

UOT 004.942

Ağayev N.B.<sup>1</sup>, İsgəndərov N.İ.<sup>2</sup>

Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan

<sup>1</sup>nadir\_avia@yahoo.com, <sup>2</sup>nesiazeri@yahoo.com

## VİNSENTİ ÜSULU İLƏ HAVA GƏMİSİNİN KOORDİNATLARININ TƏYİN EDİLMƏSİ

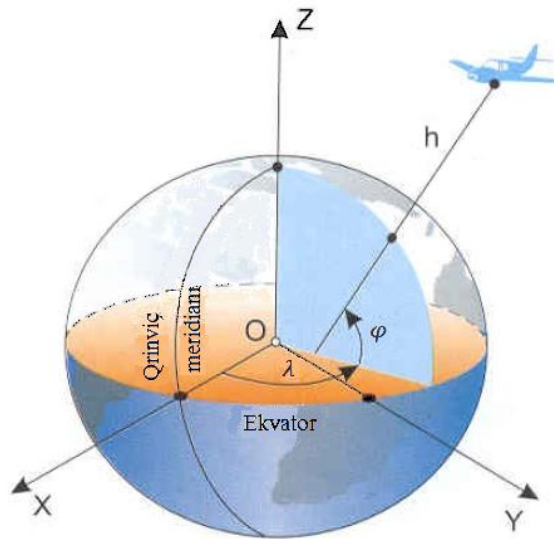
*Məqalədə uçuş planlarından istifadə edərək Vinsenti formulu əsasında növbəti zaman anı üçün hava gəmisinin koordinatlarının və getdiyi məsafənin hesablanması üsulu və alqoritmi təklif edilmiş, hesablama nəticələrinin “böyük çevrə” və ekstrapolyasiya üsulu ilə müqayisəli analizi verilmişdir.*

**Açar sözlər:** hava gəmisini, geodezik koordinatlar, Vinsenti formulu, uçuş planları, uçuş trayektoriyası.

### Giriş

Havadakı hərəkətin intensivliyinin artması havadakı hərəkətin idarə edilməsi (HHİE) sistemlərinin təkmilləşdirilməsi üçün tələbat yaradır. HHİE sistemləri hava gəmisinin (HG) koordinatlarını göstərir, uçuş planlarını emal və idarə edir, uçuşlar zamanı münaqişələri xəbər verir və dispetçer sorğularını yerinə yetirir. HG-nin hərəkət trayektoriyasının müəyyən olunması və onun gələcək zaman anı üçün koordinatlarının və getdiyi məsafənin daha dəqiq hesablanması HHİE dispetçerinə hava məkanındakı vəziyyət haqqında əvvəlcədən xəbərdar olmağa və vaxtında lazımı qərarlar qəbul etməyə kömək edir.

HG-nin toqquşmasına səbəb ola biləcək müxtəlif münaqişələrin aşkarlanması üsullarının [1–3] araşdırılması göstərir ki, həll alqoritminin düzgün işləməsini şərtləndirən əsas faktorlardan biri HG-nin hər hansı zaman anı üçün koordinatlarının düzgün proqnozlaşdırılması və gedəcəyi məsafənin dəqiq hesablanmasıdır. Marşrut üzrə uçuş zamanı HG-nin hərəkəti yer səthinə paralel olduğundan, HG-nin trayektoriyası qövs formasında olacaqdır. Bu halda hesablamaların dəqiqliyini artırmaq üçün koordinat sistemi və hesablama üsulu düzgün seçilməlidir. Yer üzərində hər hansı nöqtənin koordinatlarını hesablamaq üçün bir neçə koordinat sistemindən istifadə edilir [4]. Bu sistemlər içərisində geodezik koordinat sistemi yerin real formasını daha dəqiq nəzərə alır (şəkil 1).



