

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗАСОБІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

В статті проаналізовані особливості впливу атмосфери на розповсюдження інфрачервоного випромінювання, здатність виявлення об'єктів спостереження тепловізійною технікою, виділенні переваги та недоліки даних технічних засобів в конкретних умовах.

The article analyzes the features of atmospheric influence on the distribution of infrared radiation, the ability to detect objects of surveillance thermal imaging technology, the allocation of advantages and disadvantages of data of means in concrete terms.

Ключові слова: мобільні тепловізійні комплекси, об'єкти, інтенсивність.

З метою приведення системи охорони державного кордону України до європейських стандартів та забезпечення ефективної протидії сучасним загрозам національній безпеці на державному кордоні продовжується робота щодо удосконалення оперативно-службової діяльності прикордонних підрозділів. Аналіз діяльності прикордонних структур показує, що значимою компонентою прикордонної служби є технічне забезпечення охорони кордону з залученням всіх видів спостереження вздовж лінії державного кордону. Одним із способів підвищення надійності охорони державного кордону може бути удосконалення системи інженерно-технічного контролю з використанням приладів візуального спостереження. Так завдяки реалізації проекту технічної допомоги «BOMUK – Посилення прикордонного менеджменту: постачання спеціального обладнання для Державної прикордонної служби» отримані та використовуються мобільні тепловізійні комплекси (МТК) «Carl Zeiss», переносні тепловізори «Vario View», ELCAN Phantom IR, RUBY IR. Відповідно до зазначеного, дослідження питань застосування тепловізорів в охороні державного кордону та в інших системах безпеки з урахуванням різноманітних атмосферних явищ є актуальним.

Навіть якщо на тепловізорі використовується потужна оптика, дальність виявлення об'єктів буде залежати від таких атмосферних впливів, як вологість повітря, туман, дощ, снігопад, дим, смог. Наприклад в чистому повітрі арктичного походження як малої вологості та відсутності опадів дальність спостереження в інфрачервоній (ІЧ) частині спектру може досягати сотень кілометрів. Але за наявності в атмосфері високої вологості втрати ІЧ випромінювання вже є значними, а туман, дощ, сніг можуть сильно обмежити дальність дії тепловізора, і як наслідок виявлення людини на відстані в кілометр і більше буде неможливим або дуже малоймовірним.

Тепловізори, якими оснащені підрозділи охорони кордону, призначені для спостереження віддалених об'єктів, тому ІЧ випромінювання від об'єкта перед тим як потрапити до оптичної системи тепловізора проходить атмосферу, де воно ослаблюється. Ослаблення ІЧ випромінювання залежить від таких явищ: поглинання молекулами атмосферних газів, розсіювання на молекулах та частинках, що присутні в атмосфері, ослаблення за рахунок гідрометеорів (туман, дощ, сніг). Тобто при роботі тепловізорів необхідно враховувати всі три явища. При цьому поглинання і розсіювання випромінювання завжди має місце, тоді як ослаблення за рахунок гідрометеорів залежить від погодних умов.

Пропускання ІЧ випромінювання атмосферою характеризується: спектральним коефіцієнтом пропускання та спектральним коефіцієнтом ослаблення, що пов'язані між собою законом Бугера-Ламберта [1]:

$$t_A(I) = \exp[-K_A(I)d] \quad (1)$$

де $t_A(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання атмосферою; $K_A(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання; d – дальність траси.

Спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання атмосферою визначається таким співвідношенням:

$$t_A(I) = t_m(I) \cdot t_s(I) \cdot t_{rs}(I) \quad (2)$$

де $t_m(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений поглинанням; $t_s(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений розсіюванням; $t_{rs}(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений гідрометеорами.

Смуги пропускання водяного пару з центром 6,3 мкм; вуглекислого газу з центрами 2,7 та 15 мкм обмежують пропускання ІЧ випромінювання атмосферою в діапазоні довжин хвиль 2–20 мкм та визначають положення двох «вікон» прозорості 3,5–5 мкм та 8–14 мкм [3].

На практиці наявність «вікон» прозорості означає, що всі тепловізори працюють в цих діапазонах. «Вікно» прозорості 8–14 мкм відіграє дуже велику роль у теплобаченні оскільки воно співпадає з максимумом спектральної енергетичної світності тіл, нагрітих до природних температур. Тепловізори не охолоджуваного типу «Vario View», ELCAN Phantom IR, RUBY IR працюють саме в цьому діапазоні, а МТК «Carl Zeiss» працює в діапазоні 3,5–5 мкм та 8–12 мкм. В тепловізорах з охолоджуваною термочутливою матрицею відбувається реєстрація ІЧ випромінювання чутливим елементом, наприклад ртутно-кадмієвим

телуридом, за рахунок зовнішнього фотоефекту, а в тепловізорах з не охолоджуваною матрицею чутливим елементом є мікроболометр, що реєструє ІЧ випромінювання за допомогою внутрішнього фотоефекту. Основними перевагами тепловізора охолоджуваного типу, що впливають на дальність виявлення є кращі розрізняюча здатність та температурна чутливість. Сукупність цих переваг дає наступну – кращу якість тепловізійного зображення. Спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений поглинанням знаходиться за формулою:

$$t_m(I) = t_{H_2O} \cdot t_{CO_2} \quad (3)$$

де $t_{H_2O}(I)$ – коефіцієнт пропускання парів води; $t_{CO_2}(I)$ – коефіцієнт пропускання вуглекислого газу.

Методика визначення t_{H_2O} та t_{CO_2} докладно зазначена в [4]. Коефіцієнт пропускання парів води знаходиться за таблицею згідно спектрального діапазону та кількості осадженої води в атмосфері. Коефіцієнт пропускання вуглекислого газу знаходиться за таблицею згідно спектрального діапазону та довжини траси. При розрахунках спектральних коефіцієнтів пропускання або ослаблення коли довжина траси не відома її значення береться за 1 кілометр.

