

UOT 355/359

ELEKTRO-OPTİK SİSTEM VASİTƏSİLƏ RADILOKASIYA STANSİYASININ ÖLÜ YARĞANININ NƏZARƏTƏ GÖTÜRÜLMƏSİ

polkovnik-leytenant Roman Məhərrəmov²

romanmehherremov.84@gmail.com

m.t.h.e.d., professor Elşən Həşimov^{1,3}

hasimovel@gmail.com

t.e.d., dosent Elxan Səbzəyev^{2,4}

f-r.ü.f.d, dosent Ədalət Paşayev^{2,4}

¹Milli Müdafiə Universiteti

²Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu

³Azərbaycan Texniki Universiteti

⁴İdarəetmə Sistemləri İnstitutu

DOI: 10.30546/9878.2024.1.10.77.

Xülasə. Pilotsuz uçuş aparatlarının meydana gəlməsi ilə onlara qarşı mübarizə tapşırıqları daha da aktuallaşmışdır. Radiolokasiya stansiyaları tərəfindən pilotsuz uçuş aparatlarını aşkarlanaraq identifikasiya edilməsindən sonra onun zərərsizləşdirilməsi üçün lazımi tədbirlərin görülməsi mütləqdir. Məqalədə pilotsuz uçuş aparatlarının effektiv aşkar olunması üçün radiolokasiya stansiyalarının ölü yarğanının elektro-optik sistemlə örtülməsi hesablanır və konkret misallar üzərində ölü yarğanların müqayisəsi aparılır. Tədqiqat işinin məqsədi düşmənin ehtimal olunan uçuş istiqamətində açılmış, vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş elektro-optik sistem vasitəsilə radiolokasiya stansiyasının ölü yarğanının minimuma endirilməsinin hesabının aparılmasıdır. Məqalədə aşağıdakı vəzifələr həll olunur: radiolokasiya sahəsinin xüsusiyyətlərinin təhlili; elektro-optik qurğuların sayından, radiolokasiya stansiyasına nəzərən necə yerləşməsi və yönəlməsindən asılı olaraq ölü yarğandakı dəyişikliyi qiymətləndirmək üçün hesabların işlənilib hazırlanması; vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş elektro-optik sistem vasitəsilə ölü yarğanın qiymətləndirilməsi və müqayisəsi. Problemlərin həlli aşağıdakı tədqiqat metodlarından istifadə olunur: nəzəri təhlil, riyazi modelləşdirmə, müqayisəli təhlil. Aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir: radiolokasiya stansiyalarının ölü yarğanının vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş bir elektro-optik sistemlə örtülməsi zamanı onun həcmi 1,35 dəfə, bir vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş iki elektro-optik sistemlə örtülməsi zamanı onun həcmi 1,30 dəfə, iki fərqli istiqamətdə açılmış vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş iki elektro-optik sistemlə örtülməsi zamanı onun həcmi 1,20 dəfə azalır. Nəticələr: əldə edilmiş rəqəmlərin müqayisəsindən və elektro-optik sistemin baxış bucağına əsasən belə nəticəyə gəlmək olar ki, bir vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş iki elektro-optik sistemlə ölü yarğanın örtülməsi daha effektivdir

Açar sözlər: pilotsuz uçuş aparatı, ölü yarğan, radiolokasiya sahəsi, effektiv əksətdirmə sahəsi, radiolokasiya stansiyası, elektro-optik sistem

Giriş

Dünyada baş verən lokal müharibə və hərbi münaqişələrin xüsusilə Vətən müharibəsi və hazırda davam edən Rusiya Ukrayna müharibələri təcrübəsi göstərir ki, müharibələrdə canlı qüvvənin itkisini minimuma endirmək və əməliyyatların daha da effektiv olması üçün gələcəkdə baş verən müharibələrdə canlı qüvvənin iştirakı olmadan aparılan əməliyyatlar üstünlük təşkil edəcəkdir. Belə ki, əməliyyatlar aparılan zaman kəşfiyyat məqsədli pilotsuz uçuş aparatlarından, eləcə də zərbə pilotsuz uçuş aparatlarından geniş istifadə onların effektivliyini göstərmişdir [1].

PUA-ların təkmilləşdirilməsi hava hücumundan müdafiə (HHM) sistemləri üçün əsas problemlərdən biridir. Belə ki, kiçikölçülü, nisbətən səssiz və aşağı hündürlüklərdə uçan PUA-ların HHM sistemləri tərəfindən vaxtında aşkarlanması çətindir. Bundan başqa, PUA-ların hazırlanmasında

xüsusi rənglərdən və qoruyucu təbəqələrdən istifadə edilir ki, bu da onların vizual müşahidə postları və ya radiolokasiya stansiyaları vasitəsilə aşkarlanmasını çətinləşdirir [2].

