

**İDARƏOLUNAN ZENİT RAKETLƏRİNİN SÜRƏTLİ
BALLİSTİK RAKETLƏRƏ YÖNƏLDİLMƏSİ**

t.e.d., professor Bayram İbrahimov

Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu

i.bayram@mail.ru

m.t.h.e.ü.f.d., dosent, polkovnik Yalçın İsayev

Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu

timuchinumud@gmail.com

polkovnik Eldar Əliyev

Hərbi İdarəetmə İnstitutu

dosent Əhəd İsayev

Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut

keshikten@mail.ru

Xülasə. Məqalədə “İsgəndər” sinfinə daxil olan əməliyyat-taktiki raket komplekslərinin imkanlarının nümunəsində onların yüksəksürətli ballistik hədəflərə qarşı yönəldilməsinin əsas xüsusiyyətlərindən bəhs edilir. Bundan əlavə, kalman süzɡəci əsasında ballistik obyektin koordinatlarının təyin edilməsinin statistik işlənməsi üçün rekurrent alqoritmin, raketin fəzada vəziyyətinin, sürət komponentlərinin və ballistika əmsalının təyin edilməsi dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiqat işinin məqsədi radiolokasiya stansiyası (RLS) məlumatlarının Kalman süzɡəci vasitəsilə emalının, o cümlədən raketin ballistik və aerodinamik hədəflərə yönəldilməsinin modelləşdirilməsinin həyata keçirilməsidir. Məqsədə nail olmaq üçün qarşıya qoyulmuş vəzifələr aşağıdakılardır: Yer atmosferində ballistik hədəfin ağırlıq mərkəzinin hərəkət tənliyinin təyin edilməsi; radiolokasiya stansiyasının ballistik hədəfi müşayiətmə səhvlərinin qiymətləndirilməsi; ballistik hədəfin məhv edilmə ehtimalının qiymətləndirilməsi; idarəolunan zenit raketinin ballistik hədəflə qarşılaşma nöqtəsinin koordinatının hesabının aparılması; ballistik hədəfin məhv edilmə ehtimalının qiymətləndirilməsi. Problemləri həll etmək üçün nəzəri təhlil, riyazi modelləşdirmə, riyazi statistika tədqiqat metodlarından istifadə olunur. Tədqiqat işində nəticə olaraq: Kalman süzɡəcinin radiolokasiya stansiyasında məlumatların emalı üçün optimal süzɡəc olduğu müəyyən edilmişdir. Ballistika əmsalı və hədəfin xüsusiyyətlərinin obyektiv qiymətləndirilməsi vasitəsilə yalançı hədəflərin seleksiyası modelləşdirilmişdir. Modelləşdirmənin nəticələrinə əsaslanaraq, aerodinamik hədəflərin tutulması zamanı özüyönələn başlıqla raketin müşayiət vaxtının 5-7 saniyəyə qədər uzadılması və radiolokasiya stansiyasının hədəfi müşayiət edən signal tezliyinin 20 Hs-ə qədər artırılması təklif olunmuşdur.

Açar sözlər: ballistik hədəf, aerodinamik hədəf, özüyönələn başlıq, alqoritmik-proqram təminatı, yerli yer koordinat sistemi, çoxməqsədli radiolokasiya stansiyası, effektiv əksətdirmə sahəsi, mühərrik qurğusu, döyüş başlığı

Giriş

XXI əsrin hava hücum silahlarının hazırlanmasında əsas istiqamətlərdən biri də ballistik və aerodinamik pilotsuz uçuş aparatlarının hazırlanması və istehsalı olmuşdur. Bu tendensiya pilotsuz uçuş vasitələrinin istehsalı üçün xərclərin əhəmiyyətli dərəcədə aşağı olması ilə əlaqələndirilir. Bununla əlaqədar olaraq, RLS-lər və onların alqoritmik-proqram təminatının (APT) təkmilləşdirilməsi kimi bir vəzifə ortaya çıxır. Ballistik raket (BR) – uçuşunun çox hissəsini ballistik trayektoriya üzrə qət edən, nəzarətsiz hərəkətdə olan bir raketdir.

Uçuş üçün tələb olunan sürət və istiqamət ballistik raketin mühərrik qurğusuna (MQ) onun uçuşunun aktiv hissəsində çatdırılır. MQ öz işini bitirdikdən sonra raketin faydalı yükü olan döyüş hissəsi uçuş marşrutunun qalan hissəsində ballistik trayektoriya üzrə hərəkətini davam etdirir. Ballistik raketlər çoxpilləli ola bilər, bu halda, raket tələb olunan sürətə çatdıqdan sonra işlənmiş pillələr ayrılır.

Ballistik obyekt koordinatlarının Kalman süzğəci əsasında statistik emaləmə nəzəriyyəsi hələ keçən əsrin 60–70-ci illərində işlənib hazırlanmışdır. Lakin matris nisbətlərinin hesablanması mürəkkəbliyi alınan alqoritmlərin tam həcmdə real hava hücumundan müdafiə (HHM) sistemlərinə daxil edilməsinə imkan vermirdi. Zaman keçdikcə hesablama texnikasının sürətli inkişafı bu çatışmazlığın aradan qaldırılmasına geniş imkan yaratdı.

Kalman süzğəci əvvəlcədən məlum olan dinamik sistemin vəziyyət vektorunu rekursiv qiymətləndirmək üçün nəzərdə tutulmuşdur, yəni sistemin cari vəziyyətini hesablamaq üçün cari ölçməni, həmçinin süzğəcin özünün əvvəlki vəziyyətini bilmək vacibdir.

Beləliklə, Kalman süzğəci, digər rekursiv süzğəclər kimi, tezlik görünüşündə deyil, zaman görünüşündə reallaşdırılıb. Lakin digər oxşar süzğəclərdən fərqli olaraq, Kalman süzğəci, Bayesin şərtli ehtimal düsturuna əsaslanaraq, yalnız vəziyyətin qiymətlərindən ilə deyil, vəziyyət vektorunun qeyri-müəyyən qiymətlərindən (yəni ölçmələrin səhvləri) də yararlanır. Vəziyyət vektorunun qiymətlərinə əsasən ballistik hədəfin trayektoriyası prolonqasiya edilir və idarəolunan zenit raketinin ballistik hədəflə qarşılaşma nöqtəsinin koordinatları müəyyən edilir. İdarəolunan zenit raketinin (İZR) hədəflə görüşündən bir qədər əvvəl özüyönələn başlıq (ÖYB) ballistik hədəf BH-dən əksolunan siqnalı avtomatik müşayiətə götürür və İZR-nin ballistik hədəfə doğru özüyönəlməsi prosesi başlayır.

