

DOI: 10.20535/1970.71(1).2026.361647

УДК 681.78

ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

Кучеренко О. К.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: oleg.k.kucherenko@gmail.com

Оптико-електронні системи відеоспостереження (ОСВ) телевізійного типу широко використовуються в робототехнічних комплексах, безпілотних летальних апаратах, системах автоматизації різного призначення. Основні переваги ОСВ такі: прихованість застосування, відносна простота конструкції, невеликі габарити, мале енергоспоживання, значні обсяги отриманої інформації. Слід зазначити, що ОСВ мають певні обмеження дальності дії, обумовлені станом атмосфери та залежністю від відношення сигнал/шум (SNR - Signal-to-Noise Ratio) фотоприймальної матриці.

Внаслідок дії цих негативних факторів контраст зображення на моніторі системи відеоспостереження знижується і система технічного зору може втрачати здатність впізнання об'єкту. Значення мінімального контрасту для надійної роботи ОСВ залежить від типу телевізійної камери і знаходиться в межах 10^2 – 10^4 . Сучасні телевізійні камери на базі CCD або CMOS матриць характеризуються значеннями SNR в межах 30–60 дБ. При цьому вартість камери суттєво залежить від цього значення. Тому перед розробниками ОСВ постає задача оцінки дальності дії системи відеоспостереження при певному стані атмосфери і вибраній елементній базі ОСВ. Важливо також визначити необхідну роздільну здатність об'єктива телевізійної камери залежно від розмірів пікселя матричного приймача.

В статті приведений метод інженерного розрахунку впливу розсіювання і поглинання атмосфери на дальність дії ОСВ. В розрахунках використані останні дані різних станів атмосфери, що досліджені інтернаціональною організацією ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector). Для визначення залежності дальності дії ОСВ від чутливості телевізійної камери була використана формула Кашидєра з подальшим її перетворенням від лінійних значень SNR до значень SNR, визначених в децибелах.

Ключові слова: оптико-електронна система відеоспостереження; розсіювання та поглинання атмосфери; відношення сигнал/шум телевізійної камери; дальність дії системи відеоспостереження.

Вступ. Постановка проблеми

Однією з основних систем робототехнічних комплексів є оптико-електронна система відеоспостереження (ОСВ) телевізійного типу з використанням CCD або CMOS матриць. На відміну від радіолокаційних засобів виявлення ОЕС мають з одного боку додаткові можливості щодо впізнання об'єктів, з іншого – обмеження за дальністю дії та простором огляду. Зазначені обмеження пов'язані зі специфікою формування та обробки сигналів оптичного діапазону.

Основні переваги ОСВ такі: прихованість застосування, не потребують додаткових систем завадозахисту, відносна простота конструкції, невеликі габарити, невелике енергоспоживання. ОСВ різняться за принципом дії, методами обробки зображення та спектральним діапазоном, відповідно до якого можуть працювати у видимій та інфрачервоній (ІЧ) областях спектра [1–4].

Однак слід зазначити, що ОСВ мають певні обмеження пов'язані з дальністю дії. Ці обмеження обумовлені поглинанням і розсіюванням випромінювання в атмосфері, завадами пов'язаними з шумами фотоприймальних матриць, обмеженою

апертурою об'єктива телевізійної камери та втратами на поглинання і розсіювання випромінювання оптичною системою телевізійної камери ОСВ.

Рекомендації, що до розрахунків при проходженні електромагнітного випромінювання радіо і оптичного діапазонів через атмосферу надаються інтернаціональною організацією ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector), що має штаб квартиру у Женеві. Створені окремі секції, які охоплюють різні фактори впливу: туман, газ, дощ, пил та ін. [5].

Слід зазначити, що в існуючих публікаціях відсутні інженерні співвідношення, які надають розробникам можливість зробити попередню оцінку дальності дії, а також вибору фотоприймальної матриці ОСВ. При виборі типу фотоприймальних матриць для систем відеоспостереження, крім іншого, розробникам слід одночасно враховувати їх чутливість, швидкодію, затримку сигналу при реєстрації об'єктів, які швидко пересуваються.

Мета статті – інженерна оцінка впливу атмосфери і чутливості фотоприймальної матриці на дальність дії ОСВ робототехнічних комплексів, що

працюють у видимому і ближньому ІЧ діапазонах спектру.