Şəkil 1. Geodezik koordinat sistemi

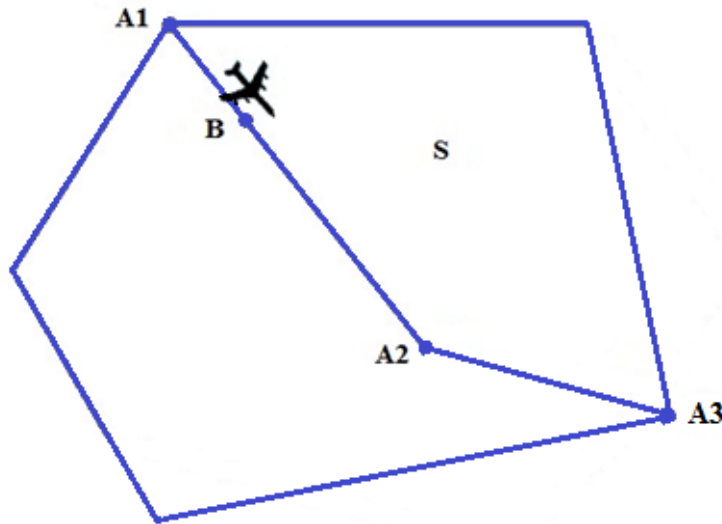
Geodezik koordinat sistemindən istifadə edərək HHİE məsələlərində hesablamaların aparılması üçün praktikada adətən “böyük çevrə” [5] və ekstrapolyasiya üsullarından istifadə edilir. Bu üsullar sadədir, az giriş verilənləri tələb edir və hesablama üçün xüsusi proqram təminatı tələb etmir. Bu üsulların zəif cəhəti Vinsenti formulundan fərqli olaraq yalnız gedilən məsafəni hesablamağa imkan verməsi ilə müəyyən edilir [6, 7]. Bu üsulların tətbiqi ilə HG-nin idarə edilməsi problemlərinin bir çoxu həll edilsə də, HHİE məsələlərinin əksəriyyətində HG-nin koordinatlarının verilməsi tələb edildiyindən (məsələn, HG-nin münaqişə vəziyyətlərinin müəyyən edilməsi və proqnozlaşdırılması məsələlərində), onların bilavasitə tətbiqi mümkün deyil.

Vinsenti formulu isə həm HG-nin getdiyi məsafəni, həm də əlavə olaraq koordinatlarını hesablamağa imkan verir. Bu formoldan daha çox yer səthi üzərində hərəkət edən obyektlərin idarə edilməsi məsələlərində istifadə edilsə də, HHİE məsələlərinin həllində bu formoldan istifadə praktikası da mövcuddur. Məsələn, [8]-də HG-nin hərəkət trayektoriyasının uzunluğunun hesablanması üçün Vinsenti formulunun istifadəsi təklif edilmiş, lakin HG-nin istənilən zaman anı üçün bu üsuldən istifadə edərək koordinatlarının hesablanması alqoritmi verilməmiş və nəticələrin analizi aparılmamışdır.

Bu məqalədə biz HG-nin iki nöqtə arasındakı hərəkəti zamanı proqnozlaşdırılan koordinatlarının Vinsenti formuluna əsasən tapılması və HG-nin getdiyi məsafənin Vinsenti formulu, “böyük çevrə” üsulu və ekstrapolyasiya üsulu ilə hesablanması alqoritmini və nəticələrin müqayisəli analizini verəcəyik.

### HG koordinatlarının və getdiyi məsafənin hesablanması alqoritmi

Hesablamanın aparılması üçün ən sadə modelə baxaq. Tutaq ki, S sektorunda təyyarənin uçuş trayektoriyası uçuş planına əsasən A1, A2, A3 nöqtələrindən keçir (şəkil 2). Bu nöqtələr fiksə olunmuş nöqtələr olduğuna görə, koordinatları qabaqcadan məlumdur [9]. HG-nin A1 və A2 nöqtələri arasında hərəkəti üçün koordinatların hesablanmasına baxaq.



Şəkil 2. Təyyarənin uçuş trayektoriyasının modeli

Əvvəlcə uçuş planlarından uçuş haqqında informasiyanın çıxarışı aparılmalıdır [10]. Uçuş planında verilmiş kreyser sürəti, hündürlük və HG-nin marşrutu informasiyasından istifadə edəcəyik. Hesablamanın aparılması üçün işarələmələr aparaq:

V - uçuş planına əsasən HG-nin uçuş sürəti;

H - uçuş planına əsasən HG-nin hündürlüyü;

$A1(\varphi_{A1}, \lambda_{A1})$ ,  $A2(\varphi_{A2}, \lambda_{A2})$  - uçuş planına əsasən HG-nin keçəcəyi nöqtələrin koordinatları;

$t_{A1}$  - HG-nin A1 nöqtəsindən S sektoruna daxil olma vaxtı. Qonşu sektor tərəfindən qabaqcadan verilir;

$B(\varphi_B, \lambda_B)$  – HG-nin koordinatları.

Qeyd etdiyimiz kimi, biz hesablamaların aparılması üçün Vinsenti formulu və “böyük çevrə” üsulundan istifadə edəcəyik. Bu formullar yer səthində geodezik koordinatlardan istifadə edərək hesablamaların aparılması üçün nəzərdə tutulduğuna görə, bizim halda hesablamaların aparılması zamanı HG-nin hündürlük qiymətlərini yerin radiusunun qiymətinə əlavə edəcəyik. Hesablamaları asanlaşdırmaq üçün “böyük çevrə” üsulu, Vinsenti düz və əks üsullarını ayrı ayrılıqda təsvir edək və çıxış parametrlərinin giriş parametrlərindən asılılığını verək.