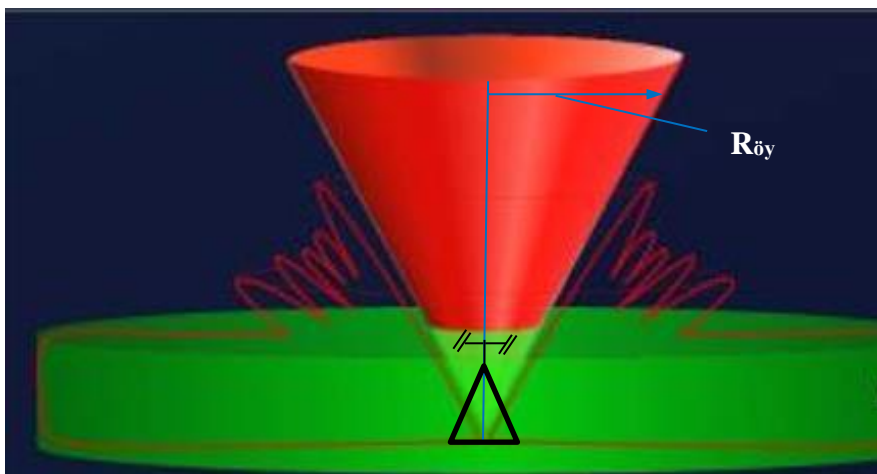
PUA-ların aşkarlanmasının müxtəlif metodları mövcuddur və hər bir metod üstünlükləri, çatışmazlıqları, tətbiq şəraiti, dəqiqliyi və digər parametrləri ilə bir-birindən fərqlənir. Radiolokasiya stansiyaları tərəfindən PUA-ların aşkar edilməsi metodu isə ən əsas metod hesab olunur.

Radiolokasiya stansiyaları (RLS) hava məkanını nəzarətdə saxlamaq üçün aktiv vasitədir. Vahid hava hücumundan müdafiə sistemi daxilində radiolokasiya stansiyalarından istifadə edərək hava məkanını nəzarətdə saxlamaq və hava hədəflərini aşkar etmək olduqca geniş yayılmış ənənəvi bir metoddur. Vətən müharibəsi zamanı Azərbaycan hava məkanının nəzarətdə saxlanmasında radiolokasiya stansiyaları mühüm rol oynamışdır. Belə ki, RLS-lər hava məkanımıza daxil olmuş pilotsuz uçuş aparatının aşkarlanması, mənsubiyyətinin təyin olunması, məhv edilməsi üçün zenit-raket komplekslərinə (ZRK) və yaxud digər qoşun növlərinə məlumatların ötürülməsi tapşırıqlarını layiqincə yerinə yetirmişdir [3-5].

Son illər baş verən lokal müharibə və münaqişələrin, 2020-ci ildə baş verən Vətən müharibəsinin və həmçinin hazırda davam edən Rusiya–Ukrayna müharibəsinin təhlilindən müəyyən olunmuşdur ki, PUA-ların vaxtında aşkar edilməsi onlara qarşı mübarizədə vacib şərtədir. Vətən müharibəsində silahlanmasındakı aşkaretmə stansiyalarının köhnə və sayca az olması, eləcə də heyətlərin döyüş işi aparma səriştəsinin zəif olması səbəbindən, Ermənistan, Azərbaycan Ordusu tərəfindən tətbiq edilən PUA-ların əksər hissəsini vaxtında aşkar edə bilməmişdir. Müharibənin ilk günlərində Azərbaycanın düzgün döyüş taktikası sayəsində Ermənistanın silahlanmasında olan aşkaretmə stansiyalarının və zenit-raket komplekslərinin yerləri tez bir zamanda aşkar olunaraq, zərərsizləşdirilmişdir. Nəticədə, Vətən müharibəsində hava üstünlüyü tam olaraq Azərbaycan tərəfə keçmişdir [6-8].

PUA-lara qarşı daha effektiv mübarizə aparmaq üçün onların tez bir zamanda uzaq məsafədə aşkarlanması ilə yanaşı, ölü yarğanda aşkar olunması da vacib faktordur [9].