1. Yer atmosferində ballistik hədəfin ağırlıq mərkəzinin hərəkətinin tənliyi

Qiymətlər vektoru və kovariasiya matrisinin proqnozlaşması üçün ballistik hədəfin hərəkət modelinin ifadəsi zəruridir. O, göstərilən differensial tənliklərlə ifadə edilir:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= -\frac{g_0}{R} \left(\frac{R_y}{R}\right)^2 x - \gamma \frac{\rho V}{2} \dot{x} + W_{xk} + W_{xn}; \\ \ddot{y} &= -\frac{g_0}{R} \left(\frac{R_y}{R}\right)^2 (y + R_y) - \gamma \frac{\rho V}{2} \dot{y} + W_{yk} + W_{yn}; \\ \ddot{z} &= -\frac{g_0}{R} \left(\frac{R_y}{R}\right)^2 z - \gamma \frac{\rho V}{2} \dot{z} + W_{zk} + W_{zn};\end{aligned}\quad (1)$$

burada,

g_0 – Yer kürəsi səthindəki cazibə qüvvəsinin təcili;

R_y – Yer kürəsinin radiusu;

R – ballistik hədəfin Yer kürəsinin mərkəzindən uzaqlaşması;

ρ – ballistik hədəfin uçuş hündürlüyündə atmosferin sıxlığı;

V – ballistik hədəfin sürəti;

W_{zk}, W_{yk}, W_{xk} – koriolis təcilin komponentləri,

W_{xn}, W_{yn}, W_{zn} , – ötürülən təcilin komponentləri.

Koriolis və ötürülmə təcilləri aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\begin{aligned}W_{xi} &= -\Omega_y^2 \cdot \sin(\varphi) \cdot \left((y + R_y) \cdot \cos(\varphi) - x \cdot \sin(\varphi) \right); \\ W_{yi} &= -\Omega_y^2 \cdot \cos(\varphi) \cdot \left((y + R_y) \cdot \cos(\varphi) - x \cdot \sin(\varphi) \right); \\ W_{zi} &= -\Omega_y^2 \cdot z; \\ W_{xk} &= -2 \cdot \Omega_y \cdot \sin(\varphi) \cdot \dot{z};\end{aligned}\quad (2)$$

$$W_{yk} = -2 \cdot \Omega_y \cdot \cos(\varphi) \cdot \dot{z};$$

$$W_{zk} = -2 \cdot \Omega_y \cdot (\dot{y} \cos(\varphi) - \dot{x} \sin(\varphi)),$$

burada,

$\Omega_y = 7,292115 \cdot 10^{-51}/c$ – Yer kürəsinin fırlanmasının bucaq sürəti;

$R_y = 6371210$ m. – Yer kürəsinin radiusu;

φ – RLS-nin yerləşmə enliyidir (YYKS koordinatların başlanğıcı).

Ballistika əmsalı aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\gamma = C_x \frac{S}{m}, \quad (3)$$

burada,

C_x – ön müqavimətinin aerodinamik əmsalı;

S – Midel sahəsi;

m – ballistik obyektin çəkisidir.

Qiymətləndirmə vektorunun daha dəqiq ekstrapolyasiyasının əldə edilməsi üçün ballistika əmsalının (BƏ) aproksimasiyasını daxil etmək zəruridir. BƏ Max ədədi M -dən, hücum bucağı α və Reynolds ədədindən R asılıdır:

$$\gamma = f(M, \alpha, R) \quad (4)$$

Yuxarıda göstərilən asılılığa əlavə olaraq, uçuş trayektoriyasını müəyyən edən ballistika əmsalı, döyüş başlığının (DB) formasından, onun qızması və yanması zamanı BH-nin (və ya pilləsinin) kütləsinin dəyişməsindən asılıdır.

Buna görə də ballistika əmsalının ön müqavimət əmsalından, Midel sahəsindən və statistik işləmə alqoritmində BH-nin (və ya pilləsinin) kütləsindən asılılığı haqqında dəqiq qeydiyyat aparmaq məqsədəuyğun deyil, çünki BH-nin xüsusiyyətlərinin dəqiq müəyyən edilməsi mümkün deyil. BƏ əhəmiyyətli dərəcədə Max ədədi M -dən asılıdır. Əgər hipersəs sürətinə malik BH ($M > 6$) üçün bu asılılıq o qədər də böyük deyilsə, səsdən yuxarı ($1 \leq M \leq 6$) sürətli BH-lər üçün bu asılılıq mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

BƏ, səs sürətinə qədər ($0 < M < 1$) sürətlərdə uçarkən, Max ədədinin artması ilə demək olar ki, sabit qalır, sonra isə artır. Təkrarlanan (rekurent) alqoritmə Max ədədindən asılı olaraq, iki mərhələdə γ aproksimasiyası daxil edilir. Birinci mərhələdə Max ədədinin yüksək qiymətlərində BƏ γ_∞ təyin edilir. Sonra isə BƏ-nin ekstrapolyasiya olunmuş qiyməti $\hat{\gamma}_l$ hesablanır.

BƏ γ_∞ hesablanması aşağıdakı tənliklə aparılır:

$$\gamma_\infty = \gamma^*, M > 6 \text{ olduqda};$$

$$\gamma_\infty = \frac{\gamma^*}{1+(6-M)^2/18}, 1 \leq M \leq 6 \text{ olduqda}; \quad (5)$$

$$\gamma_\infty = \frac{\gamma^*}{1,5+3,55(M-0,75)}, 0,75 \leq M < 1 \text{ olduqda};$$

$$\gamma_\infty = \frac{2}{3} \gamma^* M < 0,75 \text{ olduqda}.$$

Burada,

γ^* – ballistika əmsalının qiyməti;

$M = \gamma^*$ qiymətinin alınması zamanı Max ədədidir.