Типові значення параметрів об'єкта та телевізійної камери оптично-електронної системи відеоспостереження

Одним з параметрів при оцінці дальності дії ОСВ роботехнічних комплексів є розмір об'єкта відеоспостереження. Зазвичай таким параметром може бути розмір об'єкта d . Відповідно до критерія Джонсона для визначення дальності при виявленні, розпізнаванні та впізнаванні об'єкта відеоспостереження використовується така кількість пікселів матричного приймача [6]:

- виявлення $n_b = 1 - 1,5$ пікселя;
- розпізнавання $n_p = 4$ пікселя;
- впізнавання $n_{vp} = 8$ пікселів.

Формула розрахунку дальності дії без врахування впливу зовнішніх факторів така:

$$L = \frac{f'_{\text{об}} d}{n_i p}, \quad (1)$$

де: d – розмір об'єкта; p – розмір пікселя; $f'_{\text{об}}$ – фокусна відстань об'єктива телевізійної камери; n_i – кількість пікселів.

Найчастіше в ОСВ використовується фотоприймальний вузол на базі матриць від 0,3 Мп (VGA, 640x480) до 2 Мп (Full HD, 1920x1080). На відміну від квадратних матриць VGA (4:3), матриці Full HD завжди мають широкоформатне співвідношення 16:9. Це забезпечує ширший кут огляду по горизонталі, що важливо для спостереження за горизонтом або дорогами. Для покращення світлочутливості в системах відеоспостереження намагаються використовувати якомога більші розміри пікселів (часто більше 3,0 – 5,0 мкм), навіть жертвуючи загальною роздільною здатністю.

Важливою характеристикою камер відеоспостереження є частота кадрів (FPS) і затримка (Latency). В камерах відеоспостереження достатньо мати частоту кадрів 15 – 30 кадрів/секунду. В системах наведення для точного реагування на швидкі маневри об'єкта відеоспостереження з 2026 року стандартом є 60, 120, або навіть більше кадрів/секунду. В телевізійних камерах наведення затримка зведена до мінімуму (мілісекунди), тоді як в системах відеоспостереження допустима затримка в 1 – 2 секунди.

Телевізійні камери відеоспостереження можуть ідентифікувати об'єкт, якщо його контраст у зображенні перевищує мінімально допустиме значення. Типові значення мінімально допустимого контраста для камер (CCD/CMOS) складають [6]:

- $C_{\text{min}} \sim 2 \cdot 10^{-2}$ → майже як у ока (камери середнього класу);
- $C_{\text{min}} \sim 10^{-3}$ → камери середнього класу;
- $C_{\text{min}} \sim 10^{-4}$ → астрономічні системи (камери високого класу).

При цьому максимальний контраст $C_0 = 1$.

Основний інтегральний показник якості зображення в камерах відеоспостереження це відношення сигнал/шум (SNR - Signal-to-Noise Ratio). Типові значення SNR камер в децибелах такі:

- 40–50 дБ: стандартний показник для більшості камер середнього класу. В зображенні з'являється легкий шум у тінях, але він не заважає загальному спостереженню. Зображення виглядає чистим при хорошому освітленні.
- 50–60 дБ і вище: високоякісні камери 4K з великими матрицями, які знімають відео у дуже високій якості (Ultra HD). В системах точного наведення вони забезпечують дуже чітку картину навіть при слабкому сигналі.
- менше 30 дБ: посередня якість. Шум стає помітним неозброєним оком («сніг» на картинці), дальність розпізнавання падає. Зображення вважається «шумним», деталізація об'єктів (облич, номерів) суттєво падає.
- 20 дБ: мінімально допустима межа, за якої зображення ще можна використовувати для спостереження, але впізнавання об'єктів стає майже неможливе.

На величину SNR впливають декілька факторів. Серед них шум зчитування (Read Noise). Цей параметр вказує на внутрішній шум електроніки матриці при перетворенні світла в електричний сигнал. Він вимірюється в електронах (e-). У вдосконалених сучасних камерах 2026 року цей показник становить 1,0–2,5 e-. Для спеціалізованих камер наведення низький шум зчитування дозволяє «бачити» об'єкти в умовах майже повної темряви без сильного засмічення картинки «снігом».