Ölü yarğan radiolokasiya stansiyasının üstündə yerləşən məkanın bir hissəsidir ki, radiolokasiya müşahidəsindən kənar qalır və burada RLS hava hədəflərini aşkar edə bilmir (Şəkil 1). Ölü yarğanın olması radiolokasiya stansiyasının şaquli müstəvidə istiqamətlənmə diaqramının müvafiq seçimi ilə şərtlənmişdir ki, bu da stansiyanın təsir zonasında ərazinin relyefindən, mövqenin xarakterindən, antenin qalxma hündürlüyündən və RLS-in texniki parametrlərindən asılıdır. Ölü yarğanda hava hədəflərinin həmin RLS tərəfindən aşkarlanması və izlənməsi mümkün deyil.



Şəkil 1. Ölü yarğan (RLS üzərindəki zona)

Radiolokasiya stansiyalarının görmə sahəsi RLS-in antenin dizaynı və onun işləmə xüsusiyyətləri (dalğa uzunluğu, ötürücü gücü və digər parametrlər) ilə müəyyən edilir [10].

Son dövrlərdə baş verən lokal müharibə və münaqişələrin, həmçinin Vətən müharibəsinin təhlili, nəzəri tədqiqatların və praktiki təcrübələrin nəticələri PUA-larla mübarizədə mövcud vasitələrin səmərəsiz olduğunu göstərir. Beləliklə, mövcud kəşfiyyat vasitələrindən istifadə etməklə, PUA-ların,

xüsusilə kiçikölçülü PUA-ların ölü yarğanda etibarlı və vaxtında aşkarlanmasında çətinliklər yaranır. Buna səbəbdir:

- kiçikölçülü və az sürətlə alçaq hündürlükdə uçan PUA-ları aşkar etmək üçün mövcud radiolokasiya stansiyalarının imkanlarının məhdud olması;
- VMP-də olan optik cihazlar vasitəsilə PUA-ların təyin olunmuş məsafə və hündürlükdə etibarlı və vaxtında aşkar oluna bilməməsi.

PUA-ların xüsusiyyətlərini və onlarla mübarizənin göstərilən problemlərini nəzərə alaraq, ölü yarğanda PUA-ların vaxtında və effektiv şəkildə aşkar olunması üçün mövcud radiolokasiya stansiyalarının modernləşdirilməsi, ixtisaslaşmış kiçikölçülü radiolokasiya stansiyalarının inkişafı, vizual müşahidə postlarının avtomatlaşdırılmış elektro-optik kəşfiyyat cihazları ilə təmin edilməsi məqsəda uyğundur.

Kiçikölçülü PUA-ların nisbətən qısa aşkarlama diapazonlarını nəzərə alaraq, ölü yarğanda onlarla mübarizə aparmaq üçün təyin edilmiş bölmələrin və kritik obyektləri mühafizə edən bölmələrin kiçikölçülü (ixtisaslaşdırılmış) RLS-lərlə və VMP-lərin elektro-optik sistemlə təchiz edilməsi vacibdir.

Mövcud və perspektivli elektro-optik sistemlərin düşmənin ehtimal olunan uçuş istiqamətində, VMP-lərdə istifadəsi ölü yarğanda PUA-ları vaxtında aşkar etməyə, onların sinfini, növünü və hərəkətlərinin cari xarakterini tanımağa imkan verir.

Gələcəkdə qeyd olunan elektro-optik sistemlər daha da təkmilləşdirilmiş modellərlə əvəz edilə bilər. Beləliklə, elektro-optik sistemlərin nümunələri artıq hazırlanmışdır və kiçikölçülü PUA-ları vaxtında aşkar edə bilər [11].

PUA-ların ölü yarğanda effektiv şəkildə aşkar olunması üçün radiolokasiya sahəsini yaradarkən radiolokasiya stansiyalarının döyüş düzülüşünə və elektro-optik sistemlə təchiz olunmuş vizual müşahidə postlarının (VMP) sayına və ərazidə necə yerləşdirilməsinə diqqət yetirmək lazımdır. Bu işdə PUA-ların ölü yarğanda radiolokasiya kəşfiyyatının effektivliyini artırmaq məqsədilə döyüş düzülüşünün formalaşdırılmasının metodikalarından biri olan elektro-optik sistemlə təchiz edilmiş vizual müşahidə postlarının sayının müəyyənləşdirilməsinə baxılmışdır və konkret misallar göstərilərək, elektro-optik sistem vasitəsilə ölü yarğanın azalmasına hesabət təqdim edilmişdir.