Max ədədindən və ekstrapolyasiya zamanı istifadə olunan γ_∞ asılı olaraq, BƏ-nin aproksimasiyası aşağıdakı üsulla təyin olunur:

$$\hat{\gamma} = \gamma_\infty, M > 6 \text{ olduqda};$$

$$\hat{\gamma} = \gamma_{\infty} + \gamma_{\infty}(6 - M)^2/18, 1 \leq M \leq 6 \text{ olduqda}; \quad (6)$$

$$\hat{\gamma} = \gamma_{\infty} (1,5 + 3,55 (M - 0,75)), 0,75 \leq M < 6 \text{ olduqda};$$

$$\hat{\gamma} = \frac{3}{2}\gamma_{\infty}, M < 0,75 \text{ olduqda};$$

Burada,

$\hat{\gamma}$ – BƏ-nin ekstrapolyasiya olunmuş qiymətidir.

2. Ballistik hədəflərin əsas xarakteristikaları

Tətbiq sahəsinə görə BR taktiki (TBR), əməliyyat-taktiki (ƏTBR) və orta məsafəli (OMBR) ballistik raketlərə bölünür. Taktiki və əməliyyat-taktiki raketlər kiçikməsafəli raketlərə (20-1000 km), OMBR isə ortaməsafəli raketlərə (1000-5500 km) aiddir. BR-nin uçuş sürəti 250-5500 m/s həddində dəyişir.

Digər vacib xassələrdən biri də BR effektiv əksətdirmə sahəsidir (EƏS). EƏS – raketin əksətdirici xüsusiyyətlərini, onun konfigurasiyasını, materialının elektrik xassələrini və raketin ölçüsünün dalğa uzunluğuna olan nisbətindən asılılığını nəzərə alaraq, kvadrat metrlərlə ifadə olunan bir qiymətdir. Ballistik raketlərin EƏS 0,04 – 1 m² həddində dəyişir. “Stels” texnologiyalarının tətbiqi zamanı BR EƏS-si daha kiçik ola bilər [1].

Yüksəksürətli ballistik hədəflərin əsas xarakteristikalarını “İsgəndər” tipli əməliyyat-taktiki raket kompleksinin xüsusiyyətlərinin nümunəsində araşdıraraq. Tuşlama üsulundan asılı olaraq, hədəfdən dairəvi sapması 1–30 m arasında dəyişir. Raketin start kütləsi 3800 kq, ondan 480 kq döyüş hissəsi təşkil edir. Raketin uzunluğu 7,2 m, diametri isə 920 mm təşkil edir. Uçuş trayektoriyasının başlanğıc hissəsindən sonra, bu tip raketlərin sürəti 2100 m/s çatır. Təsir uzaqlığı 50–500 km arasında olur. Raketlərin buraxılması arasında interval bir dəqiqə təşkil edir. Kompleks –50°C +50°C temperaturlarda işləmək qabiliyyətini saxlayır [2].

Döyüş başlıqlarının növləri.

Adi təchizatda:

- kontaktsiz partlayan 54 ədəd qəlpəli döyüş elementli kaset (yerin səthinə çatmadan təqribən 10 m hündürlükdə işə düşür);
- kumulyativ qəlpəli döyüş elementli kaset;
- özü tuşlanan döyüş elementli kaset;
- həcm-partlayışlı təsirli kaset;
- qəlpəli-fuqas;
- yandırıcı-fuqas;
- nüfuzedici;
- xüsusi (nüvə).

9M723K1 tipli raket kompleksi bərk yanacaq və tək pilləlidir. Raketin uçuş trayektoriyası trayektoriyanın başlanğıc və son hissələrində manevr etməklə kvaziballistikdir. Uçuş zamanı raket aerodinamik və qazodinamik sükanlardan istifadə etməklə idarə olunur. Radiolokasiya görünüşünün azaldılması (Stels texnologiya) texnologiyalarının geniş tətbiqi ilə istehsal olunub: kiçik əksətdirmə səthi, xüsusi örtüklər, kiçikölçülü çıxıntı hissələr və s. Uçuşun çox hissəsi təxminən 50 km hündürlükdə baş verir. Raket uçuşun son mərhələsində 20 g vahid yüklənməsi ilə intensiv raket əleyhinə manevr etməni həyata keçirə bilər. Qarışıq tuşlama sistemi: inersial – uçuşun başlanğıc və orta mərhələsində; optik – uçuşun son mərhələsində, bununla da xətası 5–7 metr təşkil edən dəqiqlik əldə edilir. İnersial tuşlama sistemi ilə yanaşı, GPS/GLONASS-nin istifadəsi mümkündür.

3. Çoxməqsədli radiolokasiya stansiyası (ÇRLS) ilə ballistik hədəfin müşayiət etməsinin səhvlər modeli.

Səhvlər modelinə daxildir:

- sistemativ səhvlər;
- küy səhvləri;
- bucaq səhvləri.

Sistemativ səhvlər RLS antenasının üfün yanlarına qeyri-dəqiq bağlaması və RLS qeyri-şaqulilik vericilərinin (datçiklərin) qeyri-dəqiq göstəriciləri ilə şrtlənir. Həmçinin sistemativ səhvlər bucaq koordinatlarına görə:

- bucaq koordinatları üzrə $\sigma_{\epsilon,\beta} \approx 2 \div 6$ dərəcə/dəqiqə;
- dekart koordinatları üzrə $\sigma_{\Delta x,y,z} \approx 5 \div 10$ m;
- küy səhvləri əsasən siqnal/küy nisbəti ilə təyin olunur.
- bucaq koordinatları üzrə:

$$\sigma_{\kappa\varphi_{\bar{u}}\varphi_{\bar{s}}} = \frac{\Delta\theta_{\varphi_{\bar{u}}\varphi_{\bar{s}}}}{K_{\varphi}\sqrt{\rho}} \quad (7)$$

Burada,

$\Delta\theta_{\varphi_{\bar{u}}\varphi_{\bar{s}}}$ – şüanın eni;

ρ – siqnal/küy nisbəti;

K_{φ} – RLS-nin konstruktiv əmsalidir.

Uzaqlığa görə:

$$\sigma_r = \frac{\Delta r}{k_r\sqrt{\rho}} \quad (8)$$

Burada,

Δr – strobun eni;

k_r – RLS-nin uzaqlığa görə konstruktiv əmsalidir.