Іншим важливим фактором є темновий шум (Dark Noise / Dark Current). Він виникає через теплові процеси в матриці, навіть якщо на неї не падає світло. Темновий шум сильно залежить від температури: при нагріванні камери на кожні 6 – 8°K рівень темного шуму може подвоюватися. Це критично для камер, що працюють влітку на сонці, або в закритих приміщеннях.

Для узгодження роздільної здатності матричного приймача і об'єктива застосовується критерій Найквіста-Шеннона [7], який є фундаментальним правилом в теорії обробки сигналів. З цього правила слідує, що для адекватного оцифрування аналогового сигналу (зображення, створеного об'єктивом) необхідно мати принаймні два пікселі на найменшу деталь зображення або два пікселі на одну пару ліній.

Математично це виглядає так. Наприклад розмір пікселя в мкм: $p = 5 \text{ мкм} = 0.005 \text{ мм}$. Тоді частота Найквіста дорівнює:

$$F_H = \frac{1}{2p} = \frac{1}{0.010} = 100 \text{ лін/мм.}$$

Для цієї камери потрібен об'єктив із реальною роздільною здатністю близько 120 – 100 лін/мм при коефіцієнті передачі контрасту 0.5. При невиконанні цієї умови зображення буде розмитим, нечітким.

Вплив атмосфери на дальність дії оптико-електронної системи відеоспостереження

Якщо визначати дальність дії системи відеоспостереження лише за критерієм Джонсона, то при розмірі об'єкта $d = 1,7$ м, фокусній відстані об'єктиву $f = 50$ мм, розміру пікселя $p = 5$ мкм з формули (1) отримуємо дальність впізнання $L = 2$ км. Реально на дальність дії впливає стан атмосфери. Цей вплив визначається законом Бугера-Ламберта-Бера.

В класичному вигляді закон Бугера-Ламберта-Бера визначає ослаблення інтенсивності світла при проходженні через поглинаюче та розсіююче середовище. Цей закон описується рівнянням [8]:

$$I(l) = I_0 e^{-\beta l}, \quad (2)$$

де: I_0 – початкова інтенсивність випромінювання; $I(l)$ – інтенсивність після проходження шляху l ; β – коефіцієнт екстинкції (поглинання + розсіювання), що вимірюється в км^{-1} , або м^{-1} ; l – довжина шляху.

Для визначення екстинкції в розрахунках використовуємо також ослаблення, яке вимірюється в логарифмічній шкалі в дБ/км. Зв'язок між ослаблен-

ням і інтенсивністю випромінювання при проходженні дистанції l визначається співвідношенням:

$$A = 10 \log \left(\frac{I_0}{I_l} \right) \text{ дБ}, \quad (3)$$

де: I_0 – початкова інтенсивність випромінювання; I_l – інтенсивність випромінювання на відстані l .

З (3) отримаємо:

$$I_l = I_0 \cdot 10^{-\frac{A}{10}}. \quad (4)$$

Зв'язок між коефіцієнтом екстинкції і ослабленням випромінювання дорівнює:

$$A \approx 4,343 \beta l. \quad (5)$$

В атмосфері β характеризує туман, дим, аерозолі. Типові значення вікон прозорості та поглинання атмосфери приведені в табл. 1 [9].

Реально в атмосфері відбувається не тільки поглинання, але й розсіювання. Ослаблення і коефіцієнт екстинкції випромінювання при різних станах атмосфери внаслідок поглинання і розсіювання приведено в табл. 2 [9].

Таблиця 1. Типові значення вікон прозорості та поглинання атмосфери

«Вікна прозорості» атмосфери		Смуги сильного поглинання		
Довжина хвилі	Поглинання	Газ	Приклад діапазону	Поглинання
0,4 – 0,7 мкм	$\approx 10^{-4} - 10^{-2} \text{ км}^{-1}$	H ₂ O	1,4; 1,9; 2,7 мкм	1–100 км^{-1}
0,8 – 1,6 мкм	$\approx 10^{-3} - 10^{-1} \text{ км}^{-1}$	CO ₂	2,0; 4,3 мкм	10–1000 км^{-1}
Ослаблення	< 0,1 дБ/км в добрих умовах	O ₃	УФ (< 0,35 мкм)	Дуже сильне

