

врахувавши також і методику визначення коефіцієнта стискуваності за стандартної температури згорання газу за формулою (10).

4. Значення концентрації парів води у стані насичення можна визначити, вимірявши температуру газу з подальшим розрахунком густини парів води у стані насичення за відомими аналітичними залежностями або таблицями залежно від температури газу.

5. Значення дійсної концентрації парів води та концентрації парів води після висушування газу від парів води перед подачею його у калориметр або хроматограф можна визначити, вимірявши температуру точки роси по воді.

6. За виміряними значеннями температури точки роси по воді визначають за відомими таблицями вміст парів води у газі.

7. Доцільно при визначенні компонентного складу газу, вимірюванні витрати та об'єму газу прийняти за стандартні умови вимірювання значення абсолютної температури  $T_c = 273,15 \text{ K}$  і абсолютного тиску  $P_c = 101,325 \text{ кПа}$ .

1. ГОСТ 23781-87. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.  
2. ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.  
3. ISO 6976:1995. Natural gas – Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition.  
4. ГОСТ 20060-83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 16 с.  
5. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.

УДК 621.363.6

І.С. Литвин

Тернопільський національний економічний університет,  
кафедра автоматизованих систем і програмування

## **ВПЛИВ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ**

© Литвин І.С., 2007

Наведено результати аналізу впливу первинних перетворювачів та їх характеристик на ефективність попередньої обробки зображень, визначено принципи побудови оптоелектронних вимірювальних перетворювачів (ОЕВП), які уможливають здійснювати не лише перетворення оптичних сигналів в електричні, але і функції попередньої обробки інформації, та проаналізовано основні особливості їх функціонування в складі первинного перетворювача.

**Analysis of primary sensor descriptions influencing on efficiency of the previous image processing are presented. Principles of optoelectronics informative sensors construction, which allow them make not only transformation of visual optical signals into electric but also functions of previous processing of information realize and the basic features of their functioning are determined.**

**Постановка проблеми.** Використання ОЕВП в автоматизованих системах управління (АСУ) є однією із істотних тенденцій розвитку сучасних технічних засобів інформатизації [1]. Промислова реалізація оптоелектронних методів і засобів сприйняття та попередньої обробки інформації є перспективним напрямком комплексної модернізації існуючих і підвищення інформативності

новостворюваних АСУ. Широке використання ОЕВП в майбутньому зумовлено тими перевагами, які надає їм електромагнітне випромінювання оптичного діапазону спектра як носій інформації. Завдяки унікальним властивостям оптичного випромінювання за допомогою ОЕВП можна розв'язувати багатофункційні завдання управління з високими характеристиками по точності, швидкодії, надійності, пропускну здатності і практично необмеженими можливостями математичної і логічної обробки інформації [2]. Під час реалізації ОЕВП особливу увагу необхідно приділяти вибору функціональних блоків для виконання фрагментів алгоритмів введення і обробки зображень і вибору способів взаємної їх синхронізації. Ця задача не зводиться до вибору "оптимальної" реалізації окремих підзадач, а повинна розв'язуватися на основі системного аналізу комплексу задач цього ОЕВП. Науковою основою створення ОЕВП є системна сумісність усіх функціональних блоків, які входять до їх складу. Фундаментальні дослідження в цьому напрямку, як правило, не охоплюють всієї проблеми загалом і висвітлюють деякі окремі, подеколи достатньо широкі розділи. Тому актуальною проблемою є розробка принципів побудови ОЕВП на основі визначення і оцінки впливу основних технічних параметрів функціональних елементів первинних перетворювачів на їх функціональні характеристики в складі АСУ.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Для опису експлуатаційних властивостей первинних перетворювачів одновимірних оптичних сигналів (фотоприймачів) застосовується велика кількість параметрів. Розглянемо основні з них, які найперше необхідно враховувати під час розробки ОЕВП.

Чутливість фотоприймача – це відношення зміни вихідного сигналу, викликаного падаючим випромінюванням, до кількісної характеристики цього випромінювання. Розрізняють інтегральну, монохроматичну, струмову, вольтову, статичну і диференціальну чутливості.