Dopler sürətinə görə:

$$\sigma_{\dot{r}} = \frac{\Delta\dot{r}}{k_{\dot{r}}\sqrt{\rho}} \quad (9)$$

Burada,

$\Delta\dot{r}$ – RLS Dopler süzgəcinin zolağı;

$k_{\dot{r}}$ – konstruktiv əmsalidir.

Konstruktiv əmsallar RLS keyfiyyətini xarakterizə edirlər, əmsalların göstəriciləri nə qədər çox olarsa, o qədər keyfiyyətli RLS icra edilir.

Devid Noks Bartonun fikrincə, əmsalların 1,5 göstəriciləri olduqca əlverişlidir. Maksimal qiymətləri isə ≈ 3 . Siqnal/küy nisbəti:

$$\rho = k_m \frac{S}{R^{\gamma}} \quad (10)$$

Burada,

K_m – güc üzrə konstruktiv əmsal;

R – ballistik hədəfə qədər məsafə;

S – effektiv əksətdirmə sahəsidir.

BH-nin müşayiəti $\rho \geq 13$ dB zamanı baş verir. BH-nin modelində EƏS loq-normal təsadüfi prosesin paylanması qanuna uyğun verilir.

Bucaq səhvləri RLS yerləşdiyi yerdən müşahidə edildikdə, bucaqlara çevrilmiş BH-nin xətti ölçüləri ilə müəyyənləşdirilir. R məsafəsində bucaq səhvləri göstərilən düsturla müəyyən ediləcək:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{\Delta l}{R} \quad (11)$$

Burada,

Δl – ballistik hədəfin xətti ölçüləridir.

4. Ölçmələrin statistik emalı alqoritmi

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, RLS ilə ölçülən koordinatlar Kalman süzgecindən istifadə edilərək işlənir. O, sistemin dinamik modelindən, məlum qarşılıqlı idarəetmə təsirləri və optimal vəziyyət qiymətlərinin əmələ gəlməsi ilə bağlı ardıcıl ölçmələrdən istifadə edir. Alqoritm iki təkrar mərhələdən ibarətdir: qabaqcadan məlumatvermə və ölçmələrdə düzəlişin edilməsi. Birinci mərhələdə vaxtın növbəti anı üçün ilkin məlumat hesablanır. İkinci mərhələdə isə RLS-dən gələn yeni məlumat qabaqcadan verilən məlumatı dəqiqləşdirir.

Problemin xətti formallaşma halı üçün ölçü xətlərinin paylanması normal qanunu və hərəkətin dəqiq fərq tənlikləri ilə təkrarlanan alqoritm, kriteriyaya uyğun olaraq, optimal qiymətləri əldə etməyə imkan verir [5]:

$$\min j = \sum_{k=1}^m \sigma_k^2 \quad (12)$$

Burada,

m – faza vektoru komponentlərin sayı;

σ_k^2 – k -faza vektoru komponentinin qiymətlər dispersiyasıdır.

Yuxarıda qeyd edilənlər riyazi olaraq sübut olunmuşdur. Beləliklə, aydın olur ki, tapşırığın heç bir alqoritm Kalman süzgecinin təkrarlanan (rekurent) alqoritmindən daha dəqiq qiymətləri verə bilməz.

Kalman süzgecinin üstünlüklərinə aiddir: təkrarlanma və optimallıq, əvvəlcədən olan məlumatların istifadəsi, ilkin hərəkət modeli, qeyri-bərabər ölçü xətlərinin statistik xüsusiyyətləri, məhdud “yaddaş”ın toplanması, ölçülərin alınmasının qeyri-bərabər vaxtı və onun işləməsinin mümkünlüyü, bütün ölçülər cəmindən istifadə, müasir RLS tərəfindən həyata keçirilən dopler sürətinin ölçülməsi. Kalman süzgeci faza koordinatları ilə yanaşı, onların seleksiya tapşırıqlarının həlli və qiymətlərinin kompleksləşdirilməsi üçün istifadə olunan dispersiyanın qiymətlərini də hesablayır. Təkrarlanan alqoritm əsas formula asılılıqları aşağıdakı matris münasibətləridir:

– faza vektoru və onun kovariasiya matrisinin ekstrapolyasiya tənliyi:

$$D_{i/i-1} = F_i D_{i-1} F_i^T; \quad (13)$$

$$\hat{X}_i = \Phi(X_{i-1}^*);$$

– qiymətlər vektoru və onun i – vaxt anı üçün kovariasiya matrisinin hesablanması tənliyi:

$$S_i = D_{i/i-1} H_i^T (H_i D_{i-1} H_i^T + Q_i)^{-1};$$

$$X_i^* = \hat{X}_i + S_i (Y_i - H_i(\hat{X}_i)); \quad (14)$$

$$D_i = D_{i/i-1} - S_i H_i D_{i/i-1},$$

burada,

i – ölçü vektoru və alqoritm sayının takt nömrəsi;

$X_i^* - x_i^*, y_i^*, z_i^*, \dot{x}_i^*, \dot{y}_i^*, \dot{z}_i^*, \gamma_i^*$ komponentləri ilə qiymətlər vektoru;

\hat{X}_i – alqoritm takt sayına ekstrapolyasiya olunmuş qiymətlər vektoru;

$Y_i - x, y, z, \dot{r}$ komponentləri ilə ölçmələr vektoru;

$D_i - X_i^*$ qiymətləndirmələrin vektorunun kovariasiya matrisi;

S_i – çəki matrisi;

$Q_i - Y_i$ ölçmələr vektorunun kovariasiya matrisi;

F_i – faza vektorunun evolyusiyası matrisi;

$H_i(\hat{X}_i) - t_i$ vaxtın anı üçün gözlənilən ölçü vektorunun hesablama üsulu;

$D_{i/i-1}$ – ekstrapolyasiya olunmuş \hat{X}_i vektorunun matrisi;

$\Phi(X_{i-1}^*) - t_i$ vaxtın anı üçün X_{i-1}^* vektorunun ekstrapolyasiya üsulu.