Таблиця 2. Ослаблення і коефіцієнт екстинкції випромінювання при різних станах атмосфери

Умови	Загальне ослаблення	Умови	β , 1/м
Чисте сухе повітря	0,05 – 0,2 дБ/км	Легка димка	0,005
Вологе повітря	0,2 – 1 дБ/км	Вологе повітря	0,02
Димка/смог	1 – 10 дБ/км	Густий туман	0,05
Туман	10 – 100 дБ/км	Дуже густий туман	0,1

Як зазначалося вище, визначення дальності дії ОСВ за формулою Джонсона передбачає ідеальний випадок, коли не враховані атмосферні впливи і співвідношення сигнал / шум телевізійної камери. Для врахування дальності дії внаслідок стану атмосфери при спостереженні безпосередньо оком та за допомогою телевізійної камери (враховуючи лише денне бачення) використовуємо формулу Кельрауша-Кашмідера [10].

При спостереженні оком і мінімальному контрасті зображення 0,02 метеорологічна дальність бачення за формулою Кельрауша-Кашмідера визначається співвідношенням:

$$l = 3,9 / \beta.$$

Для приладового бачення дальність дії враховує контраст, який може розрізнити прилад і формула змінюється наступним чином:

$$l = 1 / \beta \cdot \ln(C_0 / C_{\min}^{\text{(приладу)}}), \quad (6)$$

де: $C_{\min}^{\text{(приладу)}}$ – мінімальний контраст, який здатен розрізнити прилад при врахуванні шумів, ква-

нтування сигналу, часу експозиції, алгоритмів обробки; $C_0 = 1$.

Раніше було зазначено, що для камер середнього класу $C_{\min} \sim 10^{-3}$. Тоді для цих камер з врахуванням (6) отримуємо:

$$l = \ln(C_0 / C_{\min}^{\text{(приладу)}}) / \beta = \ln 1000 / \beta = 6,9 / \beta.$$

Тобто дальність видимості у 1,8 рази більша ніж у людини.

Визначимо на прикладі вплив атмосфери на зменшення дальності дії ОСВ на заданій дистанції. Розглянемо декілька випадків:

1. Стандартна атмосфера (ясна погода, нема/за відсутності туману і смогу).
2. В атмосфері димка і смог.
3. В атмосфері туман.

Отримаємо результат у вигляді коефіцієнта β , ослаблення A , або частини інтенсивності випромінювання, що потрапила до телевізійної камери.

Для першого випадку скористаємося такими вихідними даними:

- довжина хвилі: $\lambda = 0,5$ мкм (видимий діапазон);
- дистанція: $l_0 = 2$ км;
- сумарне ослаблення на дистанції 1 км: 0,05 – 0,2 дБ/км;
- типове середнє значення ослаблення випромінювання з врахуванням дистанції 2 км: $A = 0,2$ дБ/км.

З формули (4) відносна інтенсивність випромінювання, що дійшла до фотоприймальної матриці дорівнює:

$$\frac{I_l}{I_0} = 10^{-A/l} = 10^{-0,2/10} \quad (7)$$

З врахуванням (7) отримаємо: $I_l = I_0 \cdot 10^{-0,2/10} \approx 0,955$. Тобто $I_l \approx 95,5$ % від I_0 .

З формули (5) отримаємо значення коефіцієнта ослаблення випромінювання:

$$\beta = \frac{A}{4,343 \cdot l} = \frac{0,2}{4,343 \cdot 2} = 0,02 \text{ км}^{-1}.$$

Таким чином на відстані 2 км при $\lambda = 0,5$ мкм в стандартній атмосфері втрати інтенсивності випромінювання складають 4,5 %, а коефіцієнт ослаблення дорівнює $2 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$.

Інтенсивність випромінювання, що потрапила до телевізійної камери, пов'язана з дальністю дії по закону зворотних квадратів. Тому для визначення зміни дальності дії системи відеоспостереження скористаємося співвідношенням

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{\frac{I}{I_0}} \quad (8)$$

Після підстановки в формулу (8) отримаємо зменшене значення дальності дії:

$$l = \sqrt{0,95} l_0 = 0,97 l_0 = 1,94 \text{ км}.$$

Тобто при визначеному в прикладі стані атмосфери дальність дії ОСВ зменшилася на 3 % в порівнянні з початковим значенням.