Məsələnin qoyuluşu

Radiolokasiya stansiyasına dron hücumu riskini azaltmaq üçün elektro-optik sistemdən istifadə etməklə onun ölü yarğanına nəzarət müxtəlif variantlarda təşkil oluna bilər. Bu variantlar bir-birindən, əsasən, elektro-optik nəzarət qurğularının ərazidə radiolokasiya stansiyasına nəzərən harada yerləşdirilməsindən, elektro-optik qurğunun necə yönəlməsindən və onun baxış bucağından asılı olaraq fərqlənir. Hesab edirik ki, tətbiq edilən elektro-optik qurğular eyni xarakteristikalara malikdir. Aydındır ki, artıq bir elektro-optik qurğunun tətbiqi radiolokasiya stansiyasının ölü yarğanının azalmasına səbəb olacaq.

Bu tədqiqat çərçivəsində qarşıya qoyulan məsələ elektro-optik qurğuların sayından, radiolokasiya stansiyasına nəzərən necə yerləşməsindən və necə yönəlməsindən asılı olaraq, ölü yarğanın necə dəyişdiyini qiymətləndirmək üçün hesabatların işlənilməsidir.

Ölü yarğanın qiymətləndirilmə modeli

Radiolokasiya stansiyasının və elektro-optik nəzarət qurğularının qarşılıqlı yerləşməsini təsvir etmək üçün yerlə bağlı $Oxyz$ müsbət oriyentasiyalı düzbucaqlı koordinat sistemini daxil edək [12, s.73], ənənəvi olaraq Oz oxunu Yer səthinə perpendikulyar, şaquli olaraq yuxarı yönəlmiş hesab etmək olar. Sadəlik üçün hesab edəcəyik ki, ölü yarğanı tədqiq olunan radiolokasiya stansiyası O koordinat başlanğıcında yerləşmişdir, onun düz dairəvi konus kimi qəbul edilən ölü yarğanının oxu isə Oz oxu boyunca yönəlmişdir.

Radiolokasiya stansiyasının ölü yarğanının hündürlüyünü h , xarakteristik bucağını α kimi işarə edək (Şəkil 1), onda bu stansiyasının ölü yarğanını ifadə edən K_0 kəsik konusu aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$K_0 = \left\{ (x, y, z) \mid x^2 + y^2 \leq z^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}, 0 \leq z \leq h \right\}$$

[13]-də olduğu kimi, hesab edəcəyik ki, ölü yarğanın qiymətləndirilməsi uyğun fəza fiqurlarının həcmnin hesablanması ilə həyata keçirilir.

Yuxarıdakı xarakteristikalara malik ayrılıqda götürülmüş radiolokasiya stansiyasının ölü yarğanının həcmi aşağıdakı düsturla hesablanır [14, s.347]:

$$V_0 = \iiint_{(x,y,z) \in K_0} dx dy dz = \pi \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \int_0^h z^2 dz = \frac{\pi}{3} h^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (1)$$

Tutaq ki, $k \geq 1$ sayda elektro-optik qurğu tətbiq edilir, onları $i = 1, 2, \dots, k$ olmaqla nömrələyək. i -ci qurğunun yerləşdiyi nöqtənin koordinatlarını x_i, y_i, z_i kimi işarə edək. Hesab edilir ki, qurğular enitiplidir və onların φ baxış bucağı məlumdur.

Fərz edək ki, i -ci qurğu $\mathbf{n}_i = (n_{xi}, n_{yi}, n_{zi})$ vahid vektoru istiqamətində yönəlmişdir ($\|\mathbf{n}_i\| = 1$). Onda bu qurğunun baxış sektorunun oxu $\mathbf{n}_i = (n_{xi}, n_{yi}, n_{zi})$ istiqamətində yönəlmiş düz dairəvi konus olacaq. Qurğunun nəzarət dairəsinə aid olan nöqtələr çoxluğunu təsvir etmək üçün əvvəlcə konus səthinin tənliyini yazsaq.

Hər bir formal $s \geq 0$ ədədi üçün \mathbf{n}_i istiqamətində koordinat başlanğıcından s məsafədə olan nöqtənin koordinatları $s\mathbf{n}_i = (n_{xi}s, n_{yi}s, n_{zi}s)$ olar. \mathbf{n}_i vektoruna perpendikulyar olan və (x_i, y_i, z_i) nöqtəsindən s məsafədə qalan müstəvinin tənliyini yazsaq:

$$n_{xi}(x - x_i) + n_{yi}(y - y_i) + n_{zi}(z - z_i) = s. \quad (2)$$

(2) müstəvisi ilə konusun kəsişməsində alınan dairə baxış nöqtəsindən φ bucağı altında görünür. Bu, o deməkdir ki, konus kəsişməsində alınan dairənin radiusu $s \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ olar. Həmin dairəyə uyğun sferanın tənliyini yazsaq,