**“Böyük çevrə” üsulu:** “Böyük çevrə” üsulu iki nöqtənin geodezik koordinatlarına görə nöqtələr arasındakı məsafəni hesablayır.

**“Böyük çevrə” üsulunun alqoritmi:**

1. **Daxil edilir:**  $\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2, H$  giriş parametrləri { $\varphi_1, \varphi_2$  – geodezik enlik,  $\lambda_1, \lambda_2$  – geodezik uzunluq,  $H$  – HG-nin uçuş hündürlüyü}.
2. **Daxil edilir:**  $a_1, b_1$  {Yer ellipsoidinin əsas və kiçik radiusları}.
3. **Hesablanır:**  
 $r = H + (2 \cdot a_1 + b_1)/3$  {Yer radiusunun orta qiymətinin tapılması və HG uçuş hündürlüyünün nəzərə alınması};  
 $\Delta\sigma = \arccos(\sin(\varphi_1) \cdot \sin(\varphi_2) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \cos(\Delta\lambda))$  {nöqtələr arasında mərkəzi bucaq}.
4. **Çıxış parametri hesablanır:**  
 $S = r \cdot \Delta\sigma$ .
5. **Alqoritmin sonu.**

**Vinsenti əks üsulu:** Vinsenti əks üsulu iki nöqtənin geodezik koordinatlarına görə nöqtələr arasında məsafə, başlanğıc və son azimutu hesablayır.

**Vinsenti əks üsulunun alqoritmi:**

1. **Daxil edilir:**  $\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2, H$  giriş parametrləri. { $\varphi_1, \varphi_2$  – geodezik enlik,  $\lambda_1, \lambda_2$  – geodezik uzunluq,  $H$  – HG-nin uçuş hündürlüyü}.
2. **Daxil edilir:**  $a_1, b_1, \varepsilon$  {Yer ellipsoidinin əsas və kiçik radiusları və hesablama xətası}.
3. **Hesablanır:**  
 $a = a_1 + H; b = b_1 + H;$   
 $f = (a - b)/a$  {hamarlama};  
 $L = \lambda_1 - \lambda_2$  {uzunluq fərqi};  
 $U_1 = \text{atan}((1 - f) \cdot \tan\varphi_1);$   
 $U_2 = \text{atan}((1 - f) \cdot \tan\varphi_2);$   
 $\lambda = L$  {ilkin yaxınlaşma}.
4. **Dövrün başlanğıcı**
5. **Hesablanır:**  
 $\sin\sigma = \sqrt{(\cos U_2 \cdot \sin\lambda)^2 + (\cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos\lambda)^2};$   
 $\cos\sigma = \sin U_1 \cdot \sin U_2 + \cos U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos\lambda;$   
 $\sigma = \text{atan2}(\sin\sigma, \cos\sigma);$   
 $\sin\alpha = \cos U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \sin\lambda / \sin\sigma;$   
 $\cos^2\alpha = 1 - \sin^2\alpha;$   
 $\cos 2\sigma_m = \cos\sigma - 2 \cdot \sin U_1 \cdot \sin U_2 / \cos^2\alpha;$   
 $C = f/16 \cdot \cos^2\alpha \cdot [4 + f \cdot (4 - 3 \cdot \cos^2\alpha)];$   
 $\lambda' = L + (1 - C) \cdot f \cdot \sin\alpha \cdot [\sigma + C \cdot \sin\sigma \cdot [\cos 2\sigma_m + C \cdot \cos\sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2 2\sigma_m)]];$

6. **Dövrün sonu.**

7. Əgər ( $|\lambda' - \lambda| > \varepsilon$ ), onda  $\lambda = \lambda'$  qəbul edib, addım 5-ə keç;

8. Əks halda

9. Hesablanır:

$$u^2 = \cos^2 \alpha \cdot (a^2 - b^2) / b^2;$$

$$A = 1 + u^2 / 16384 \cdot [4096 + u^2 \cdot [-768 + u^2 \cdot (320 - 175 \cdot u^2)]];$$

$$B = u^2 / 1024 \cdot [256 + u^2 \cdot [-128 + u^2 \cdot (74 - 47 \cdot u^2)]];$$

$$\Delta\sigma = B \cdot \sin\sigma \cdot [\cos 2\sigma_m + B/4 \cdot [\cos\sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2 2\sigma_m) - B/6 \cdot \cos 2\sigma_m \cdot (-3 + 4 \cdot \sin^2\sigma) \cdot (-3 + 4 \cdot \cos^2 2\sigma_m)]];$$

