

УДК 681.383.8

Є.В. Прокопенко

Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИКОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

*Проведено дослідження ефективності оптикоелектронних засобів спостереження в системі інженерно-технічного контролю, в частині значних обмежень характеристик систем відеоспостереження в умовах зміни освітленості, які притаманні всім системам спостереження на державному кордоні.*

**Ключові слова:** оптикоелектронне спостереження, ПЗЗ-камера, тепловізійний засіб, інженерно-технічний контроль.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відповідно програми розвитку Державної прикордонної служби України, ще в 2003 році було поставлене завдання з формування єдиного інформаційного простору Держприкордонслужби та створення електронної системи управління [1]. Невід'ємною частиною систем такого роду, є підсистема збору первинної інформації про обстановку, інформація з якої є базовою в прийнятті рішень і визначенні поведінки системи в цілому. В якості таких підсистем, відповідно концепції розбудови системи інженерно-технічного контролю (ІТК), передбачено використання трьох основних типів технічних пристроїв: – телевізійних камер денного та нічного спостереження (чутливих в діапазоні хвиль видимого або комбінованих для видимого та інфрачервоного діапазону); тепловізорів (телевізійних засобів інфрачервоного діапазону) та радіолокаційних засобів [2].

В даній роботі розглядається перший тип засобів, оскільки вони є перспективними за цілим рядом показників і при цьому мають ряд недоліків, яким на сьогоднішній день приділяється мало уваги, проте за певних умов, вони є визначальними в ефективності цих засобів. Природа цих недоліків криється в фізичних принципах роботи самих оптикоелектронних перетворювачів (ОЕП), що використовуються в телевізійних засобах для отримання первинної інформації про об'єкт спостереження, незалежно від того в якому діапазоні хвиль вони працюють.

**Метою статті** є дослідити ефективність оптикоелектронних засобів спостереження в системі інженерно-технічного контролю охорони державного кордону.

### Виклад основного матеріалу

Для початку слід зазначити, що в останні роки відбувається істотна зміна структури систем оптикоелектронного спостереження, що пов'язано з ви-

користанням аналого-цифрового перетворення (АЦП) вихідного сигналу з ОЕП а не безпосередньої його обробки [3]. Використання АЦП дозволяє значно спростити обробку сигналу, здійснити інтерфейс між камерами спостереження і електронно-обчислювальними засобами обробки, зберігати відеоінформацію на цифрових носіях і суттєво спростити процедуру організації архіву й пошуку необхідних записів. Крім того, впровадження АЦП відкрило широкі можливості автоматизації обробки одержуваного сигналу, істотного підвищення надійності й оперативності реагування системи.

Однак в існуючих системах відеоспостереження, що навіть використовують АЦП, на спостерігача покладено більшу частину зусиль і відповідальності щодо контролю над розвитком ситуації в зоні спостереження і необхідність регулювання системи з метою адаптації до змінних умов освітленості.

На сьогодні можна відзначити наступні недоліки існуючих систем оптикоелектронного спостереження:

- 1) вузький динамічний діапазон по освітленості, що обумовлює значні обмеження характеристик систем відеоспостереження в реальних умовах зміни освітленості;
- 2) високий рівень шуму в вихідному сигналі, що призводить до високої ймовірності пропуску сигналу або хибної тривоги;
- 3) низькі обчислювальні можливості самих телевізійних камер не дають змоги класифікувати об'єкти за необхідними критеріями.

З безлічі існуючих телевізійних систем, в даній статті розглядаються тільки камери з використанням пристрою зі зворотнім зв'язком (ПЗЗ), у тому числі й з попередніми каскадами підсилення зображення на електронно-оптичних перетворювачах (ЕОП), оскільки саме вони знаходять широке застосування в системі ІТК охорони кордону. Причому, приведені в статті розрахунки можуть бути застосовані як для стандартного телевізійного режиму (режиму безпе-

рервного накопичення), так і для імпульсного (у тому числі і однократного).

Уся метрологія у видимій області спектру заснована на діапазоні зору стандартного фотометричного спостерігача, чутливість якого до світлового випромінювання функціонально залежить від довжини хвилі. Цю функцію  $V(\lambda)$  прийнято називати «спектральною світловою ефективністю». Графічно її можна зобразити у вигляді графіку показаному на рис. 1.