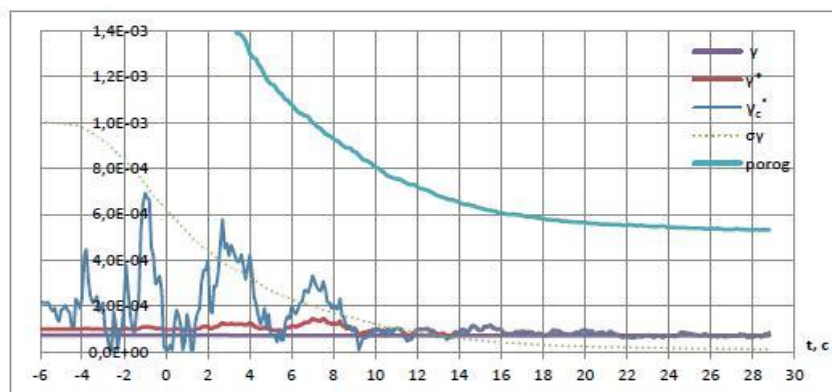
Diferensial tənliklər ballistika əmsalındakı uyğunsuzluqlar və döyüş başlığının mümkün qızması və yanması səbəbindən ballistik hədəfin hərəkəti ilə dəqiq uyğunlaşa bilmir ki, bu da dinamik xətalara və yaxud alqoritmin divergensiyasına səbəb olur. Bu neqativ nəticələrin aradan qaldırılması üçün hər bir ölçmənin alınması taktında sürət komponentinin dispersiyasına və ballistika əmsallarına sabit kəmiyyətlər əlavə olunur. Bu ümum qəbul edilmiş üsul rekurent süzgəcin yaddaşını da məhdudlaşdırır.

Rekurent alqoritm, hədəfgöstərmə, yaxud ölçmələrin ilkin emalı zamanı ballistika əmsalının qiymətləndirməsi məqsədilə alınmış faza vektorunun göstəricisi olan yerləşmə və sürət qiymətlərindən istifadə edir. Faza vektorunun başlanğıc qiymətlərinə uyğun olaraq, onun kovariasiya matrisinin başlanğıc elementləri seçilir. İlk kovariasiya D matrisinin qismində diaqonal matrisdən istifadə təklif olunur. Vəziyyət vektoru komponentlərinin dispersiyası kimi, hədəfgöstərmə qiymətlərinin aprior dispersiyaları və ya dekart koordinat ölçmələri, sürət komponentlərinin dispersiyaları kimi sürət komponentlərinin qiymətləndirilməsi dispersiyaları, ballistik əmsalın dispersiyası kimi dispersiyasının apriori dəyəri götürülür. Kiçik EƏS olan BH müşayiəti zamanı əks olunmuş siqnalın fedinqinə (zəifləmə) görə ölçmələr bir neçə takt ərzində olmaya bilər. Ölçmələri olmayan zaman alqoritmin işini təmin edən üsullarından biri S_i çəki matrisin sıfırlanması sayılır. Koordinatların statistik işlənməsinin alqoritminə xəta (dayanma) ölçmələrinin qeydiyyat mexanizminin daxil edilməsi təklif olunur. Əgər $Y_i - H_i \hat{X}_i$ uyğunsuzluqlar vektorunun komponentinin kvadratı verilmiş komponentin dispersiyasının n qat qiymətləndirilməsindən yüksəkdirsə, onda S_i (n əmsalı modelləşmə nəticəsinə görə seçilir) çəki matrisinin sıfırlanması baş verir. Uyğunsuzluqlar vektorunun komponentlərinin dispersiyalarının qiymətləri $H_i D_{i-1} H_i^T + Q_i$ matrisinin diaqonal elementlərini özündə əks etdirir.

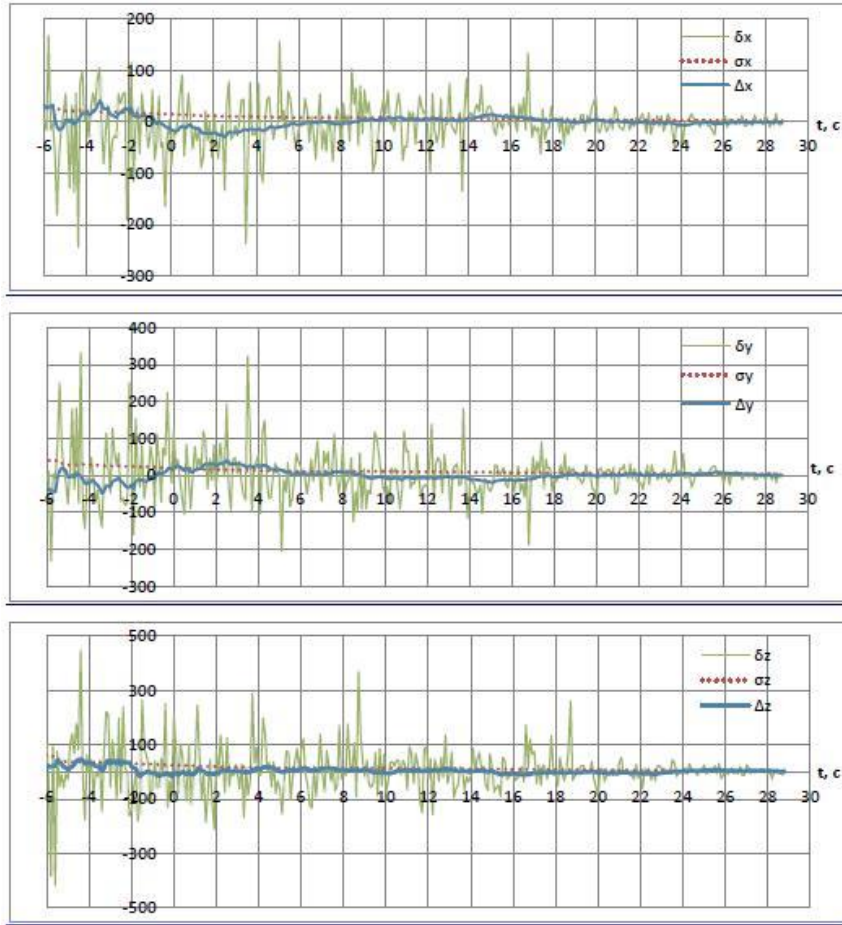
5. Ballistik hədəfin ağırlıq mərkəzinin hərəkətinin prolonqasiyası.