10. Çıxış parametrləri hesablanır:

$$S = b \cdot A \cdot (\sigma - \Delta\sigma) \quad \{S - \text{məsafə}\};$$

$$\alpha_1 = \text{atan2}(\cos U_2 \cdot \sin \lambda, \cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda) \quad \{\alpha_1 - \text{başlanğıc azimut}\};$$

$$\alpha_2 = \text{atan2}(\cos U_1 \cdot \sin \lambda, -\sin U_1 \cdot \cos U_2 + \cos U_1 \cdot \sin U_2 \cdot \cos \lambda) \quad \{\alpha_2 - \text{son azimut}\}.$$

11. Alqoritmin sonu.

**Vinsenti düz üsulu:** Vinsenti düz üsulu başlanğıc nöqtənin koordinatı, məsafə və başlanğıc azimuta görə son nöqtənin koordinatı və son nöqtədə azimutu hesablayır.

**Vinsenti düz üsulunun alqoritmi:**

1. **Daxil edilir:**  $\varphi_1, \lambda_1, H, S, \alpha_1$  giriş parametrləri  $\{\varphi_1 - \text{geodezik enlik}, \lambda_1 - \text{geodezik uzunluq}, H - \text{HG-nin hündürlüyü}, S - \text{geodezik məsafə}, \alpha_1 - \text{başlanğıc azimutdur}\}.$

2. **Daxil edilir:**  $a_1, b_1, \varepsilon$   $\{\text{Yer ellipsoidinin böyük və kiçik yarımoxlarının qiymətləri və hesablama xətası}\}.$

3. Hesablanır:

$$a = a_1 + H; \quad b = b_1 + H;$$

$$f = (a - b) / a \quad \{\text{hamaralama}\};$$

$$\tan U_1 = (1 - f) \cdot \tan \varphi_1;$$

$$\cos U_1 = 1 / \sqrt{(1 + \tan^2 U_1)};$$

$$\sin U_1 = \tan U_1 \cdot \cos U_1;$$

$$\sigma_1 = \text{atan2}(\tan U_1, \cos \alpha_1);$$

$$\sin \alpha = \cos U_1 \cdot \sin \alpha_1;$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha;$$

$$u^2 = \cos^2 \alpha \cdot (a^2 - b^2) / b^2;$$

$$A = 1 + u^2 / 16384 \cdot [4096 + u^2 \cdot [-768 + u^2 \cdot (320 - 175 \cdot u^2)]];$$

$$B = u^2 / 1024 \cdot [256 + u^2 \cdot [-128 + u^2 \cdot (74 - 47 \cdot u^2)]];$$

$$\sigma = s / b \cdot A \quad \{\text{ilkın yaxınlaşma}\}.$$

4. Dövrün başlanğıcı

5. Hesablanır:

$$\cos 2\sigma_m = \cos(2 \cdot \sigma_1 + \sigma);$$

$$\Delta\sigma = B \cdot \sin\sigma \cdot [\cos 2\sigma_m + B/4 \cdot [\cos\sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2 2\sigma_m) - B/6 \cdot \cos 2\sigma_m \cdot (-3 + 4 \cdot \sin^2\sigma) \cdot (-3 + 4 \cdot \cos^2 2\sigma_m)]];$$

$$\sigma' = \sigma;$$

$$\sigma = s / b \cdot A + \Delta\sigma.$$

6. Dövrün sonu

Əgər ( $|\sigma - \sigma'| > \varepsilon$ ), onda 4-cü addıma keçid,

7. Əks halda

8. Çıxış parametrləri hesablanır:

$$\varphi_2 = \text{atan2}(\sin U_1 \cdot \cos\sigma + \cos U_1 \cdot \sin\sigma \cdot \cos \alpha_1),$$

$$(1 - f) \cdot \sqrt{[\sin^2 \alpha + (\sin U_1 \cdot \sin\sigma - \cos U_1 \cdot \cos\sigma \cdot \cos \alpha_1)^2]};$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \text{atan2}(\sin\sigma \cdot \sin\alpha_1, \cos U_1 \cdot \cos\sigma - \sin U_1 \cdot \sin\sigma \cdot \cos\alpha_1); \\ C &= f/16 \cdot \cos^2\alpha \cdot [4+f \cdot (4-3 \cdot \cos^2\alpha)]; \\ L &= \lambda - (1-C) \cdot f \cdot \sin\alpha \cdot [\sigma+C \cdot \sin\sigma \cdot [\cos 2\sigma_m + C \cdot \cos\sigma \cdot (-1+2 \cdot \cos^2 2\sigma_m)]]; \\ \alpha_2 &= \text{atan2}(\sin\alpha, -\sin U_1 \cdot \sin\sigma + \cos U_1 \cdot \cos\sigma \cdot \cos\alpha_1); \\ \lambda_2 &= \lambda_1+L.\end{aligned}$$