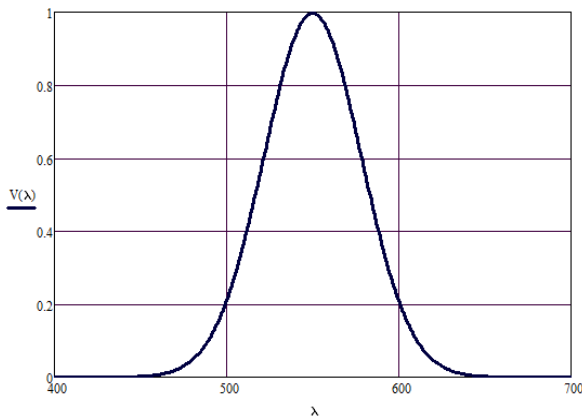


Рис. 1. Спектральна світлова ефективність зору стандартного фотометричного спостерігача

Сучасні телевізійні камери на ПЗЗ-матрицях і електронно-оптичних перетворювачах мають спектральні характеристики, що значно відрізняються від спектральної ефективності зору. Їхній діапазон може розміщуватись від ультрафіолетового (120 нм для ЕОП) до інфрачервоного (1 мкм для ЕОП і ПЗЗ). Застосування даних приладів в умовах, коли на їхній вхід надходить випромінювання більш широкого спектру ніж видимий, призводило до того, що показання люкметра (який вимірює випромінювання тільки видимого діапазону) не несуть практично ніякої достовірної інформації. Для якісного пояснення таких помилок розглянемо приклад використання в нічних умовах низкорівневої телевізійної камери з каскадом підсилення зображення на ЕОП з арсенід-галієвим фотокатодом, що застосовується в сучасних цифрових камерах. На рис. 2 представлені відносні спектральні характеристики випромінювання в нічну пору доби [4] (крива 3); чутливості арсенід-галієвого фотокатоду ЕОП (крива 2); чутливості ока людини і співпадаючої з ним чутливості приладу, що вимірює освітленість – люкметра (крива 1); чутливості ПЗЗ-матриці ICX249 фірми SONY (крива 4).

З наведених графіків видно, що в умовах безмісячної ночі потужність інфрачервоного випромінювання нічного неба ( $\lambda = 760$  нм) значно перевищує його потужність випромінювання у видимому діапазоні. Люкметр при цьому вимірює тільки видиму

дуже незначну частину всього потоку випромінювання. Вона зосереджена в діапазоні 400 – 700 нм. На відміну від нього фотокатод ЕОП відчуває оптичне випромінювання в діапазоні 500 – 900 нм і "працює" з більшим потоком. Аналогічні висновки виходять при застосуванні в тих же умовах телевізійної ПЗЗ-камери, кремнієвий кристал якої так само має гарну чутливість в інфрачервоному діапазоні до 1 мкм (крива 4).

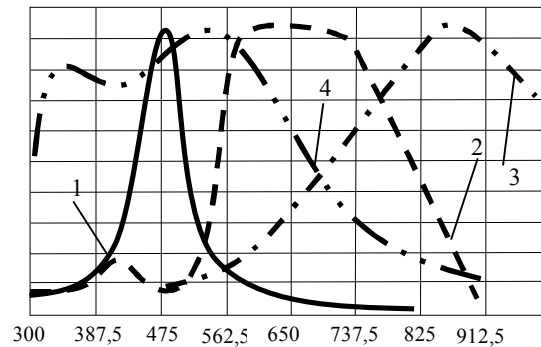


Рис. 2. Відносні спектральні характеристики: різних фотоелектронних приймачів (1, 2, 4); випромінювання безмісячного нічного неба (3)

Із усього вище викладеного можна зробити висновки, що для телевізійних систем, які володіють спектральними характеристиками, відмінними від спектральної чутливості зору, застосування світлотехнічних одиниць (люкс, люмен і т.п.) не зовсім коректно. Те, що багато ПЗЗ-камер рекламують для роботи при значно більш низьких освітленостях, говорить тільки про їхню гарну чутливість в інфрачервоній області.

Непрості розрахунки і теоретичні дослідження показують, що в першому наближенні можна вважати, що кількість фотоелектронів (при рівноенергетичному спектрі вихідного випромінювача) у потенційній ямі буде рости пропорційно площі під кривою спектральної чутливості ПЗЗ-матриці [3]. Оцінюючи співвідношення площ під нормованою кривою видимості зору і нормованою спектральною характеристикою чутливості телевізійної камери видно, що площа під спектральною характеристикою чутливості приблизно в чотири рази перевищує площу під кривою видимості зору. Тобто при освітленні рівноенергетичним джерелом і реєстрацією люкметром освітленості 2,5 люкса число фотоелектронів у потенційній ямі буде в чотири рази більше розрахункового значення [4].

Можна провести нескладні розрахунки [4] для кількості фотоелектронів у потенційній ямі ПЗЗ матриці форматом  $\frac{1}{2}$  дюйма і кількістю активних елементів 752(H)x528(V) зі спектральним фільтром, що нормує і без нього для різних значень освітленості на об'єкті при стандартних умовах вимірювання. Одночасно розрахуємо відношення сигнал/шум без

урахування впливу зваженого фільтру і з фільтром пам'ятаючи, що додавання затухання від зважувачого фільтру доцільно при розрахунковому відношенні сигнал/шум більше 26 – 30 дБ. Отримані дані зведе-

ні в табл. 1, при цьому в чисельнику дробів поміщено результати розрахунків для відеокамери з нормованою спектральною характеристикою, а в знаменнику – для болометричної камери.

