрахунку граничної МДР	309
4.3.9. Удосконалення рівняння максимальної дальності дії ОЕСС. ..	313
4.3.10. Приклади розрахунку максимальної дальності дії ОЕСС	318
4.4. Розрахунок просторового та енергетичного розділення ОЕСС космічного базування	334
4.4.1. Модель формування відеосигналу в ПЗЗ-камері	334
4.4.2. Методика розрахунку оптичних характеристик об'єктива	337
4.4.3. Вплив аберацій об'єктива на просторове розділення космічного сканера	342
4.4.4. Приклад розрахунку параметрів космічного сканера	343
4.5. Загальні тенденції розвитку ОЕСС.....	345
4.6. Задачі для самостійного розв'язання.....	350
<i>Література</i>	359