## 9. Alqoritmin sonu.

Üsulların hesablamalarda istifadəsini asanlaşdırmaq üçün “böyük çevrə” üsulunun çıxış parametrlərini giriş parametrlərindən asılı olaraq  $S = S_{GC}(\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2, H)$ , Vinsenti əks üsulunun çıxış parametrlərini giriş parametrlərindən asılı olaraq

$$S = S_{VI}(\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2, H), \alpha_1 = \alpha_{VI1}(\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2, H), \alpha_2 = \alpha_{VI2}(\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2, H),$$

Vinsenti düz üsulunun çıxış parametrlərini giriş parametrlərindən asılı olaraq

$$\varphi_2 = \varphi_{VD2}(\varphi_1, \lambda_1, H, S, \alpha_1), \lambda_2 = \lambda_{VD2}(\varphi_1, \lambda_1, H, S, \alpha_1), \alpha_2 = \alpha_{VD2}(\varphi_1, \lambda_1, H, S, \alpha_1) \text{ kimi işarə edək.}$$

HG-nin koordinatlarının və A1 nöqtəsinə nəzərən getdiyi məsafənin hesablanması alqoritmi aşağıdakı kimi olacaq:

**1. Daxil edilir:** HG-nin keçəcəyi  $A1(\varphi_{A1}, \lambda_{A1})$ ,  $A2(\varphi_{A2}, \lambda_{A2})$  - nöqtələrinin koordinatları, HG-nin hündürlüyü, H və HG-nin hərəkət sürəti V uçuş planından götürülür.

$t_{A1}$ - HG-nin S sektoruna daxil olma vaxtı daxil edilir.

t - cari vaxt qiyməti dəqiq zaman sistemindən götürülür.

$t_l$ - HG-nin koordinatlarının hesablanması üçün lazım olan zaman müddəti daxil edilir (saniyə ilə).  $\Delta t = 5 \text{ san}$  qəbul edilir. {Radar informasiyası əsasında təyyarənin koordinatlarının təyin olunması zamanı informasiyanın yenilənməsi aerodrom sahəsində uçuş üçün maksimum 5 saniyə, marşrut üzrə uçuş üçün isə maksimum 8 saniyədən bir yerinə yetirilməli olduğuna görə [11], hesablamayı 5 san addımla yerinə yetiririk.}

### 2. Hesablanır:

$\alpha_{A1} = \alpha_{VI1}(\varphi_{A1}, \varphi_{A2}, \lambda_{A1}, \lambda_{A2}, H)$  { $\alpha_{A1}$ -A1 nöqtəsindən A2 nöqtəsinə hərəkətin başlanğıc azimutu};  
n=0 {HG üçün hesablama addımı sayının ilkin qiyməti};

$\varphi_{Bn} = \varphi_{A1}$ ;  $\lambda_{Bn} = \lambda_{A1}$ ;  $\alpha_{Bn} = \alpha_{A1}$  {HG üçün başlanğıc koordinatlar və başlanğıc azimut};

k=1 {proqnozlaşdırılan zaman addımlarının sayının ilkin qiyməti}.

Əgər ( $t_{A1} \geq t$ ), onda  $t_{pk} = t$  {HG hal-hazırda sektora daxil olmayıbsa, proqnozlaşdırılan zamanın ilkin qiyməti cari vaxta bərabər götürülür}.

Əgər ( $t_{A1} < t$ ), onda  $t_{pk} = t_{A1}$  {HG artıq sektorda hərəkət edirsə, proqnozlaşdırılan zamanın ilkin qiyməti HG-nin sektora daxil olma vaxtından götürülür.}

### 3. Dövrün başlanğıcı

**4. Əgər** ( $t_{A1} \leq t_{pk}$ ) olarsa {Bu şərt HG baxılan zaman anında S sektoruna daxil olmasını göstərir}, onda **hesablanır:**

n=n+1;  $S_{B(n-1)Bn} = V * \Delta t$ ; {A1 HG-nin  $\Delta t$  zaman müddətində getdiyi məsafə};

$$\varphi_{Bn} = \varphi_{VD2}(\varphi_{B(n-1)}, \lambda_{B(n-1)}, H, S_{B(n-1)Bn}, \alpha_{B(n-1)});$$

$$\lambda_{Bn} = \lambda_{VD2}(\varphi_{B(n-1)}, \lambda_{B(n-1)}, H, S_{B(n-1)Bn}, \alpha_{B(n-1)});$$

