

УДК 621.384

Є.О. Авчінніков

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ІМОВІРНОСТІ ВЛУЧЕННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗАСОБУ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕННЯ В ПОЛЕ ЗОРУ ОПТИЧНОГО ЗАСОБУ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ОРІЄНТАЦІЄЮ ОПТИЧНОЇ ВІСІ

В статті приведені результати оцінки імовірності влучення лазерного випромінювання засобу оптико-електронного подавлення в поле зору оптичного засобу повітряної розвідки з вертикальною орієнтацією оптичної вісі. Показано, що застосування лазерних засобів оптико-електронного подавлення для осліплення оптичних засобів повітряної розвідки, розташованих на безпілотних літальних апаратах без нахильно-поворотних механізмів, має значні просторові обмеження.

Ключові слова: лазерне випромінювання, оптико-електронне подавлення, поле зору, оптичний засіб повітряної розвідки.

Вступ

На цей час однією з актуальних задач є протидія оптичним засобам повітряної розвідки (ОЗПР), зокрема, розташованих на безпілотних літальних апаратах (БПЛА). Крім вогневого ураження та застосування засобів радіоелектронної боротьби вирішення цієї задачі пов'язують із застосуванням лазерного випромінювання для здійснення оптико-електронного подавлення (ОЕП) ОЗПР. Передбачається, що лазерні засоби ОЕП повинні здійснювати осліплення ОЗПР, яке призведе до зриву виконання бойових завдань розвідувальними БПЛА.

Досягнення ефектів осліплення ОЗПР безпосередньо залежить від влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору ОЗПР. Враховуючи те, що в окремих конструкціях БПЛА застосовуються ОЗПР без нахильно-поворотних механізмів, виникає необхідність оцінки імовірності влучення лазерного випромінювання засобу оптико-електронного подавлення в поле зору оптичного засобу повітряної розвідки з вертикальною орієнтацією оптичної вісі в залежності від взаємного розташування засобу ОЕП та БПЛА.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У відкритих джерелах інформації маються відомості щодо функціонування камери відеоспостереження Panasonic WV-CP480 при денної та нічної освітленості в умовах впливу лазерного випромінювання різної потужності у видимому спектрі довжин хвиль [1–2]. В наведених експериментальних дослідженнях ефекти осліплення камери досягалися при знаходженні джерела лазерного випромінювання безпосередньо в межах полю зору об'єктиву камери. При знаходженні джерела лазерного випромінювання поза меж полю зору об'єктиву камери спостерігалось бокове засвічування, яке, в окремих випад-

ках, не дає можливості деталізувати зображення місцевості (отримувати корисну інформацію).

Дані про місцезнаходження джерела бокового засвічування по відношенню до полю зору об'єктиву камери в [1–2] не наведені, а ефекти бокового засвічування камери в залежності від кутового відхилення джерела лазерного випромінювання від меж полю зору об'єктиву камери – не досліджувались.

Аналіз знімків отриманих при боковому засвічуванні [1–2] показав, що найбільш імовірною була ситуація знаходження джерела лазерного випромінювання в межах кута, який перевищує кут полю зору даного типу об'єктиву камери відеоспостереження на 10...15 %. Безпосереднього влучення лазерного випромінювання у матричний приймач камери при боковому засвічуванні не спостерігається. Відповідно до теорії геометричної оптики, бокове засвічування може досягатися за рахунок віддзеркалення (заломлення) лазерного променя на поверхнях захисних стекол, поверхнях об'єктиву, циліндричних неробочих поверхонь лінз, на внутрішньої частині корпусу об'єктиву [3].

Слід відмітити, що кути, при яких може досягатися бокове засвічування, для кожного оптичного засобу мають свої значення, а їх визначення потребують додаткових досліджень. Що стосується ОЗПР, то можливості їх бокового засвічування лазерним випромінюванням можуть бути значно знижені за рахунок встановлення додаткових бленд, поляризаторів тощо [3].

Мета статті полягає в оцінці імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору ОЗПР з вертикальною орієнтацією оптичної вісі в залежності від взаємного розташування засобу ОЕП та БПЛА.

Виклад основного матеріалу

У загальному вигляді розглядається ситуація (рис. 1), коли БПЛА, який летить за будь-яким напрямком V_p на висоті H , опромінюється лазерним променем наземного засобу ОЕП, розташованого у точці O системи координат XYZ . Передбачається, що діаметр лазерного променя в картинній площині цілі (БПЛА) повністю перекриває об'єктів ОЗПР.