Характеристика чутливості, або крутизна перетворення виражається у різних одиницях (Вольт на ват, Ом на ват, Ампер на ват, Ампер на люмен) і, як правило, називається чутливістю, що, звичайно, не зовсім точно, оскільки більш чутливим може бути не той фотоприймач, який виробляє великий сигнал, а той, який забезпечує найбільшу величину відношення сигналу до шуму. Ця обставина знаходить своє втілення і у технічній літературі, де, згідно з Джонсом, на відміну від терміна *sensitivity* (чутливість) інколи віддають перевагу терміну *responsivity* (чутливість чи реакція, відповідь) [3].

Насамперед необхідно знати інтегральну чутливість до монохроматичного випромінювання певного спектрального складу, струмову  $S_i$  і вольтову  $S_u$  чутливості:

$$S_i = \frac{\Delta \tilde{I}_C}{\Delta \Phi_E}; \quad S_u = \frac{\Delta U_C}{\Delta \Phi_E}, \quad (1)$$

де  $\Delta \tilde{I}_C$ ,  $\Delta U_C$  – приріст вихідного сигналу (струму, напруги), віднесений до приросту світлового потоку  $\Delta \Phi = \Delta E(x_{1n}, y_{1m}) \cdot A_{че}$ , який потрапляє на чутливу поверхню ППОВ площею  $A_{че}$ .

Поріг чутливості (порогова чутливість) фотоприймача визначається середнім квадратичним значенням першої гармоніки модульованого потоку випромінювання, яке потрапляє на фотоприймач із заданим спектральним розподілом, за якого середнє квадратичне значення першої гармоніки вихідної напруги (струму) дорівнює середньому квадратичному значенню напруги

$\sqrt{U_{ш}^2}$  (струму  $\sqrt{i_{ш}^2}$ ) шуму на заданій частоті модуляції потоку випромінювання:

$$Ц_p^* = \sqrt{U_{ш}^2} / S_u \quad \text{чи} \quad D_p^* = \sqrt{i_{ш}^2} / S_i. \quad (2)$$

Це значення наводиться для смуги перепускання частот в 1 Гц.

Для порівняння фотоприймачів, які відрізняються площею  $A_{че}$  чутливого елемента і смугою перепускання частот  $\Delta f$ , використовують питомий поріг чутливості  $\Phi_{п}^*$  і питому розрізнявальну здатність  $D^*$ :

$$\Phi_p^* = \sqrt{U_{ш}^2} / (S_u \sqrt{A_{че} \Delta f}), \quad D_p^* = 1 / Ц_p^*. \quad (3)$$

Серед інших важливих параметрів первинних перетворювачів одновимірних оптичних сигналів необхідно відмітити сталу часу фотоприймача, яке визначає його швидкодію і дорівнює часу від початку опромінення фотоприймача до того моменту, коли сигнал на виході досягне рівня 0,63 від значення, яке встановилося за тривалого опромінення.

Окрім порогу чутливості, для оцінки розрізнявальної здатності фотоприймачів часто застосовують такі параметри, як рівень власних шумів на виході чи темновий струм — середнє квадратичне значення струму на виході повністю затемненого фотоприймача.

До спектральних параметрів ППОВ належать короткохвильова  $\lambda'$  і довгохвильова  $\lambda''$  границі чутливості і довжина хвилі  $\lambda_{\max}$ , яка відповідає максимуму спектральної характеристики монохроматичної чутливості  $S_{\lambda}$  фотоприймача.

Окрім перерахованих параметрів, необхідно враховувати робочу напругу, геометричні параметри (габаритні розміри, ефективну площу чутливого елемента, його конфігурацію) тощо.

Оскільки параметри фотоприймачів залежать від умов експлуатації, то під час проектування ОЕП необхідний перелік паспортних значень для конкретних умов експлуатації.

Основними характеристиками фотоприймачів випромінювання, що визначають залежність окремих параметрів від умов експлуатації, які змінюються (спектрального складу потрапляючого на фотоприймач випромінювання, напруги живлення, частоти модуляції потоку, температури довкілля), є спектральні, вольтові, частотні, енергетичні, температурні і фонові [3].

Найпоширенішими характеристиками фотоприймачів є:

- амплітудна (енергетична чи світлова) характеристика, яка визначає залежність сигналу від величини потоку випромінювання, що потрапляє на фотоприймач;
- спектральна характеристика, що виражає залежність сигналу від довжини хвилі падаючого випромінювання;
- частотна характеристика, яка визначає інерційні властивості фотоприймача у вигляді залежності сигналу від частоти модуляції потоку випромінювання;
- шумова характеристика, яка є залежністю спектральної густини шуму фотоприймача від частоти.