$$(x - x_i - n_{xi}s)^2 + (y - y_i - n_{yi}s)^2 + (z - z_i - n_{zi}s)^2 = s^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2} \quad (3)$$

alırıq. Beləliklə, qurğunun baxış konusunu ifadə edən K_i çoxluğu $s \geq 0$ parametrindən asılı olan (2)-(3) sistemi ilə verilir. Nəhayət, qurğunun yerləşdiyi nöqtənin x_i, y_i, z_i koordinatlarının ixtiyariliyini nəzərə alsaq, (2)-(3) sistemi aşağıdakı kimi yazılır:

$$K_i = \left\{ n_{xi}(x - x_i) + n_{yi}(y - y_i) + n_{zi}(z - z_i) = s, \right. \\ \left. ((x - x_i) - n_{xi}s)^2 + ((y - y_i) - n_{yi}s)^2 + ((z - z_i) - n_{zi}s)^2 \leq s^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}, s \geq 0 \right\}.$$

Verilmiş xarakteristikalara malik elektro-optik qurğular vasitəsilə nəzarətin təşkili nəticəsində baxılan radiolokasiya stansiyasının ölü yarğanının nə qədər dəyişdiyini qiymətləndirmək üçün onun qurğuların baxış zonasından kənar qalan hissəsinin həcmi hesabmaq və alınmış nəticəni (1) düsturundan alınan həcmə müqayisə etmək lazımdır. Asanlıqla görmək olar ki, radiolokasiya stansiyasının nəzarətdənkənar hissəsi riyazi baxımdan aşağıdakı çoxluq şəklində yazıla bilər:

$$K = K_0 \setminus \left(\bigcup_{i=1}^k K_i \right).$$

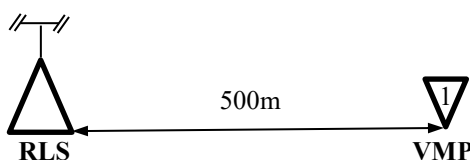
Onda axtarılan həcmi hesablamaq üçün aşağıdakı formal düstur yazılır:

$$V = \iiint_{(x,y,z) \in K} dx dy dz. \quad (4)$$

Elektro-optik qurğuların tətbiq olunan sayından və müxtəlif yönəlmə variantlarından asılı olaraq, (1) və (4) düsturları ilə hesablanan həcmərin müqayisəsi baxılan rəşional variantın seçilməsinə imkan verir. Aydın dır ki, $\lambda = \frac{V_0}{V}$ nisbətini ölü yarğanın neçə dəfə azaldığını göstərən kəmiyyət kimi qəbul edilə bilər.

Yerləşmə variantına dair misallar

Misal 1. Tutaq ki, RLS-nin ölü yarğanının bucağı $\alpha = 130^\circ$, təhlükəli PUA-nın RLS-nin ölü yarğanına daxil ola biləcəyi hündürlük $h \leq 20 [km]$ -dir. Pilotsuz uçuş aparatının aşkar olunması məqsədilə vizual müşahidə postuna RLS-dən $L_0 = 500 [m]$ məsafədə və RLS səviyyəsindən $H_0 = 5 [m]$ hündürlükdə 1 ədəd elektro-optik sistem yerləşdirilmişdir (Şəkil 2).



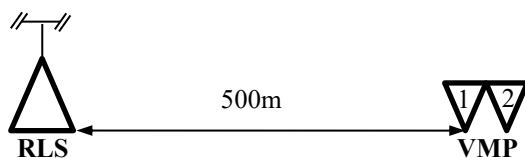
Şəkil 2. VMP-yə quraşdırılmış bir elektro-optik sistem

Sistemin aşkaretmə məsafəsi $L_v = 40 [km]$, baxış bucağı $\varphi = 60^\circ$, elektro-optik qurğu üfüqə $\theta = 30^\circ$ bucaq altında ölü yarğanının orta xəttinə yönəldilmişdirsə, ölü yarğanın müşahidədən kənar hissəsinin neçə dəfə azaldığını müxtəlif variantlarda qiymətləndirək. Nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1. Bir elektro-optik sistemlə ölü yarğanın minimuma endirilməsi

$L_0 [m]$	$H_0 [m]$	$L_v [km]$	$\varphi (^\circ)$	$\theta (^\circ)$	λ
200	5	40	60	30	1,19
500	5	40	60	30	1,20
1000	0	40	60	30	1,20
1500	0	40	60	30	1,21
200	0	40	85	30	1,35

Misal 2. Tutaq ki, RLS-nin ölü yarğanının bucağı $\alpha = 130^\circ$, təhlükəli PUA-nın RLS-nin ölü yarğanına daxil ola biləcəyi hündürlük $h \leq 20 [km]$ -dir. Pilotsuz uçuş aparatının aşkar olunması məqsədilə vizual müşahidə postuna RLS-dən $L_0 = 500 [m]$ məsafədə və RLS səviyyəsindən $H_0 = 5 [m]$ hündürlükdə 2 ədəd elektro-optik sistem yerləşdirilmişdir (Şəkil 3).