Hərəkətin uzun müddət davamiyyəti (ekstrapolyasiya) 1-ci başlıqda əvvəl göstərilmiş tənliklərdən istifadə etməklə 4-cü dərəcəli Runqe – Kutt metodu ilə həyata keçirilir. Şəkillərdə (Şəkil 1; 2 və 3) $V \approx 2000$ m/san sürəti ilə hərəkət edən BH-nin modelləşməsinin nəticələri təqdim olunmuşdur. Şəkillərdə göstərilir:

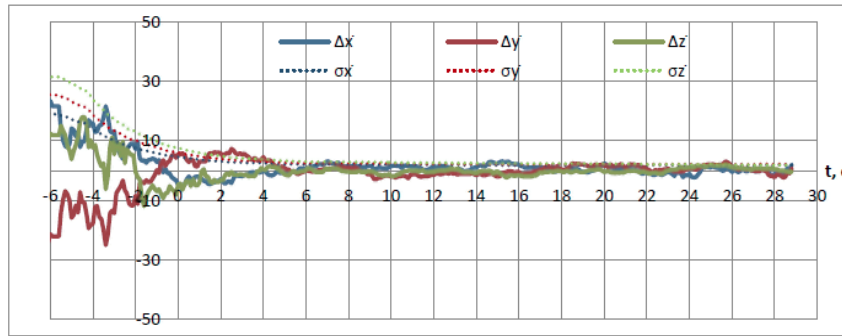
- γ – ballistika əmsalı;
- γ^* – raketin yönəltməsi üçün istifadə olunan BƏ-nin qiyməti;
- γ_s^* – seleksiya üçün istifadə olunan BƏ-nin qiyməti;
- σ_γ – BƏ qiymətinin orta kvadratik səhvi (OKS);
- *porog* – seleksiya üçün istifadə olunan hədd göstəricisi;
- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – koordinat səhvlərinin qiymətləri;
- $\delta x, \delta y, \delta z$ – RLS ölçmələrin səhvləri;
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – təkrarlanan süzgəci ilə hesablanmış koordinat səhvləri qiymətlərinin orta kvadratik sapması;
- $\Delta \dot{x}, \Delta \dot{y}, \Delta \dot{z}$ – sürət vektorunun komponent səhvlərinin qiymətləri;
- $\sigma_{\dot{x}}, \sigma_{\dot{y}}, \sigma_{\dot{z}}$ – təkrarlanan alqoritmlə hesablanmış sürət komponentlərinin səhv qiymətinin orta kvadratik sapması.



Şəkil 1. Ballistika əmsalı, onun qiymətləri və orta kvadratik səhv



Şəkil 2. Koordinatların ölçmələri səhvi, qiymətlər və onların OKS



Şəkil 3. Sürət komponentləri qiymətlərin səhvləri və onların OKS

Görüş anı üçün hədəfin hərəkətinin uzun müddət davamiyyət dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi aşağıdakı kimi həyata keçirildi. Prolonqasiya alqoritminin girişinə hədəf koordinatların qiymətləri x^*, y^*, z^* , hədəf koordinatlarının törəmələrinin qiymətləri $\dot{x}^*, \dot{y}^*, \dot{z}^*$ və γ^* ballistika əmsalının qiyməti daxil olurdu. Alqoritmin çıxışında τ vaxtı ərzində uzun müddət təkrarlanan koordinatların, sürət komponentləri və ballistika əmsalının qiyməti işlənilirdi. BH-nin daha dəqiq prolonqasiya edilməsi üçün BH koordinatlarının statistik işlənməsi alqoritmində olduğu kimi eyni BH aproksimasiya alqoritmi istifadə olunmuşdu. Prolonqasiya alqoritmində 4-cü dərəcəli Runqe – Kutt ədədi inteqrasiya üsulu istifadə olunmuşdu. Prolonqasiya intervalı, hər birində faza vektorunun qiyməti hesablamaqla, dörd bərabər hissəyə bölünürdü. Görüş nöqtəsində Kalman süzgeci əsasında alqoritmin qiymətlərinin prolonqasiyası zamanı səhvlərin qiymətləndirilməsi riyazi model üzərində həyata keçirilmişdir. Kalman süzgecindən əldə edilən koordinatın qiymətləri konstanta ilə müəyyənləşdirilmiş cari və görüş vaxtı arasındakı fərqə bərabər zamana prolonqasiya edilmişdir. Nəticədə səhvlərin

prolonqasiya zamanından asılılıqları əldə olunmuşdur. Prolonqasiya səhvlərinin davranış xarakterini aşağıdakı kimi şərh etmək olar. Yüksək atmosfer sahəsindəki prolonqasiya və sürətin hesablanması səhvləri, qismən də hədəfin ballistika əmsalının həqiqi qiyməti ilə apriori arasındakı uyğunsuzluqdan asılıdır. Atmosferin sıx qatlarına daxil olduqdan sonra BƏ-nin dəqiqləşməsi başlayır, lakin onun prolonqasiya olunmuş faza vektoruna təsiri artdığından, prolonqasiya səhvləri də artır. BH-nin atmosferin daha sıx qatlarına daxil olması ilə səhvlər azalır [7].

6. İdarəolunan zenit raketinin ballistik hədəflə görüş nöqtəsinin koordinatının hesabı

İZR-nin BH ilə qarşılaşma nöqtəsinin koordinatlarının hesablanması iterasiyaetmə metodu ilə həyata keçirilir. Bu zaman təsbit edilən zaman və növbəti an üçün görüşün koordinatları hesablanır. Bu üsulda hədəf və raketin hərəkətinin prolonqasiyası aparılır və yeni alınmış nəticələr istifadə edilir.

Belə hesablamalar zamanın hər bir anı üçün aparılır. Görüş nöqtəsi 10-20 Hs tezliyi ilə rekursiv olaraq hesablanır. Bu tezliklə raketdən görüş nöqtəsinə qədər olan məsafə və ona çatma vaxtı yenidən hesablanır. Görüş nöqtəsinə edilən düzəlişlərdən asılı olaraq, ona çatmaq üçün də vaxt korrektə edilir. Bunun səbəbi aşağıdakılardan irəli gəlir:

$$\Delta\tau = -\frac{\Delta x\Delta\dot{x} + \Delta y\Delta\dot{y} + \Delta z\Delta\dot{z}}{V_{nisb.}^2} \quad (15)$$

Burada,

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – qarşılaşma anında BH və raket nisbəti yerləşməsi koordinatları;

$\Delta\dot{x}, \Delta\dot{y}, \Delta\dot{z}$ – qarşılaşma anında nisbəti sürətinin komponentləridir.