Однак не завжди можливо мати для кожного екземпляра фотоприймача випромінювання повний набір характеристик. Тому у багатьох випадках характеристики замінюються числовими параметрами, що виражають властивість фотоприймача за певних найбільш типових умов.

Наприклад, замість амплітудної характеристики застосовується диференціальна крутизна перетворення (чутливість), яка визначає величину сигналу, що виробляється фотоприймачем під час опромінювання його малим синусоїдально-модульованим потоком випромінювання. Частотна характеристика у першому наближенні описується сталою часу; шумова характеристика — середньоквадратичним значенням шуму чи спектральною густиною шуму на одній фіксованій частоті. Як параметри, що описують спектральну характеристику, інколи застосовують значення довжин хвиль  $\lambda_0$  і  $\lambda_1$ , за яких спектральна чутливість відповідно дорівнює 0,5 і 0,01 від максимального значення.

Короткохвильова і довгохвильова границі спектральної чутливості фотоприймача визначаються як найменша і найбільша довжини хвиль монохроматичного випромінювання, за яких монохроматична чутливість фотоприймача дорівнює 0,1 від її максимальної величини.

Замість спектральної характеристики можуть задаватися абсолютні значення порогової чутливості фотоприймача на фіксованих довжинах хвиль тощо. Якщо фотоприймач випромінювання застосовується для виявлення чи реєстрації потоку випромінювання складного спектрального складу, тобто передусім використовуються його інтегральні властивості, тоді спектральну характеристику можна задати значеннями коефіцієнта використання випромінювання чи ефективної спектральної ширини смуги пропускання фотоприймача.

Сьогодні ведуться розробки і дослідження нових фізичних і структурних підходів в напрямку поєднання досягнень мікроелектронної технології з перевагами оптичних методів обробки інформації шляхом створення оптоелектронних вимірювальних перетворювачів нових типів, які

можуть виконувати, окрім зчитування просторового розподілу інтенсивності випромінювання, ще й функції, що застосовуються при попередній обробці оптичних зображень, що, своєю чергою, дає змогу створювати системи управління, які працюють в режимі реального часу з більш високими функціональними можливостями.

**Формування цілі статті.** Координатні фоторезистори (фотопотенціометри) є тонкоплівчастими багат шаровими структурами, які для одержання необхідного функціонального перетворення мають профільований резистивний шар. Довжина чутливого шару фотопотенціометра може досягати декількох десятків міліметрів за розрізняючої здатності в десятки мікрометрів [4]. Сучасні фотопотенціометри мають недостатню часову і температурну стабільність, хоча є доволі надійними і технологічними.

Координатний фотоприймач із поздовжнім фотоефектом складається із р-п-переходу, утвореного низькоомною підкладкою р-типу провідності і високоомним шаром п-типу провідності. Координатна характеристика такого фотоприймача є залежність сигналу на виході від відхилення розміщення світлового зонда (зображення) від центра фоточутливої площадки ППОВ. Її лінійність визначається відношенням відхилення від лінійної ділянки на характеристиці до максимального сигналу у цій точці і становить декілька відсотків.

Існують двокоординатні фотоприймачі із поздовжнім фотоефектом, однак лінійність їх характеристики поступається лінійності однокоординатних.

Координатні фотоприймачі, які працюють на поперечному фотоефекті, називаються диференційними. Вихідний сигнал такого фотоприймача дорівнює різниці сигналів із фоточутливих елементів і пропорційний до зміщення зображення щодо “нульового” положення. До таких фотоприймачів належать секторні чи квадрантні фоторезистори і фотодіоди [3]. Для більшості приймачів такого типу протяжність зони нечутливості становить десятки і навіть сотні мікрометрів. Не менш важливою є і стабільність “нульової” точки (дрейф нуля).

Крутизна координатної характеристики і стабільність нульової точки залежать від режиму роботи фотоприймача, наприклад, для квадрантного фотодіода у фотодіодному режимі його роботи (за наявності зміщення від зовнішнього джерела) дрейф нуля нижчий і крутизна на порядок вища, ніж у вентильному режимі (за відсутності зовнішнього зміщення).