$\alpha_{Bn} = \alpha_{VD2}(\varphi_{B(n-1)}, \lambda_{B(n-1)}, H, S_{B(n-1)Bn}, \alpha_{B(n-1)})$  {HG-nin  $t_{pk}$  zaman anı üçün proqnozlaşdırılan koordinatları və azimutu};

$$S1 = S_{GC}(\varphi_{A1}, \varphi_{Bn}, \lambda_{A1}, \lambda_{Bn}, H); S2 = S_{VI}(\varphi_{A1}, \varphi_{Bn}, \lambda_{A1}, \lambda_{Bn}, H); S3 = V * (t_{pk} - t_{A1});$$

{HG-nin “Böyük çevrə” üsulu, Vinsenti əks üsulu və ekstrapolyasiya üsuluna əsasən hər 5 saniyədən bir A1 nöqtəsinə nəzərən məsafənin hesablanmış qiyməti cədvələ verilir}

**5.** k=k+1,  $t_{pk} = t_{p(k-1)} + \Delta t$ .

**6. Əgər**  $t_{pk} \geq t + t_l$ , **onda** dövrün sonu və Addım 7-yə keç, əks halda Addım3-ə keç.

7.  $\varphi_{Bn}, \lambda_{Bn}$  -nin qiymətləri ekrana verilir.

$S1 = S_{GC}(\varphi_{A1}, \varphi_{Bn}, \lambda_{A1}, \lambda_{Bn}, H)$  {HG-nin A1 nöqtəsinə nəzərən gedəcəyi məsafənin “böyük çevrə” üsulu əsasında hesablanması və ekrana verilməsi};

$S2 = S_{VI}(\varphi_{A1}, \varphi_{Bn}, \lambda_{A1}, \lambda_{Bn}, H)$  {HG-nin A1 nöqtəsinə nəzərən gedəcəyi məsafənin Vinsenti əks üsulu əsasında hesablanması və ekrana verilməsi};

$S3 = V * (t_{pk} - t_{A1})$  {HG-nin A1 nöqtəsinə nəzərən gedəcəyi məsafənin ekstrapolyasiya üsulu əsasında hesablanması və ekrana verilməsi}.

### 8. Alqoritmin sonu.

### Eksperimental təcrübə

Delphi proqramlaşdırma dilindən [12, 13] istifadə edilərək, verilmiş alqoritmlər əsasında proqram tərtib olunmuşdur və əldə olunmuş eksperimental nəticələr şəkil 3 və cədvəl 1-də verilmişdir.

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Mes.Vincent	1199.99999	2399.99998	3599.99997	4799.99996	5999.99995	7199.99994	8399.99993	9599.99992	10799.9999	11999
Mes.B.Çevrə	1197.73430	2395.46798	3593.20103	4790.93345	5988.66524	7186.39640	8384.12693	9581.85683	10779.5861	11977
Mes.Ekstrapol	1200	2400	3600	4800	6000	7200	8400	9600	10800	12000

Şəkil 3. HG koordinatlarının və getdiyi məsafənin hesablanması

Proqramda EnA1, UzaA1 – A1 nöqtəsinin coğrafi en və uzunluq koordinatları (dərəcə ilə), EnA2, UzaA2 – A2 nöqtəsinin coğrafi koordinatları (dərəcə ilə), tA1 – HG-nin S sektoruna A1 nöqtəsindən daxil olma vaxtı (saat:dəq:san), “cari vaxt” – hal-hazırkı hesablama aparılan vaxt (saat:dəq:san), H(m) – HG-nin uçuş hündürlüyü (metrlə), V(m/s) – HG-nin sürəti (m/san ilə), “delta t(s)” – hesablama addımı, sabit olaraq 5 san götürülmüşdür, “lazımi vaxt” – proqnozlaşdırma dərinliyi, başqa sözlə, neçə saniyə sonra üçün HG-nin koordinatlarının və gedəcəyi məsafənin hesablanacağını göstərir, “HG Enlik”, “HG Uzunluq” – HG-nin hesablanmış koordinatlarını, “Mes.Vinsenti” – Vinsenti formuluna görə, “Mes.B.Çevrə” – “ Böyük çevrə” üsuluna görə, “Mes.Ekstrapol” – ekstrapolyasiya üsuluna görə HG-nin gedəcəyi məsafəni (metrlə) göstərir.