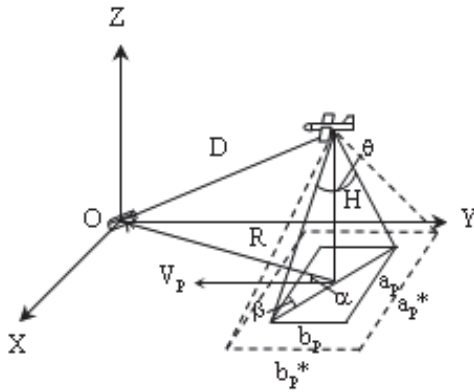


Рис. 1. Умовна ситуація щодо оптико-електронної протидії БПЛА, оснащеного ОЗПР без нахильно-поворотного механізму та має вертикальну орієнтацією оптичної вісі

Оптичний засіб повітряної розвідки, яким оснащений БПЛА, має вертикальну орієнтацією оптичної вісі та веде розвідку поверхні в межах прямокутника зі сторонами a_p та b_p (рис. 1). Величини a_p та b_p є проєкціями сторін матричного приймача ОЗПР на земну поверхню. Значення a_p та b_p залежать від полю зору об'єктиву θ та висоті польоту безпілотного літального апарата H .

Осліплення ОЗПР може бути досягнуто при умові влучення лазерного випромінювання в його поле зору. У цьому випадку засіб ОЕП повинен знаходитись в межах проєкції матричного приймача ОЗПР на земну поверхню (в межах прямокутника зі сторонами a_p та b_p).

Якщо розглядати бокове засвічуванні ОЗПР, то засіб ОЕП також повинен знаходитись в межах прямокутника, але зі сторонами a_p^* та b_p^* , значення яких розраховуються для максимального кута бокового засвічування, визначеного для даного типу оптичного засобу з урахуванням його конструктивних особливостей (наявності захисного скла, оптичних фільтрів, монтажу, бленд тощо). Крім того, при визначенні кута бокового засвічування повинні враховуватися експертні оцінки щодо ступеня інформативності отриманих знімків.

Для оцінки імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору ОЗПР з вертикальною орієнтацією оптичної вісі в залежності від взаємного розташування засобу ОЕП та БПЛА (відстані R – проєкції нахильної дальності D між

засобом ОЕП та БПЛА, кута α_i – кута між напрямком польоту БПЛА в будь-якому i -му положенні та напрямком на засіб ОЕП) достатньо провести зрівняння відстані R з відрізком, який утворюється у напрямку засобу ОЕП між центром проєкції матричного приймача ОЗПР на земну поверхню та краю проєкції – r_i (рис. 2).

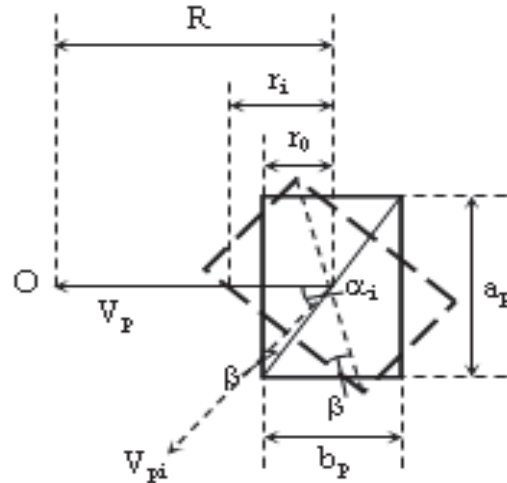


Рис. 2. Графічне відображення двох положень проєкцій матричного приймача ОЗПР на земну поверхню та зміни величини відрізка r_i в залежності від напрямку польоту БПЛА та напрямку на засіб ОЕП (приклад)

Якщо для будь-якого напрямку польоту БПЛА значення r_i дорівнює або перевищує значення R , то лазерне випромінювання засобу ОЕП буде влучати в поле зору ОЗПР.

Для кутів α_i в межах від 0 (напрямок польоту БПЛА співпадає з напрямком на засіб ОЕП) до $\pi/2$ (напрямок польоту БПЛА та напрямком на засіб ОЕП ортогональні) значення r_i розраховується наступним чином:

$$r_i = \begin{cases} \frac{b_p}{2}, & \text{при } \alpha_i = 0; \\ \frac{b_p}{2 \cos(\alpha_i)}, & \text{при } 0 < \alpha_i < \frac{\pi}{2} - \beta; \\ \frac{c_p}{2}, & \text{при } \alpha_i = \frac{\pi}{2} - \beta; \\ \frac{a_p}{2 \sin(\alpha_i)}, & \text{при } \frac{\pi}{2} - \beta < \alpha_i < \frac{\pi}{2}; \\ \frac{a_p}{2}, & \text{при } \alpha_i = \frac{\pi}{2}, \end{cases}$$