Координатний фотоприймач із радіальним електричним полем належить до первинних перетворювачів, принцип роботи яких ґрунтується на застосуванні дрейфу носіїв заряду. Йому властиві велика крутизна координатної характеристики, велика розрізнявальна здатність (одиниці і навіть десятки частки мікрометра) за невеликої протяжності лінійної зони координатної характеристики (до 1 мм). На базі таких фотоприймачів створено розгортаючі пристрої, які здійснюють електронну розгортку (сканування) зображення. Це зображення формується оптичною системою на чутливому шарі фотоприймача.

Загальний недолік розглянутих координатних фотоприймачів полягає у залежності координатної характеристики від розмірів і форми світлового зонда (зображення) і від розподілу освітленості у зонді.

Для диференційних координатних фотоприймачів характерні додаткові похибки, які вносяться неідентичністю окремих елементів.

Для усунення першого недоліку часто використовують схеми стабілізації параметрів джерел випромінювання ОЕВП, а також спеціальні корегуючі кола, які вводяться у блоки обробки сигналів [4].

Якщо розглянути тільки ті характеристики і параметри координатних фотоприймачів випромінювання, які дають змогу здійснити феноменологічний опис властивості фотоприймача перетворювати потік випромінювання в електричний сигнал, тоді фотоприймач можна розглядати як чотириполюсник, який має крутизну перетворення  $S$ , яка і визначає величину сигналу. Цей сигнал формується фотоприймачем і припадає на одиницю потоку випромінювання, що потрапляє на фоточутливу поверхню.

**Мета роботи** – вирішення проблеми розроблення принципів побудови оптоелектронних перетворювачів для попередньої обробки зображень і пристроїв на їх основі, які можуть

виконувати, окрім перетворення інтенсивності випромінювання, ще й функції, що застосовуються при попередній обробці оптичних зображень, на основі системного підходу, який враховує вимоги до метрологічної, програмної, експлуатаційної, конструктивної та інформаційної сумісності.

**Виклад основного матеріалу.** Розширення функціональних можливостей ОЕВП для отримання інформації з потрібною точністю і в необхідній кількості та з мінімальними апаратними і програмними затратами може бути досягнуто у разі застосування багатоелементних приймачів випромінювання, виконаних на основі твердотільної або плівкової технології.

Багатоелементні ППОВ характеризуються багатьма параметрами і характеристиками, які застосовуються для описання властивостей одноелементних фотоприймачів. Однак специфіка конструктивного виконання зумовила і ряд нових параметрів. Геометричну (просторову) розрізнувальну здатність БЕ ППОВ зумовлюють міжелементна відстань і крок (відстань між сусідніми фоточутливими площадками і їх центрами). Похибки БЕ ППОВ зумовлені нерегулярністю розміщення елементів, розкидом чутливості елементів і паразитними міжелементними зв'язками.

До найбільш досконалих БЕ ППОВ належать пристрої із зарядовим зв'язком (ПЗЗ), принцип роботи яких ґрунтується на перетворенні розподілу освітленості у зображенні, що реєструється, у розподіл носіїв зарядів (зарядовий рельєф), який зберігають у потенціальних ямах під електродами структур метал-діелектрик-напівпровідник (МДП-структур). Зчитування сигналу здійснюється послідовним чи паралельним переносом зарядового рельєфу від одних МДП-структур до інших із реєстрацією відповідних змін потенціалів, що наводяться на електродах вихідних МДП-структур. Винахід в 1970 р. американськими вченими Бойлом і Смітом приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) відкрив широкі перспективи для розвитку систем технічного зору. Їх поява усунула суперечності між мікромініатюрною системою обробки інформації і громіздкими відеокамерами з відеовікнами. ПЗЗ дали змогу створити мініатюрні відеокамери, що працюють від джерела живлення з напругою до 10 В.

Залежно від фізичної реалізації розрізняють два типи ПЗЗ: пристрої із поверхневим переносом заряду і пристрої з потаємним каналом (із об'ємним переносом). Переваги ПЗЗ із потаємним каналом полягають у збільшенні швидкодії і ефективності переносу заряду та в зниженні рівня шумів. Схеми управління ПЗЗ поділяють на дво-, три- і чотиритактні, їх детальний опис наведено у [5].

Спектральний діапазон роботи ПЗЗ зумовлюється матеріалом напівпровідникової підкладки і для більшості промислових пристроїв, виконаних із кремнію, включає видиму і ближню інфрачервоні ділянки.