$\Delta\tau$ qiyməti, τ düsturunun köməyi ilə hesablanma zamanının korrektə edilməsində istifadə olunur.

$$\tau_k = \tau_{k-1} + \Delta\tau_k \quad (16)$$

Görüş nöqtəsinin hesablanmış koordinatları sabit dəyərlər deyil, çünki onlar informasiya yığıldıqca daim yenilənir.

Qeyd etmək lazımdır ki, belə düzəlişlər ətraf mühitin şəraitinə və digər amillərlə sıx bağlıdır.

7. Ballistik hədəfin məhv edilmə ehtimalının qiymətləndirilməsi.

İZR döyüş tətbiqi metodundan asılı olmayaraq, funksional effektivliyin əsas göstəricisi tək hədəfə bir raket atılan zaman hədəfin məhv olunması ehtimalı olacaq. Bir İZR ilə hədəfinin məhv edilməsinin ardıcıl vaxtda baş verən iki təsadüfi hadisədən ibarət mürəkkəb hadisə kimi qiymətləndirilməsi mümkündür. İlk təsadüfi hadisə ondan ibarətdir ki, raketin döyüş hissəsinin partlaması h yanılması ilə fəzanın məhz bu verilən nöqtəsində baş verib. Bu hadisənin ehtimalı atəş zamanı yaranan tuşlama səhvləri və səhvlərin idarə edilməsi $\varphi(h)$ qanunu ilə müəyyən olunur. Bu səhvlər, təcrübələrdən görüldüyü kimi, hədəfin mərkəzi ilə üst-üstə düşən, dairəvi ($\sigma_y = \sigma_z = \sigma$) olana yaxın bir qanunla paylanır, o cümlədən yayınmalar paylanması ehtimalının sıxlığı Reley qanununa tabe olur:

$$\varphi(h) = \frac{h}{\sigma^2} e^{-\frac{h^2}{2\sigma^2}} \quad (17)$$

Burada,

σ – hədəfdən yayınmanın orta kvadratik qiymətidir.

İkinci təsadüfi hadisə ondan ibarətdir ki, raketin döyüş hissəsinin zərərvermə elementlərinin h yayınması anında partlayış hədəfə zərər vuracaq. Bu hadisənin ehtimalı hədəfin məhv edilməsinin şərti $p(h)$ qanunu ilə təyin edilir və $p(h)$ qanununun bir funksiyadır:

- raketin döyüş hissəsinin növü və xüsusiyyətlərinin;
- radiopartlayıcının parametrlərinin;
- hədəflə raketin qarşılaşma şərtlərinin (raket və hədəfin sürət vektorunun istiqaməti və modulu, və s.)
- hədəfin zəifliklərinin.

İdarəetmə və yönəltmə xətlərinin dairəvi paylanması ilə hədəfin məhv edilməsinin şərti qanunu təqribi asılılıqla təsvir olunur.

$$p(h) = e^{-\frac{h^2}{2R_0^2}} \quad (18)$$

Burada,

R_0 – hədəfin şərti vurulma ehtimalı 0,606 olan zaman yayınmanın qiymətinə ədədi bərabər olan şərti qanunun parametridir.

Mürəkkəb hadisənin tam ehtimalı olacaq:

$$W = \int_0^\infty \varphi(h)p(h)dh = \int_0^\infty \frac{h}{\sigma^2} e^{-\frac{h^2}{2\left(\frac{R_0^2}{\sigma^2} + \sigma^2\right)}} dh \quad (19)$$

Əvəzetmə ilə:

$$t = \frac{h^2}{2\left(\frac{R_0^2}{\sigma^2} + \sigma^2\right)} \quad (20)$$

Alırıq:

$$W = \frac{R_0^2}{R_0^2 + \sigma^2} \int_0^\infty e^{-t} dt, \quad (21)$$

Nəticə olaraq:

$$W = \frac{R_0^2}{R_0^2 + \sigma^2} \quad (22)$$

8. İZR-nin ballistik raketlərə tuşlaması xüsusiyyətləri.

İZR-nin BH-nə bəzi tuşlama xüsusiyyətlərini qeyd etmək lazımdır:

1. AH-dən fərqli olaraq, kiçik EƏS səbəbindən BH-dən əksolunan siqnalın alınmasının çətinliyi.
2. Atmosferdə hərəkət edən zaman tuşlamayı çətinləşdirən böyük yüklənmələr.
3. Faza vektoru qiymətlərinin alınmasının çətinliyi.
4. Zəruri olan keçid kompleksləşdirmə rejimi ilə RLS və ÖYB-dən gələn verilənlərin BH-ni tutma çətinliyi.
5. AH-nin tutulması zamanı yönəlmə vaxtının kiçik olması (bu vaxt nə qədər az olsa yayınma qiyməti də o qədər artar) BH tutulması üçün yönəltmə vaxtının 1,5 – maksimum 2 saniyyə çərçivəsində saxlanmasına tövsiyə olunur.
6. 10 Hs aşağı göstəricidə olan koordinatların dəyişməsi tezliyi. Onun 20 Hs göstəricisinə yüksəldilməklə kəskin aşağı enməsini təmin edir.

Nəticə

Məqalədə İZR-nin yüksəksürətli ballistik hədəflərə yönəldilməsinin əsas prinsiplərinə baxılmış və Kalman süzgəcinin radiolokasiya stansiyasında məlumatların emalı üçün ən uyğun süzgəc olduğu müəyyən edilmişdir. RLS məlumatlarının Kalman süzgəci vasitəsilə emalının modelləşdirilməsi aparılmışdır. O cümlədən raketin ballistik və aerodinamik hədəflərə yönəldilməsinin modelləşdirilməsi həyata keçirilmişdir. Nəticə olaraq avtomatik idarəetmə sisteminin iki məsələsinə baxılmışdır:

- obyektin trayektoriya parametrlərinin müəyyən edilməsi;
- obyektə doğru İZR-nin yönəldilməsi (tuşlanması).