В другому випадку для тих самих початкових умов, але при стані атмосфери димка/смог скористаємося середнім значенням ослаблення 4 дБ/км (Табл. 2). На відстані 2 км з формули (4) отримаємо:

$$\frac{I_l}{I_0} = 10^{-8/10} \approx 0,16 \quad (9)$$

З формули (9) отримаємо $I_l = I_0 \cdot 10^{-8/10} \approx 0,16$. Тобто $I_l \approx 16$ % від I_0 .

Втрати складають 84 % на дистанції 2 км, а коефіцієнт ослаблення дорівнює

$$\beta = \frac{A}{4,343 \cdot l} = \frac{4}{4,343 \cdot 2} = 0,46 \text{ км}^{-1}.$$

Відповідно до співвідношення (8) дальність дії складає:

$$l = \sqrt{0,16} l_0 = 0,4 l_0 = 0,8 \text{ км}.$$

Тобто в наслідок зміни стану атмосфери на димку/смог дальність дії ОСВ зменшилася на 60 %.

Нарешті для останнього випадку в тумані середнє значення ослаблення дорівнює 40 дБ/км (Табл. 2). По аналогії з попередніми розрахунками отримаємо: $I_l = I_0 \cdot 10^{-80/10} \approx I_0 \cdot 10^{-8}$. При цьому ста-

ні атмосфери відбувається повне гасіння потужності випромінювання, відеоспостереження на цій довжині хвилі стає неможливим.

Вплив відношення сигнал/шум (SNR) телевізійної камери на дальність дії оптично-електронної системи відеоспостереження

Вплив відношення сигнал/шум (SNR) телевізійної камери на дальність дії ОСВ можна оцінити за допомогою формули Кашмідера, яка має вигляд [10]:

$$l = 1/\beta \cdot \ln(\text{SNR}/k), \quad (10)$$

де SNR – лінійне значення відношення сигнал/шум камери; β – коефіцієнт екстинкції; k – критерій впізнання об'єкта спостереження.

При автоматичному впізнанні об'єкта спостереження $k = 4 - 5$.

Зв'язок між лінійним значенням SNR і характеристикою чутливості телевізійної камери $\text{SNR}_{\text{дБ}}$ в децибелах визначається співвідношеннями:

– для інтенсивностей:

$$\text{SNR}_{\text{дБ}} = 10 \lg(\text{SNR});$$

– для амплитуд:

$$\text{SNR}_{\text{дБ}} = 20 \lg(\text{SNR}).$$

Оскільки у формулі (10) використовується лінійне значення SNR необхідно перевести його в логарифмічну форму відповідно до співвідношення:

$$\text{SNR} = \frac{10^{\text{SNR}_{\text{дБ}}}}{10}.$$

Тоді формула (10) прийме вигляд:

$$l = \frac{1}{\beta} \ln \frac{10^{\text{SNR}_{\text{дБ}}}/10}{k} \quad (11)$$

Формулу (11) можна спростити:

$$l = \frac{1}{\beta} \left(\frac{\text{SNR}_{\text{дБ}}}{10} \cdot \ln 10 - \ln k \right). \quad (12)$$

Визначимо дальність дії ОСВ при таких вихідних даних;

$\text{SNR}_{\text{дБ}} = 50$ дБ; $k = 5$; $\beta = 0,005 \text{ м}^{-1}$ (табл. 2, стандартна атмосфера). Скориставшись формулою (12), отримаємо: $l = 1980$ м.

Якщо прийняти: $\text{SNR}_{\text{дБ}} = 30$ дБ; $k = 5$; $\beta = 0,005 \text{ м}^{-1}$ з формули (12) отримаємо: $l = 1060$ м.

Тобто при зменшенні співвідношення сигнал/шум телевізійної камери у 1,7 рази дальність дії ОСВ зменшується на 46 %.

Висновки

Коли ОСВ працює в умовах чистого сухого повітря, дальність дії внаслідок розсіювання і поглинання атмосферою випромінювання на дистанції 2 км зменшиться до 1,94 км, що складає 3 % від початкового значення. При складних атмосферних умовах, коли в повітрі присутні димка/смог на тій самій дистанції спостерігатиметься зниження дальності дії до 800 м. В процентному співвідношенні це складає 60 % від початкового значення. При спостереженні в тумані, коли ослаблення складає 40 дБ/км, спостереження взагалі стає неможливим.