За методом організації структури ПЗЗ розрізняють пристрої із кадровим і з рядковокадровим переносом заряду. У пристроях із кадровим переносом існує секція нагромадження (фоточутлива секція), секція зсуву і вихідний реєстр. За подачі керуючих сигналів на електроди такого ПЗЗ здійснюється реєстрація зображення шляхом нагромадження зарядів у секції нагромадження. Потім за час переносу зарядовий рельєф зсувається у секцію зсуву. Упродовж часу, необхідного для формування зарядового рельєфу, який відповідає наступному кадру зображення, здійснюється зчитування попереднього шляхом введення зарядового рельєфу у вихідний реєстр рядка і формування відповідних сигналів на виході підсилювача. Недоліком розглянутого БЕ ППОВ є необхідність у подвійній кількості ПЗЗ елементів внаслідок наявності секції зсуву.

У ПЗЗ із рядковокадровим переносом заряду секції нагромадження і зберігання поєднані в одну секцію, чутливі елементи прилягають до вертикальних реєстрів зсуву, в які поступають заряди після нагромадження і по яких вони переміщуються до горизонтального вихідного реєстру, а потім до підсилювача [6].

Найбільш багатообіцяючою перспективою, яка відкрилась у зв'язку з використанням твердотільних приймачів зображення, є можливість суміщення в одному ОЕВП не лише блоків для перетворення оптичних сигналів в електричні [7], але і блоків для попередньої обробки інформації, зокрема для виділення із масиву інформації, що утворює певний образ, значно менших за обсягом підмасивів, які є ознаками цього образу, формування еталону за принципом фоторобота тощо. Тому одна із істотних тенденцій розвитку засобів збирання і оброблення інформації в сучасних системах

управління полягає в їх оснащенні такими ОЕВП, в яких власне перетворення і попереднє оброблення інформації суміщені за часом. Це дає змогу звести до мінімуму запізнення під час видачі результату, забезпечити ресстрацію інформації в потрібній формі і одиницях, скоротити обсяг інформації, що передається каналами зв'язку, зробити більш раціональним обмін інформацією між первинними перетворювачами і більш високими ступенями АСУ, розвантажити ЕОМ, яка входить до складу АСУ.

Розроблення і дослідження нових фізичних і структурних підходів до створення первинних перетворювачів оптичного випромінювання, які забезпечують покращання характеристик оптоелектронних пристроїв, має значний інтерес, тому що це, своєю чергою, дає змогу створювати автоматизовані системи управління, які працюють в режимі реального часу з більш високими функціональними можливостями. Успіхи в цьому напрямку нерозривно пов'язані з проблемою підвищення ефективної пропускну здатності ОЕВП, в скороченні обсягу інформації, що передається каналами зв'язку, в можливості зробити більш раціональним обмін інформацією між первинними перетворювачами і більш високими ступенями АСУ, розвантажити ЕОМ, яка входить до складу АСУ. Для реалізації цього завдання розроблено принципи побудови, визначено і оцінено основні технічні параметри функціональних елементів первинних оптоелектронних перетворювачів на основі інтегральних МНОП-п-р-структур, в яких розширення набору функціональних перетворень над зображеннями досягнуто за рахунок керування режимами запису, витирання і зчитування інформації як оптичними, так і електричними впливами, а також принципів побудови автоматизованої установки і лазерної системи контролю профілю. Зокрема, розроблено принципи побудови функціональних елементів і первинних перетворювачів на їх основі, що реалізують в момент сприйняття операції додавання, віднімання, множення і порогового сприйняття зображень, визначені і оцінені їх основні технічні параметри під час виконання вказаних операцій; розроблено принципи побудови автоматизованої експериментальної установки і алгоритми програмного забезпечення для дослідження процесів, що відбуваються в інтегральних структурах під дією оптичних і електричних впливів, перевірки працездатності функціональних елементів і первинного перетворювача на їх основі; розроблено схему первинного перетворювача на основі інтегральних МНОП-п-р-структур і основні режими його функціонування, а також принципи побудови лазерної системи контролю профілю об'єктів складної форми, що використовує частину функціональних можливостей первинного перетворювача.