Birinci məsələnin həlli zamanı ballistika əmsalı və hədəfin xüsusiyyətlərinin obyektiv qiymətləndirilməsi yolu ilə yalançı hədəflərin seleksiyası modelləşdirilmişdir.

Modelləşdirmənin nəticələrinə əsaslanaraq, aerodinamik hədəflərin tutulması zamanı özüyönələn başlıqla raketin müşayiət vaxtının 5-7 saniyyəyə qədər uzadılması və radiolokasiya stansiyasının hədəfi müşayiət edən siqnal tezliyinin 20 Hs-ə qədər artırılması imkanlarının nəzərdən keçirilməsi təklif olunur.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. İsayev, Y.S., Aydemir, M.E., İsayev, Ə.M. Radar Cross Section identification of air targets using the cosine transform and neural networks // – Bakı: Milli təhlükəsizlik və Hərbi elmlər, – 2016. №1 (2). – s. 43- 48.
2. İsayev, Y.S. Hərbi təyinatlı radiotexniki sistemlərin əsas taktiki xarakteristikaları haqqında // – Bakı: Milli Təhlükəsizlik və Hərbi Elmlər, – 2019. № 3(5). – s. 11-18.
3. Barton, D. K., Radar system analysis and modeling / D. K. Barton – Boston, London: Artech House, – 2004. – 545 p.
4. Blackman, S. S. Design and analysis of modern tracking systems / S. S. Blackman. – London: Artech House, – 1999. – 1185 p.
5. Шахтарин, Б.И. Фильтры Винера и Калмана. Учебник для вузов / Б.И. Шахтарин – Москва: Горячая линия –Телеком, – 2014. – 396 с.
6. Бартон, Д. К., Справочник по радиолокационным измерениям / Д.К.Бартон, Г.Р.Вард. – Пер. с англ. под ред. М. М. Вейсбейна. – Москва: Советское радио, – 1976. – 392 с.
7. Вторая научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов. 2011. Сборник докладов / Под ред. Созинова П.А. – Москва: Радиотехника – 2012. – 392 с.
8. Демидов, В. П., Кутыев, Н. Ш. Управление зенитными ракетами. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Воениздат – 1989. – 335 с.
9. Косарев, В. И. 12 лекций по вычислительной математике (вводный курс): Учеб. пособие: Для вузов. Изд. 2-е, испр. и доп. – Москва: Изд-во МФТИ, – 2000 – 204 с.

Аннотация

**Наведение зенитных управляемых ракет на скоростные баллистические цели
Байрам Ибрагимов, Ялчин Исаев, Эльдар Алиев, Ахад Исаев**

В статье на примере возможностей оперативно-тактических ракетных комплексов, входящих в класс «Искандер», рассмотрены основные особенности их направления по высокоскоростным баллистическим целям. Кроме того, были рассмотрены рекуррентный алгоритм статистической обработки определения координат баллистического объекта на основе фильтра Калмана, оценка точности определения положения ракеты в пространстве, составляющих скорости и баллистического коэффициента. Целью научно-исследовательской работы является моделирование обработки данных РЛС средствами фильтра Калмана, включая моделирование баллистического и аэродинамического наведения ракеты. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: Определение уравнения движения центра тяжести баллистической цели в атмосфере Земли; оценка модели ошибок радиолокационной станции сопровождения баллистической цели; оценка вероятности поражения баллистической цели; Проведение доклада координаты места встречи управляемой зенитной ракеты с баллистической целью; Оценка вероятности поражения баллистической цели. Для решения задач используются следующие методы исследования: теоретический анализ, математическое моделирование, математическая статистика. В результате исследовательской работы: определено, что фильтр Калмана является оптимальным фильтром для обработки данных на радиолокационной станции. Выбор ложных целей моделировался посредством объективной оценки характеристик цели с помощью баллистического коэффициента. По результатам моделирования предлагалось увеличить время сопровождения ракеты до 5-7 секунд и увеличить частоту сигнала радиолокационной станции до 20 Гц при захвате аэродинамических целей.

Ключевые слова: радиолокационная станция, баллистическая цель, аэродинамическая цель, зенитная управляемая ракета, самонаводящаяся боевая часть, программно-алгоритмическое обеспечение, противовоздушная оборона, локальная местная система координат, многоцелевая радиолокационная станция, эффективная площадь отражения, среднеквадратическая ошибка, двигательная установка, баллистический коэффициент, боевая часть

Abstract

Guiding anti-aircraft guided missiles at high-speed ballistic targets

Bayram Ibragimov, Yalchin Isaev, Eldar Aliyev, Ahad Isaev

Using the example of the capabilities of operational-tactical missile systems included in the Iskander class, the article examines the main features of their direction against high-speed ballistic targets. In addition, a recurrent algorithm for statistical processing of determining the coordinates of a ballistic object based on the Kalman filter, an assessment of the accuracy of determining the position of the missile in space, components of velocity and ballistic coefficient were considered. The purpose of the research work is to simulate the processing of radar data using the Kalman filter, including the simulation of ballistic and aerodynamic missile guidance. To achieve the goal, the following tasks were set: Determination of the equation of motion of the center of gravity of a ballistic target in the Earth's atmosphere; assessment of the error model of a ballistic target tracking radar; assessing the probability of hitting a ballistic target; Conducting a report on the coordinates of the meeting point of a guided anti-aircraft missile with a ballistic target; Estimation of the probability of hitting a ballistic target. To solve problems, the following research methods are used: theoretical analysis, mathematical modeling, mathematical statistics. As a result of the research work it was determined that the Kalman filter is the optimal filter for data processing at a radar station. The selection of decoys was modeled by objectively assessing target characteristics using a ballistic coefficient. Based on the modeling results, it was proposed to increase the missile tracking time to 5-7 seconds and increase the frequency of the radar signal to 20 Hz when capturing aerodynamic targets.

Keywords: ballistic target, aerodynamic target, self-directed warhead, software and algorithmic support, local coordinate system, multi-purpose radar station, effective reflection area, mean square error, propulsion system, warhead

Məqalə redaksiyaya daxil olmuşdur: 08.01.2024

Təkrar işlənməyə göndərilmişdir: 15.01.2024

Çapa qəbul edilmişdir: 12.03.2024