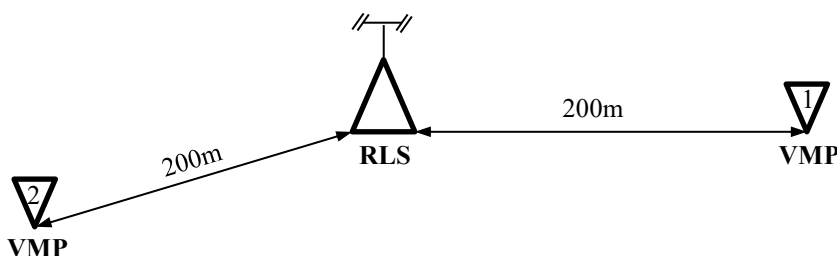
Şəkil 3. VMP-yə quraşdırılmış iki elektro-optik sistem

Sistemin aşkaretmə məsafəsi $L_v = 40 [km]$, baxış bucağı $\varphi = 60^\circ$, elektro-optik qurğular üfüqə $\theta_1 = 30^\circ$ və $\theta_2 = 60^\circ$ bucaq altında ölü yarğanının orta xəttinə yönəldilmişdirsə, ölü yarğanın müşahidədən kənar hissəsinin neçə dəfə azaldığını müxtəlif variantlarda qiymətləndirək. Nəticələr cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2. İki elektro-optik sistemlə ölü yarğanın minimuma endirilməsi

L_0 [m]	H_0 [m]	L_v [km]	φ (°)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	λ
200	5	40	60	30	60	1.27
500	5	40	60	30	60	1.28
1000	0	40	60	30	60	1.28
1500	0	40	60	30	60	1.29
200	0	40	60	30	85	1.30

Misal 3. Tutaq ki, RLS-nin ölü yarğanının bucağı $\alpha = 120^\circ$, təhlükəli PUA-nın RLS-nin ölü yarğanına daxil ola biləcəyi hündürlük $h \leq 20$ [km]-dir. Pilotsuz uçuş aparatının aşkar olunması məqsədilə 2 ədəd vizual müşahidə postu (VMP) (200; 0) [m] və (-200; 100) [m] koordinatında açılaraq, hər VMP-na 1 ədəd elektro-optik sistem, ümumilikdə 2 ədəd elektro-optik sistem yerləşdirilmişdir (Şəkil 4). Sistemin aşkaretmə məsafəsi $L_v = 40$ [km], baxış bucağı $\varphi = 60^\circ$.



Şəkil 4. Müxtəlif yerlərdə açılmış VMP-yə quraşdırılmış iki elektro-optik sistem

Elektro-optik sistemin qurğuları mərkəzi oxdan uyğun olaraq, $\gamma_1 = 5^\circ$ bucaq altında sağa və $\gamma_2 = -5^\circ$ bucaq altında sola olmaqla, hər ikisi üfüqə nəzərən 80° bucaq altında yönəlmişdir. Bunları nəzərə alaraq, ölü yarğanın müşahidədən kənar hissəsinin neçə dəfə azaldığını qiymətləndirək. Nəticələr cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3. İki müxtəlif yerdə quraşdırılmış elektro-optik sistemlə ölü yarğanın minimuma endirilməsi

$(x_1; y_1)$ [km]	H_1 [m]	$(x_2; y_2)$ [km]	H_2 [m]	θ_1 (°)	θ_2 (°)	γ_1 (°)	γ_2 (°)	λ
(200; 0)	0	(-200; 100)	0	80	80	-5	5	1.16
(200; 0)	10	(-200; 100)	10	80	80	5	-5	1.14
(200; 0)	0	(-200; 100)	0	70	70	5	-5	1.20
(200; 0)	10	(-200; 200)	10	70	70	5	-5	1.19
(200; 0)	0	(-200; 200)	0	70	70	10	-10	1.18

Beləliklə, radiolokasiya stansiyasının ölü yarğanının neçə dəfə azaldığını göstərən kəmiyyətin (λ) ümumi qiyməti cədvəllərdə verilmişdir.