Таблиця 1

Порівняльна оцінка камери з нормованою спектральною характеристикою і болометричної камери

Освітленість, люкс	2,0	0,2	0,02	0,002	0,0002
Число фото електронів у потенційній ямі, штук	$\frac{2768}{11072}$	$\frac{277}{1107}$	$\frac{28}{111}$		
Відношення сигнал/шум без зважувачого фільтру, дБ	$\frac{34}{39}$	$\frac{17,8}{26,4}$		–	–
Відношення сигнал/шум із зважувачим фільтром, дБ	$\frac{43,2}{48,2}$	$\frac{\square}{35,6}$	–	–	–

Аналізуючи дані табл. 1, можна сказати, що реальні можливості такої відеокамери обмежені значенням освітленості на об'єкті 0,15 люкс, коли відношення сигнал/шум становить приблизно 24 дБ. Це емпірично певне граничне значення зашумленості, при якому на моніторі відтворюється так зване "прийнятне зображення" і відеосигнал якого ще можна записувати. Подальше підвищення чутливості відеокамери можливе тільки при реалізації режиму накопичення фотоелектронів у ПЗЗ сенсорі протягом декількох кадрів і просторового підсумовування зарядів по фрагменту Н на V елементів (наприклад 4x4).

Зрозуміло, що при цьому просторово-часові характеристики відеокамери будуть погіршені. Насамперед, знизиться роздільна здатність камери і з'явиться нечіткість зображень рухомих об'єктів. Про це треба пам'ятати завжди, тому що в охоронних телевізійних системах саме просторово-часові характеристики відеокамери визначають можливість оператора якісно виконувати функції виявлення, розпізнавання та ідентифікації. Крім того, процес просторово-часового підсумовування зарядів у ПЗЗ сенсорі ефективний тільки при застосуванні спеціальних заходів по зниженню власних шумів сенсора, наприклад при охолодженні кристала ПЗЗ сенсора за допомогою термоелектричного холодильника на ефекті Пельтьє. А це вже і дороге і технічно складне завдання.

Таким чином, враховуючи такі залежності якості зображення від освітленості, особливої уваги заслуговує питання здійснення відеоспостереження в умовах природньої і штучної (неоптимальної) освітленості, що притаманно умовам функціонування засобів відеоспостереження на відкритих ділянках кордону та в пунктах пропуску.

Для того, щоб грамотно оцінити межі нормального функціонування системи відеоспостереження, оснащеної відеореєстраторами із певними технічними характеристиками, необхідні насамперед дані про візуальну обстановку на об'єктах спостережен-

ня. До них відносяться статистичні дані про природну освітленість і метеорологічну дальність видимості (МДВ) для місцевих метеоумов.

У літературі присвяченій системам спостереження, наводяться дані про значення освітленості, не зв'язані часовими рамками, а також приводяться цифри, пов'язані з часом доби при різних погодних умовах. При цьому називаються крайні значення освітленості від  $5 \cdot 10^{-5}$  лк до  $10^5$  лк. Слід зазначити, що освітленість  $5 \cdot 10^{-5}$  лк можлива в грудневі, короткі дні в зоряну ніч при несприятливих погодних умовах, коли зірки закриті щільним шаром низьких хмар. Крім того, в атмосфері повинно бути відсутнє світлорозсіювання від штучно освітлених об'єктів, міст і селищ міського типу. Освітленість  $10^5$  лк можлива опівдні, у червневій дні при абсолютно чистому небі, при МДВ понад 5-ти 10-ти км.

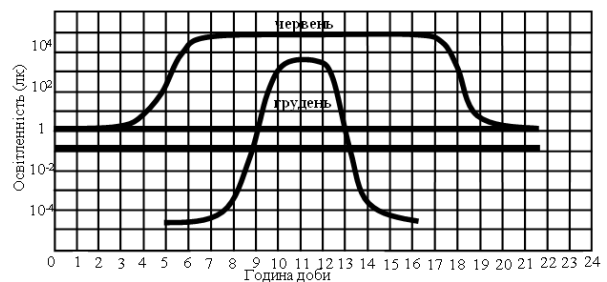


Рис. 3. Добові зміни освітленості в екстремальні дні

Багаторічна статистика свідчить про те, що такі ситуації з освітленістю зустрічаються дуже рідко і якщо вони трапляються, то на практиці необхідно застосовувати адекватні заходи. Розглянемо тепер добові зміни освітленості в ці екстремальні дні, які показані на рис. 3.