де a_p , b_p та c_p – проєкції сторін та діагоналі матричного приймача ОЗПР на земну поверхню, м;

$$a_p = a_m k; \quad b_p = b_m k; \quad c_p = 2H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right);$$

$$k = \frac{c_p}{c_m}; \quad c_m = \sqrt{a_m^2 + b_m^2};$$

a_m, b_m та c_m – сторони та діагональ матричного приймача ОЗПР, м;

k – коефіцієнт пропорційності (збільшення);

H – висота польоту БПЛА, м;

θ – поле зору ОЗПР, рад;

β – кут між більшою стороною та діагоналлю матричного приймача ОЗПР, рад;

$$\beta = \arcsin\left(\frac{b_m}{c_m}\right).$$

Імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору ОЗПР з вертикальною орієнтацією оптичної вісі в залежності від взаємного розташування засобу ОЕП та БПЛА з урахуванням напрямку польоту БПЛА визначається наступним виразом:

$$p_i(R) = \begin{cases} 1, & R \leq r_i; \\ 0, & R > r_i. \end{cases}$$

У загальному випадку, імовірність влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору ОЗПР з вертикальною орієнтацією оптичної вісі в залежності від горизонтальної відстані між засобом ОЕП та БПЛА усереднюється за усіма можливими напрямками польоту БПЛА (положеннями проекції матричного приймача ОЗПР на земну поверхню) та розраховується наступним чином:

$$P(R) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N p_i(R),$$

де N – кількість прийнятих відрахувань кута α_i .

В якості прикладу проведемо розрахунки зазначеної імовірності для камери Phase One IXU 150 з матрицею розміром 43,8×32,9 мм роздільною здатністю 50 мегапіксель (8280×6208) з об'єктивом Schneider-Kreuznach 28 LS f/4.5 Aspherical (поле зору 76,2°) та з об'єктивом Schneider-Kreuznach 240 mm LS f/4.5 (поле зору 10,4°) та для камери Canon EOS 650D з матрицею розміром 22,3×14,9 мм роздільною здатністю 18 мегапіксель (5184×3456) з об'єктивом зі змінною фокусною відстанню від 18 мм (відповідне поле зору 36,7°) до 55 мм (відповідне поле зору 13,7°) [4–5].

Данні камери використовувались у якості корисного навантаження на БПЛА "Орлан-10" (інформація про об'єктиви, що використовувались, відсутня) [6].

На рис. 3 та рис. 4 відображені результати розрахунку імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору камер Phase One IXU 150 та Canon EOS 650D для різних значень поля зору об'єktivів та для різних висот польоту БПЛА в залежності від горизонтальної відстані між засобом ОЕП та БПЛА.

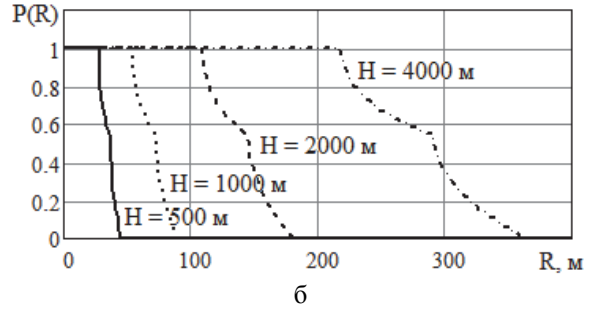
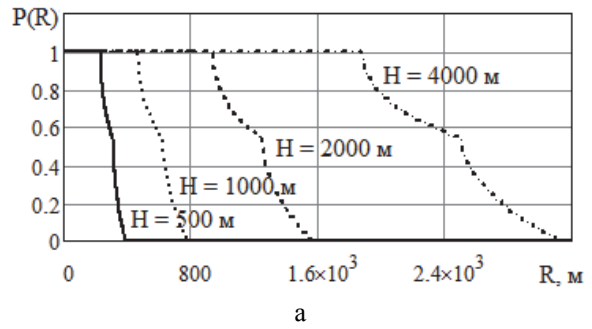


Рис. 3. Залежності імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в широке $\theta=76,2^\circ$: а – та вузьке $\theta=10,4^\circ$; б – поле зору камери Phase One IXU 150 від горизонтальної відстані між засобом ОЕП та БПЛА для різних висот польоту БПЛА