Nəticə

Elektro-optik qurğunun baxış bucağını, aşkaretmə məsafəsini, RLS-nin mərkəzi oxuna nəzərən yönəlməsini, RLS-nin ölü yarğanının bucağının, pilotsuz uçuş aparatının RLS-nin ölü yarğanına daxil ola biləcəyi hündürlüyü, pilotsuz uçuş aparatının aşkar olunması üçün elektro-optik sistemin sayını və nə qədər məsafədə yerləşməsinə nəzərə alaraq, ölü yarğanda PUA-ları vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş elektro-optik sistem vasitəsilə aşkar etmək mümkündür.

Beləliklə, radiolokasiya stansiyalarının ölü yarğanının vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş bir elektro-optik sistemlə örtülməsi zamanı onun həcmi 1,35 dəfə, bir vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş iki elektro-optik sistemlə örtülməsi zamanı onun həcmi 1,30 dəfə, iki fərqli istiqamətdə açılmış vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş iki elektro-optik sistemlə örtülməsi zamanı onun həcmi

1,20 dəfə azalır. Nəticədə, elektro-optik sistemin baxış bucağına əsasən düşmənin ehtimal olunan uçuş istiqamətində bir vizual müşahidə postuna yerləşdirilmiş iki elektro-optik sistemlə ölü yarığın örtülməsini daha effektiv hesab etmək olar.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. Məhərrəmov, R.R., Həşimov, E.Q. Kiçikölçülü PUA-lara radioelektron mübarizə vasitələri ilə effektiv təsiretmə // Ulu Öndər Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş Azərbaycan Respublikasının inkişaf strategiyası: potensial imkanlar və yeni çağırışlar respublika elmi-praktik konfrans, – Bakı: Hərbi Nəşriyyat, – 11-12 May, – 2023, – s.20.
2. Həşimov, E.Q, Məhərrəmov, R.R. Kiçikölçülü PUA-ların effektiv aşkar edilməsi metodları // İkinci Qarabağ müharibəsi yeni nəsil müharibə kimi. 44 günlük Vətən müharibəsində qazanan qələbənin ildönümünə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-praktik konfransın materialları, – Bakı: Hərbi Nəşriyyat, – 21-22 oktyabr, – 2021, – s. 34.
3. Məhərrəmov, R.R. Radiolokasiya stansiyaları tərəfindən PUA-ların aşkar olunması // Ulu Öndər Heydər Əliyevin 99 illiyinə həsr olunmuş “Azərbaycan postmüharibə dövründə: Ordu quruculuğunda yeni yanaşmalar və perspektivlər” respublika elmi-praktik konfrans, – Bakı: Hərbi Nəşriyyat, –12-13 May, – 2022, – s. 42.
4. Hashimov, E.G., Maharramov, R.R. Methods of effective detection of unmanned aerial vehicles // Проблеми інформатизації дев’ята міжнародна науково-технічна конференція, Черкаси – Харків – Баку – Бельсько-Бяла, – 18 -19 листопада, – 2021, – с.118-119:
5. Hashimov, E.G., Maharramov, R.R. Methods of effective influencing UAVs // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Матеріали 10- і міжнародної науково-технічної конференції, – Баку-Харків-Жиліна, – 9-10 квітня, – 2020, – с. 27.
6. Aliev, F.A., Maharramov, R.R. The detection of small unmanned aerial vehicles (UAV) by the radar stations // Proceedings of the 8 th International Conference on control and optimization with industrial applications. – Baku, – 24-26 August, – 2022, – p. 72.
7. Məhərrəmov, R.R. Kiçikölçülü PUA-ların aşkar edilməsi metodlarının təhlili // – Bakı: Hərbi bilik – 2022.№2. – s. 14-19.
8. Hashimov, E.G., Maharramov, R.R. Prospects for the development of air defense systems against uavs // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Тези доповідей одинадцятої міжнародної науково-технічної конференції, – Баку-Харків-Київ-Жиліна, – 8 – 9 квітня, – 2021, – с.31-32.
9. Həşimov E., Məhərrəmov, R., Muradov, S., Katexliyev, V. RLS-lər vasitəsilə ölü yarığanda fəaliyyət göstərən PUA-ların aşkar olunması üsulları // 44 günlük Vətən müharibəsində qazanan qələbənin 2-ci ildönümünə həsr olunmuş respublika elmi-praktik konfrans, – Bakı: Hərbi Nəşriyyat, – 2-3 noyabr, – 2022, – s.176-178.
10. Что такое мертвая зона обнаружения РЛС и способы ее определения?: [Электронный ресурс] / – 21.08.2019. URL: <https://studfile.net/preview/8961005/page:11/>
11. Ерємин, Г.В., Чєрный, С.Н. Система борьбы с беспилотными летательными аппаратами- новый технический уровень и комплексный подход / Г.В. Ерємин, С.Н. Чєрный. – Военная мысль. –2022. № 7, – 32-40 с.
12. Томусьяк, А.А. Геометрія. Частина 1: Аналітична геометрія / А.А. Томусьяк, В.С.Трохименко, Н.М.Шунда – Вінниця, – 2002, – 244 с.
13. Hashimov, E, Maharramov, R., Sabziev, E., Pashaev, A. Assessment of dead zone of jointly operating radars / E. Hashimov, R. Maharramov, E. Sabziev, A. Pashaev. Control, Navigation and Communication Systems. – Xarkov: – 2023. № 2. – p.171-175.
14. Домбровський, В.А. Вища математика: Підручник / В.А.Домбровський, І.М.Крижанівський, Р.С.Мацьків, Ф.М.Мигович, В.М.Неміш, Б.С.Окрепкий, Г.П.Хома, М.Я.Шелестовська. –Тернопіль: Видавництво Карп’юка, – 2003 – 480 с.