Таблиця 1

Характеристика метеорологічної видимості

Кодовий номер	Характеристика видимості	Метеорологічна видимість, d_v , км	Умови спостереження
0	Дуже погана	менше 0,05	Дуже сильний туман
1		0,05–0,2	Сильний туман, густий сніг
2		0,2–0,5	Помірний туман, сильний сніг
3	Погана	0,5–1	Слабкий туман, помірний сніг
4		1–2	Дуже сильний дощ або помірний сніг
5	Середня	2–4	Сильний дощ, слабка димка або сніг
6		4–10	Помірний дощ, дуже слабкий сніг
7	Добра	10–20	Без опадів, слабкий дощ
8	Дуже добра	20–50	Без опадів
9	Виняткова	більше 50	Дуже чисте повітря

За законом Бугера-Ламберта спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання, що зумовлений розсіюванням знаходиться за формулою:

$$t_s(I) = \exp[-K_s(I)d] \quad (4)$$

де $K_s(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок розсіювання; d – дальність траси.

В свою чергу спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок розсіювання залежить від метеорологічної видимості. Характеристики метеорологічної видимості атмосфери зазначені в таблиці 1 [4].

Спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок розсіювання знаходиться за формулою:

$$K_s(I) = \frac{3,91}{d_v} \cdot \left(\frac{0,55}{I}\right)^{1,3} \quad (5)$$

де d_v – метеорологічна видимість; I – довжина хвилі ІЧ випромінювання.

Спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання, що зумовлений гідрометеорами аналогічно може бути знайдений за законом Бугера-Ламберта:

$$t_{rs}(I) = \exp[-K_{rs}(I)d] \quad (6)$$

де $K_{rs}(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок гідрометеорів.

При крапельному тумані коефіцієнт ослаблення наближено може бути розрахований за формулою (5). При наявності дощу коефіцієнт послаблення знаходиться за формулою:

$$K_{rs}(I) = 0,66 \cdot I_r^{0,66} \quad (7)$$

При наявності снігу коефіцієнт послаблення знаходиться за формулою:

$$K_{rs}(I) = 6,5 \cdot I_{sn}^{0,7} \quad (8)$$

де I_r – інтенсивність випадання дощу; I_{sn} – інтенсивність випадання снігу.

Значення інтенсивностей випадання дощу та снігу зазначено в таблиці 2.

Характеристики інтенсивності опадів

Погодні умови	Середня швидкість випадання осадків, мм/год.
Слабкий дощ	1,0
Помірний дощ	3,0
Сильний дощ	16,0
Дуже сильний дощ	40,0
Тропічна злива	100,0
Слабкий снігопад	2,5
Помірний снігопад	7,0
Сильний снігопад	20,0

Спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання знаходиться з формули (1) та дорівнює:

$$K_A(I) = -\frac{1}{d} \cdot \ln[t_A(I)] \quad (9)$$

Максимальну дальність дії тепловізійної системи з урахуванням різноманітних атмосферних впливів можна знайти при вирішенні наступного рівняння ітераційними методами [1].

$$d_n^2 \cdot \exp[K_A(I)d_n] = \frac{T_r^2 \cdot [M_1(T_o) - M_1(T_f)] \cdot I d I}{NETD \cdot C_2 \cdot \int M_1(T_r) dI} \quad (10)$$

де d_n – максимальна дальність дії тепловізору; $K_A(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання; $NETD$ – температурна чутливість тепловізору; C_2 – коефіцієнт з формули Планка; T_r – температура при якій розраховувалась температурна чутливість тепловізору; $M_1(T_o)$ – енергетична світність об'єкту спостереження; $M_1(T_f)$ – енергетична світність фону; $M_1(T_r)$ – енергетична світність середовища в якій розраховувалась температурна чутливість тепловізору, I – довжина хвилі інфрачервоного випромінювання об'єкту.

Методика знаходження значень інтегралів для спектрального діапазону, в якому працює тепловізор зазначена в [3].

В результаті проведеного дослідження очевидним є те, що дальність дії тепловізійної техніки залежить від атмосферних впливів, чим вони більш суттєві, то більше значення має коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання і відповідно менша дальність дії тепловізору. Крім того більшу дальність дії буде мати той тепловізор, у якого менше значення температурної чутливості.

Література

1. Колобородов В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування) : [підручник] / В.Г. Колобородов, Н. Шустер. – К. : 1999 – 340 с.
2. Физика и техника инфракрасного излучения / [Дж.Э. Джемирсон, Р.Х. Мак-Фи, Дж.Н. Пласс та ін.]. – М. : Советское радио, 1965 – 642 с.
3. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники / Криксунов Л.З. – М. : Сов. Радио, 1978. – 400 с.
4. Лойд Дж. Системы тепловидения / Лойд Дж. – М. : Мир, 1978 – 414 с.
5. Криксунов Л.З. Тепловизоры : [справочник] / Л.З. Криксунов, Г.А. Падалко. – К. : Техника, 1987. – 166 с.
6. Тарасов В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
7. Никитин С.Н. Выбор тепловизионного оборудования / Никитин С.Н. – 2011. – № 5.
8. Царьов Ю.О. Засоби візуального спостереження охорони державного кордону : [навчальний посібник] / Ю.О. Царьов, Д.А. Купрієнко. – Хмельницький : Вид-во Національної академії ДПСУ, 2010. – 164 с.
9. Инструкция по эксплуатации. Патрульная машина наблюдения «Carl Zeiss».
10. Мобильная тепловизионная система VarioView™150. Руководство по эксплуатации.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 14.2.2012 р.