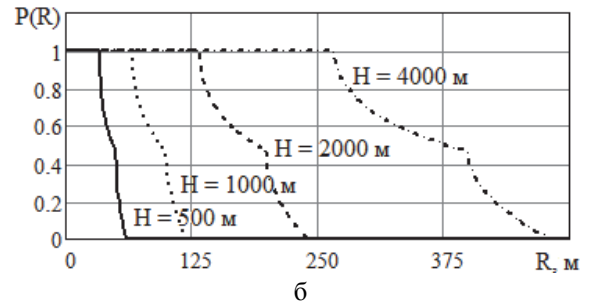
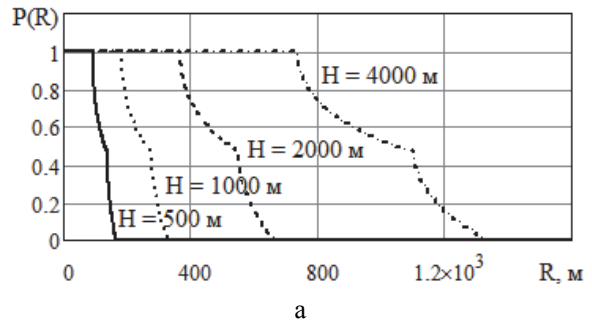


Рис. 4. Залежності імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в широке $\theta=36,7^\circ$: а – та вузьке $\theta=13,7^\circ$; б – поле зору камери Canon EOS 650D від горизонтальної відстані між засобом ОЕП та БПЛА для різних висот польоту БПЛА

Наведені залежності свідчать про значні просторові обмеження щодо застосування засобів ОЕП для осліплення ОЗПР з вертикальною орієнтацією оптичної вісі, розташованих на БПЛА.

Висновки

Оцінка імовірності влучення лазерного випромінювання засобу ОЕП в поле зору ОЗПР з вертикальною орієнтацією оптичної вісі показує, що зрив виконання розвідувальними БПЛА бойових завдань шляхом осліплення їх ОЗПР може бути досягнутий тільки тоді, коли БПЛА фактично пролітає над засобом ОЕП. У цьому випадку для протидії БПЛА противника потрібно буде мати значну кількість таких засобів.

Список літератури

1. Камеры видеонаблюдения под прицелом лазеров – Security News. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.secnews.ru/articles/10422.htm>.
2. Камеры видеонаблюдения под прицелом лазеров (часть 2). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: – <http://www.secnews.ru/articles/10568.htm>.
3. Якушенков Ю.Г. Методы борьбы с помехами в оптико-электронных приборах / Ю.Г. Якушенков, В.Н. Луканцев, М.П. Колосов. – М.: Радио и связь, 1981. – 180 с.

4. Сайт компанії PHASE ONE industrial: iXU Aerial Camera systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: – http://industrial.phaseone.com/iXU_camera_syste.aspx.

5. Технические характеристики Canon EOS 650D. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://prophotos.ru/devices/canon-eos-650d/spec>.

6. Съёмка с воздуха. Беспилотные аэрофотосъёмочные и мониторинговые системы. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://схемка с воздуха.pф/17-blog-blog/117-poleznaya-nagruzka.html>.

Надійшла до редколегії 3.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СРЕДСТВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ В ПОЛЕ ЗРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ

Е.А. Авчинников

В статье приведены результаты оценки вероятности попадания лазерного излучения средства оптико-электронного подавления в поле зрения оптического средства воздушной разведки с вертикальной ориентацией оптической оси. Показано, что применение лазерных средств оптико-электронного подавления для ослепления оптических средств воздушной разведки, размещенных на беспилотных летательных аппаратах без наклонно-поворотных механизмов, имеет значительные пространственные ограничения.

Ключевые слова: лазерное излучение, оптико-электронное подавление, поле зрения, оптическое средство воздушной разведки.

ESTIMATION OF PROBABILITY OF LASER RADIATION FROM THE OPTICAL-ELECTRONIC SUPPRESSION MEAN INTO THE FIELD OF VIEW OF OPTICAL INTELLIGENCE MEAN THAT HAS VERTICAL ORIENTATION OF OPTICAL AXIS

E. Avchinnikov

Article presents the results of estimating the probability of laser radiation created by the optical-electronic suppression mean into the field of view of optical intelligence mean that possesses vertically oriented optical axis. It is shown that employment of laser radiation for "blinding" optical means of air intelligence born by unmanned flying vehicles that are not equipped with rotator has considerable spatial limitations.

Keywords: laser radiation, optical-electronic suppression, field of view, optical intelligence mean.