Cədvəl 1

## Hesablamaların nəticələri

EnA1	393,465	515,980	203,480	112,892	805,720
UzA1	449,834	391,647	113,647	645,538	924,820
EnA2	387,895	537,023	234,523	137,460	824,583
UzA2	459,548	421,845	121,545	661,297	953,672
tA1	12:01:00	23:10:00	1:35:00	9:01:00	14:28:00
Cari vaxt	12:02:00	23:12:00	1:31:00	8:56:00	14:22:00
H	11000	9000	6000	10500	9500
V	180	240	170	245	190
Lazımi vaxt	230	330	480	840	750
HG En	390,693	523,370	207,064	123,004	812,208
HG Uz	454,703	401,800	114,541	651,981	933,322
Məsafə Vinsenti	52199	107999	40799	132299	74099
Məsafə B.Çev.	52154	107834	40972	132769	73800
Məsafə Ekstra.	52200	108000	40800	132300	74100

Proqram pəncərəsinin aşağı hissəsindəki cədvəldə isə məsafənin hər 5 saniyədən bir hesablanmış qiymətləri verilmişdir. Hesablama zamanı  $a_1=6378137$  metr (Yerin böyük radiusu),  $b_1=6356752$  metr (Yerin kiçik radiusu) [14] və  $\varepsilon = 1E-10$  metr götürülmüşdür.

Baxdığımız üsuldən istifadə edərək, eyni zamanda bir neçə HG-nin koordinatlarının hesablanması və onlar arasında yarana biləcək münəqişələrin aşkarlanması mümkündür.

Aparılmış hesablama eksperimentinin təhlili nəticəsində tətbiq edilən hər üç üsulun təqribən eyni nəticələr verdiyi müəyyən edilmişdir. Eyni başlanğıc koordinatlarda kiçik zaman intervalında bu fərq 0-5 m., 50 san zaman müddəti üçün isə maksimum 20-25 m. təşkil edir. Bu dəqiqlik hər üç hesablama metodundan istifadə etməyə imkan verir.

Cədvəl 1-də Vinsenti formulu, “Böyük çevrə” və ekstrapolyasiya üsulları ilə müxtəlif başlanğıc koordinatlarda hesablamaların nəticələri verilmişdir. Tətbiq edilən üsullar, əvvəldə qeyd edildiyi kimi, zamanın kiçik müddətlərində kiçik fərqlər verir, lakin istifadə edilən zaman müddəti artdıqca, bu fərqlər də artır.

Müxtəlif koordinatlar üzrə aparılmış hesablamaların təhlili göstərir ki, koordinatların qərbdən şərqə və eləcə də, şimaldan cənuba sərt dəyişməsində (xüsusi ilə geodezik en və uzunluğun dəyişmə diapazonunun son qiymətlərinə yaxın qiymətlərdə) formullar arasında fərq çoxalır. Buna səbəb yerin geodezik formasının tətbiq edilən üsullarda fərqli nəzərə alınmasıdır. Bu halda Vinsenti formulunun yerin geodezik formasını daha çox nəzərə aldığı qəbul etsək, həmin formul ilə hesablamaların daha dəqiq olması qənaətinə gələ bilərik. HG-nin münəqişə vəziyyətlərinin əvvəlcədən müəyyən edilməsi məsələlərində hər bir parametrin, xüsusi ilə HG arasında məsafənin, uçuş istiqamətinin və eşalonun (uçuş hündürlüyünün) dəqiq hesablanması məsələnin dəqiqliyinə və operativliyinə əhəmiyyətli təsirini nəzərə alsaq, tədqiq edilən üsullar içərisində Vinsenti formuluna əsaslanan üsulun daha effektiv və səmərəli olduğunu görürük.

### Nəticə və təkliflər

1. Məqalədə uçuş planlarından istifadə edərək Vinsenti formulu əsasında növbəti zaman anı üçün hava gəmisinin koordinatlarının hesablanması və hava gəmisinin getdiyi məsafənin Vinsenti, “böyük çevrə” və ekstrapolyasiya üsulu ilə müqayisəli şəkildə hesablanması alqoritmi və eksperimental nəticələr verilmişdir.
2. Aparılan hesablama eksperimentləri nəticəsində hər üç üsulun təqribən eyni nəticələr verdiyi müəyyən edilmişdir. Eyni başlanğıc koordinatlarda kiçik zaman intervalında bu fərq 0-5 m., 50 san. zaman müddəti üçün isə maksimum 20-25 m. təşkil edir. Hesablamalar arasında fərqlər geodezik en və uzunluğun dəyişmə diapazonunun son qiymətlərinə yaxın qiymətlərdə daha böyük olur.
3. Vinsenti formulu və “böyük çevrə” və ekstrapolyasiya üsulları ilə hesablamaların əksər hallarda eyni nəticələr verdiyini, lakin Vinsenti formulunun həm də HG-nin koordinatlarını hesablamağa imkan verdiyini nəzərə alaraq, bu formoldan HHİE məsələlərində, xüsusi ilə HG-nin münəqişə vəziyyətlərinin əvvəlcədən müəyyən edilməsi məsələlərində istifadə edilməsi daha məqsədəuyğundur.