При використанні в телевізійній системі типової ПЗЗ камери, що має чутливість не гірше 0,5 лк і засоби адаптації до змін освітленості 105 разів, можна відзначити наступні фактори:

– система буде забезпечувати цілодобове спостереження об'єкта в літню пору в ясні місячні ночі;  
 – у короткі зимові дні камера забезпечує працездатність системи телеспостереження протягом 6 годин. В решті часу необхідно застосовувати підсвічування об'єкта спостереження.

Цікаво відзначити, що поліпшення чутливості камери на порядок (до 0,05 лк) збільшує час працездатності системи на 16 хвилин, по 8 хвилин на сході і заході сонця. Звідси випливає, що варіації із чутливістю в діапазоні змін природних освітленостей (0,01...1,0) лк малоефективні.

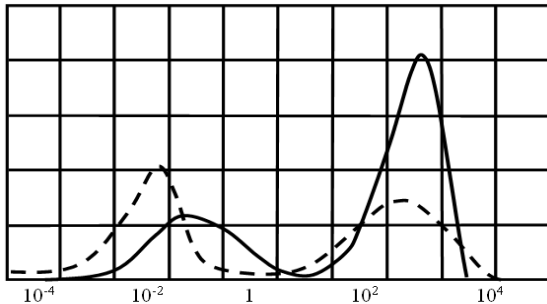


Рис. 4. Розподіл рівнів природної освітленості для липня і грудня

Двухмодові гістограми розподілу рівнів природних освітленостей для липня і грудня місяців (рис. 4), свідчать про те, що найбільш ймовірні значення освітленостей у денний час  $2 \cdot 10^3$  лк, уночі  $5 \cdot 10^{-2}$  лк. Крайні ж значення освітленостей ( $5 \cdot 10^{-5}$  і  $10^5$ ) лк малоімовірні навіть у ці місяці.

Таким чином, питання забезпечення працездатності відеосистем при освітленості 105 лк хоча й складне завдання але таке, що може бути вирішеним наявними технічними засобами, при цьому менш вартісними ніж при  $5 \cdot 10^{-5}$  лк. В особливо відповідальних випадках необхідне штучне підсвічування, витрати на енергетику якої залежать від чутливості телевізійних камер. При цьому, виникає питання, що більше прийнятне: груба по чутливості

відеокамера у сукупності з потужним підсвічуванням, або ж відеокамера високої чутливості з мінімальними енергетичними витратами на підсвічування. У кожному із цих варіантів виникає необхідність визначити границю за рівнем освітленості, коли підсвічування повинно бути обов'язково включене і які вимоги до його енергетичних, а також спектральних характеристик повинні бути висунуті.

## Висновки

Як показало дослідження принципу роботи засобів оптикоелектронного спостереження, оцінюючи їх ефективність при використанні в охороні кордону на відкритих ділянках в умовах природної освітленості, необхідно зіставляти розподіл освітленості і відносні спектральні характеристики відеосистем конкретної конструкції та принципу роботи. При цьому слід пам'ятати, що за певних екстремальних умов, які притаманні конкретним ділянкам місцевості, вразливість системи спостереження може бути настільки велика, що ефективність її застосування буде зводитись до нуля.

## Список літератури

1. Концепція розвитку Державної прикордонної служби України на період з 2006-го по 2015-ті роки. – К.: АДПСУ, 2006.
2. Концепція охорони державного кордону, захисту національних інтересів України в її виключній (морській) економічній зоні. – К.: Державний комітет у справах охорони державного кордону України, 2002.
3. Форсайт Девід А. Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. / Дэвид А. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 848 с.
4. Шерайзин С.М. Адаптивная коррекция и фильтрация телевизионного сигнала / С.М. Шерайзин. – М.: Радио и связь, 1987. – 88 с.

Надійшла до редколегії 5.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук доцент О.С. Андрощук, Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, Хмельницький.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ОХРАНЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ

С.В. Прокопенко

*В статье проведено исследование эффективности оптикоэлектронных средств наблюдения в системе инженерно-технического контроля, в части значительных ограничений характеристик систем видеонаблюдения в условиях измененной освещенности, которые присущи всем системам наблюдения на государственной границе.*

**Ключевые слова:** оптикоэлектронное наблюдение, ПЗЗ-камера, тепловизионное средство, инженерно-технический контроль.

## INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF OPTOELECTRONIC SURVEILLANCE SYSTEMS IN THE ENGINEERING CONTROL OF THE STATE BORDER GUARD

E.V. Prokopenko

*This article investigated efficiency gains optoelectronic surveillance equipment in the engineering control, including significant restrictions characteristics video surveillance lighting changes in conditions, inherent in all systems of the state border surveillance.*

**Keywords:** optoelectronic surveillance, PHC-camera, thermal imaging tool, engineering and technical control.