Під час створення інформаційних моделей блоків і елементів ОЕВП використано теоретичні основи вимірювальної техніки, доробки в прикладному плані сучасних досягнень математики, теорії автоматичного керування, теорії зв'язку і обчислювальної техніки. Аналітичні інформаційні моделі, одержані на основі використання реальних технічних параметрів блоків і елементів ОЕВП в результаті аналізу літературних джерел і технічних описів, дають змогу проводити вдосконалення нових типів ОЕВП. Методи досліджень первинних перетворювачів на основі інтегральних структур, в яких досягнуто розширення набору функціональних перетворень над зображеннями, ґрунтуються на використанні теорії процесів утворення і релаксації областей просторового заряду (ОПЗ), що не мають рівноваги, в неоднорідних напівпровідникових структурах і МДП-структурах, і методик експериментальних досліджень фотоелектричних характеристик МДП-структур з використанням набору тестових елементів. Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні ефективної методики проектування ОЕВП, у розробці первинних перетворювачів оптичного випромінювання з розширеними функціональними можливостями і дослідженні їх характеристик. Зокрема, розроблена методика дослідження забезпечує визначення поточних значень інформаційної ефективності для базових структурних елементів і ОЕВП загалом, побудову на їх основі аналітичних виразів, які дають змогу розробляти ОЕВП із заданими характеристиками; розроблені первинні перетворювачі оптичного випромінювання забезпечують високу ефективність перетворення і зниження вимог до інтерфейсних засобів їх стикування з ЕОМ; введення в базовий набір первинних перетворювачів на основі інтегральних МДН-структур нових структурних елементів уможливило створення ОЕВП з розширеними функціональними можливостями.

Розроблені ОЕВП допускають апаратну реалізацію на сучасній елементній базі, зокрема у вигляді великих інтегральних схем. Результати проведених досліджень дають змогу розширити функціональні можливості первинних перетворювачів для обробки зображень за високої порогової чутливості до випромінювання у видимому діапазоні довжин хвиль і високого рівня швидкодії, а розроблені функціональні елементи дають можливість створювати різні первинні перетворювачі нових типів, які забезпечують істотне зниження вимог до параметрів і характеристик каналів введення інформації в систему управління. Застосування розроблених первинних перетворювачів на основі інтегральних структур дає можливість розширити функціональні можливості і підвищити техніко-економічні характеристики оптоелектронних контрольно-вимірювальних систем і оптоелектронних систем обробки зображень, які входять до складу АСУ, що працюють в реальному часі.

**Висновки.** Властивості первинних перетворювачів оптичного випромінювання (фотоприймачів) якнайширше можуть бути описані системою характеристик, які виражають залежність сигналу і шуму, що виробляються ОЕВП, від величини, спектрального складу і частоти модуляції випромінювання, яке потрапляє на фотоприймач, від температури довкілля, від напруги живлення.

При вирішенні проблеми розробки принципів побудови оптоелектронних вимірювальних перетворювачів для попередньої обробки зображень і пристроїв на їх основі, які можуть виконувати, окрім перетворення інтенсивності випромінювання, ще й функції, які використовуються при попередній обробці оптичних зображень, необхідно використовувати системний підхід, який враховує вимоги до метрологічної, програмної, експлуатаційної, конструктивної та інформаційної сумісності. Критерієм для вибору параметрів і характеристик функціональних елементів первинних перетворювачів доцільно вибрати мінімум втрати корисної інформації, яка міститься в полі випромінювання об'єкта.

1. Литвин І. С. Інформація на виробництві та в управлінні // *Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи.* – Херсон, 1998. – № 2(3). С. 151–155. 2. Литвин І.С. *Оптоелектронні перетворювачі для попередньої обробки інформації в системах управління* // *Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 1998. – № 325. – С. 97–100. 3. *Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов и др.; Под. общ. ред. Ю.Г. Якушенкова.* – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. 4. Грязин Г.Н. *Опτικο-електронные системы для обзора пространства.* – Л.: Машиностроение, 1988. – 218 с. 5. Пресс Ф.П. *Формирователи видеосигналов на приборах с зарядовой связью.* – М.: Радио и связь, 1978. – 136 с. 6. Грязин Г.Н. *О работе приборов с зарядовой связью в режиме импульсного экспонирования* // *Изв. вузов. Приборостроение.* – 1979. – № 10. – С. 62–65. 7. Литвин І.С. *Інформаційна ефективність блоків оптоелектронних пристроїв* // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.* – Хмельницький, 2001. – № 4. – С. 33–37.