Аннотация

**Мониторинг мертвой воронки радиолокационной станции
через электрооптическую систему**

Роман Магеррамов, Эльшан Гашимов, Эльхан Сабзиев, Адалет Пашаев

В статье рассчитано покрытие мертвых зон радиолокационных станций с электрооптической системой эффективного обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и проведено сравнение мертвых зон на конкретных примерах. Минимизация мертвого зазора радиолокационной станции рассчитывается с помощью оптико-электронной системы, размещенной на пункте визуального наблюдения, открытом в направлении вероятного полета противника. С учетом характеристик радиолокационной зоны, количества оптико-электронных приборов, местоположения и ориентации радиолокационной станции проводится оценка глухого оврага. Для решения задач используются теоретический анализ, математическое моделирование и методы сравнительного анализа. В результате установлено: при прикрытии глухого оврага радиолокационных станций одной оптико-электронной системой, размещенной на пункте визуального наблюдения, его объем увеличивается в 1,35 раза, при прикрытии двумя оптико-электронными системами, размещенными на одном визуальном наблюдательном пункте, пост, его объем увеличен в 1,30 раза, визуально открыт в двух разных направлениях, его объем уменьшается в 1,20 раза при его прикрытии двумя электрооптическими системами, размещенными на наблюдательном пункте. Выводы: На основании сравнения полученных цифр и угла зрения оптико-электронной системы можно сделать вывод, что перекрытие мертвого зазора двумя оптико-электронными системами, размещенными на одном пункте визуального наблюдения, более эффективно.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мёртвая воронка, радиолокационное поле, эффективная площадь отражения, радиолокационная станция, электрооптическая система

Abstract

**Monitoring the dead zone of radar stations through an electro-optical system
Roman Maharramov, Elshan Həshimov, Elkhan Sabziyev, Adalet Pashayev**

The article calculates the coverage of the dead gap of radar stations with an electro-optical system for the effective detection of unmanned aerial vehicles (UAVs) and compares the dead gaps on concrete examples. The minimization of the dead gap of the radar station is calculated by means of an electro-optical system placed on a visual observation post opened in the direction of the enemy's probable flight. Taking into account the characteristics of the radar area, the number of electro-optical devices, the location and orientation of the radar station, the dead gully assessment is carried out. Theoretical analysis, mathematical modeling, and comparative analysis methods are used to solve problems. As a result, it was determined: when covering the dead ravine of radar stations with one electro-optical system placed on a visual observation post, its volume is 1.35 times, when it is covered with two electro-optical systems placed on one visual observation post, its volume is 1.30 times, visual opened in two different directions its volume decreases by 1.20 times when it is covered with two electro-optical systems placed on the observation post. Conclusions: Based on the comparison of the obtained numbers and the angle of view of the electro-optical system, it can be concluded that the coverage of the dead gap with two electro-optical systems placed on one visual observation post is more effective.

Keywords: unmanned aerial vehicle, dead zone, radar field, effective reflection area, radar station, electro-optical system

Məqalə redaksiyaya daxil olmuşdur: 30.10.2023

Təkrar işlənməyə göndərilmişdir: 06.11.2023

Çapa qəbul edilmişdir: 02.02.2024