### Ədəbiyyat

1. Ağayev N.B., İsgəndərov N.İ. Havadakı hərəkətin avtomatlaşdırılmış idarə edilməsi zamanı münəqişələrin aşkarlanması və qərar qəbul edilməsi üsullarının sistem struktur analizi // Milli Aviasiya Akademiyasının “Elmi məcmuələri”, 2013, cild 15, № 2, səh.21–28.
2. Агаев Н.Б., Искендеров Н.И. Оценка методов моделирования обнаружения конфликтов и принятия решений на основе нечеткой логики // Проблемы информатизации та управління, «Збірник наукових праць» Національний Авіаційний Університет, Київ: 2014, Випуск 1(45), с.6–13.
3. Gilles Dowek, Cesar Munoz. Conflict detection and resolution for 1,2,...,N aircraft / 7th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference, 18-20 September 2007, Belfast, Northern Ireland, pp.1–13
4. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., Васильев А.В. и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие – СПб. Политехника, 2004, 446 с.
5. Vinsenti, T. “Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations”, Survey Review, 1975, XXII(176), p.88–93.
6. Thomas C.M., Featherstone W.E., Validation of Vinsenti’s Formulas for the Geodesic Using a New Fourth-Order Extension of Kivioja’s Formula // Journal of Surveying Engineering, 2005, 131(1), pp.20–26.
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/Great-circle\\_distance](http://en.wikipedia.org/wiki/Great-circle_distance).
8. Yong-Kyun Kim, Yun-Hyun Jo, Jin-Won Yun, Taek-Keun Oh, Hee-Chang Roh, Sang-Bang Choi and Hyo-Dal Park. En-Route Trajectory calculation using Flight Plan Information for Effective Air Traffic Management // Journal of Information Processing Systems, 2010, vol.6, no.3, p.375–384.
9. ICAO Annex11 to the convention on international civil aviation Air Traffic Services. Thirteenth edition, 2001, 114 p.
10. ICAO Doc 4444-ATM/501: Air Traffic Management, fifteenth Edition, 2007, 82 p.
11. EUROCONTROL standard document for radar surveillance in en-route airspace and major terminal areas. 1997. Edition 1.0, SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01, 108 p.
12. Осипов Д.Л. Базы данных и Delphi. Теория и практика. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011, 752 с.
13. Nihat D., Yüksel İ. Delphi7. Ümit ofset matbaacılık. Ankara 2003, 813 s.
14. [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_Geodetic\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System).



**УДК 004.942**

**Агаев Надир Б.<sup>1</sup>, Искендеров Несреддин И.<sup>2</sup>**

Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан

<sup>1</sup>[nadir\\_avia@yahoo.com](mailto:nadir_avia@yahoo.com), <sup>2</sup>[nesiazeri@yahoo.com](mailto:nesiazeri@yahoo.com)

**Метод определения координат воздушного судна на основе формулы Винсенти**

В статье предлагается метод вычисления координат воздушного судна на основе формулы Винсенти. Проведено сравнение результатов предлагаемого метода с результатом методов «Большой Круг» и с методом экстраполяции.

*Ключевые слова:* воздушное судно, геодезические координаты, формула Винсенти, план полета, траектория полета.

**Agayev Nadir B.<sup>1</sup>, Nesreddin I. Isgandarov<sup>2</sup>**

National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan

<sup>1</sup>[nadir\\_avia@yahoo.com](mailto:nadir_avia@yahoo.com), <sup>2</sup>[nesiazeri@yahoo.com](mailto:nesiazeri@yahoo.com)

**Calculating the coordinates of the aircraft using Vincenty's formula**

In this paper a method calculating the coordinates of the aircraft based on the formula of Vincenty is proposed. Comparison of the proposed method results with the results of "Great Circle" method and extrapolation method has been suggested herein.

*Keywords:* aircraft, geodetic coordinates, Vincenty's formula, flight plan, flight trajectory.