При використанні телевізійної камери з співвідношенням сигнал/шум $SNR = 50$ дБ, критерій впізнавання цілі $k = 5$ і стандартній атмосфері дальність дії складає 1980 м. Якщо камера має відношення сигнал/шум $SNR = 30$ дБ, то дальність дії зменшиться на 46 % і складатиме в абсолютному значенні 1060 м.

Подальші дослідження будуть спрямовані на оцінку впливу характеристик об'єктива телевізійної камери та факторів, пов'язаних з поглинанням і розсіюванням випромінювання оптичною системою, на дальність дії ОСВ.

Література

- [1] Д. П. Кучеров, З. М. Копилова, Ю. В. М'якухін, “Перспективи розвитку роботизованих систем військового призначення”, *Системи озброєння і військова техніка*, Вип 1 (9), С. 44-46, 2007.
- [2] В. Б. Струтинський, А. М. Гуржій, С. Ю. Вакулєнко, В. В. Новак, «Мобільний робототехнічний комплекс з дистанційним керуванням», МПК В25J 5/00, F41H 13/00. Патент України 146447, Лют. 2, 2023.
- [3] В. І. Слюсар, “Нова система досліджень і розробок сухопутних військ США”, *Озброєння та військова техніка*, № 3, С. 123-128, 2019.
- [4] О. К. Кучеренко, “Проектування оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання”, *Вісник «КПІ». Серія Приладобудування*, Вип. 69(1), С. 11-17, 2025
DOI: 10.20535/1970.69(1).2025.331794
- [5] World Meteorological Organization. [Online]. Available: <https://public.wmo.int/>
- [6] N.S Kopeika, A System Engineering Approach to Imaging, SPIE Optical Engineering Press, 1998, p. 679
- [7] John G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2001
- [8] Douglas A. Skoog, F. James Holler, Crouch S. R. Principles of Instrumental Analysis. — 6-е изд. — Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2007.
- [9] K. N. Liou, *An Introduction to Atmospheric Radiation* (2nd ed.). Academic Press, San Diego. 2002.
- [10] Atkins P., de Paula J. Physical Chemistry. Oxford University Press, 2005.

UDC 681.78

Oleg K. Kucherenko*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

ASSESSMENT OF FACTORS AFFECTING THE OPERATION RANGE OF OPTICAL-ELECTRONIC VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS

Optical-electronic video surveillance systems (OSV) of the television type are widely used in robotic complexes, unmanned aerial vehicles, automation systems for various purposes. The main advantages of OSV are as follows: covert application, relative simplicity of design, small dimensions, low energy consumption, significant volumes of received information. It should be noted that OSVs have certain limitations of the range due to the state of the atmosphere and the dependence on the signal-to-noise ratio (SNR—Signal-to-Noise Ratio) of the photo-receiving matrix.

As a result of these negative factors, the contrast of the image on the monitor of the video surveillance system decreases and the technical vision system may lose the ability to recognize the object. The value of the minimum contrast for reliable OSV operation depends on the type of television camera and lies within 10⁻²–10⁻⁴. Modern television cameras based on CCD or CMOS matrices are characterized by SNR values in the range of 30–60 дБ. At the same time, the cost of the camera depends significantly on this value. Therefore, the developers of the EMS are faced with the task of assessing the range of the video surveillance system under a certain state of the atmosphere and the selected element base of the EMS. It is also important to determine the required resolution of the television camera lens depending on the pixel size of the matrix receiver.

The article presents a method of engineering calculation of the influence of atmospheric scattering and absorption on the range of action of an anti-aircraft missile. The calculations use the latest data on various states of the atmosphere, which were studied by the international organization ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector). The Kashmirer formula was used to determine the dependence of the OSV range on the sensitivity of the television camera, followed by its conversion from linear SNR values to SNR values defined in decibels.

The results of the conducted research are presented in the conclusions

Keywords: optical-electronic video surveillance system; atmospheric scattering and absorption; signal/noise ratio of a television camera; the range of the video surveillance system.

Надійшла до редакції
22 березня 2026 року

Рецензовано
14 квітня 2026 року



© 2026 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).